**Денис Герасименко, Мирослав Бітов, Микола Жовнір**

**(Київ, Україна)**

**ідентифікаТОР ОБ’єкта з пасивнОЮ РАДІОМІТКОЮ**

**на поверхневих акустичних хвилях**

Поверхневі акустичні хвилі (ПАХ) знаходять широке застосування в системах формування та обробки інформаційних сигналів, сенсорах фізичних та механічних величин [1, 2]. В останні роки пристрої на ПАХ починають активно впроваджуватися в системи безпровідних пасивних сенсорів [3, 4] та ідентифікації об’єктів, що отримали назву «радіомітка» [5, 6].

В радіомітці [5, 6], що складається із звукопроводу, вхідного/вихідного зустрічно-штирового перетворювача (ЗШП) ПАХ та масиву відбивних структур, використано принцип ортогонального частотного кодування (ОЧК). Недоліком пристрою є те, що при додаванні наступного біту кодової послідовності необхідно розширювати смугу пропускання системи, а застосування ОЧК потребує використання великої кількості електродів.

У цій роботі приводиться обґрунтування можливості створення системи радіочастотної ідентифікації на базі радіомітки на ПАХ, що забезпечує стиснення вхідного сигналу радіозапиту та дозволяє забезпечувати режим множинного доступу.

**Конструктивні особливості радіомітки на ПАХ**

Стиснення вхідного сигналу радіозапиту та режим множинного доступу у запропонованій радіомітці досягається тим, що вхідний/вихідний перетворювач виготовляється у вигляді секцій електродів різного періоду, з’єднаних спільною шиною, і є узгодженим фільтром для приймання та стиснення частотно-модульованого (ЧМ) сигналу радіозапиту [7]. Кількість секцій електродів (частот кодування) та порядок їх розміщення може змінюватися для забезпечення унікальної адреси радіомітки та режиму множинного доступу у системах, побудованих на основі цих пристроїв.

На рис. 1 зображено приклад топології вхідного/вихідного ЗШП з 5-ма частотами кодування, який має 5 секцій електродів різного періоду, кожна з яких призначена для перетворення електричного сигналу певної частоти , де , в ПАХ та навпаки. Порядок слідування частот кодування може змінюватися, за рахунок чого реалізується множинний доступ у вимірювальних системах, адже кожен сенсор отримує свою унікальну адресу.

|  |  |
| --- | --- |
| **Рис. 1. ПАХ-перетворювач**  **з 5–ма частотами кодування** | **Рис. 2. Сигнал радіозапиту, узгоджений**  **до вхідного перетворювача** |

Ширина смуги пропускання та форма амплітудно-частотної характеристики кожної групи електродів головним чином визначається півперіодом розміщення електродів  та їх шириною, кількістю електродів у кожній секції  та апертурою перетворювача . Півперіод електродів  вибирається рівним половині довжини ПАХ: , де швидкість поширення ПАХ на поверхні звукопроводу;  – центральна частота, на яку розрахована секція електродів.

Узгоджений сигнал радіозапиту (рис. 2) у вигляді набору сигналів з різною частотою, тривалість яких однакова, а порядок слідування визначається топологію вхідного/вихідного перетворювача ПАХ. При надходженні такого сигналу на перетворювач відбувається його стиснення з коефіцієнтом стиснення , де кількість частот кодування.

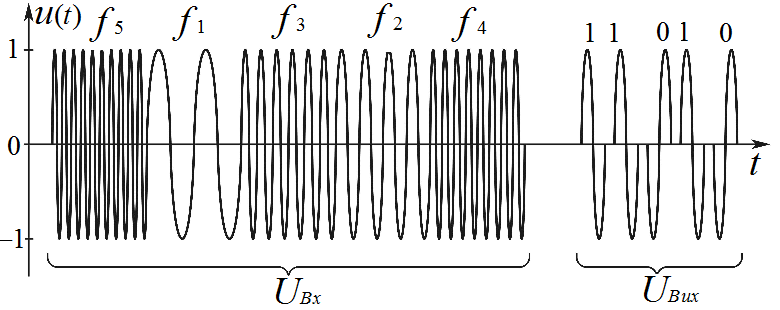
Пасивна радіомітка на ПАХ [8] (рис. 3) представляє собою ретранслюючий одновходовий ПАХ-пристрій, що містить п’єзоелектричний звукопровід 1, на поверхні якого розміщено верхню струмопровідну шину 2, нижню струмопровідну шину 3, вхідний перетворювач для стиснення ЧМ–сигналу 4 та масив вихідних електродів 5. Радіомітка містить вбудовану антену 6. Для зменшення впливу сигналів, що відбиваються від торців звукопроводу, нанесено поглинаючі покриття  7 та 8. Від вхідного перетворювача 4 в напрямку масиву електродів 5 поширюється поверхнева акустична хвиля 10.



