

В.Б. Дудикевич, В.Д. Погребенник, Р.В. Політило
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра захисту інформації

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРВИННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ АКУСТИЧНИХ ЗАСОБІВ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

© Дудикевич В.Б., Погребенник В.Д., Політило Р.В., 2009

Розглянуто принципи функціонування та застосування первинних вимірювальних перетворювачів акустичних засобів охоронної сигналізації; наведено їхню класифікацію; виконано аналіз їхніх основних характеристик та подано рекомендації щодо їх вибору.

The principles of operation and application of measuring transducers of acoustic protective facilities are examined; their classification is made; the analysis of them basic parameters is conducted; recommendations for their choice are given.

Вступ. Сучасні системи безпеки використовують різні типи сенсорів для детектування незаконного проникнення на об'єкти, що охороняються. До них належать інфрачервоні, мікрохвильові, ультразвукові, акустичні, комбіновані та інші типи детекторів. Кожен із сенсорів характеризується як перевагами, так і недоліками [1]. Хоча сьогодні на ринку відзначається велика різноманітність сенсорів охоронної сигналізації, проте в основі їхньої роботи лежить обмежена кількість фізичних принципів роботи. Їхня особливість полягає в тому, що вони реєструють переважно неелектричні величини. Вимірювання неелектричних величин є складним завданням. Сенсори повинні забезпечувати високу надійність і достовірність контролю [2]. Сенсор – це пристрій, який під дією зовнішнього впливу реагує на неї зміною електричних сигналів. Під зовнішньою дією мають на увазі кількісну характеристику об'єкта, його властивість, яку необхідно сприйняти та перетворити на електричний сигнал. Отже, сенсор є чутливим елементом, що здійснює перетворення контрольованого параметра на електричний сигнал. По суті, це перетворювач фізичної величини на електричну.

Мета роботи – розглянути принципи функціонування та застосування первинних вимірювальних перетворювачів акустичних засобів охоронної сигналізації, виконати аналіз їхніх основних характеристик та дати рекомендації щодо їхнього вибору.

Будь-який сенсор є перетворювачем енергії, незалежно від типу фізичної величини. Очевидним є те, що передача енергії здійснюється в двох напрямках: енергія може передаватись від об'єкта до сенсора та, навпаки, від сенсора до об'єкта. Проте необхідно відрізнити поняття сенсора від поняття перетворювача. Перетворювач конвертує один вид енергії в інший, тоді як сенсор перетворює будь-який вид енергії на електричний сигнал.

Перетворювачі входять до складу сенсорів. Їхня кількість може бути різною, залежно від функцій, які вони повинні виконувати. На рис. 1 подано загальний вигляд складеного сенсора, що складається з N -перетворювачів [3].



Рис. 1. Загальний вигляд складеного сенсора, що складається з N -перетворювачів:
 e_1 , e_2 , e_N – різні види енергії.

У структуру складених сенсорів, як правило, входять кілька перетворювачів та хоча б один сенсор прямої дії, що призначений для безпосереднього перетворення значення контрольованого параметра на електричний сигнал.

Зупинимось детальніше на розгляді вимірювальних перетворювачів, оскільки саме від них багато в чому залежить ймовірність правильного спрацювання охоронних сенсорів. Як зазначалось вище, нині існує велика кількість засобів охоронної сигналізації, які ґрунтуються на різних принципах дії. На особливу увагу заслуговують ультразвукові охоронні сенсори контролю доступу та руху. Вони характеризуються невеликим споживанням енергії, доступною ціною та високою чутливістю. Застосовують їх, як правило, для охорони об'єктів, малих за об'ємом, наприклад, вітрин, музейних цінностей, салону автомобіля тощо. Ультразвукові сенсори складаються з пасивних та активних компонентів і є дещо складними для виготовлення та тестування. Здебільшого для цих сенсорів необхідний трудомісткий процес налаштування та відлагодження [4].

У статті розглядаються акустичні первинні вимірювальні перетворювачі, принципи їхньої побудови та методи підвищення точності їх вимірювання.

Розглянемо класифікацію первинних акустичних перетворювачів. Їх розрізняють за призначенням, за принципом перетворення енергії, за структурою механічної коливальної системи, за конструкцією тощо (див. табл. 1) [6].

