

РОЗРОБКА БЕЗДРОТОВОГО ДАТЧИКА ВІБРАЦІЇ НА ОСНОВІ MEMS АКСЕЛЕРОМЕТРА

Іванов С.В., Олійник П.Б.

НДІ телекомунікацій КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: Ivanov.sergiy@lml.kpi.ua , poleinik@ukr.net

DEVELOPMENT OF WIRELESS VIBRATION TRANSDUCER BASED ON MEMS ACCELEROMETER

Wireless vibration transducer, based on the MEMS accelerometer, is presented. Moving of the machine condition detection process from the high-level system to the transducer level allows one to decrease network traffic and simplify monitoring system as a whole.

При вимірюванні вібрації важких машин (генератори, турбоагрегати) однією з важливих проблем є підключення датчиків. Застосування кабелю довжиною в десятки метрів є незручним через його велику довжину та масу. Для вирішення цих проблем запропоновано використати для вимірювання вібрації датчик на основі MEMS акселерометра з передачею даних по Wi-Fi.

Дослідження використання MEMS акселерометра як первинного датчика вібрації ведуться досить давно. В [1] наведено порівняння даних, вимірюваних п'єзоелектричним акселерометром та MEMS за однакових умов. Використання MEMS не забезпечувало стабільного коефіцієнту чутливості і зсуву фази навіть при вимірюванні синусоїдального сигналу, нерівномірність АЧХ складала до 6 дБ в діапазоні 300 Гц. Аналогічне порівняння, проведене в [2], підтверджує наведені в [1] результати. В роботі [3] описано розробку датчика на базі MEMS з використанням процесора ARM7, що збільшує його вартість і енергоспоживання. Крім того в [3] не вирішено проблему фільтрації шумів датчика.

Застосування MEMS-акселерометрів для моніторингу обертового обладнання досліджено в кількох роботах. В [4] описано розробки фірми Analog Devices. Автори [4] розробили акселерометр для вимірювання вібрації на базі ADXL322 і застосували для підвищення співвідношення сигнал/шум автокореляційну функцію і адаптивні порогові фільтри.

Безпроводну систему моніторингу обертового обладнання на основі MEMS описано в [5]. Автори [5] зосередили свої дослідження на задачах синхронізації вимірювальних модулів та компенсації різниці частот їх тактових генераторів. Недоліком описаної в [5] системи є значна її складність, і високі вимоги до обчислювальної потужності застосованих контролерів.

В процесі розробки датчика було:

- розроблено конструкцію датчика, що забезпечила б ефективну фільтрацію шумів та частотний діапазон 10–1000 Гц;
- розроблено ефективний та простий метод компенсації нерівномірності АЧХ MEMS акселерометра;

– забезпечено вирішення супутніх задач, в т. ч. синхронізацію вимірювання з різних датчиків та електромагнітну сумісність датчика.

За основу датчика вибрано акселерометр LIS 344, оскільки він має високий коефіцієнт чутливості ($660 \text{ мВ}/(\text{м}/\text{с}^2)$) і незначну поперечну чутливість (2%). Оскільки основними даними для систем моніторингу є середньоквадратичне значення (СКЗ) віброшвидкості в діапазоні 10–1000 Гц, то верхню межу частотного діапазону обмежено вбудованим ФНЧ акселерометра до 1 кГц. Для виключення впливу низькочастотної складової застосовано активний фільтр Саллена–Кі з частотою зрізу 10 Гц; застосування фільтру більш високого порядку недоцільне, бо алгоритм обробки даних дозволяє виключити при обробці вібрацію на низьких частотах.

Як модуль Wi-Fi вибрано плату ESP8266 виробництва фірми Espressif systems. Особливостями модуля є можливість управління за допомогою АТ команд через послідовний інтерфейс та низьке енергоспоживання (менше 1 мА в режимі підтримання зв'язку з точкою доступу). Суттєвим недоліком ESP8266 є неможливість роботи вбудованого в його процесор АЦП при передачі даних, тому для проведення вимірювань, синхронізації вимірювань та проведення обчислень застосовано контролер C8051F120. Для забезпечення електромагнітної сумісності і виключення похибок вимірювання, що виникали при передачі даних, застосовано екранування Wi-Fi модуля.

Живлення датчика забезпечує використання зовнішнього акумулятора (до 8–10 годин вимірювання при ємності 2000 мА·год), на важких машинах можна застосувати п'єзоелектричний збирач енергії [6].

