

## АВТОНОМНИЙ ДАВАЧ СЕЙСМІЧНИХ ХВИЛЬ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРА

**Вістизенко Є. В., Мовчанюк А.В.**

*Радіотехнічний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: vev18@ukr.net*

### AUTONOMOUS SEISMIC WAVE SENSOR FOR THE PROBLEM OF PERIMETER PROTECTION

Seismic sensors are used to detect seismic waves propagating in the ground. The publication will consider the creation of an autonomous seismic sensor to detect a person using seismic waves generated by human steps, with data processing on the edge.

Сейсмічні давачі використовуються для виявлення сейсмічних хвиль, що поширюються в ґрунті. Детектування сейсмічних хвиль застосовується для вирішення великої кількості завдань від георозвідки, промислового моніторингу до застосування в охороні периметра. В даному випадку буде розглянуто створення сейсмічного сенсора для виявлення людини за допомогою збуджених їм при ходьбі сейсмічних хвиль.

В рамках проведених авторами досліджень, була розроблена структурна схема автономного давача сейсмічного сигналу (рис.1), що має задовольнити вимоги наступні основні вимоги:

- автономність не менше ніж 1 рік;
- наявність радіо-інтерфейсу;
- дальність передачі даних до 2 км;
- можливість часової синхронізації давачів;
- встановлення давача в ґрунт без додаткового устаткування.

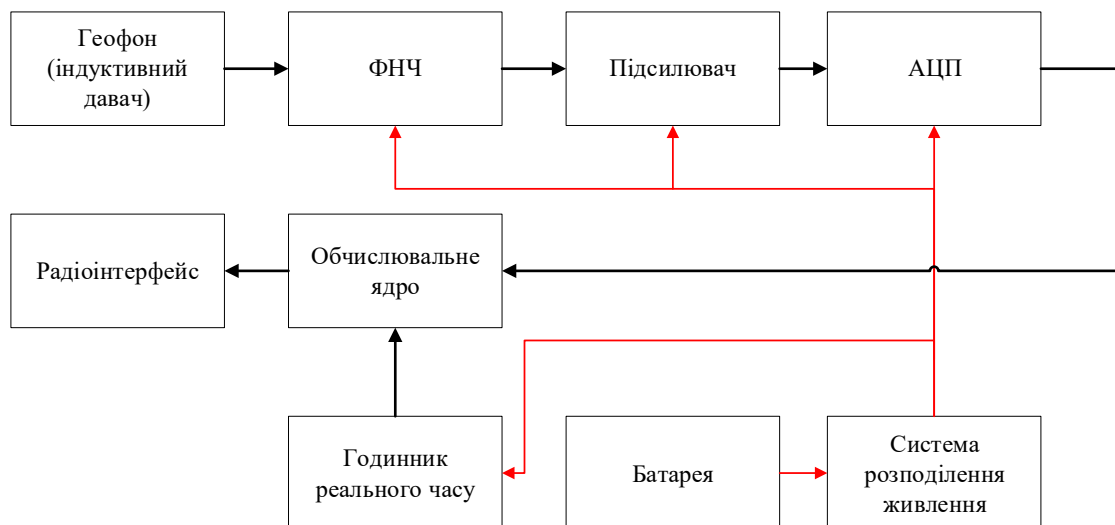


Рис.1. Структурна схему автономного сейсмічного давача.

Розглянемо структурну схему (рис.1) більш детально. Сигнал буде отримуватися з індуктивного давача сейсмічних сигналів. Частотна смуга отриманого сигналу обмежується фільтром нижніх частот до рівня 1кГц. Так як частота зрізу фільтра дуже низька, то для забезпечення максимальної «якості» сигналу буде використано активний фільтр.

Підсилювач виконаний на інструментальному операційному підсилювачі INA129 задля зменшення рівня синфазної завади та отримання можливості регулювати коефіцієнт підсилення одним елементом. До схеми підсилювача, у ланку регулювання коефіцієнту підсилення, був доданий цифровий потенціометр, задля можливості адаптації давача до місця встановлення та максимального використання динамічного діапазону АЦП. Керування коефіцієнтом підсилення виконується обчислювальним ядром в межах від 100 до 600.

Сигнал з виходу підсилювача подається на АЦП та дискретизується. Тактова частота обрана 2000 Гц для задоволення вимог по частоті Найквіста для записаного сигналу. Була використана окрема мікросхема АЦП (ADS1246) через значно більшу розрядність ніж у вбудованого АЦП обчислювального ядра (24 проти 14ти біт), що дозволяє отримати динамічний діапазон АЦП в 144 дБ.

