

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИМІРЮВАЛЬНОМУ КАНАЛІ ВИХРОСТРУМОВОГО ДЕФЕКТОСКОПУ

В. В. ДОЛИНЕНКО¹, С. В. ШАПОВАЛОВ¹, Ю. В. КУЦ², М. О. РЕДЬКА², В. М. УЧАНІН³

¹ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

³Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5.

E-mail: vuchanin@gmail.com

Розроблено імітаційну модель аналогової частини вимірювального тракту дефектоскопу, призначеного для використання в автоматизованих системах вихрострумowego контролю, а також віртуальний стенд та методику для її випробувань. На розробленій моделі виконано дослідження перехідних процесів в аналоговому тракті дефектоскопу для різних типів вхідних вихрострумowych перетворювачів. Результати досліджень можуть бути використані для коригування алгоритмів автоматичного калібрування і опрацювання інформаційних сигналів та прийняття рішень в автоматизованих системах вихрострумowego контролю. Бібліогр. 12, рис. 9.

Ключові слова: автоматичний вихрострумовой дефектоскоп, вихрострумовой сигнал, імітаційна модель, амплітудна і фазова модуляція, перехідний процес

Вихрострумовой неруйнівний контроль (ВСНК) [1, 2] виробів з електропровідних матеріалів є важливою складовою в структурі технологічних процесів їх виготовлення та обслуговування. Поява нових конструкційних матеріалів, удосконалення технологічних процесів, більш жорсткі умови експлуатації виробів, необхідність підвищення продуктивності контролю – все це стимулює процес удосконалення існуючих та розроблення нових методів за засобів ВСНК, які орієнтовані на виключення впливу людського фактору, забезпечення підвищення вірогідності та надійності результатів контролю та діагностування [3–5].

В умовах зростання обсягів промислового виробництва, підвищення вимог до якості продукції та її конкурентоздатності, збільшення обсягів операцій ВСНК завдання автоматизації неруйнівного контролю [6] стає в ряд першочергових. В роботі [7] наведено приклади автоматизованих систем ВСНК для виявлення дефектів на внутрішній і зовнішній поверхнях труб печей вторинного риформінгу, комплексного контролю колісних пар, прокату з алюмінієвих сплавів, торцевих зварних з'єднань та ін. Зручність ВСНК для автоматизації забезпечується тим, що він реалізується без фізичного контакту вихрострумowego перетворювача (ВСП) та об'єкту контролю (ОК). Взаємодія останніх зазвичай відбувається на відстанях, достатніх для вільного руху ВСП відносно ОК (від часток міліметра до декількох міліметрів) з високою швидкістю.

Ще більш широкі можливості надає поєднання промислових роботів-маніпуляторів [8], сучасних

інформаційно-вимірювальних технологій і методів цифрового оброблення інформаційних сигналів ВСНК. Структура такої системи запропонована у роботі [9].

Аналіз робіт за вказаною тематикою [6–11] засвідчив, що питання опрацювання інформаційних сигналів в таких система здебільшого лишається поза увагою авторів. В той же час дефектоскопи для роботизованих систем ВСНК повинні забезпечувати можливість роботи в динамічному режимі. Мета статті полягає у створенні імітаційної моделі аналогової частини вимірювального тракту вихрострумowego дефектоскопу роботизованої системи неруйнівного контролю і дослідженні на цій моделі особливостей процесу опрацювання сигналів ВСП.

Актуальність цього завдання обумовлена тим, що процес виявлення ознак дефектів, які формуються на основі аналізу отримуваних у динамічному режимі роботи сигналів ВСП зі складними законами модуляції їх параметрів, ускладнюється дією перехідних процесів в електронних трактах дефектоскопів. Останні містять інтегральні електронні компоненти, параметри яких регулюються програмно в широких межах, що впливає на стійкість роботи вимірювальних каналів таких засобів.

Основні результати. Методика розв'язання поставленого завдання включала наступні етапи:

1. Аналіз умов отримання сигналів ВСП та власне сигналів ВСП.

2. Аналіз апаратної реалізації вхідного тракту вимірювального каналу вихрострумowego дефектоскопу.

3. Створення імітаційної SIMULINK-моделі електричної схеми вхідного тракту вихрострумowego дефектоскопу.

4. Створення імітаційної SIMULINK-моделі стенду для дослідження параметрів перехідних процесів на моделі тракту дефектоскопу.

5. Дослідження перехідних процесів у вимірювальному каналі вихрострумowego дефектоскопу на створених SIMULINK-моделях та обговорення отриманих результатів.

