

СЕКЦІЯ 10

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 620.9

ВІРТУАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ МАГНІТОСТРИКЦІЙНОГО ЕФЕКТУ

¹⁾Козир О. В, ²⁾Богачев І. В., ¹⁾Беднарська А. С.

¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²⁾Інститут загальної енергетики НАН України, Київ, Україна

E-mail: oleg.kozyr@aer.kpi.ua, biv_vdoe@ukr.net, anzelabednarskaa3@gmail.com

Цифровий аналіз сигналів в ультразвуковому контролі має велике значення оскільки основний параметр дослідження – час затримки, який визначає глибину проникання зонduючого імпульсу, розраховується на основі локалізації початку імпульсу у вимірній вибірці значень напруги. Точність визначення часу затримки залежить напряду від точності встановлення початку зонduючого та відбитого імпульсів. Масиви значень напруги зонduючого та відбитого імпульсів містять збурення (шуми), які вносяться вимірювальними каналами, середовищем, в якому розповсюджуються імпульси, та зовнішніми завадами.

Ультразвуковий контроль як в лабораторних, так і у виробничих умовах супроводжується значною кількістю багаторазових вимірювань та відповідно отриманням значної кількості масивів даних. Актуальним завданням є автоматизація процесу аналізу ультразвукових сигналів та визначення основних параметрів ультразвукового контролю.

П'єзоелектричні давачі є поширеними пристроями отримання ультразвукових імпульсів. Тривале їх використання дозволило розробити апаратні засоби зниження впливу завад для підвищення точності ультразвукових вимірювань. Проте недоліком п'єзоелектричних давачів є високі вимоги до форми та стану контактної поверхні. Щоб позбутись вказаних недоліків цих давачів, проводяться дослідження для їх заміни давачами, побудованими на інших фізичних ефектах. Перспективним напрямом в ультразвуковому контролі є використання малоапертурних давачів на основі магнітострикційного ефекту [1]. Дані давачі майже повністю позбавлені залежності від стану та форми поверхні, у порівнянні з п'єзоелектричними давачами. Через це вони можуть бути використані для контролю зразків невеликих розмірів та складної геометричної форми. Тому системи ультразвукового контролю, розроблені на основі магнітострикційних давачів, є

потенційними конкурентами систем з п'єзоелектричними давачами для дослідження зразків складної форми поверхні [2].

Недоліком малоапертурних магнітострикційних давачів є атенюація амплітуди імпульсу при проходженні крізь матеріал зразку внаслідок ненапрямлених перетворювачів. Через малі значення амплітуди відбитого імпульсу отриманий сигнал має мале значення відношення сигнал/шум. У свою чергу це призводить до збільшення невизначеності результату вимірювання часу затримки ультразвукового сигналу.

Позбутися даного недоліку магнітострикційних давачів можна шляхом програмної обробки ультразвукових сигналів. Для цього був розроблений віртуальний пристрій аналізу ультразвукових сигналів із використанням середовища LabVIEW. Даний пристрій працює в офлайн режимі із CSV файлами, отриманих в результаті вимірювань.

Досліджуваний CSV файл містить напруги зонduючого та відбитого ультразвукових імпульсів. У віртуальному пристрої дані вимірювання представлені масивами дійсних чисел з плаваючою точкою подвійної точності. Для проведення аналізу дані масиви потрібно розділити на наступні діапазони [3]:

$$U(t) = \begin{cases} U_0(t), & 0 \leq t < t_0 \\ U_T(t), & t_0 \leq t < 2T \\ U_0(t), & t_0 + 2T \leq t < t_{end} \end{cases}, \quad (1)$$

де $U(t)$ – масив значень напруги, В; $U_0(t)$ – діапазон значень напруги, який не містить імпульс, В; $U_T(t)$ – діапазон значень напруги, який містить імпульс, В; t_0 – час початку імпульсу, мкс; T – період імпульсу, мкс; t_{end} – тривалість вибірки.

Розроблений віртуальний пристрій дозволяє позбутись шумів у виміряному імпульсі за рахунок цифрової фільтрації. Крім того, оскільки процес фільтрації створює зсув фаз у сигналі, застосовується методика подвійної фільтрації для видалення впливу зсуву фаз. На Рис. 1 наведено приклад обробки зонduючого сигналу з періодом 2 мкс. Графік (Рис. 1) відображає тільки зонduючий сигнал: до обробки та після. Як можна побачити, оброблений сигнал має велике значення відношення сигнал/шум. Початок зонduючого імпульсу t_0 (1) був визначений з високою точністю за рахунок використання запропонованого підходу [3].