Таблиця 1

Класифікація первинних акустичних перетворювачів

За призначенням	Випромінювачі
	Приймачі
	Універсальні
За фізичним принципом перетворення енергії	П'єзоелектричні
	Електромагнітні
	Електрохімічні
	Оптико-акустичні
За структурою коливальної системи	Стрижневі
	Пластинчасті
	Циліндричні
	Сферичні
За конструкцією	Силові
	Компенсаційні

За призначенням перетворювачі поділяють на випромінювачі, приймачі та універсальні перетворювачі. Випромінювачі та приймачі використовують у приладах з роздільними каналами випромінювання і приймання. Універсальні перетворювачі застосовують в аналогічних пристроях при почерговому використанні обох режимів.

За фізичним принципом перетворення енергії акустичні перетворювачі поділяють на п'єзоелектричні, електромагнітні, електрохімічні, оптико-акустичні тощо.

За структурою коливальної системи перетворювачі поділяють на стрижневі, пластинчасті, циліндричні та сферичні.

У стрижневих системах використовують електромеханічний активний стрижень та стрижень з однією або двома накладками з пасивного матеріалу, в яких виникають повздовжні коливання по осі стрижня з визначеним розподілом амплітуд коливань.

У пластинчатих системах пластини прямокутної або круглої форми здійснюють поршневі коливання по товщині, а пластини, сперті на протилежні грані, – поперечні коливання згину.

У циліндричних системах, які виконуються у вигляді кілець з активного матеріалу, можуть збуджуватися радіальні коливання різного порядку: нульового, першого та другого.

Колівальна система сферичного перетворювача є однорідною тонкою сферичною оболонкою, що практично здійснює радіальні пульсуючі коливання.

За конструкцією акустичні перетворювачі бувають силові та компенсаційні. Конструктивне виконання перетворювачів визначається зазвичай їхньою статично-механічною міцністю, тобто здатністю протистояти акустичному тиску. Відмінність між силовими та компенсаційними перетворювачами в тому, що в компенсаційних перетворювачах активний елемент та інші деталі конструкції схильні до рівномірного стискування, тому зміни параметрів активного матеріалу не відбувається.

На рис. 2 подано узагальнену структурну схему вимірювального перетворювача [5].

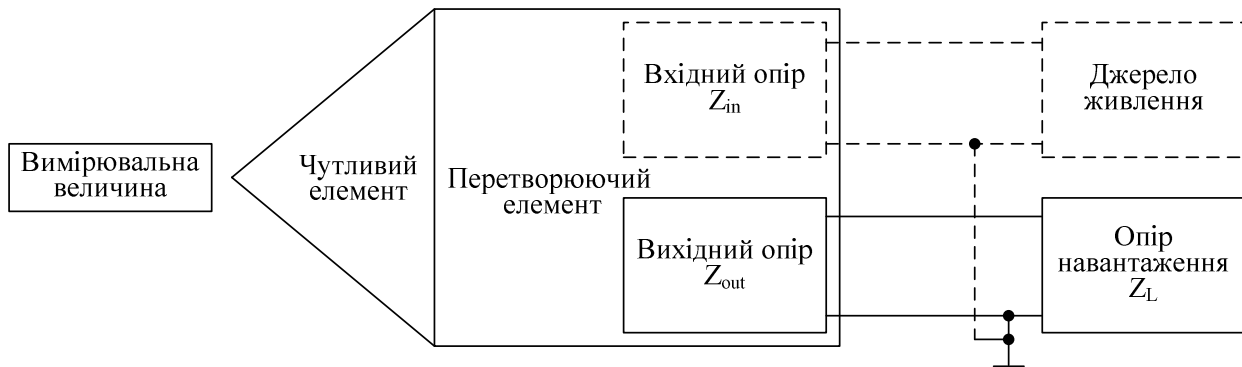


Рис. 2. Структурна схема вимірювального перетворювача.