1. Експериментальні сигнали отримувались в роботизованій системі ВСНК, загальна структура якої наведена в роботі [9]. В системі використано ВСП подвійного диференціювання типу МДФ 1502 [7]. Цей ВСП дозволяє проводити контроль з великим (до 7 мм залежно від розміру дефекту) зазором відносно поверхні ОК, що важливо для створення автоматизованих систем контролю.

Загальний вигляд контрольного зразка та ВСП наведено, відповідно, на рис. 1, а, б. Контрольний зразок (рис. 1, а) уявляв собою металеву пластину (завтовшки 8 мм, матеріал – сталь 20) прямокутної форми зі штучним дефектом типу «тріщина» глибиною 1,2 мм. Сканування поверхні контрольного зразка виконувалось промисловим роботом «FANUC» у поперечному напрямку відносно осі тріщини зі швидкістю 100 мм/с, робочий зазор між зразком і ВСП – 1,5 мм, частота збудження ВСП – 2 кГц, амплітуда струму збудження ВСП – 110 мА.

На рис. 2 наведено фрагмент осцилограми сигналу ВСП, отриманого під час сканування ділянки контрольного зразка з дефектом. На цьому ри-

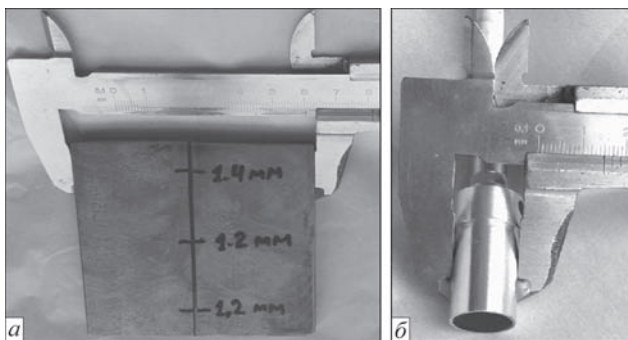


Рис. 1. Контрольний зразок (а) і ВСП (б)

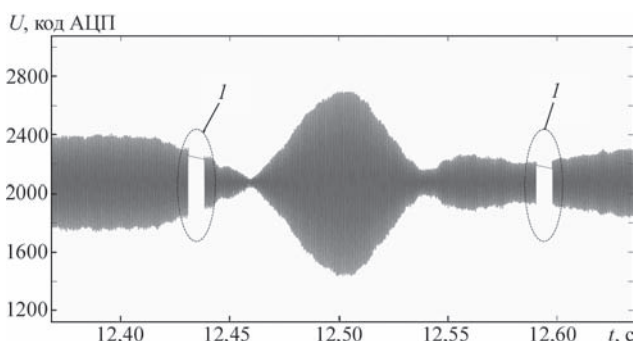


Рис. 2. Фрагмент досліджуваного сигналу: 1 – паузи у сигналі ВСП, що обумовлені передачею даних по мережі Ethernet

сунку темним тоном відображено сигнал-носій частотою 2 кГц, амплітуда якого модульована, що свідчить про наявність дефекту в зоні контролю. Обвідна сигналу під час перетину дефекту ВСП набуває дзвоноподібної форми (центральна ділянка фрагмента сигналу на рис. 2). По обидві сторони ділянки сигналу від дефекту спостерігається некомпенсована частина сигналу збудження ВСП. Така «квазіабсолютна» форма сигналу від дефекту є характерною для ВСП подвійного диференціювання [7].

В процесі модельних експериментів відтворювались сигнали ВСП з граничними значеннями параметрів, що змінювались в імпульсному режимі.

2. На другому етапі було проаналізовано апаратну реалізацію вхідного тракту вимірювального каналу вихрострумowego дефектоскопу, що необхідно для створення його імітаційної моделі.

Структура тракту розробленого дефектоскопу представляється у вигляді каскадного з'єднання ряду електронних вузлів, які забезпечують підсилення і частотну фільтрацію сигналу (рис. 3). Наведена структура забезпечує регулювання в широких межах коефіцієнта підсилення K_n і частоту налаштування фільтрів, що залежить від робочих умов і частоти сигналу збудження вихрових струмів.