Відбитий імпульс наведено на Рис. 2. Так само, графік містить вимірюваний та оброблений сигнали. Як можна побачити, даний сигнал містить значні завади на початку, які вносяться зонduючим імпульсом (Рис. 2). Сам відбитий імпульс знаходиться в кінці графіку та значно менший за максимум завад (права

шкала). Наявність завади на початку створює труднощі для автоматичного визначення початку відбитого імпульсу.

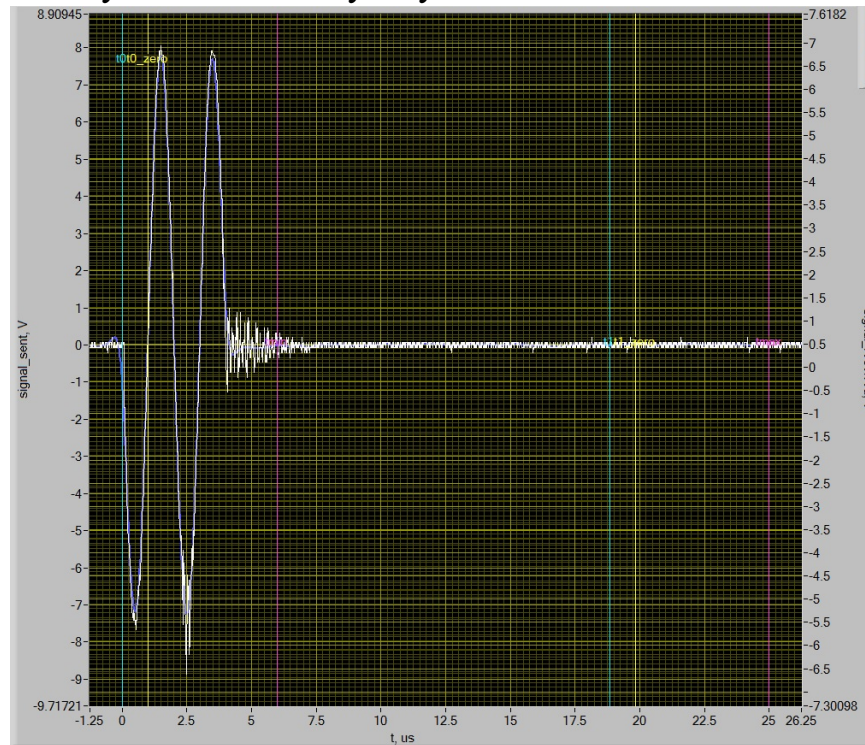


Рис. 1. Зондуєчий імпульс до обробки та після

Крім того, сам сигнал має мале значення відношення сигнал/шум. Тому аналіз даного сигналу для визначення початку імпульсу має значні труднощі.