Показані пунктирними лініями елементи в деяких перетворювачів можуть бути відсутні

Тут чутливий елемент сприймає властивість вимірювальної величини і перетворює її на іншу фізичну величину. Потім перетворюючий елемент перетворює фізичну величину на електричний сигнал, значення якого відповідає рівню вимірюваної властивості об'єкта. Іншими можливими складовими вимірювального перетворювача є схеми формування сигналу і джерела живлення. Чутливий елемент перетворює вимірювальну фізичну величину на таку фізичну величину, яка може бути сприйнята і виміряна перетворюючим елементом. З цього погляду і сам чутливий елемент можна вважати перетворювачем.

Розглянемо найважливіші параметри вимірювальних перетворювачів. *Точність вимірювання* характеризує наближення вимірюваного значення фізичної величини до її реального значення. Оцінюється точність, як правило, похибкою вимірювання, яка визначається як максимально можлива різниця між вимірним і дійсним значенням. Зазвичай похибки виражаються в абсолютних або відносних одиницях і залежать переважно від властивостей самого перетворювача та типу використовуваного обладнання.

Чутливість, або масштабний коефіцієнт перетворювача, – це відношення зміни вихідного сигналу до зміни вхідного. Наприклад, для лінійного перетворювача, напруга на виході якого змінюється за лінійним законом залежно від температури, чутливість може бути визначена як відношення загального діапазону вихідної напруги до загального вхідного діапазону.

Акустична потужність – це кількість акустичної енергії, яка протікає через випромінювальну поверхню за одиницю часу. Крім акустичної потужності, для перетворювачів характерною є *питома акустична потужність*, яка визначається як потужність, віднесена до одиниці площі випромінювальної поверхні.

Характеристика направленості визначається як залежність створюваного перетворювачем поля від напрямку точки зору, тобто оцінюється просторовий та кутовий розподіл поля.

Електроакустичний коефіцієнт корисної дії характеризує перетворювач як споживач енергії і визначається відношенням акустичної потужності до електричної.

Вхідний опір визначається відношенням між прикладеною напругою та силою струму в колі перетворювача. Оскільки між напругою та струмом існує фазовий зсув, то величина вхідного опору, як правило, є комплексною.

Одним з важливих параметрів перетворювача є *лінійність* його характеристики, яка може впливати на точність вимірювання. Як правило, рекомендують використовувати перетворювачі з лінійною характеристикою (рис. 3, а), оскільки з'єднання перетворювача зі схемою формування

сигналу також є лінійним, відповідно, вони є порівняно дешевшими під час проектування та виготовлення. Якщо перетворювач є нелінійним (рис. 3, б), то можна застосувати лінеаризовану схему формування сигналу, проте такі схеми є дуже дорогими. З іншого боку, використання лише частини загальної характеристики нелінійного перетворювача забезпечує лінійність відношення вимірюваної та вихідної величин.

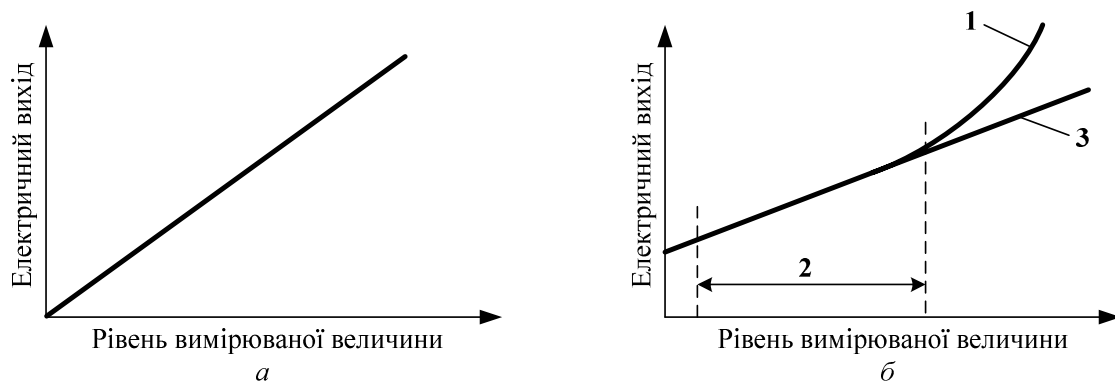


Рис. 3. Лінійні і нелінійні характеристики перетворювачів:
 а – лінійний перетворювач; б – нелінійний перетворювач
 (1 – реальна характеристика нелінійного перетворювача;
 2 – лінійна область вихідного сигналу; 3 – лінійна характеристика,
 яка апроксимує дійсну реакцію перетворювача за рахунок використання
 обмеженої частини діапазону)

Лінійні перетворювачі можуть працювати і за межею свого звичайного діапазону, проте існує границя, досягнувши якої, вхідний сигнал різко спадає, коли вимірювальна величина виходить за межі шкали допустимих значень.