Тракт первинного оброблення сигналу вихрових струмів складається з шести каскадів:

- вхідного ланцюга захисту від перевантажень за напругою (ВЛЗ);
- фільтра низьких частот (ФНЧ), коефіцієнт підсилення якого регулюється програмно за допомогою команд інтерфейсу SPI;
- підсилювача (Π_1), що погоджує рівні сигналів ФНЧ і СФ;
- смугового фільтру (СФ), центральна частота якого настроюється програмно за допомогою зовнішнього сигналу $F_{\text{сф}}$;
- підсилювача (Π_2), коефіцієнт підсилення якого регулюється програмно за допомогою аналогового сигналу AOUT;
- підсилювача (Π_3), що погоджує рівні сигналів Π_2 і АЦП.

Каскад ФНЧ реалізовано на інтегральній мікросхемі типу LTC6602 («Linear Technology») за схемою фільтра низьких частот Баттерворта 4-го порядку і налаштовано на частоту 80 кГц (на рівні 3 дБ). Його коефіцієнт підсилення може дорівнювати одному зі значень: 1, 16, 256 або 1024. Цей каскад дозволяє передавати сигнали ВСП в діапазоні до 40 кГц.

Каскад СФ, який реалізовано на інтегральній мікросхемі типу LTC1068 («Linear Technology»), забезпечує зменшення рівня шумів у аналізованому сигналі. СФ побудовано за схемою смугового

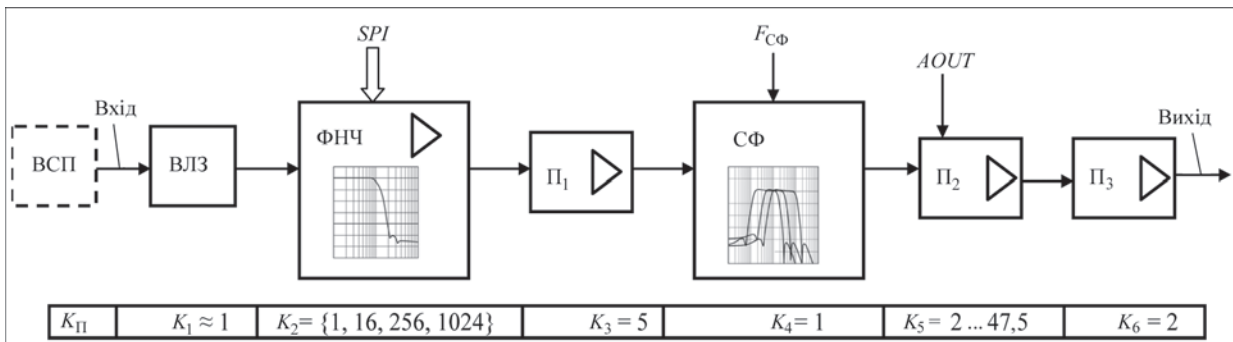


Рис. 3. Структура вхідного тракту вихрострумового дефектоскопу

фільтру Баттерворта 8-го порядку. У СФ забезпечена можливість зміни центральної частоти в діапазоні від 100 Гц до 40 кГц.

Каскад підсилювача Π_2 реалізовано на інтегральній мікросхемі типу AD8337 («Analog Devices»), яка дає змогу регулювати коефіцієнт підсилення K в інтервалі значень $2 \dots 47,5$.

Розглянута структура вхідного тракту дефектоскопу дозволяє адаптуватися в певних межах до рівня сигналу ВСП.

3. На третьому етапі було розроблено імітаційну MATLAB/SIMULINK-модель електричної схеми вхідного тракту вихрострумового дефектоскопу.

Як відомо, Simulink – це графічне інтерактивне середовище імітаційного моделювання, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів, будувати динамічні моделі, включаючи дискретні, безперервні і гібридні, нелінійні і розривні системи [12]. Це середовище є зручним інструментом моделювання, оскільки дає змогу використовувати вже готові бібліотеки блоків для моделювання механічних, гідравлічних, електричних і радіотехнічних систем, а також застосовувати розвинений модельно-орієнтований підхід для розроблення систем управління, засобів неруйнівного контролю і пристроїв реального часу.

