

the outset of 2007 and that is why classes lasting only one semester were so far conducted there.

Laboratories consecrated to general robotics [4] do not allow acquaintance with robot sensors in such a great degree. That is why preparing specialist laboratories is advisable.

Classes that were so far carried out prove that the hereby subject is crucial for the future industrial robot specialists. Due to the variety of sensors (induction, capacitive, ultrasonic, optoelectronic) and hundreds of types included in one kind, experience in choosing sensors for certain applications is essential. Many factors have influence on it, e.g. place of fastening, type of the material used, color and texture of the surface, potential disruptions, contamination, pollination, lighting. The prepared laboratory allows to familiarize with properties of those sensors and consequently to make the right choice for the given application.

It is also a good idea to demand that students connect the measuring system on the basis of original documentation of the sensors. Not having ready systems at

their disposal, as it sometimes happens in other laboratories, students overcome problems which they may face during the engineering work. During the first classes, it may cause some problems but as the students gain experience, classes are conducted smoothly.

*1. J. Honczarenko. Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2004. 2. M. Milek. Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego. Zielona Góra 2006. 3. D. Świsulski. Pomiar położenia wrzeciona zaworów regulacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 223, seria Elektrotechnika z. 28, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005, Materiały XIII Międzynarodowego Seminarium Metrologów, Rzeszów 17-19 października 2005, p. 199-206. 4. D. Kumar, L. Meeden. A Robot Laboratory for Teaching Artificial Intelligence. The Proceedings of the Twenty-ninth SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE-98), ACM Press, 1998, p. 341-344.*

УДК 536.51:534.8

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРМОМЕТРІЇ

© Залуцька Тетяна, Луцик Ярослав, Сколоздра Ярослав, Михалик Богдан, 2008

Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

[ivt@polynet.lviv.ua](mailto:ivt@polynet.lviv.ua)

*Наведено результати дослідження акустичних властивостей матеріалів для ультразвукової термометрії. Дослідження виконано на дослідному комплексі, в основі якого швидкісний аналого-цифровий перетворювач.*

*Приведены результаты исследований акустических свойств материалов для ультразвуковой термометрии. Исследования проводились на исследовательском комплексе, в основе которого лежит быстродействующий аналого-цифровой преобразователь.*

*There are shown the results of researches acoustic properties of materials for the sensible elements of ultrasonic materials. For researches acoustic properties an experimental complex based on fast-acting analog-digital transformer.*

**Вступ.** Чутливий елемент ультразвукового імпульсного термометра – це ланка, яка забезпечує високі метрологічні характеристики засобу вимірювання. У ході досліджень експериментальних зразків ультразвукових термометрів було виявлено, що такі характеристики, як чутливість, діапазон вимірюваних температур, стабільність, ресурс тощо залежать

передовсім від властивостей матеріалу чутливого елемента термометра. Але відсутність достатньої інформації про температурні залежності пружних властивостей твердих матеріалів сьогодні обмежує вибір матеріалів для створення чутливого елемента ультразвукового термометра.

Актуальність дослідження характеристик матеріалів для створення чутливих елементів зумовлена потребою удосконалення сучасних ультразвукових термометрів та пошуку альтернативи термометрам на основі шляхетних металів, зокрема платини.

**Постановка задачі.** Основними акустичними властивостями матеріалів є швидкість поширення та згасання ультразвукового сигналу. Для визначення швидкості сигналу необхідно прецизійно виміряти час проходження сигналу через чутливий елемент. Власне точне вимірювання часового інтервалу проходження сигналу є певною проблемою ультразвукових термометрів. Сьогодні для цього існують спеціальні методи, які детально описані в [1, 2], але вони не забезпечують необхідної точності.

Для розв'язання цієї задачі запропоновано не покращувати відомі методи, а застосувати новий, надійніший та точніший. Пропонується оцифрувати ультразвуковий сигнал за допомогою швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача. Це дає можливість значно підвищити точність вимірювання часового інтервалу, а також візуалізувати ультразвуковий сигнал у динамічному режимі, що уможливорює визначення температурної залежності амплітуди (згасання) ультразвукового сигналу в матеріалі.

**Розв'язання задачі.** Для вимірювання часового інтервалу на першому етапі необхідно було визначити метод вимірювання. Для цього було здійснено моделювання ультразвукового сигналу з використанням системи автоматичного моделювання Micro-Cap 7.0 (рис.1). Проаналізувавши відомі методи, вирішили застосувати метод переходу сигналу через вісь X для визначення часового інтервалу. Суть методу полягає в тому, що на ділянці в діапазоні точок X1...X10 необхідно визначити точку, в якій сигнал перетинає вісь X. Щоб визначити точку переходу через вісь X, необхідно здійснити апроксимацію цієї ділянки.

