

І.В. Сторож, В.О. Нічога
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем
Фізико-механічний інститут НАН України

ВОСЬМИКАНАЛЬНИЙ АКТИВНИЙ ДАВАЧ ДЛЯ МАГНІТНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

© Сторож І.В., Нічога В.О., 2011

Викладено спосіб покращення функціональності магніто-динамічного дефектоскопа за допомогою активних багатоканальних давачів з цифровим передаванням дефектоскопічної інформації.

Ключові слова: дефектоскоп, багатоканальний давач.

The method of improvement of magnetic-dynamical railway crack detection system using active multi channel sensor with digital interface is proposed.

Key words: crack detection system, multi channel sensor.

Вступ

Діагностика стану об'єктів, зокрема залізничних рейок, на основі неруйнівного контролю, дає змогу об'єктивно прогнозувати та визначати термін їх безпечної експлуатації за фактичним станом, а не за розрахунковим терміном служби [1]. Вчасне виявлення дефектних рейок дає змогу вжити заходи для запобігання їхнім розломам під поїздами. Водночас відсутність дефектів є підставою для продовження терміну їх експлуатації. Обидва чинники забезпечують підвищення безпеки та економічної ефективності експлуатації рейок.

Систематичний аналіз даних неруйнівного контролю рейок дає змогу не тільки вчасно виявляти дефекти, але й спостерігати за їх розвитком. Для цього необхідно розв'язати три задачі – формування діагностичного сигналу за допомогою давачів, передавання та збереження цього сигналу з фіксацією часу і місця виявлення та його оброблення з метою ідентифікації дефекту.

Сьогодні достовірність виявлення дефектів значною мірою залежить від досвіду оператора, що експлуатує систему діагностики. Для отримання об'єктивнішої інформації про стан об'єкта необхідно збільшувати кількість каналів діагностики, що призводить до збільшення навантаження на оператора [1]. Обробляючи великий обсяг інформації, оператор втрачає увагу і частіше помиляється. Тому мінімізацію кількості чинників, на які повинен реагувати оператор, можливо здійснити лише автоматизацією системи, що є актуальним завданням.

Вимоги до давачів

Автоматизацію оброблення сигналів можна організувати на основі обчислювальної машини, наприклад, спеціалізованого пристрою або комп'ютера з системою вводу дефектоскопічної інформації. З комерційного погляду для збирання і оброблення дефектоскопічної інформації на вагоні дефектоскопі доцільнішим є використання комп'ютера, оскільки розроблення спеціалізованого пристрою вимагає значних фінансових затрат. До одного комп'ютера можна під'єднати декілька систем збирання даних від давачів, які можуть працювати на різних фізичних принципах.

Система збирання інформаційних сигналів від дефектів потрібно під'єднати до комп'ютера за допомогою інтерфейсу, який зможе забезпечити необхідну швидкість передавання даних. Швидкість передавання залежить від таких факторів: 1) кількості вимірювань на одиницю довжини колії; 2) максимальної швидкості руху дефектоскопа; 3) кількості каналів збирання інформації; 4) розрядності цифрованих даних.

Для підвищення інформативності магніто-динамічної системи збирання дефектоскопічної інформації пропонується використати восьмиканальний давач, який повинен ресструвати магнітне поле на поверхні рейки в зоні дефекту, де виникає локальна його зміна.

У вагонах-дефектоскопах, де реалізований магніто-динамічний метод дефектоскопії [2], використовують рамкові індукційні давачі інтегрального типу. Перевагою таких індукційних давачів є можливість контролювати всю ширину головки рейки у разі їх виконання у вигляді котушки.

На вагоні-дефектоскопі, що експлуатується на Львівській залізниці, реєстрація магнітного поля проводиться за швидкості 70 км/год з кроком вимірювання 1 см. Такої роздільної здатності не достатньо для автоматизованого оброблення сигналу. Тому реєстрація повинна проводитися з кроком 1 мм. Частота дискретизації даних F_d визначається за формулою: $F_d = V \times v$, де V – швидкість руху давача в м/с, а v – просторова частота дискретизації, виражена у м⁻¹. Для цього випадку частота дискретизації повинна бути близько 20 кГц. Якщо використати шістнадцятирозрядні аналого-цифрові перетворювачі, то мінімальна швидкість передавання для восьмиканальної системи є $20000 \times 16 \times 8 = 2\,560\,000$ бітів за секунду.

