

УДК 621.371

**Михайло Паламар д.т.н., проф., Андрій Чайковський к.т.н., доц.,
Володимир Круглов, Михайло Стрембіцький к.т.н., Юрій Пастернак**
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТАНЦІЇ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ДІАПАЗОНІ НАДДОВГИХ ХВИЛЬ

Розглянуто структуру модернізованої станції радіотехнічного моніторингу електромагнітного поля в діапазоні наддовгих хвиль. Запропоновано використання паралельного аналогово-цифрового перетворення вимірювальних каналів та GPS-корегованого генератора для синхронізації географічно рознесених станцій.

Ключові слова: радіотехнічний моніторинг, АЦП, наддовгі хвилі.

**Mykhaylo Palamar, Andrii Chaikovskiy, Volodymyr Kruglov, Mykhaylo Strembitskiy,
Yuriy Pasternak.**

MODERNIZATION OF VLF ELECTROMAGNETIC FIELD MONITORING STATION

Architecture of revised VLF radio monitoring station is considered. Use of parallel ADC channel acquisition and GPSDO for geographically distinct station synchronization is proposed.

Keywords: radio monitoring, ADC, VLF band.

Спостереження електромагнітного поля в діапазоні наддовгих хвиль (3..30 кГц) використовується для моніторингу нижніх шарів іоносфера яка впливає на умови поширення природних електромагнітних збурень, що дає змогу досліджувати вплив геліогеофізичних збурень на характеристики іоносфери. Зміни профілю провідності нижньої іоносфери впливають на амплітуду і фазові швидкості сигналів низькочастотних передавачів, що також може бути використано для оцінки стану нижньої іоносфери. Завдяки високій залежності умов поширення радіохвиль цього частотного діапазону в хвилеводі Земля-іоносфера від малих величин електронної щільності, зміни їх амплітуд і фаз є найбільш чутливим індикатором аномальної іонізації. Моніторинг стану іоносфери має ряд практичних застосувань: прогнозування умов наземного та космічного зв'язку, якості супутникової навігації тощо. Зокрема аномальна іонізацією атмосфери може бути одним із передвісників землетрусу [2].

Для досліджень фізичних процесів поширення низькочастотних сигналів в хвилеводі Земля-іоносфера і локації грозових розрядів за даними однієї станції досить реєструвати тільки одну вертикальну електричну і дві горизонтальні магнітних компоненти [1]. Для реалізації спостережень електромагнітного поля в низькочастотному діапазоні використовується трикомпонентна система збору даних: електромагнітне випромінювання паралельно фіксуються двома магнітними рамковими антенами зорієнтованими по напрямках північ-південь та захід-схід і всенаправленою штировою антеною. Для підвищення чутливості вимірювання додають четвертий канал – антену із об'ємним вертикальним вібратором.

В розпорядженні Головного центру спеціального контролю ДКАУ є декілька станцій радіотехнічного моніторингу, електронне обладнання яких застаріло і вимагало оновлення. Зокрема динамічний діапазон складав лише 80 дБ, а реєстрація імпульсів здійснювалася на паперових носіях [3]. Метою роботи є розроблення модернізованої

системи аналізу та реєстрації електромагнітного випромінювання наддовгого діапазону з підвищеною чутливістю та цифровою реєстрацією вимірів.

Структурна схема модернізованої системи збору даних для реєстрації компонент електромагнітного поля в НЧ діапазоні наведена на рис. 1.