Апроксимація була виконана поліномами від 1-го до 9-го порядку для n-1 точок. Здійснити апроксимацію для різної кількості точок різними поліномами було необхідно для того, щоб визначити найоптимальніший метод за найкоротший час, оскільки час, який витрачається на розрахунок значення часового інтервалу, значно впливає на загальний час вимірювання. Для визначення точок апроксимації застосовується метод min/max значень та зміни знака у кодах, визначаються адреси комірок пам'яті, в яких

змінюється знак на протилежний, тобто реальний сигнал переходить через вісь X.

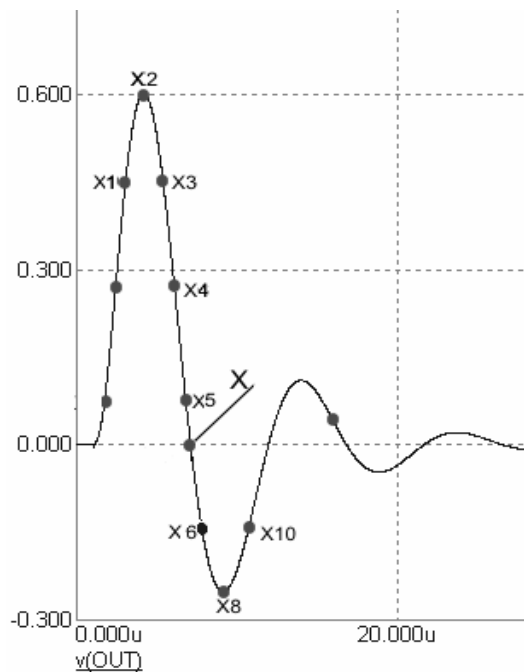


Рис. 1. Змодельований ультразвуковий сигнал

За відомими значеннями точок за формулою (1) визначаємо точку, де сигнал перетинає вісь X:

$$X = X5 + \frac{Y5}{Y5 + Y6} \quad (1)$$

Далі за відомим часом перетворення аналого-цифрового перетворювача за формулою (2) визначаємо часовий інтервал поширення ультразвукового сигналу:

$$t = t_{nep} \cdot X, \quad (2)$$

де  $t$  – часовий інтервал,  $t_{nep}$  – час перетворення аналого-цифрового перетворювача.

Для досліджень характеристик матеріалу був створений дослідний комплекс, в основі якого лежить застосування швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача. Оцифрування сигналу дало можливість точніше вимірювати швидкість проходження ультразвукового сигналу, визначати амплітуду і візуалізувати сигнал.

**Результати експериментальних досліджень.** На дослідницькому комплексі були здійснені експериментальні дослідження низки матеріалів на основі нікелю – хромелю, копелю, алюмелю. Вибір цих матеріалів є не випадковим. Як відомо, ці матеріали добре

зарекомендували себе у термоелектричній термометрії, де широко застосовують як компоненти термоелектричного термометра. Зокрема, цим матеріалам

притаманна висока стабільність властивостей при застосуванні у діапазоні середніх температур в різних середовищах [4].