Розроблену імітаційну SIMULINK-модель електричної схеми вхідного тракту дефектоскопу зображено на рис. 4. Вхідний тракт складається з елементів типу «RC-chain», «Gain» «LP filter» і «BP Filter». Елементи RC-chain 1...RC-chain 5 імітують присутність в електричній схемі перехідних конденсаторів. SIMULINK-модель цих елементів

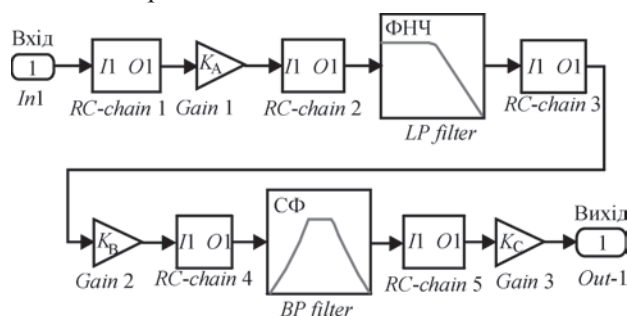


Рис. 4. SIMULINK-модель електричної схеми вхідного тракту вихрострумового дефектоскопу

показано на рис. 5. Резистор $R1$ імітує навантаження наступного каскаду.

В моделі елемента «RC-chain 1» задано параметри $C1 = 1$ мкф і $R1 = 200$ кОм, а в моделях «RC-chain 2»...«RC-chain 5» – $C1 = 1$ мкф і $R1 = 500$ кОм. Елементи «Import voltage», «Outport» і «Configuration» виконують функцію узгодження роботи електричного RC-ланцюжка з іншими елементами моделі.

На рис. 4 також показано елементи Gain1.. Gain3, що імітують роботу безінерційних підсилювачів напруги з коефіцієнтами підсилення K_A , K_B і K_C ; елемент «LP filter» імітує роботу ФНЧ, а елемент «BP filter» – роботу СФ. Загальний коефіцієнт підсилювання вхідного тракту K_0 визначається трьома коефіцієнтами:

$$K_0 = K_A K_B K_C,$$

де $K_A = K_1 \times K_2$, $K_B = K_3 \times K_4$ і $K_C = K_5 \times K_6$. Максимальне значення амплітуди сигналу на вході тракту складає біля 3 мВ.

ФНЧ реалізовано за схемою фільтра Баттерворта 4-го порядку і налаштовано на частоту 80 кГц (на рівні 3 дБ). СФ реалізовано за схемою фільтра Баттерворта 8-го порядку, і налаштовано на центральну частоту 2 кГц. Нерівномірність амплітудно-частотної характеристики обох фільтрів задано на рівні 0,5 дБ.

4. Для дослідження перехідних характеристик вхідного тракту дефектоскопу було розроблено SIMULINK-модель віртуального стенду, який зображено на рис. 6. Цей стенд дає можливість формувати сигнали ВСП різної форми, виконувати їх амплітудну і фазову модуляцію/маніпуляцію, а також виконувати демодуляцію досліджуваних сигналів.

Наведені на рис. 6 вузли «Eddy current amplifier 1» – «Eddy Current Amplifier 3» є ідентич-

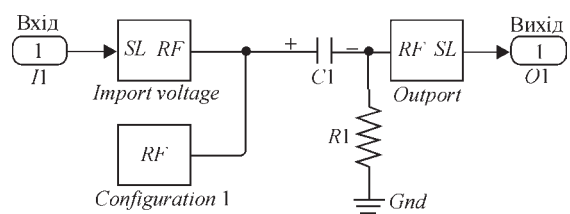


Рис. 5. SIMULINK-модель перехідних конденсаторів

ними і відповідають наведеній на рис. 4 моделі. Інші вузли мають таке призначення:

«Pulse generator» – формує імпульси прямокутної форми амплітудою 1 В;

«Zero-order hold 1»÷ «Zero-order hold 4» – функціональні елементи часових екстраполяторів нульового порядку;

«Gain 1», «Gain 2» – елементи підсилювання сигналу за амплітудою;

«PM modulator passband» – фазовий модулятор; «PM demodulator 1» – «PM demodulator 2» – фазові демодулятори;

«Scope 1» – «Scope 3» – елементи візуалізації сигналів (осцилоскопи);

«Sine wave step» – генератор синусоїдного сигналу, амплітуда якого контролюється зовнішнім сигналом.

5. Перевірка працездатності розробленої імітаційної моделі і дослідження перехідних процесів

у вимірювальному каналі вихрострумове дефектоскопу на створених SIMULINK-моделях здійснювалися шляхом аналізу відгуку схеми на входні сигнали різної форми. В дослідях використані наступні налаштування симуляції: «Solver selection» – «Type/Fixed-step», «Solver/ode4»(Runge-Kutta); «Fixed-step size/1 мкс». В схемі на рис. 6 в колах позначені точки, в яких здійснювався контроль сигналів.

