

УДК 004.31

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-18

Пташенчук В.В., Денисюк В.Ю.

Луцький національний технічний університет

## РОЗРОБЛЕННЯ БЛОКУ ЦИФРОВОЇ ІНДИКАЦІЇ ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНОГО ТВЕРДОМІРА

В статті представлений цифровий блок індикації електроакустичного твердоміра. Представлена функціональна схема цифрового електроакустичного твердоміра та основні залежностей, які описують його роботу. Застосування блоку з цифровою індикацією показів дозволяє підвищити точність та продуктивність процесу вимірювання твердості виробів зі сталі в ході використання електроакустичного твердоміра моделі ТЕА-5. Підвищення точності процесу вимірювання забезпечується за рахунок цифрової індикації результатів вимірювання, яка виключає суб'єктивну похибку оператора при знятті показів. Продуктивність процесу вимірювання визначається часом підрахунку імпульсів і набагато перевищує продуктивність вимірювання за допомогою аналогового реєструвального пристрою.

**Ключові слова:** вимірювання, твердомір, електроакустика, квантування, дискретизація, продуктивність, точність.

**Постановка проблеми.** Аналогові вимірювання по ряду важливих характеристик значно поступаються цифровим вимірювальним приладам. При цифровому способі відлік зчитується без похибки. При аналоговому методі перетворення вимірювального значення в число проводиться оператором та в значній мірі залежить від його професіоналізму та іншого ряду людських факторів. Аналогові методи в порівнянні з цифровими є менш точними. При дослідженні механічних характеристик конструкційних матеріалів в ході застосування прогресивних технологій оброблення, до яких належать переривчасте шліфування [4] застосовуються методи вимірювання твердості за методом Брінелля [1], Роквелла [2] та Віккерса [3] залежно від властивостей та характеристик досліджуваного матеріалу. Механічні методи дослідження твердості трудомісткі та передбачають використання непрямих методів вимірювання для знаходження твердості матеріалу. Застосування електронних твердомірів дає можливість підвищити ефективність процесу вимірювання твердості матеріалів та передбачає застосування відповідних давачів та цифрових схем [5].

**Мета статті (формулювання цілей статті).** Метою роботи є вдосконалення електроакустичного твердоміра моделі ТЕА-5 (рис. 1) для підвищення точності та продуктивності процесу вимірювання за рахунок використання показуючого пристрою з цифровою індикацією показів.

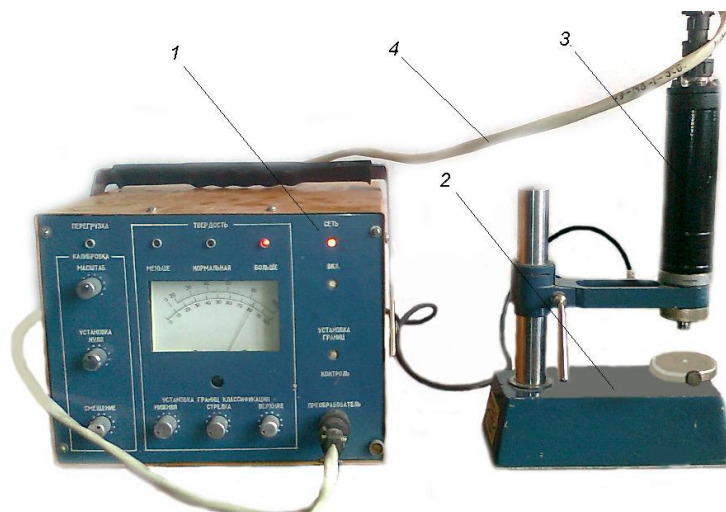


Рисунок 1 – Електроакустичний твердомір ТЕА-5:

- 1 – електронний блок; 2 – пристрій для калібрування; 3 – перетворювач;  
4 – з'єднувальний кабель