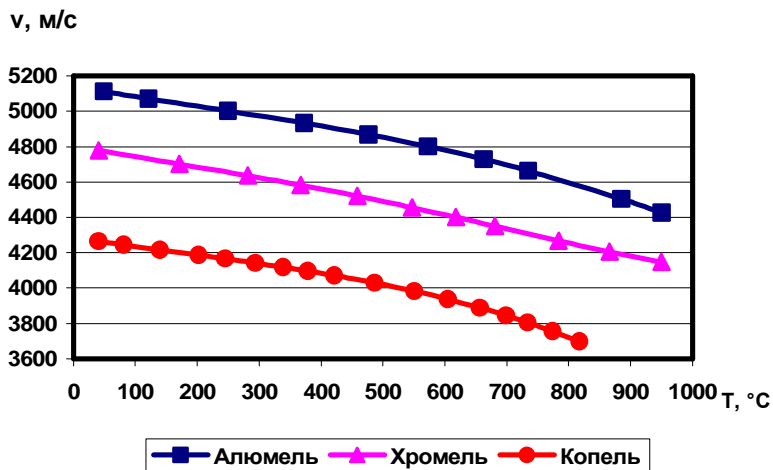


Рис. 2. Температурна залежність швидкості поширення ультразвукового сигналу

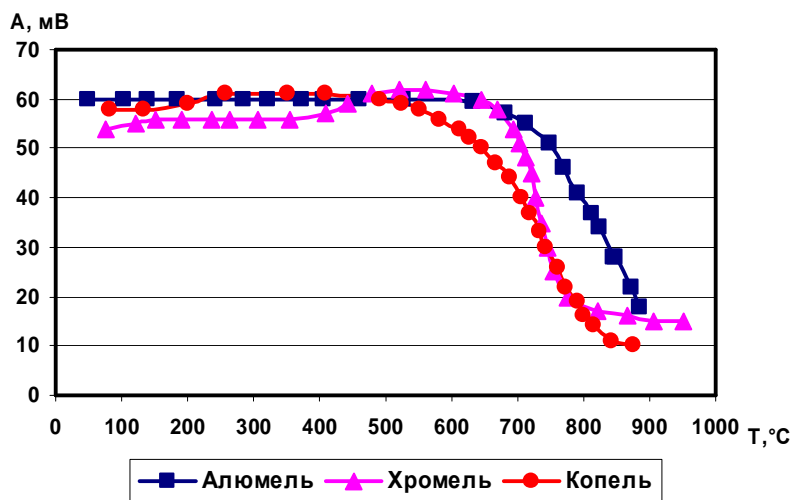


Рис. 3. Температурна залежність загасання ультразвукового сигналу

Експериментальні зразки досліджували у діапазоні температур 0...1000 °С. Нагрівання тривало до того моменту, поки була можливість реєструвати сигнал. Результати виконаних досліджень показані на рис. 2. Як бачимо, для всіх матеріалів характерна нелінійна залежність швидкості проходження ультразвукового сигналу від температури. Нами була

здійснена апроксимація отриманих даних декількома залежностями, такими, як експоненційна, дробово-раціональна та поліномна. Найкращі результати були одержані із застосуванням полінома четвертого та п'ятого ступеня, за якого похибка апроксимації становила 0,1% для копелю і алюмелю і 0,08% для хромелю. Були отримані такі залежності:

- для алюмелю

$$F(T) = 136.99802 + 6.38 \times 10^{-3} T + 3.0482636 \times 10^{-5} T^2 - \\ - 3.3337306 \times 10^{-8} T^3 + 1.9440291 \times 10^{-12} T^4 + \\ + 2.1656614 \times 10^{-14} T^5;$$

- для хромелю

$$F(T) = 145.47783 + 2.3206261 \times 10^{-2} T - 2.5994629 \times 10^{-5} T^2 + \\ + 5.7805702 \times 10^{-8} T^3 - 3.0536176 \times 10^{-11} T^4;$$

- для копелю

$$F(T) = 164.01974 + 7.6237523 \times 10^{-3} T + 5.6330937 \times 10^{-5} T^2 - \\ - 1.3413421 \times 10^{-7} T^3 + 1.8117953 \times 10^{-10} T^4 + \\ + -7.1356649 \times 10^{-14} T^5.$$

Важливою характеристикою матеріалу, яка визначає верхню межу застосування, є загасання ультразвукового сигналу. Згідно з [2] для твердих матеріалів бажано дотримуватись такої умови:

$$T_{\max} < 0,5T_{\text{топ}}, \quad (3)$$

де  $T_{\max}$  – максимальна вимірювана температура,  $T_{\text{топ}}$  – температура топлення матеріалу. Ця умова впливає з того, що за температур вище за  $0,5T_{\text{топ}}$  стрімко інтенсифікуються процеси рекристалізації, а паралельно спостерігається значне зростання рівня внутрішніх втрат. Зокрема, це явище спостерігалось і доволі детально було вивчено у вольфрамі, молібдені та їхніх стопах. Результати досліджень температурної

залежності амплітудних характеристик сигналу у нікелевих стопах, подані на рис. 3, показали, що досліджуваним зірцям також притаманне зростання внутрішніх втрат (внутрішнього тертя).

Як видно з графіків, з підвищенням температури спочатку спостерігається незначне зменшення рівня внутрішніх втрат, а потім, після досягнення  $0,5T_{\text{топ}}$ , спостерігається поступове збільшення рівня внутрішнього тертя, що приводить практично до мінімального значення амплітуди.

**Висновок.** Досліджено акустичні властивості матеріалів на основі нікелю, в результаті чого було виявлено, що найперспективнішими матеріалами для чутливих елементів ультразвукових термометрів є алюмель та хромель для вимірювання температури у діапазоні середніх температур.

1. Луцик Я.Т., Буняк Л.К., Рудавський Ю.К., Стадник Б.І. *Енциклопедія термометрії*. – Львів, 2003. – С.121–123.
2. Луцик Я., Буняк Л., Стадник Б. *Застосування ультразвукових сенсорів*. – Львів, 1998.
3. Луцик Я.Т., Дорожовець М.М., Лихновський І.С. *Погрешности импульсных ультразвуковых термометров // Измерительная техника*. – 1992. – №6. – С.37–38.
4. Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. *Сплавы для термометров*. – М., 1983.