

Т.М. Залуцька, І.С. Ліхновський, А.І. Озгович, Я.Т. Луцик
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ІМПУЛЬСНОГО ТЕРМОМЕТРА

© Залуцька Т.М., Ліхновський І.С., Озгович А.І., Луцик Я.Т., 2005

Запропоновано віртуальний метод вимірювання часових міжімпульсних інтервалів, який дає змогу підвищити точність вимірювання та завадостійкість ультразвукового термометра.

The virtual method of measurement of temporary intervals between impulses, which allows to raise accuracy of measurement and a noise-immunity of the ultrasonic thermometer, is offered.

В основі імпульсних термометрів лежить використання температурної залежності часового інтервалу між ультразвуковими імпульсами [1].

Для вимірювання середніх та високих температур ефективним є імпульсний термометр із застосуванням як чутливого елемента відрізка тонкого стрижня [2]. Цей термометр працює в режимі відбивання, а часовий інтервал між парою відбитих сигналів від початку і кінця чутливого елемента, пропорційний до температури, визначається як

$$\tau = \frac{2 \cdot L}{v}, \quad (1)$$

де L – довжина чутливого елемента; v – швидкість поширення ультразвукового сигналу в матеріалі, яка залежить від температури.

Для реалізації вимірювання температури, яке полягає у прецизійному вимірюванні часових інтервалів, необхідно вирішити низку питань, пов'язаних з селекцією робочих імпульсів, з формуванням часових міжімпульсних інтервалів, їх вимірюванням та завадостійкістю приладу.

У [3] зроблено ґрунтовний аналіз впливних чинників на похибку вимірювання ультразвуковим імпульсним термометром і показано, що найвпливовішим з них є співвідношення сигнал/шум, яке впливає на формування часових міжімпульсних інтервалів. Хоча застосування спеціалізованих схемних рішень з підвищення завадостійкості в ультразвукових термометрах [4] дає позитивний ефект, але за наявності імпульсних випадкових завад в околі робочого імпульсу, як правило, відбувається перезавантаження приладу у режим повторного пошуку робочих імпульсів, що істотно збільшує час вимірювання. Якщо імпульсна завада буде повторюватись, то вимірювання може взагалі не відбутися.

Тому для підвищення точності вимірювання та завадостійкості в ультразвукових термометрах доцільно відмовитись від проміжного вузла, який забезпечує перетворення послідовності робочих імпульсів у часовий міжімпульсний інтервал. Такий кардинальний крок став можливим у зв'язку з інтенсивним розвитком розвитку комп'ютерної техніки та методів цифрового опрацювання сигналів, а саме створенням віртуальних вимірювальних приладів, зокрема, віртуальних вимірювачів часових інтервалів.

Суть віртуального методу вимірювання полягає в тому, що аналоговий сигнал з виходу первинного перетворювача (ППУ) через підсилювач (ВП) подається на вхід швидкісного аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) (рис. 1), де відбувається перетворення цього сигналу в цифровий код. Послідовність цифрових кодів записується в оперативну пам'ять (ОЗП) комп'ютера (ПК). Причому для підвищення швидкодії обміну даними між АЦП і ОЗП плата АЦП виконана у вигляді вставного модуля в основну процесорну плату ПК. В ПК отриманий обсяг даних опрацьовується за певним програмним алгоритмом, а результат (часовий інтервал або, якщо відома залежність час–температура, температура) виводиться на монітор.

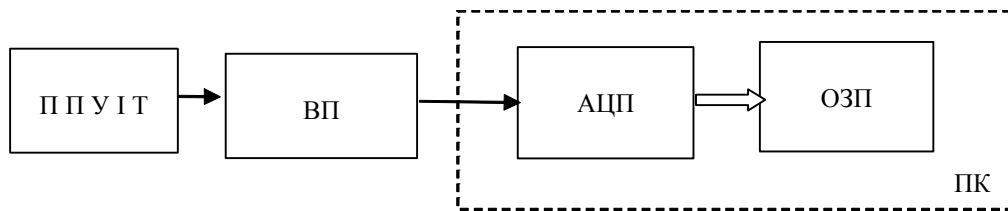


Рис. 1. Функціональна схема віртуального вимірювання міжімпульсних часових інтервалів

У програму визначення часових інтервалів входять дві основні підпрограми:

- підпрограма усереднення, яка працює за методом цифрової синхронної фільтрації;
- підпрограма визначення місцезнаходження робочих імпульсів, яка працює за методом пошуку min/max значень та зміни знаку в кодах.