**Виклад основного матеріалу.** Електроакустичний твердомір містить акустичний стержневий перетворювач 1 (рис. 2) з магнітострикційного матеріалу та індентором 2 на кінці, закріплену на стержні інерційну масу 3, п'єзоперетворювач 4 та з'єднаного з ним підсилювача 5. Реєструючий прилад модернізованого приладу виконаний у вигляді послідовно з'єднаних формувача 7 імпульсів, вхід якого підключений до виходу підсилювача 5, першого лічильника 8 імпульсів зі зворотнім зв'язком, першої двоходової схеми 9, другої двоходової схеми 10, другого лічильника імпульсів 11, дешифратора 12 та цифрового індикатора 13. Формувач 7 з'єднаний з частотним компаратором 14, прямий вихід якого з'єднаний з входом «Скидання» другого лічильника 11, а інверсний вихід з входом «Скидання» першого лічильника 8, задавача частоти 15, з'єднаного з другим входом частотного компаратора 14, а вихід з другим входом першої схеми 9 та з'єднаного виходом з другим входом другої схеми 9 генератора імпульсів 17.

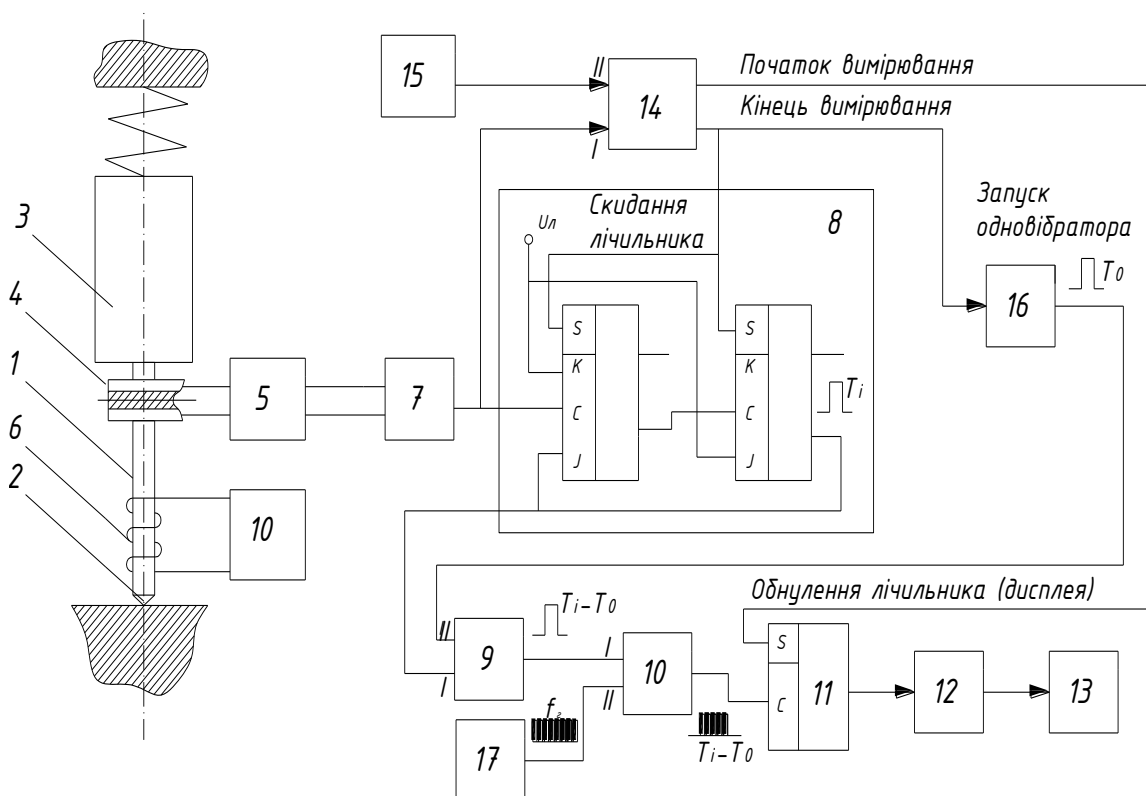


Рисунок 2 – Функціональна схема цифрового електроакустичного твердоміра ТЕА-5:  
 1 – магнітострикційний стержень; 2 – наконечник (індентор); 3 – маса; 4 – п'єзоелемент (кристал кварцу); 5 – підсилювач; 6 – котушка збудження; 7 – формувач імпульсів;  
 8 – лічильник; 9 – схема збігу; 10 – схема збігу; 11 – лічильник; 12 – дешифратор;  
 13 – цифровий індикатор; 14 – частотний компаратор; 15 – регульований генератор частоти;  
 16 – одновібратор; 17 – генератор імпульсів еталонної частоти