Повторюваність вихідного сигналу. Вихідний сигнал в ідеальному випадку повинен бути постійним, коли вимірювальна величина не змінюється. В деяких випадках, якщо перетворювач має великий гістерезис, вихідний сигнал може бути різним залежно від напрямку зміни вимірювальної величини.

Іншим фактором, що безпосередньо пов'язаний з точністю вимірювання, є *час відгуку*, який дорівнює часу встановлення вихідного сигналу у відповідь на зміну вимірювальної величини. Миттєва або ступінчаста зміна вимірюваної величини може не викликати одночасної зміни вихідного сигналу, якщо реакція перетворювача на зміну вимірювальної величини відбувається із запізненням. Проте такий перетворювач може мати достатньо невелику похибку, якщо зміна вимірюваної величини відбувається повільно або не відбувається взагалі. Інертність, наявна у перетворювача, свідчить про те, що його не можна використовувати для вимірювання величин, які швидко змінюються.

Смуга пропускання перетворювача – це характеристика, яка безпосередньо пов'язана з часом відгуку. Зміну вимірюваної величини можна описати сукупністю частотних складових: відповідно до перетворення Фур'є будь-який сигнал можна подати сукупністю синусоїдальних складових, які мають різні частоти та амплітуди. Якщо вимірювана величина є швидкозмінною, тим більша частота і більший спектр частот буде у вихідного сигналу. Якщо ж смуга пропускання частот перетворювача є порівняно вузькою, то високі частотні складові у вихідному сигналі зникають і реакція перетворювача стає повільнішою, а час відгуку великим.

Звичайно, крім усіх факторів, пов'язаних безпосередньо з виготовленням перетворювачів, потрібно враховувати *зовнішні фактори*, залежно від їхнього застосування. Зовнішні фактори потрібно враховувати для того, щоб перетворювач справно виконував свої функції упродовж всього терміну служби.

У праці [4] випромінювальним елементом ультразвукового сенсора є п'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач, який перетворює електричну напругу, яку виробляє генератор ультразвукових частот, на акустичні коливання повітря в об'ємі, що охороняється. Чутливим

елементом детектора є п'єзоелектричний ультразвуковий приймальний перетворювач, який перетворює акустичні коливання на змінний електричний сигнал.

До первинних перетворювачів ставлять такі вимоги: малі апаратні затрати, висока точність перетворення, простота юстування та малі похибки вимірювання досліджуваного поля. Якщо активний елемент перетворювача працює на резонансі, то ефективність перетворення електричної енергії на механічну можна виразити за допомогою питомої випромінювальної потужності та механоелектричного коефіцієнта корисної дії (ККД):

$$\eta_{м.е.} = \frac{P_m}{P_e} \quad (1)$$

де P_e – електрична потужність від генератора; P_m – споживана потужність механічною стороною перетворювача.

Сьогодні найбільші значення ККД і питомі потужності мають акустичні перетворювачі, активні елементи яких виконано з п'єзокераміки. Вхідна напруга, прикладена до п'єзоелектричного елемента, змушує його коливатись, збуджуючи тим самим ультразвукові хвилі (рис. 4) [3].