5.1. Дослідження реакції схеми на прямокутний імпульсний сигнал. На рис. 7 зображено осцилограми сигналів в точках P_A (рис. 7, а) і P_E (рис. 7, б), на яких позначено $U_{вх}$, $U_{вих}$ – відповідно вхідний і вихідний сигнали.

На рис. 5 показано, що імпульсний сигнал амплітудою 3 мВ і тривалістю 10 мс, що подано на вхід тракту підсилювання, викликає на його виході формування двох сигналів, що мають коливальний загасаючий характер з амплітудою в межах 0...0,8 В. Тривалість цих сигналів t_1 (на рівні 5 % від максимальної амплітуди) дорівнює ~ 8 мс.

5.2. Дослідження перехідного процесу в схемі за надходження сигналу з амплітудною модуляцією. Значення частоти сигналу-носія – 2 кГц.

Осцилограми сигналів в точках P_B і P_G показані відповідно на рис. 8, а та рис. 8, б. Схема збуджується амплітудно-маніпульованим сигналом, який на інтервал часу тривалістю 10 мс змінює амплітуду з 0,5 до 2,5 мВ. Вихідний сигнал є амплітудно-модульованим, що змінює свою амплітуду в цьому ж інтервалі, але фронт і спад зміни мають кінцеві значення. Реакція на стрибок амплітуди має характер перерегулювання величиною приблизно 12 %. Час встановлення вихідного сигнала

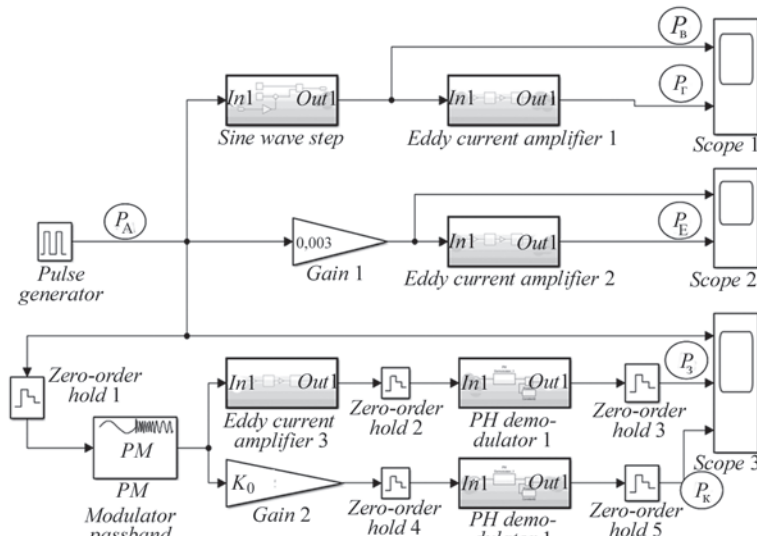


Рис. 6. Імітаційна SIMULINK-модель стенду, призначеного для дослідження параметрів перехідного процесу у вхідному тракту дефектоскопа