Змінне магнітне поле створюване котушкою 6 викликає акустичні коливання стержня 1, при цьому в п'єзоелементі виникає змінний струм, а в описаному контурі виникають незатухаючі автоколивання на резонансній частоті перетворювача 1. При цьому резонансна частота автоколивань перетворювача до впровадження індентора 2 в контрольований виріб значно менша ніж в режимі вимірювання. При встановленні стержневого перетворювача 1 на контрольований зразок та впровадження індентора 2 резонансна частота перетворювача 1 різко зростає і в режимі вимірювання її значення лінійно пов'язане з твердістю контрольованого виробу по Роквеллу (рис. 3).

При впровадженні індентора 2 в контрольований виріб співвідношення (1) порушується в результаті відбувається переключення частотного компаратора 14. При цьому на його інверсному виході виникає від'ємний імпульс, що забезпечує скидання першого лічильника 8 та запуск одновібратора 16. Після цього перший лічильник 8 починає доповнюватись прямокутними імпульсами з виходу формувача 7, частота яких рівна частоті перетворювача 1,

навантаженого на контрольований виріб. По заповненню першого лічильника відбувається запирання його по входу за рахунок зворотного зв'язку.

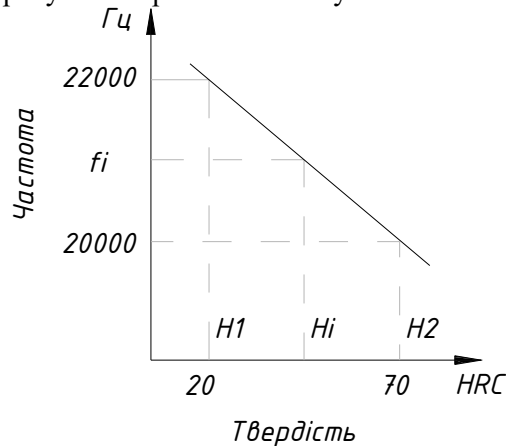


Рисунок 3 – Залежність частоти магнітострикційного стержня від твердості зразка

За час заповнення лічильника 8 на його виході формується прямокутний імпульс амплітудою  $U_{cl}$  (рис. 4, а, б), тривалістю якого та ємністю першого лічильника визначають твердість контрольованого виробу. При цьому ємність лічильника визначається наступною залежністю:

$$T_i = \frac{n}{f_i} \quad (1)$$

На виході одновібратора 16 формується прямокутний імпульс амплітудою  $U_0$  та тривалістю  $T_0$ , що визначаються налаштуванням одновібратора згідно умови 3.

Вказаний імпульс надходить на другий вхід схеми 9, на перший вхід якого надходить прямокутний імпульс тривалістю  $T_i$  з виходу першого лічильника 8. При цьому на виході схеми 9 формується імпульс  $U_i$  (рис. 4. г, д) тривалістю  $T_i$ , яка рівна різниці тривалості імпульсів:

$$T_i - T_0 = \frac{n}{f_i} - T_0 \quad (2)$$

Цей імпульс надходить на перший вхід схеми 10 (рис. 2). На другий вхід схеми 10 надходить прямокутний імпульс амплітудою  $U_z$  (рис. 4, е) з виходу генератора 17, частота якого визначається умовою 4.

Електроакустичний твердомір з цифровою індикацією вимірювальної величини працює наступним чином:

- вибирають частоту давача частоти  $f_0$ , яка повинна бути більшою від частоти  $f_0$  перетворювача до впровадження індентора, але меншою від резонансної частоти  $f_2$  для найбільш твердого досліджуваного виробу (мінімальна частота в режимі резонансної вимірювання), тобто:

$$f_0 < f_0 < f_2 \quad (3)$$

- частоту генератора імпульсів  $f_z$  вибирають з наступної умови:

$$f_z = \frac{f_1 \cdot H_1}{n - f_1 \cdot T_0}, \quad (4)$$

де  $H_1$  – число твердості найменш твердого досліджуваного зразка;

$f_1$  – резонансна частота магнітострикційного стержня для найменш твердого зразка, Гц;

$n$  – ємність першого лічильника 8;

$T_0$  – тривалість імпульса на виході одновібратора 16.