Схему програмного забезпечення показано на рис. 1. Основою програмного забезпечення є керуюча програма, що організує роботу датчика в режимах встановлення конфігурації, вимірювання даних та проведення оцінки вимірюваних даних, а також передачі даних системам верхнього рівня. Передачу даних реалізовано з використанням протоколу TCP, що гарантує доставку вимірюваних даних. Підключення датчика в систему моніторингу повністю автоматизовано: після увімкнення живлення датчик сам шукає систему моніторингу за заданим в конфігурації ідентифікатором, підключається до неї, синхронізує внутрішній годинник і переходить у режим вимірювання.

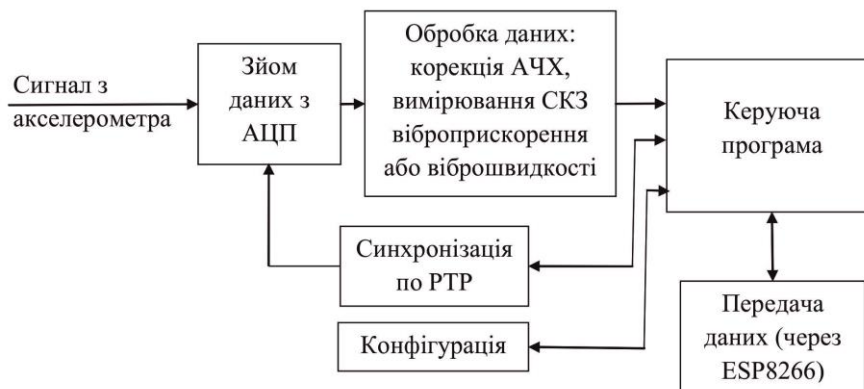


Рис. 1. Структурна схема програмного забезпечення датчика.

Корекцію нерівномірності АЧХ виконано шляхом застосування алгоритму:

1) Виміряти буфер даних віброприскорення.
2) Виконати швидке перетворення Фур'є виміряного буфера і обчислити масив ліній спектру потужності віброприскорення a_i .

3) Відкинути лінії з середніми частотами менше 10 і більше 1000 Гц.

4) СКЗ віброприскорення A обчислити за формулою

$$A = \sqrt{\sum_i (a_i q_i)^2}, \quad (1)$$

де q_i – коригуючий множник лінії спектру з середньою частотою f_i , визначений при калібровці методом порівняння з еталонним акселерометром.

5) спектр потужності віброшвидкості обчислити за формулою

$$v_i = a_i q_i \frac{1}{2\pi f_i}. \quad (2)$$

6) Обчислити СКЗ віброшвидкості за формулою

$$V = \sqrt{\sum_i v_i^2}. \quad (3)$$

Передбачено можливість задати в датчику три граничних рівня – «зміна» (межа зон А/В за ISO 10816–1), «тривога» (межа зон В/С) і «аварія» (межа зон С/Д). Датчик передає дані або періодично, або при виході за межі зон, що дозволяє зменшити мережевий трафік і спростити систему моніторингу в цілому. Випробування показали, що датчик забезпечує вимірювання СКЗ віброшвидкості та віброприскорення з похибкою не гірше 3-5%.

Література

1. Albarbar, Alhussein. Suitability of MEMS Accelerometers for Condition Monitoring: An experimental study [Text] / Alhussein Albarbar, Samir Mekid, Andrew Starr, Robert Pietruszkiewicz // Sensors. – 2008. – nr. 8. – pp. 784–799.
2. Albarbar, A. Performance evaluation of MEMS accelerometers [Text] / A. Albarbar, A. Badri, Jyoti K. Sinha, A. Starr // Measurement. – 2009. – vol.42, issue 5. – pp.790–795.
3. Marne, N. S. Vibration Measurement System with Accelerometer Sensor Based on ARM [Text] / N. S. Marne, M. S. Nagmode, R. D. Komati // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2014. – Vol. 4, Issue 4. – pp. 760–764.
4. Looney, Mark. An Introduction to MEMS Vibration Monitoring [Text] /Mark Looney // Analog Dialogue. – 2014. – vol. 48, issue 06. – pp. 1–3.
5. Huang, Qingqing. Development of high synchronous acquisition accuracy wireless sensor network for machine vibration monitoring [Text] / Qingqing Huang, Baoping Tang, Lei Deng // Measurement. – 2015. – Vol. 66. – pp. 35–44.
6. MIDE Vulture Piezoelectric Energy Harvesters [Online resource] REVISION N0. 002 REVISION DATE: 01–23–2013 – Available at: http://www.mide.com/pdfs/Vulture_Datasheet_001.pdf – Title from screen.