**Рис.3. Конструкція радіомітки на ПАХ**

Вхідний/вихідний перетворювач 4 призначений для узгодженої фільтрації вхідного сигналу радіозапиту з частотною модуляцією. У вихідному масиві електродів  5 кодова послідовність формується за рахунок того, що впорядкованість електродів протилежної полярності (+++++) місцями змінюється (наприклад, +++++). Таким чином, можна довільно задавати фазу високочастотної несучої всередині сигналу радіовідгуку.

Узгоджений сигнал радіозапиту  (рис. 4) представляє собою сигнал з частотною модуляцією і являє обернену у часі імпульсну характеристику вхідного/вихідного перетворювача. Вихідний сигнал радіовідгуку  містить послідовність з однакових за тривалістю відрізків високочастотної несучої, фаза яких змінюється у відповідності з чергуванням електродів у вихідному масиві електродів. Ця послідовність являє собою позиційний двійковий код з розрядами «1» та «0», яким відповідають фази «00» та «1800» відрізків високочастотної несучої, тобто застосована фазо-кодова модуляція (ФКМ). ЧМ та ФКМ – сигнали відносяться до складних сигналів, що дозволяють збільшити радіус дії систем радіоідентифікації за рахунок збільшення відношення сигнал/шум та забезпечити захищеність при кореляційній обробці інформаційних сигналів у приймачі. Складні сигнали характеризуються базою сигналу , де  - ширина спектру сигналу;  – його тривалість.



**Рис. 4. Сигнал радіозапиту та радіовідгуку **

**для безпровідної пасивної радіомітки на ПАХ**

Розглянемо більш детально процес стиснення сигналу у вхідному/вихідному перетворювачі. Порядок слідування частот кодування в узгодженому сигналі радіозапиту відповідає порядку слідування цих частот у перетворювачі. Таким чином, в представленому прикладі на рис. 3 та 4 першим на перетворювач надходить сигнал з частотою , далі сигнал з частотою  і т.д. Тривалість сигналу кожної частоти дорівнює часу поширення ПАХ через відповідну групу електродів перетворювача. Так продовжується, доки ПАХ не проходить останню групу електродів . Результуюча ПАХ на виході перетворювача має амплітуду в 5 разів більшу за амплітуду ПАХ, створеної окремою групою електродів.

**Система ідентифікації з пасивною радіоміткою на ПАХ**

Система радіочастотної ідентифікації (рис. 5), зазвичай, складається з пристрою опитування та обробки інформації (ПООІ) та декількох радіоміток.

Робота пристрою опитування та обробки інформації поділена на два етапи. Перший – запит, під час якого передавач через антену надсилає сигнал радіозапиту на всі пристрої в радіусі дії системи; другий етап - прийом від радіоміток сигналів радіовідгуку.



**Рис. 5. Система радіоідентифікації для роботи**

**з безпровідними пасивними радіомітками на ПАХ**

Під час радіозапиту, від пристрою ПООІ узгоджений сигнал радіозапиту через радіоканал поступає на антени радіоміток на ПАХ. Вхідні перетворювачі 4 (рис.3) виконують перетворення електричного сигналу в поверхневу акустичну хвилю, разом з тим, виконуючи її стиснення. Імпульс ПАХ 10 рухається у напрямку масиву електродів 5, які частково відбивають ПАХ у зворотному напрямку. Зворотна хвиля, проходячи під структурою електродів 4, завдяки прямому п’єзоефекту збуджує вихідну кодовану послідовність, з подальшим її випроміненням через антену 6. Приймач ПООІ після надходження на нього сигналу радіовідгуку здійснює його обробку (підсилення, фільтрацію, кореляційний аналіз тощо).

Для забезпечення синхронної роботи кожної групи електродів та перетворювача в цілому, необхідно забезпечити ортогональність частот кодування. Умову ортогональності можна сформулювати наступним чином: максимум на спектрі сигналу однієї частоти приходиться на нуль на спектрі сигналу суміжної частоти. На рис. 6 приведена відносна амплітудно – частотна характеристика узгодженої групи електродів вхідного/вихідного перетворювача. Як видно, за базової умови ортогональності частот кодування, головні пелюстки суміжних частот перекриваються по рівню -2 дБ, що неприпустимо мало для надійної роботи системи. Тому на практиці часто використовують псевдоортогональне кодування, коли максимум у спектрі однієї частоти припадає на нуль першого або наступних бічних пелюсток на спектрі суміжної частоти (рис. 7). У цьому випадку головні пелюстки суміжних частот перекриваються по рівню -5 дБ.

|  |  |
| --- | --- |
| **Рис. 6. АЧХ вхідного/вихідного перетворювача з ортогональним**  **частотним кодуванням** | **Рис. 7. АЧХ вхідного/вихідного перетворювача з псевдоортогональним**  **частотним кодуванням** |

Для прикладу визначимо конструктивні параметри пасивної радіомітки на ПАХ з вхідним перетворювачем запропонованої конструкції, що працює в ISM діапазоні.