В одноканальній системі, яка сьогодні є в експлуатації [2], сигнал у аналоговому вигляді подається на плату обробки, що встановлена у комп'ютері [2,4]. У багатоканальній системі, з метою усунення можливого взаємного впливу між каналами, ефективнішим є використання активного давача, який би формував і передавав готові цифрові дані. Тому можливість використання внутрішніх інтерфейсів комп'ютера, таких, як ISA, PCI чи PCI express шин стає недоцільним. Щодо зовнішніх портів, то найпопулярнішим інтерфейсом для систем збирання даних є RS-232. Проте максимальна швидкість передавання для цього інтерфейсу становить 115200 біт/с, що є недостатньо. Вищою швидкістю характеризується інтерфейс RS-485, який дає змогу передавати інформацію зі швидкістю 10 Мбіт/с у вигляді диференційних сигналів по обвитій парі з хвильовим опором 120 Ом. Цього достатньо для одного восьмиканального давача, але можливості щодо розширення системи на тому є вичерпані. Наприклад, нема можливості використати для кожного каналу трикомпонентний давач для вимірювання і передавання сигналів від трьох ортогональних складових магнітного поля, що вимагає втричі збільшити швидкість передавання даних.

Наступним широкорозповсюдженим інтерфейсом є Ethernet, який використовується для організації комп'ютерних мереж. Найпоширенішим сьогодні є так званий режим 100BASE-TX, що забезпечує швидкість передачі даних 100 Мбіт/с по двох витих парах з хвильовим опором 100 Ом.

За допомогою Ethernet усі давачі вагона дефектоскопа можна об'єднати в одну IP мережу та з'єднати з одним чи декількома комп'ютерами. Отже, отримуємо гнучку систему, яка, за потреби, дозволяє додати нові модулі чи замінити вже наявні, без змін у інших апаратних частинах.

Структура давача

Тепер розглянемо структурну схему активного восьмиканального давача. Значною перевагою активного давача з цифровим інтерфейсом є його завадостійкість. Відомо, що під час передавання великої кількості аналогових сигналів по довгому багатожилному кабелі має місце взаємний вплив цих сигналів один на одного. Реалізація давача і системи аналого-цифрового перетворення в одному корпусі усуває цю проблему. До того ж зменшується кількість кабелів, необхідних для передавання сигналів від такого давача. Використання Ethernet дає можливість забезпечити живлення по тому самому кабелю, по якому передаються дані, за допомогою технології Power over Ethernet (PoE – живлення через Ethernet). Передавання живлення по сигнальних провідниках є можливим завдяки тому, що сигнали мають гальванічну розв'язку за допомогою високочастотних трансформаторів. Оскільки живлення подається на центральні обмотки трансформаторів, то воно не впливає на диференційні сигнали. Плюс і мінус передаються по різних парах (рис. 1, а). За наявності в кабелі вільних пар вони також можуть бути використані для передавання живлення (рис. 1, б) [5].

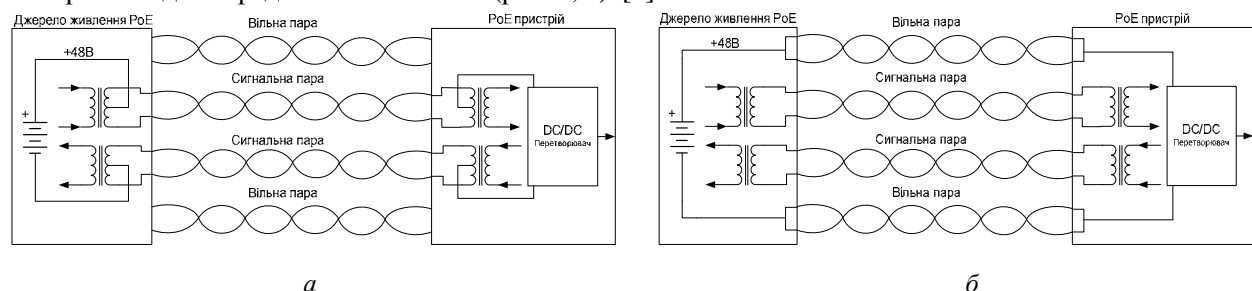


Рис. 1. Схема подавання живлення на давач

Згідно зі специфікацією IEEE 802.3af-2003 стандарт PoE забезпечує живлення потужністю до 15,4 Вт, а оновлений IEEE 802.3at-2009, також відомий як PoE+ або PoE plus, забезпечує потужність до 25,5 Вт.[5]