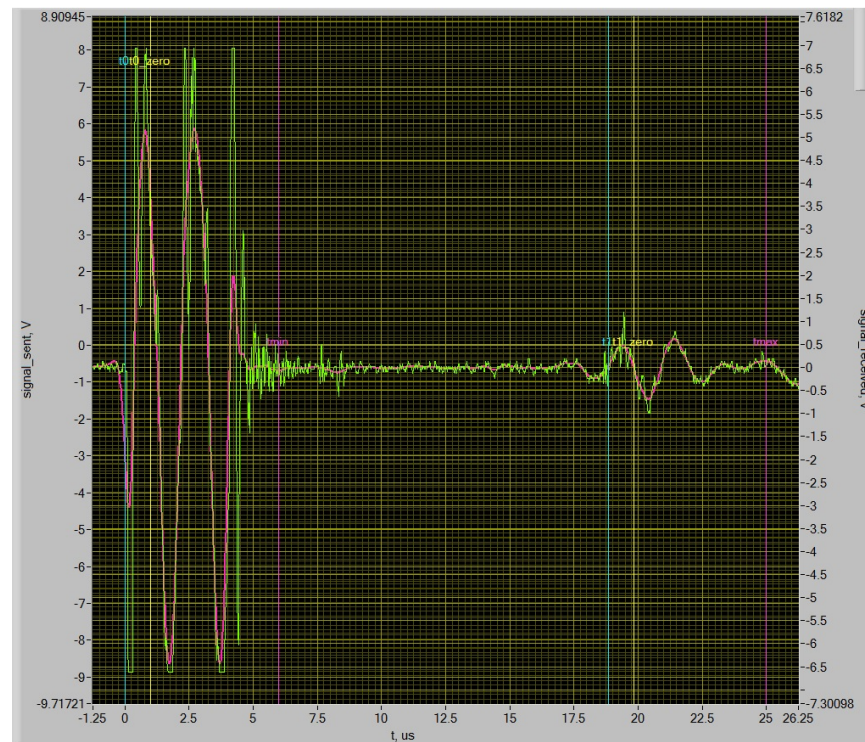


Рис. 2. Відбитий імпульс до оброблення та після

Але як можна бачити з Рис. 2 початок відбитого імпульсу був визначений досить точно зважаючи на рівень завад. На Рис. 3 наведено збільшений відбитий сигнал. Графік на Рис.3 дозволяє оцінити рівень завад та точність визначення початку відбитого імпульсу.

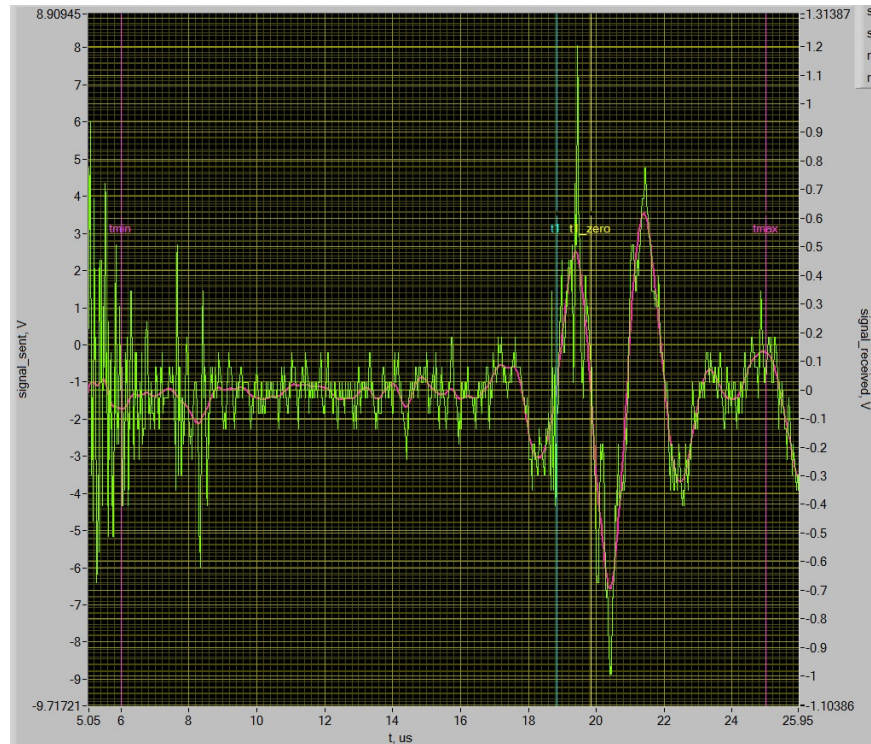


Рис. 3. Визначення початку відбитого імпульсу

Таким чином, розроблений віртуальний пристрій дозволяє визначати час затримки відбитого від завади імпульсу з високою точністю навіть у сигналів на фоні значних завад.

Ключові слова: ультразвуковий сигнал, цифрова обробка, магнітострикційний сенсор, віртуальні пристрої, LabVIEW, неруйнівний контроль.

Література

- [1] Ihor Bohachev, Vitalij Babak, and Artur Zaporozhets, "Novel Small-Aperture Transducers Based on Magnetostrictive Effect For Diagnostic Systems," *Technical Electrodynamics*, no. 3, pp. 69-78, 2022. <https://doi.org/10.15407/techned2022.03.069>.
- [2] I. Bohachev, "Control of elements of construction machines and metal structures using low-aperture magnetostrictive sensors," *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, no. 41(4), pp. 78-83, 2019. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.11>.
- [3] I. Bohachev, O. Kozyr, and S. Sozonov, "Reducing the influence of noise on the accuracy of ultrasonic pulse onset detection," *System Research in Energy*, no. 1(81), pp. 85-99, 2025. <https://doi.org/10.15407/srenergy2025.01.085>