**Приймаємо такі параметри:** нижня та верхня границі смуги пропускання: та ; кількість частот кодування – 5;  фазова швидкість ПАХ  (звукопровід з ніобіту літію -зрізу); тривалість сигналу радіозапиту.

**Визначаємо:** смуга пропускання системи: ; смуга пропускання частоти кодування:; частоти кодування визначаються за формулою:

;;; ; .

Вибираємо ширину смуги пропускання секції електродів як половину ширини смуги пропускання частоти кодування .

Відносна смуга пропускання секції електродів .

Кількість електродів в кожній секції: ; ; ;  та .

Тривалість стиснутої ПАХ на виході вхідного перетворювача ПАХ . Коефіцієнт стиснення . Смуга пропускання кожної групи електродів вихідного масиву . Центральна частота високочастотної несучої вихідного сигналу . Кількість електродів в кожній групі вихідного масиву . Тоді, загальна кількість електродів вихідного масиву становить: , де кількість розрядів у вихідній послідовності (для представленої радіомітки ). Довжина ПАХ на частоті високочастотної несучої вихідного сигналу . Довжина вихідного масиву електродів . Тривалість вихідної послідовності (сигналу радіовідгуку) .

Відношення сигнал/шум на вході радіомітки на ПАХ зі стисненням сигналу в порівнянні з радіоміткою без стиснення визначається співвідношенням: , де ,  - відношення сигнал/шум для системи зі стисненням сигналу та без стиснення, відповідно;  - тривалість вхідного сигналу.

Для радіомітки із заданими конструктивними параметрами: . Таким чином, стиснення вхідного сигналу забезпечує відношення сигнал/шум, що відповідає підвищенню пікової потужності передавача в 10 разів.

Порядок чергування електродів та кількість розрядів у вихідному масиві можуть змінюватися для реалізації довільної кодової послідовності. Так, для представленої радіомітки з 5 розрядами (5 секцій електродів) можливо реалізувати  різноманітні коди. В разі використання 10 розрядів – 1024 коди. Це дозволяє використовувати запропоновану пасивну радіомітку на ПАХ для ідентифікації великої кількості об’єктів.

**Висновки.** Розроблено конструкцію радіомітки для інформаційно – вимірювальних систем з безпровідними пасивними структурами на ПАХ. Особливістю її є те, що вона містить вхідний/вихідний зустрічно-штировий перетворювач, що забезпечує стиснення вхідного сигналу радіозапиту та дозволяє забезпечувати режим множинного доступу на основі ортогонального частотного кодування.

**Література:**

1. 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.
2. Жовнір М.Ф., Черняк М.Г., Черненко Д.В. та інш. Вимірювальні перетворювачі фізичних величин на поверхневих акустичних хвилях // Электроника и связь. – 2011, № 1(60). – С.153-157.
3. Chernenko D., Zhovnir M., Oliinyk O., Tsyganok B. 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.
4. Zhovnir M.F., Kuzmenko O.M., Pokutnyi S.I. Radio SAW-Sensors for Physical Parameters Measurement / Journal of Applied Chemistry. – 2015, 3(1).- Р. 7-13.
5. Пат. US 7,642,898 B1 США, МПК H04Q 5/22. Orthogonal frequency coding for surface acoustic wave communication, tag and sensor application / Donald C. Malocha (США), Derek Puccio (США); заявл. 12.08.05; опубл. 5.01.10.
6. [Pavlina J. M., Kozlovski N., Santos B. and Malocha D. C. SAW RFID Spread Spectrum OFC and TDM Technology // International Conference on RFID. – 2009. – P. 110 – 116.](Література/Додана/04700%20SAW%20RFID%20Spread%20Spectrum%20OFC%20and%20TDM%20Technology.pdf)
7. [Пат. № UA 777735 U Україна, МПК (2013.01) H03H 9/00, H04Q 5/22 (2006/01)/ Вхідний/вихідний перетворювач для сенсорів на поверхневих акустичних хвилях / Черненко Д. В., Жовнір М. Ф.; заявл. 09.08.2012; опубл. 25.02.2013, бюл. № 4.](file:///D:\University\Аспірантура\Статті%20та%20патенти%20(готові%20матеріали)\Дисертація\Література\Додана\13700%20UA77898U.pdf)
8. [Пат. № UA 77898 U Україна, МПК G01S 13/26, G01S 13/75, H01L 41/08. Пасивна радіомітка на поверхневих акустичних хвилях / Черненко Д. В., Жовнір М. Ф.; заявл. 08.10.2012; опубл. 25.02.2013, бюл. № 4.](file:///D:\University\Аспірантура\Статті%20та%20патенти%20(готові%20матеріали)\Дисертація\Література\Додана\13700%20UA77898U.pdf)

|  |
| --- |
| **Науковий керівник:**  к.т.н., с.н.с. доцент кафедри електронних приладів та пристроїв ФЕЛ НТУУ «КПІ» Жовнір Микола Федорович. |