Комунікація комп'ютера з датчиками повинна відбуватись по певному мережному протоколу, який підтримується операційною системою і програмним забезпеченням, на якому записують і обробляються сигнали. Вимогою до протоколу є гарантована доставка пакетів інформації. Таким протоколом є TCP (Transmission Control Protocol) – один з основних мережних протоколів Інтернету, призначений для управління передаванням даних в мережах і підмережах TCP/IP [6].

Інформацію, яку потрібно передати, TCP розбиває на сегменти. Кожен сегмент нумерується, щоб можна було перевірити, чи вся інформація отримана, і розташувати інформацію в правильному порядку. Для передавання цього порядкового номера по мережі у протокола є свій власний сегмент даних, в якому, зокрема, записана необхідна службова інформація. Сегмент даних від датчиків розміщується в сегмент TCP. Сегмент TCP своєю чергою розміщується в сегменті IP і передається в мережу.

На приймальній стороні програмне забезпечення протоколу збирає TCP сегменти, отримує з них дані і розташовує їх у вихідному порядку. Якщо якихось сегментів бракує, автоматично формується запит на їхнє повторне передавання. Після розміщення всієї інформації у вихідному порядку ці дані передають тій програмі, яка використовує послуги TCP. У реальній ситуації пакети не тільки втрачаються, але й отримують зміни у зв'язку з короткочасними несправностями в лінії передачі. У протоколі TCP ця проблема вирішується за допомогою формування так званої контрольної суми. [6]

Структурна схема датчика показана на рис. 2.