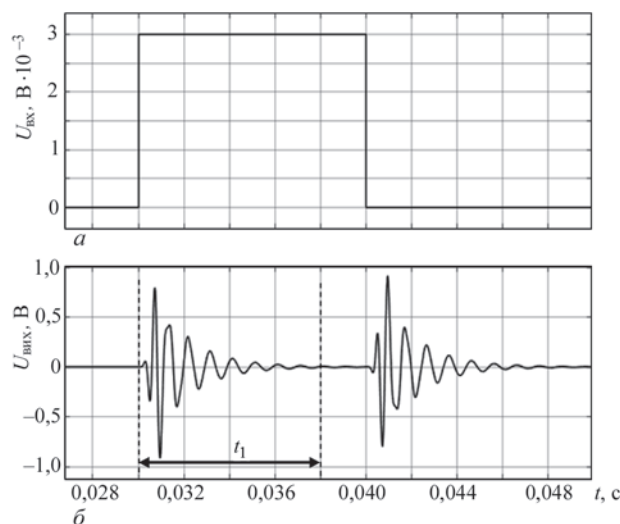


Рис. 7. Реакція моделі тракту на прямокутний імпульс. Опис а та б див. по тексту

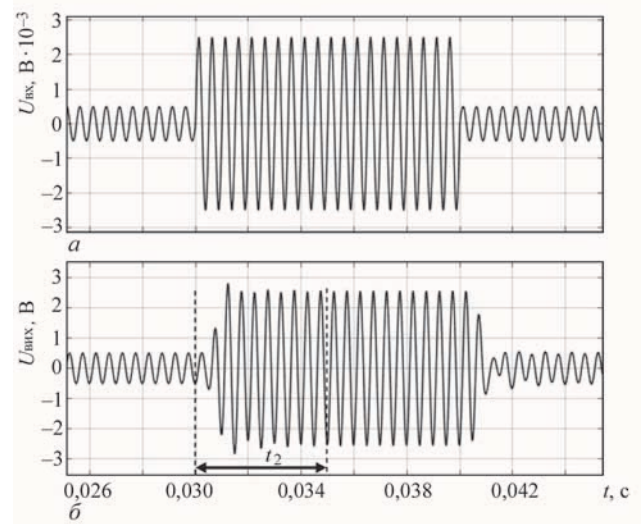


Рис. 8. Реакція моделі тракту на амплітудно-маніпульований сигнал прямокутної форми. Опис а та б див. по тексту

лу t_2 відносно стрибка у вхідному амплітудно-модульованому сигналі складає близько 5 мс.

5.3. Дослідження відгуку схеми на сигнал з фазовою маніпуляцією. Значення девіації фази становило 0,5 π. На рис. 9 показано осцилограми сигналів в точках P_A (рис. 9, а), P_3 (рис. 9, б) і P_K (рис. 9, в).

З рис. 9 видно, що сигналом модуляції є імпульс прямокутної форми тривалістю 10 мс. Цей імпульс подається на вхід фазового модулятора «PM modulator passband», вихід якого з'єднаний зі входом моделі аналогової схеми підсилювача сигналу вихрових струмів «Eddy current amplifier 3». Одночасно фазо-маніпульований сигнал подається на вхід безінерційного елемента «Gain 2», що має коефіцієнт підсилювання K_0 . Виходи моделі «Eddy current amplifier 3» і безінерційного елемента «Gain 2» піддаються фазовій демодуляції елементами «PM demodulator 1», «PM demodulator 2» і далі поступають на вхід осцилоскопа «Scope 3». Така схема моделювання паралельного проходження фазо-маніпульованого сигналу дозволяє отримати значення параметра компенсації часової затримки t_4 в елементах фазового модулятора-демодулятора. З урахуванням цієї компенсації час перехідного процесу для розглянутого сигналу у вхідному тракті дефектоскопу складає $t_0 = t_3 - t_4 = 5,1$ мс. З рис. 9 також витікає, що вхідний тракт вихрострумowego дефектоскопу має початковий зсув фази $\varphi_0 = -1,35$ рад, або $-77,3^\circ$. Реакція на стрибкоподібну зміну фази фазо-модульованого сигналу має характер перерегулювання величиною приблизно 13 %.

Розроблені імітаційна модель аналогової частини типового вимірювального тракту вихрострумowego дефектоскопу та методика аналізу перехідних процесів на цій моделі дають змогу

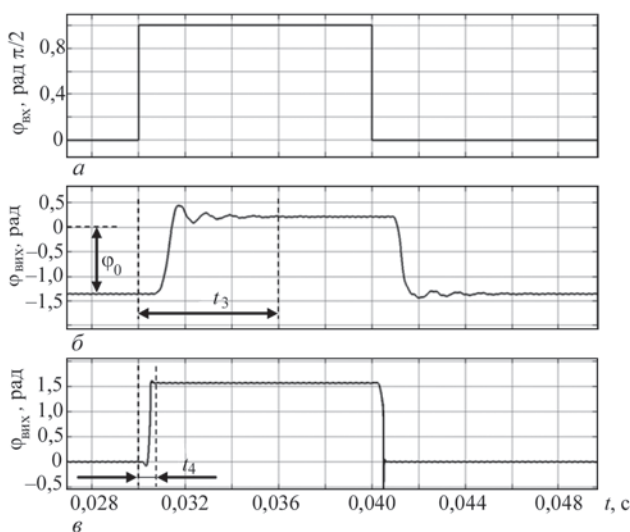


Рис. 9. Реакція моделі тракту на фазо-маніпульований сигнал ($\varphi_{вх}$, $\varphi_{вих}$ – відповідно вхідний і вихідний сигнали фазової маніпуляції). Опис а, б, в див. по тексту

досліджувати реакцію електронного тракту на сигнали ВСП в режимі сканування поверхні ОК і здійснювати коригування параметрів тракту з метою зменшення динамічних похибок вимірювання характеристик сигналів ВСП.