Тривалість імпульсу на виході одновібратора визначають за наступною залежністю:

$$T_0 = \frac{n(H_2 f_2 - H_1 f_1)}{f_1 f_2 \cdot (H_2 - H_1)}, \quad (5)$$

де  $H_2$  – показник твердості для найбільш твердого зразка.

При цьому на виході схеми 10 діє послідовність прямокутних імпульсів  $U_{вих}$  (рис. 4, ж, з) з частотою  $f_{\omega}$ , загальне число яких рівне твердості контролюваного виробу. Ця послідовність імпульсів надходить на вхід лічильника 11 (рис. 2), а з його виходу через дешифратор 12 на цифровий індикатор 13, на якому висвічується результат вимірювання у вигляді числа твердості за шкалою Роквелла.

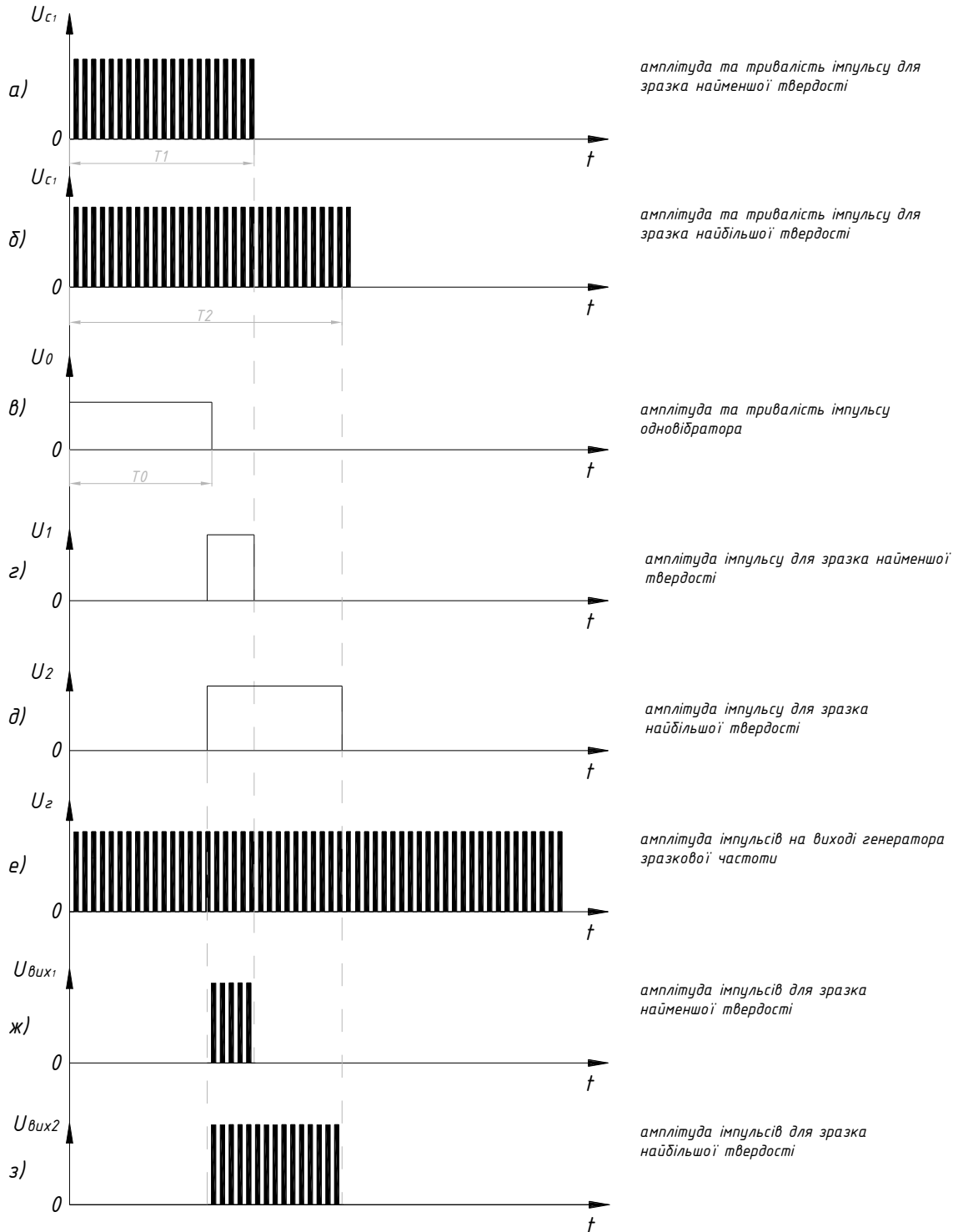


Рисунок 4 – Електрична напруга в різних точках схеми цифрового електроакустичного твердоміра ТЕА-5