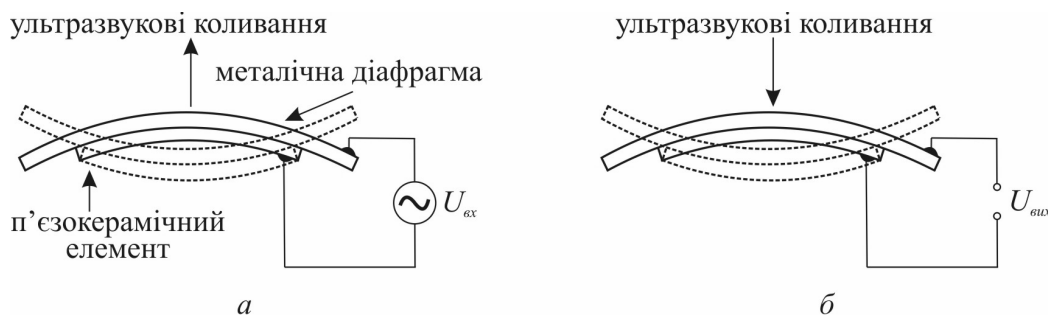


Рис. 4. П'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач:
 а – під дією прикладеної вхідної напруги здійснюється коливання п'єзокерамічного елемента, що викликає генерацію ультразвукових коливань;
 б – під впливом коливань на виході перетворювача з'являється напруга

Оскільки п'єзоелектричний ефект є процесом зворотним, дія ультразвукових коливань на той самий керамічний елемент приводить до появи на його поверхні електричних зарядів. Для підвищення ефективності роботи частота задавального генератора повинна дорівнювати резонансній частоті f_r керамічного елемента (рис. 5).

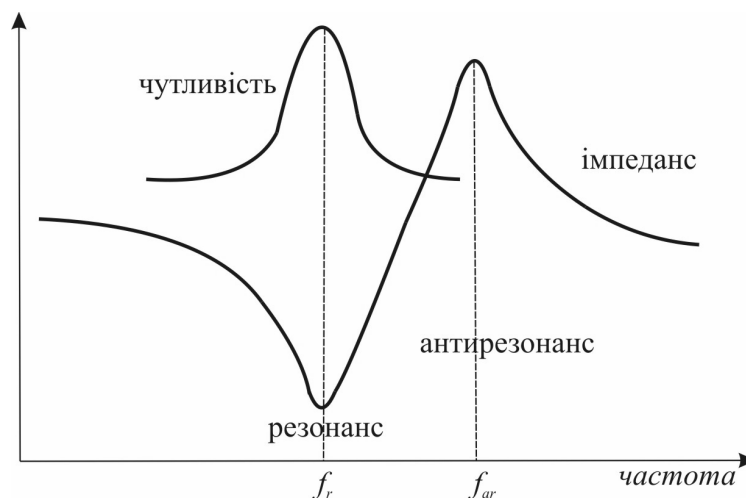


Рис. 5. Імпедансна характеристика п'єзоелектричного перетворювача:
 f_r – резонансна частота; f_{ar} – антирезонансна частота

Якщо виконується ця умова, вдається реалізувати кращу чутливість та ефективність елемента. При роботі схеми в імпульсному режимі для передавання та приймання сигналу зазвичай використовують один п'єзоперетворювач.

Формувачі зондувальних імпульсів (ФЗІ) виробляють потужні електричні радіоімпульси збудження акустичних перетворювачів. Проте при стикуванні ФЗІ з іншими вузлами системи виникають проблеми: узгодження з акустичними перетворювачами і забезпечення розв'язки ФЗІ та приймально-підсилювального пристрою вторинного вимірювального перетворювача (ВВП) [7]. При узгодженні ФЗІ з акустичним перетворювачем на всіх частотах, серед них частоті механічного резонансу перетворювача, необхідно використовувати додаткову реактивність (ємність, індуктивність), яка компенсує індуктивну (ємнісну) складову перетворювача.

Для отримання максимального відношення сигнал/шум у схемі узгодження акустичний перетворювач узгоджують з ФЗІ в режимі передавання, а з приймально-підсилювальним пристроєм – у режимі приймання.

Зондувальний сигнал характеризується такими параметрами: тривалість імпульсу, тривалість його фронтів, частота імпульсного сигналу, період повторення імпульсів. Тривалість зондувального імпульсу $\tau_{із}$ обмежується віддалю до об'єкта L :

$$\tau_{із} \leq \frac{L}{C} \quad (2)$$

де C – швидкість звуку.