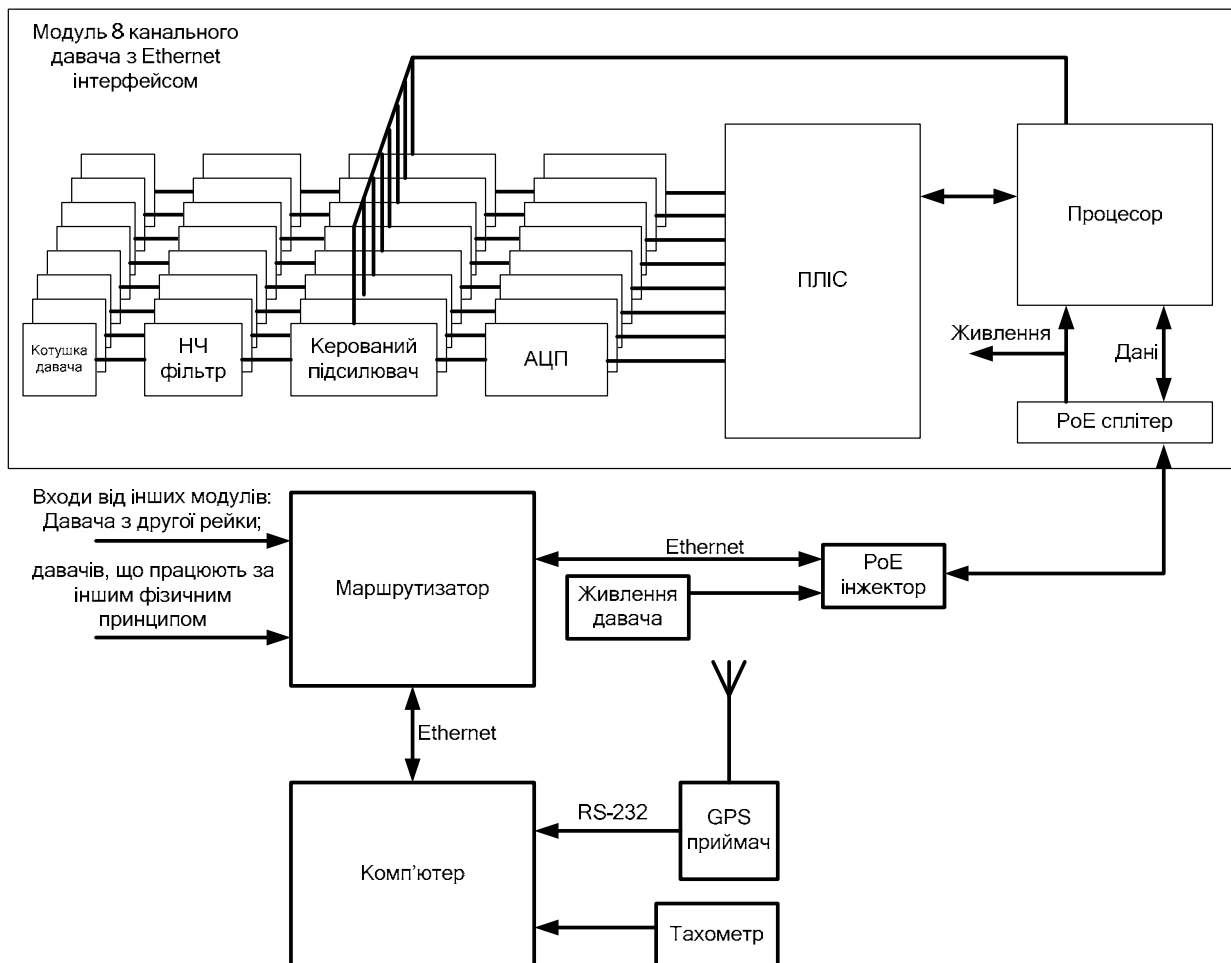


Рис. 2. Структурна схема діагностичної системи на основі восьмиканального активного датчика для магнітної діагностики залізничної колії

Кожен канал давача складається з індуктивного перетворювача, НЧ фільтра, керованого підсилювача і аналого-цифрового перетворювача. Аналого-цифрові перетворювачі керуються програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС), яка забезпечує синхронність їхньої роботи, а також буферизацію і попереднє оброблення даних (рис. 2). Процесор забезпечує комунікацію давача з мережею і керує його режимом роботи. Перевагою ПЛІС над іншими схемно-технічними рішеннями є можливість змінювати принцип роботи схеми, не переробляючи саму схему, а тільки змінивши конфігурацію ПЛІС.

У результаті, давач по суті є сервером, який дає змогу комп'ютеру ініціювати з'єднання, після чого він може передати команду, почати чи зупинити запис та передавати інші параметри, необхідні для його роботи.

Система відліку координат

Як було зазначено вище, під час руху вагона-дефектоскопа замірювати потрібно із заданим інтервалом. Для цього слугує система відліку координат вагона дефектоскопа. Вона дає інформацію про миттєву швидкість, яка є необхідною для підстроювання частоти дискретизації, щоб забезпечити прив'язку дискретизованих даних до просторових координат. Дефектоскопічні дані повинні бути прив'язані до координати, а не до часу. Отже, зі зміною швидкості повинна змінюватись частота дискретизації. Тому для характеристики такої системи треба використовувати не часову, а просторову дискретизацію.

Для визначення швидкості і поточних координат використовують давач обертів колеса вагона [2]. Недоліком такого способу є те, що у разі кожного виїзду інформацію про позицію вагона щодо прийнятих на залізниці координат треба вводити вручну. Вдосконалити цю систему збирання дефектоскопічної інформації можна, доповнивши її GPS приймачем, який дає можливість прив'язати записану дефектоскопічну інформацію до абсолютних географічних координат. Це полегшить пошук і локалізацію місця, де був виявлений дефект, оскільки дасть можливість попередньо вибрати найкоротший шлях до нього, орієнтуючись по карті чи за допомогою GPS навігатора, а не рахувати рейки від пікетного стовпчика.

Стандартний GPS приймач дає можливість отримати дані про поточні координати в просторі, а також дату і час. У загальному випадку комунікація з GPS приймачем відбувається по стандарту NMEA. Згідно з ним, дані передаються у вигляді текстових рядків за допомогою послідовного інтерфейсу. Стандартним режимом є 4800 біт/с, 8 бітів даних, без перевірки парності, 1 стоп біт, контроль потоку відсутній. Ці дані, які оновлюються щосекунди, приймаються послідовним портом комп'ютера і обробляються як текстові повідомлення. Потрібна інформація записується у файл разом з дефектоскопічними сигналами. Доповнення системи відліку координат GPS приймачем дозволить вивільнити час оператора вагона дефектоскопа, оскільки відпадає необхідність стежити за коректністю координат, за датою і часом, коли було зроблено запис.