При цьому покази для зразка найменшої та найбільшої твердості відповідно будуть визначатися відношенням (рис. 4, ж, з):

$$H_1 = \left(\frac{n}{f_1} - T_0\right) f_z \quad (6)$$

$$H_2 = \left(\frac{n}{f_2} - T_0\right) f_z \quad (7)$$

Провівши розв'язок отриманої системи рівнянь відносно  $T_0$  та  $f_z$  прийдемо до співвідношень (4) та (5), які визначають умови налаштування одновібратора 16 та генератора 17 (рис. 2). При схемі не контактування стержневого перетворювача 1 (рис. 2) з контрольованим виробом резонансна частота перетворювача 1 знову різко змінюється, що призводить до виконання умови (3) та переключення частотного компаратора 14. Від'ємний імпульс з його прямого виходу забезпечує скидання лічильника 11, після чого прилад готовий до проведення нового циклу вимірювальних операцій.

**Висновки.** Підвищення точності процесу вимірювання твердості конструкційних чорних металевих матеріалів типу підшипникової сталі ШХ-15 та інших електроакустичним твердоміром ТЕА-5 забезпечується за рахунок цифрової індикації результатів вимірювання, яка виключає суб'єктивну похибку оператора при знятті показів та дає можливість проводити вимірювання з точністю до однієї десятої НВ, що неможливо при використанні аналогового показуючого відлікового механізму. Продуктивність процесу вимірювання визначається часом підрахунку імпульсів та перевищує продуктивність вимірювання за допомогою аналогового реєструвального пристрою.

#### Інформаційні джерела

1. ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT) Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 1. Метод випробування. [Чинний від 01.11.2019]. Київ, 2019. (ГП «УкрНИУЦ»).
2. ДСТУ ISO 6508-2:2010 (ISO 6508-1:2005, IDT) Національний стандарт України. Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 2. Повірка та калібрування приладів для вимірювання твердості (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T). [Чинний від 01.07.2014]. Київ, 2013. (ТК «Стандартизація методів контролю механічних, металографічних та корозійних властивостей металопродукції»).
3. ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT). Поправка № 1. [Чинний від 01.02.2018]. Київ, 2018. (ДП «УкрНДНЦ»).
4. Пташенчук В.В., Денисюк В.Ю., Заблоцький В.Ю., Захарчук Д.А. Підвищення ефективності оброблення торців кілець роликотпідшипників методом переривчастого шліфування. Монографія. – Луцьк: Вежа-Друк, 2017. 128 с.
5. Кравченко М. О., Музиченко Д. А., Кулік Т. І., Стаценко Д.В. Електронний твердомір для неруйнівного контролю характеристик деталей. Київський національний університет технологій та дизайну. Сучасні електромеханічні та інформаційні системи, 2021. 181-188 с.

**Ptashenchuk V., Denysiuk V.**

Lutsk National Technical University

#### UNIT OF DIGITAL INDICATION OF THE ELECTROACOUSTIC HARDNESS METER

*The article presents a digital display unit of an electroacoustic hardness tester. A functional diagram of a digital electroacoustic hardness tester and the main dependencies describing its operation are presented. The use of a block with a digital indication of readings allows to increase the accuracy and productivity of the process of measuring the hardness of steel products during the use of the TEA-5 electroacoustic hardness tester. Increasing the accuracy of the measurement process is ensured by the digital indication of the measurement results, which excludes the subjective error of the operator when taking readings. The performance of the measurement process is determined by the pulse counting time and far exceeds the performance of the measurement using an analog recording device.*

**Key words:** measurement, hardness tester, electroacoustic, quantization, discretization, performance, accuracy.