Надійність системи охоронної сигналізації можна підвищити, збільшивши співвідношення сигнал/шум на вході ВВП. Максимальну амплітуду імпульсного сигналу на вході ВВП можна отримати при випромінюванні максимальної акустичної потужності P_{amax} , яка пов'язана з параметрами перетворювача таким співвідношенням:

$$P_{amax} = P_{анн} S_{із} = \frac{U^2}{Z} \cos \psi \eta_a \quad (3)$$

де $P_{анн}$ – питома акустична потужність; $S_{із}$ – площа поверхні випромінювання; U – модуль електричної напруги; Z – модуль внутрішнього опору перетворювача; ψ – кут зсуву фази між напругою та струмом; η_a – акустико-електричний ККД перетворювача.

Тривалість фронту імпульсу повинна бути меншою від тривалості зондувального імпульсу:

$$\tau_{\phi} = (10^{-1} \div 10^{-2}) \tau_{із} . \quad (4)$$

Смуга пропускання підсилювачів ВВП визначається так:

$$\Delta F \approx \frac{1}{\tau_{\phi}} . \quad (5)$$

Частоту заповнення імпульсного сигналу потрібно вибирати, враховуючи такі вимоги:

- допустиме загасання акустичних коливань;
- малі розміри акустичних випромінювачів та відбивачів;
- забезпечення максимального співвідношення сигнал/шум.

Допустимим верхнім значенням частоти заповнення f_3 з урахуванням загасання звуку для віддалей до 10 м можна вважати $f_3 \leq 100$ кГц.

Акустичні перетворювачі повинні мати такі розміри, щоб отримати достатню спрямованість і мінімальні спотворення вихрового поля.

Ширина головного пелюстка діаграми спрямованості на рівні половинної потужності пов'язана з довжиною хвилі λ і розміром перетворювача d у відповідній площині залежністю:

$$\Theta_{0,5} = 60 \cdot \frac{\lambda^0}{d}. \quad (6)$$

Нижнє допустиме значення частоти заповнення визначається заданими розмірами акустичних відбивачів, тобто $3\lambda_{\min} = L_{\text{від}}$, де $L_{\text{від}}$ – максимальний розмір відбивача. Це співвідношення отримано з умови утворення плоскої відбитої хвилі. Дифракційні явища на краях не спотворюють картини відбитого поля.

Для забезпечення максимально можливого співвідношення сигнал/шум необхідно вибрати такий діапазон частот, за яких зовнішні шуми є мінімальними. За даними роботи [7] він становить (20÷80) кГц. Частота заповнення f_3 пов'язана зі смугою пропускання ΔF і добротністю акустичного перетворювача Q

$$f_3 = \Delta F \cdot Q. \quad (7)$$

Добротність п'єзоелектричних перетворювачів $Q > 5 \div 100$.

На підставі вищесказаного частоту заповнення імпульсного сигналу потрібно вибирати в межах $f_3 = (40 \div 80)$ кГц (для віддалей до 10 метрів).

Висновки. Розглянуто принципи функціонування, особливості та застосування первинних вимірювальних перетворювачів у схемах акустичних засобів охоронної сигналізації, наведено їхню класифікацію та проаналізовано їхню основні характеристики. Подано рекомендації щодо оптимального вибору параметрів первинних перетворювачів для ультразвукової системи охоронної сигналізації.

1. Погребенник В.Д., Політило Р.В. Принципи побудови систем охоронної сигналізації // Автоматика, вимірювання та керування. – № 608. – Л., 2008. – С. 93 – 99. 2. www.allbest.ru/referat Системи сигналізації. 3. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник: Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с. 4. Погребенник В.Д., Політило Р.В. Ультразвукові сенсори системи охоронної сигналізації // Вісник Національного університету «Київський політехнічний інститут», серія «Приладобудування». – К., 2008. – С. 72 – 79. 5. Бриндли К. Измерительные преобразователи: Справочное пособие: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с. 6. Свердлин Г.М. Гидроакустические преобразователи и антенны: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судностроение, 1988. – 200 с. 7. Горбатов А.А., Рудашевский Г.Е. Акустические методы измерения расстояний и управления. – М: Энергия, 1981. – 208 с.