Застосування методу цифрової синхронної фільтрації дає змогу істотно зменшити вплив шумів на вимірювання. Суть методу полягає в підсумовуванні вибірок сигналу в одній і тій самій точці періоду, тобто з однією і тією самою фазою [5]. Оскільки шуми мають випадковий характер, то за результатом усереднення зменшується рівень шумів, а рівень сигналу залишається незмінним. Позначимо сигнал, що розглядається, як $f(t)$. Сигнал $f(t)$ містить корисну періодичну складову сигналу $s(t)$ і шумову складову $n(t)$:

$$f(t) = s(t) + n(t). \quad (2)$$

Сигнал в k -му періоді позначимо як $f_k(t)$. Шумова складова сигналу в кожному періоді відрізняється, тому записується як $n_k(t)$. Якщо брати один і той самий період, то періодична складова сигналу $s(t)$ завжди однакова. Відповідно прийнятий сигнал $f_k(t)$ визначається як:

$$f_k(t) = s(t) + n_k(t) \quad . \quad (3)$$

Багаторазово прийнявши сигнал $f_k(t)$, визначимо його середнє значення. Нехай N – кількість вимірювань, тоді:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f_k(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N s(t) + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_k(t). \quad (4)$$

У разі збільшення кількості N ми точніше можемо відновити періодичну складову (робочі імпульси) сигналу.

Для підтвердження ефективності цього методу було виконано моделювання віртуального вимірювання за допомогою програмного пакета Micro-Cap.