Реальні сигнали ВСП, які формуються під час сканування ОК з дефектом, уявляють сигнали з одночасно модульованими амплітудою і фазою, тому реальні відгуки електронного тракту вихрострумowego дефектоскопу можуть мати більш складний характер.

Висновки

Під час сканування поверхні досліджуваного об'єкта вихрострумowym перетворювачем в автоматичному режимі локальні неоднорідності матеріалу об'єкта приводять до модуляції параметрів гармонічних сигналів збудження ВСП. Проходження таких сигналів у вимірювальних каналах дефектоскопа супроводжується виникненням перехідних процесів, здатних суттєво спотворити результати контролю.

З метою коректного вибору режимів сканування та формування результатів контролю необхідно виконувати дослідження стійкості роботи вимірювальних каналів таких дефектоскопів в різних режимах роботи. Розроблена імітаційна модель електричної схеми вхідного тракту вихрострумowego дефектоскопу та запропонована методика проведення досліджень на таких моделях дозволяють оцінювати параметри перехідних процесів в електронних трактах дефектоскопів.

За результатами імітаційного моделювання роботи вхідного тракту розробленого вихрострумowego дефектоскопа в перехідних режимах отримано: час затримки реакції на стрибок амплітуди сигналу складає близько 8 мс; реакція на стрибок амплітуди сигналу має коливальний загасаючий характер зі значною амплітудою першого максимуму; час встановлення вихідного сигналу за умови дії амплітудно-маніпульованого сигналу складає близько 5 мс; час встановлення вихідного сигналу за дії фазо-маніпульованого сигналу складає близько 5,1 мс.

Результати досліджень можуть бути використані для коригування алгоритмів автоматичного калібрування і опрацювання інформаційних сигналів в автоматизованих системах вихрострумowego контролю та вибору режимів сканування досліджуваних об'єктів.

Список літератури

1. Ключев В. В., Соснин Ф. Р., Ковалев А. В. и др. (2005) *Не разрушающий контроль и диагностика*. Справочник. Москва, Машиностроение.
2. Satish S Udpa (technical editor), Patrick O'Moore (editor) (2004) *Nondestructive testing handbook, Third edition: 5, Electromagnetic testing*. ASNT.
3. Федосенко Ю. К. (2005) Становление, современное состояние и перспективы развития вихрострумowego контроля. *Контроль. Диагностика*, 5, 71–75.

4. Клюев В. В., Федосенко Ю. К., Мужичкий В. Ф. (2007) Вихретоковый контроль: современное состояние и перспективы развития. *В мире неразрушающего контроля*, 2, 4–9.
5. Luis F. S. G. Rosado. (2014) *New eddy current probes and digital processing algorithms for friction stir welding testing*. Lisbon, Lisbon University.
6. Сухоруков В. В., Вайнберг С. И., Кажис Р.-Й. Ю. и др. (1993) *Неразрушающий контроль*. В 5 кн. Кн. 5. *Интроскопия и автоматизация неразрушающего контроля*. Практ. пособие. Москва, Высшая школа.
7. Учанін В. М. (2013) *Накладні вихреструміві перетворювачі подвійного диференціювання: монографія*. Львів, СПОЛОМ.
8. Юревич Е. И. (2005) *Основы робототехники*. Санкт-Петербург, БВХ-Петербург.
9. Долиненко В. В., Шаповалов С. В., Скуба Т. Г. та ін. (2017) Роботизована система неруйнівного вихреструмівого контролю виробів зі складною геометрією. *Автоматическая сварка*, 5-6(764), 60–67.
10. Луценко Г. Г., Учанін В. Н., Гоголя В. Н. (2005) *Автоматизированная многоканальная вихретоковая система для выявления и идентификации глубокозалегающих и поверхностных дефектов труб из ферромагнитных сталей*. Вып. 10: Электромагнитні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів. Серія: Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Львів, Фізико-механічний ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 108–111.
11. Сляднева Н. А. (2008) «РОБОСКОП ВТ-3000» Роботизированный комплекс вихретокового контроля. *Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля*, 1, 31.
12. Дьяконов В. П. (2013) *Simulink*. Самоучитель. Москва, ДМК-Пресс.
11. Slyadneva, N.A. (2008) *ROBOSCOPE VT-3000. Robotic complex for eddy-current testing. Diagnostic instruments. Средства и Технологии Неразрушающего Контроля*, 1, 31 [in Russian].
12. Dyakonov, V.P. (2013) *Simulink: Teach-yourself manual*. Moscow. DMK-Press [in Russian].