Класифікація сигналів з сейсмічного давача виконується на обчислювальних потужностях мікроконтролера STM32L476.

В склад автономного давача була додана мікросхема годинника реального часу задля синхронізації мережі давачів та можливості додавати до сигналу спрацювання мітки часу. В якості годинника реального часу використана мікросхема DS3231, що забезпечує максимальну точність в +/-2 ppm, та споживання струму на рівні 200мкА в активному режимі та 110мкА в режимі очікування [1].

Після класифікації отриманого сигналу обчислювальним ядром, в випадку виявлення цілі, сигнал про спрацювання буде відправлений на центральну станцію по радіоканалу. Так як необхідна швидкість передачі даних не перевищує 1кБ/с, а вимоги по автономності вимагають використовувати максимально енергоефективні технології передачі даних, був обраний радіо інтерфейс LoRa [2].

До особливостей даної технології можна віднести:

- високий рівень завадозахищеності;
- велика дальність передачі даних (до 15 км);
- невеликий струм споживання;
- використання неліцензованих частотних діапазонів (433, 868, 915 МГц) .

Малопомітність передачі даних та висока завадостійкість забезпечена використанням технології розширення спектру сигналу, а саме CSS(Chirp spread spectrum). Для розширення спектру застосовується лінійна частотна модуляція, яка дозволяє збільшити дальність передачі без збільшення потужності передавача через можливість декодувати сигнал, що знаходиться нижче рівня шуму.

У нашому випадку автономний давач буде виступати кінцевим пристроєм. У якості модуля, що буде відповідати за забезпечення передачі по протоколу LoRa, був обраний LoRa-E5-HF на базі мікросхеми SX1262 компанії Semtech [3]. Керування модулем відбувається обчислювальним ядром по протоколу UART за допомогою AT-команд.

Для живлення автономного давача буде використовуватися літій-тіоніл-хлоридні батареї (Li-SOCl<sub>2</sub>), а саме 3 шт. LS33600 від компанії SAFT. Ці батареї дозволяють працювати в температурному діапазоні від -60 до +85 градусів Цельсія. Сумарна ємність трьох батарей буде складати 51000 мА/год, що при середньому розрахунковому споживанні в 5 мА (при 10% часу роботи давача в режимі обробки при виявленні сейсмічної активності), дозволить давачу пропрацювати 425 днів, що задовольняє початкові вимоги до давача.

Цікавою особливістю даних батарей є стабільність вихідної напруги в процесі роботи. Згідно з графіком наведеним в документації [4], при малих струмах розряду (а в нашому випадку він буде складати 1,66 мА) напруга на батареї буде залишатися стабільною майже до повної втрати ємності. До того ж, вихідна напруга батареї складає 3,6В, що знаходиться в межах допусків на напругу живлення для всіх елементів системи. Це дозволяє не використовувати схеми стабілізації напруги живлення, що здешевлює давач і підвищує надійність. Єдиною необхідною умовою є схема балансування батарей живлення задля рівномірного розряду усіх трьох елементів живлення. В найпростішому випадку така схема буде складатися з трьох діодів, кожний з яких послідовно ввімкнений з одним з елементів живлення. Це дозволить уникнути перетікання струмів від одного елемента живлення до іншого.

Наведена структура давача та технічні рішення продемонстровані в даному матеріалі, дозволяють отримати виріб оптимізований по тактико-технічним характеристикам і ціновим показникам. В подальшому даний виріб має пройти досліду експлуатацію з отриманням відповідних висновків.

## Література

1. DS3231 Datasheet [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>.
2. LoRa опис протоколу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://itechinfo.ru/content/%D0%BE%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8-lora>.
3. LoRa-E5 Datasheet [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://files.seeedstudio.com/products/317990687/res/LoRa-E5%20module%20datasheet\\_V1.0.pdf](https://files.seeedstudio.com/products/317990687/res/LoRa-E5%20module%20datasheet_V1.0.pdf).
4. LS 33600 Datasheet [Електронний ресурс]. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.batterystation.co.uk/content/datasheets\\_MSDS/Saft/Saft%20LS33600%20Product%20Data%20Sheet.pdf](https://www.batterystation.co.uk/content/datasheets_MSDS/Saft/Saft%20LS33600%20Product%20Data%20Sheet.pdf).