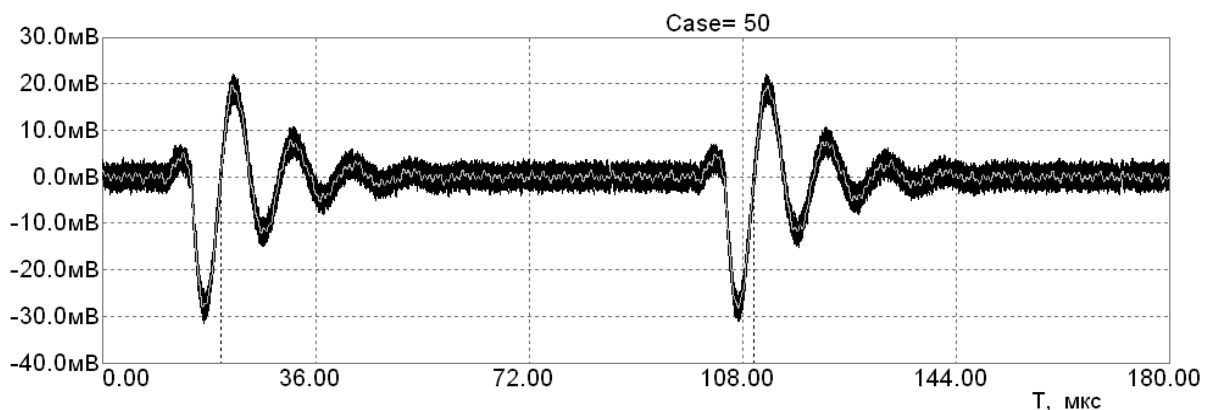


Рис.2 Модель реального сигналу від однозонного чутливого елемента

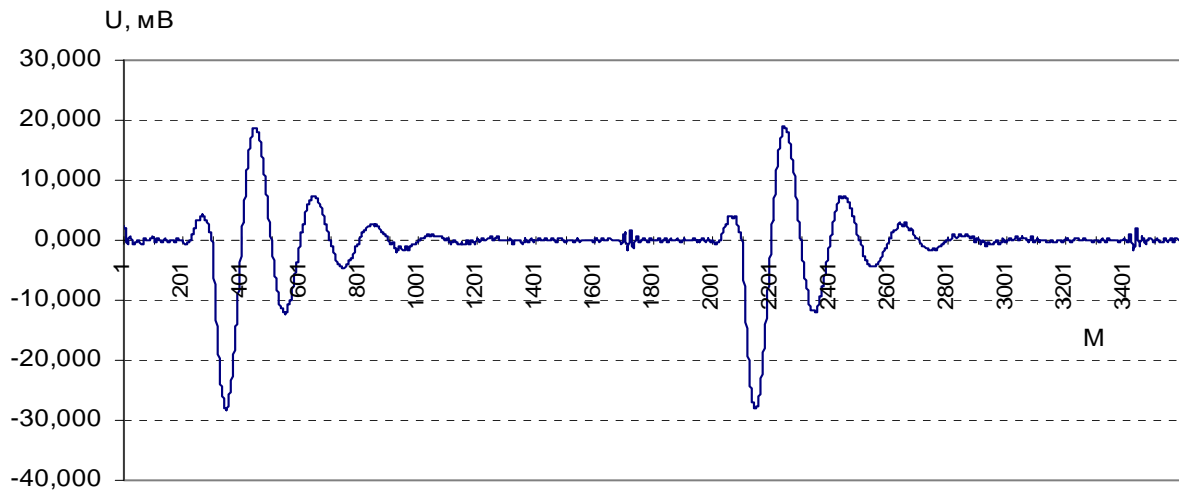


Рис.3. Відновлений сигнал по дискретах після $N=50$ усереднень

Модель реального ультразвукового сигналу подана на рис. 2. На рис 3 показаний відновлений сигнал за дискретами через N вимірювань. Як бачимо, вже для кількості вимірювань $N=50$ відновлений корисний сигнал за своєю формою близький до ідеального.

Використовуючи метод знаходження \min/\max значень та зміни знаку в кодах, визначаємо адреси комірок пам'яті, в яких знак змінюється на протилежний, тобто усереднений сигнал перетинає вісь X . Суть методу полягає в тому, що за відомою формою прийнятих сигналів та орієнтовним часом їх появи (рис.3) ми визначаємо спочатку мінімальне значення коду, яке відповідає мінімуму першої півхвилі робочого імпульсу. Наступним кроком є визначення максимального значення коду, яке відповідає другій півхвилі робочого імпульсу. Причому за відомою частотою акустичного зондувального сигналу можна достатньо точно спрогнозувати появу максимуму після мінімуму. На завершальному кроці визначаємо на проміжку між максимумом та мінімумом комірки пам'яті, де відбувається зміна знаку. Такий алгоритм роботи повторюється для всіх робочих імпульсів. В результаті ми визначаємо адреси комірок пам'яті, де реальний робочий імпульс перетинає вісь абсцис. Знаючи час перетворення АЦП, за (5) визначаємо часовий інтервал:

$$\tau = (M_1 - M_0) \cdot t_{\text{пер}} \quad (5)$$

де M_1 та M_0 – адреси комірок пам'яті; $t_{\text{пер}}$ – час перетворення аналогово-цифрового перетворювача.

Враховуючи те, що в сучасних комп'ютерах час обміну шини даних значно менший за час перетворення аналогово-цифрового перетворювача, то можна вважати, що похибка вимірювання часових міжімпульсних інтервалів визначається часом перетворення аналогово-цифрового перетворювача.

1. Енциклопедія термометрії / Я.Т. Луцик, Л.К. Буняк, Ю.К. Рудавський, Б.І. Стадник. – Львів, 2003.
2. Ліхновський І.С., Луцик Я.Т. Чутливі елементи одно- та багатозонних імпульсних акустичних термометрів // Контрольно-вимірювальна техніка. – 1993. – Вип.50. – С.59–63.
3. Луцик Я.Т., Дорожовець М.М., Ліхновський І.С. Погрешности импульсных ультразвуковых термометров // Измерительная техника. – 1992. – №6. – С.37–38.
4. Ліхновський І.С., Луцик Я.Т. Автоматичний пошук ехосигналів ультразвукового імпульсного термометра // Вісник ДУ "Львівська політехніка". – 1995. – №292. – С.48–50.
5. Сато Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство. – М., 2002. – С.33–36.