References

1. Klyuev, V.V., Sosnin, F.R., Kovalev, A.V. et al. (2005) *Non-destructive testing and diagnostics: Refer. book*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. (2004) *Nondestructive Testing Handbook*. 3rd Ed. Vol. 5: Electromagnetic testing. ASNT. Ed. by Techn. ed. Satish, S. Udra. Ed. by P. O'Moore.
3. Fedosenko, Yu.K. (2005) Emergence current state and prospects for development of eddy-current testing. *Kontrol. Diagnostika*, 5, 71-75 [in Russian].
4. Klyuev, V.V., Fedosenko, Yu.K., Muzhitsky, V.F. (2007) Eddy-current testing: Current state and prospects of development. *V Mire Nerazrushayushchego Kontrolya*, 2, 4-9 [in Russian].
5. Luis F.S. G. Rosado (2014) *New eddy current probes and digital processing algorithms for friction stir welding testing*. Lisbon, Lisbon University.
6. Sukhorukov, V.V., Vajnberg, E.I., Kazhis, R.J.Yu. et al. (1993) Non-destructive testing. In: 5 books. Book 5: *Intros-copy and automation of non-destructive testing*: Pract. Manual. Moscow, Vysshaya Shkola [in Russian].
7. Uchanin, V.M. (2013) *Double differentiation put-on eddy-current transducers: Monography*. Lviv, SPOLOM [in Ukrainian].
8. Yurevich, E.I. (2005) *Fundamentals of robotic engineering*. St.-Petersburg, BVKh-Peterburg [in Russian].
9. Dolinenko, V.V., Shapovalov, E.V., Skuba, T.G. et al. (2017) Robotic system of non-destructive eddy-current testing of complex geometry products. *The Paton Welding J.*, 5/6, 51-57.
10. Lutsenko, G.G., Uchanin, V.N., Gogulya, V.N. (2005) *Automated multichannel eddy-current system for detection and identification of in-depth and surface defects of pipes from nonferromagnetic steels. Issue 10: Electromagnetic and acoustic methods of nondestructive testing of materials and products. Series: Physical methods and means of control of media, materials and products*. Lviv, PMI, 108-111 [in Ukrainian].
11. V. V. ДОЛИНЕНКО¹, Е. В. ШАПОВАЛОВ¹, Ю. В. КУЦ², М. А. РЕДЬКА², В. Н. УЧАНИН³
¹ІЭС ім. Е. О. Патона НАН України. 03150, г. Київ, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua
²НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 03056, г. Київ, пр. Перемоги, 37.
³Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. 79060, г. Львів, ул. Научная, 5. E-mail: vuchanin@gmail.com

Разработана имитационная модель аналоговой части измерительного тракта дефектоскопа, предназначенного для использования в автоматизированных системах вихретокового контроля, а также виртуальный стенд и методика для ее испытаний. На разработанной модели выполнены исследования переходных процессов в аналоговом тракте дефектоскопа для различных типов входных вихретоковых преобразователей. Результаты исследований могут быть использованы для корректировки алгоритмов автоматической калибровки и обработки информационных сигналов и принятия решений в автоматизированных системах вихретокового контроля. Библиогр. 12, рис. 9.

Ключевые слова: автоматический вихретоковый дефектоскоп, вихретоковый сигнал, имитационная модель, амплитудная и фазовая модуляция, переходной процесс

MODELING THE TRANSIENT PROCESSES IN MEASUREMENT CHANNEL OF EDDY-CURRENT FLAW DETECTOR

V.V. DOLINENKO¹, E.V. SHAPOVALOV¹, Yu.V. KUTS², M.A. REDKA², V.N. UCHANIN³

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

²NTUU «Igor Sikorskii KPI», 37 Peremogi Prosp., 03056 Kyiv

³G.V.Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, 5 Naukova Str., Lviv, E-mail: vuchanin@gmail.com

Simulation model of analog part of measurement path of a flaw detector designed for application in automated systems of eddy current testing, as well as virtual stand and procedure for its testing were developed. The developed model was used for studying the transient processes in the flaw detector analog path for different types of input eddy current transducers. Investigation results can be applied for correction of the algorithms for automatic calibration and processing the information signals and taking decisions in automated systems of eddy current testing. 12 Ref., 9 Fig.

Keywords: automatic eddy current flaw detector, eddy current signal, simulation model, amplitude and phase modulation, transient process

Надійшла до редакції
15.11.2018