Забезпечити змінну частоту дискретизації, необхідну для роботи системи, можна двома способами. Перший – це зміна тактової частоти АЦП, а другий – зміна частоти дискретизації у вже отриманих даних математичним способом. Перший варіант вимагає апаратної реалізації блока підстроювання частоти. Крім того виникає необхідність перестроювати НЧ-фільтр на вході АЦП, щоб просторова частотна характеристика не змінювалась від зміни швидкості. Перестроювання фільтра є складною для реалізації задачею і може дати побічні ефекти, такі, як перенесення частот при використанні фільтрів на комутованих конденсаторах. Під час застосування другого варіанта вибираємо фіксовану частоту дискретизації, враховуючи максимально можливу швидкість руху. Знаючи миттєву швидкість і максимальну швидкість, можна легко визначити у скільки разів потрібно зменшити частоту дискретизації, щоб отримати потрібну просторову частоту дискретизації. Тому з погляду спрощення апаратної реалізації давача другий спосіб є прийнятніший.

Перш ніж зменшувати частоту дискретизації, необхідно усунути частотні складові, що перевищують половину нової частоти дискретизації, за допомогою фільтра нижніх частот, що дозволяє, з незначними втратами якості сигналу, створити новий відлік усередненням найближчих відліків.

Для підвищення точності доцільно використати інтерполяційну формулу Віттекера-Шеннона, яка дає змогу знаходити значення сигналу у довільних точках між відліками:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s[n] \cdot \text{sinc}\left(\frac{t - nT}{T}\right),$$

де t – координата відновленого сигналу; T – період дискретизації; n – порядковий номер відліку; $s[n]$ – дискретний сигнал; $\text{sinc}(x)$ – функція sinc, яка приймає такі значення:

$$\text{Sinc}(x) = \begin{cases} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} & ; x \neq 0 \\ 1 & ; x = 0 \end{cases},$$

де x – є номером відліку відносно поточного відліку.

Для економії обчислювальних ресурсів комп'ютера процедура передискретизації може бути реалізована у самому давачі. Для цього на давач треба передавати інформацію про поточну швидкість руху. У результаті отримані дані будуть прив'язані до просторової координати, а не до часу.

Давачі на обох рейках повинні працювати синхронно. Щоб забезпечити цю синхронність, кожен давач повинен отримувати інформацію про початок записування і про поточну швидкість руху. Отже, інформація, отримана від давачів, може бути збережена в одому файлі разом з шляховими координатами і мітками оператора, що є істотною перевагою цього принципу і дає можливість подальшого автоматизованого оброблення результатів дефектоскопічних досліджень.

Висновки

Наведена структура системи збирання дефектоскопічної інформації забезпечує автоматизований запис дефектограм для багатоканального магнітного дефектоскопа від восьми давачів і є інваріантною до швидкості їх переміщення за рахунок прив'язки відліків до просторової координати, а не до часу.

1. А.Ю. Матюнин, Н.И. Мережин Блок сопряжения многоканального дефектоскопа рельсов.// Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2010. – Т. 106. – № 5. – С. 135–189. 2. Вагон-дефектоскоп магнитный. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Проектно-технологическое-конструкторское бюро Главного управления пути Министерства путей сообщения, 1979. – 109 с. 3. Инструкция по использованию комплекса "Дефектоскоп". Версия 2.1. – К.: ПКФ "Логи+ка", 1997. – 15 с. 4. Вагон-дефектоскоп с компьютерной системой регистрации сигналов контроля состояния рельсов. Рекламный проспект. – К.: ПКФ "Логи+ка", 1997. – 5 с. 5. Стандарт IEEE 802.3at. – 2009. 6. Vinton G. Cerf, Robert E. Kahn, A Protocol for Packet Network Intercommunication, IEEE Transactions on Communications. – Vol. 22. – № 5, May 1974. – P. 637–648.