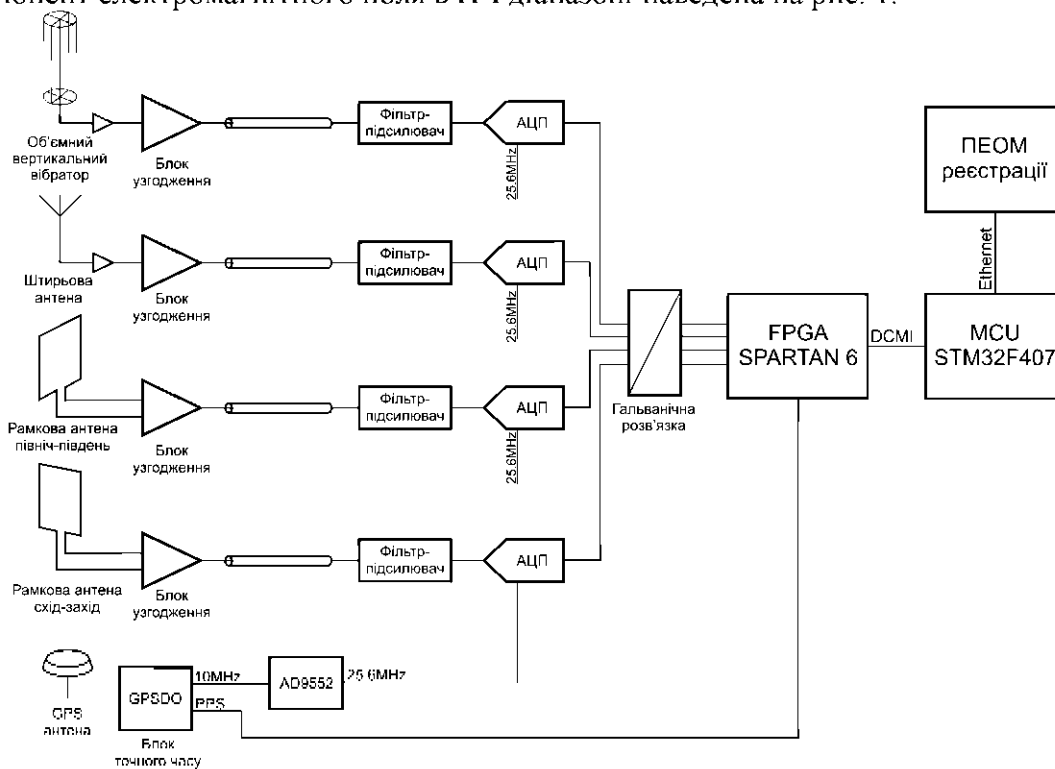


Рис. 1. Структурна схема системи збору даних

Система збору даних реалізує 4 паралельних канали аналогово-цифрового перетворення, що виключає часові розбіжності між каналами, немінучі для АЦП з мультиплексуванням каналів. Система дозволяє вести вимірювання аналогових сигналів, що надходять з антен, в частотному діапазоні до 100 кГц з динамічним діапазоном 144 дБ (використовується 24-бітний сигма-дельта АЦП AD7768 фірми Analog Devices з частотою дискретизації 200 кГц). Для реалізації широкого динамічного діапазону застосовано повне гальванічне розділення аналогової і цифрової частини. Це дозволяє придушити синфазну перешкоду навіть при розміщенні антен на відстань кількох кілометрів від АЦП і виключити вплив «гучних» цифрових ланцюгів на високочутливі перетворювачі геофізичних полів.

Жорстка прив'язка до світового часу спрощує сумісне опрацювання сигналів отриманих на географічно рознесених станціях. Прив'язка до світового часу виконується за допомогою GPSDO (GPS disciplined oscillator) приймача Trimble Thunderbolt. GPSDO приймач синхронізує частоту власного кварцового генератора 10 МГц до сигналу GPS із середньоквадратичною похибкою ± 15 нс. Частота тактування АЦП (25.6 МГц) формується із сигналу 10 МГц з допомогою програмованого PLL AD9552. Старт процесу захоплення аналогового сигналу в свою чергу синхронізується з сигналом секундної мітки GPSDO. Сумарна похибка прив'язки відліків АЦП не перевищує 1 мкс.

Результати оцифрування передаються з АЦП в FPGA (Spartan 6) та мікроконтролер STM32F407 для накладання часових міток. Отриманий потік з допомогою інтерфейсу Ethernet 100BaseT надсилається в персональний комп'ютер для реєстрації та аналізу.

На рис. 2 зображено головне вікно програми реєстрації даних. Програма в реальному часі дозволяє спостерігати осцилограму та спектрограму сигналу. Зареєстровані «сирі» форми сигналів зберігаються у чотириканальних wav-файлах протягом декількох днів. Одночасно з цим відбувається вимірювання та реєстрація амплітуди декількох несучих, заданих користувачем. Записані профілі зміни амплітуди еталонних передавачів можуть бути використані для аналізу стану іоносфери вздовж траси поширення електромагнітного випромінювання від джерела до приймача.

Окрім того, за співвідношенням амплітуд та фаз прийнятих сигналів із рамових та штирової антени можна визначити пеленг джерела сигналу. Таким чином можна реєструвати електромагнітні атмосферні розряди природного та техногенного походження. Зареєструвавши радіоімпульс з допомогою 2-3 географічно рознесених станцій, можна визначити координати джерела сигналу. Така система може бути використаною для моніторингу грозової активності чи надземних та наземних ядерних вибухів.

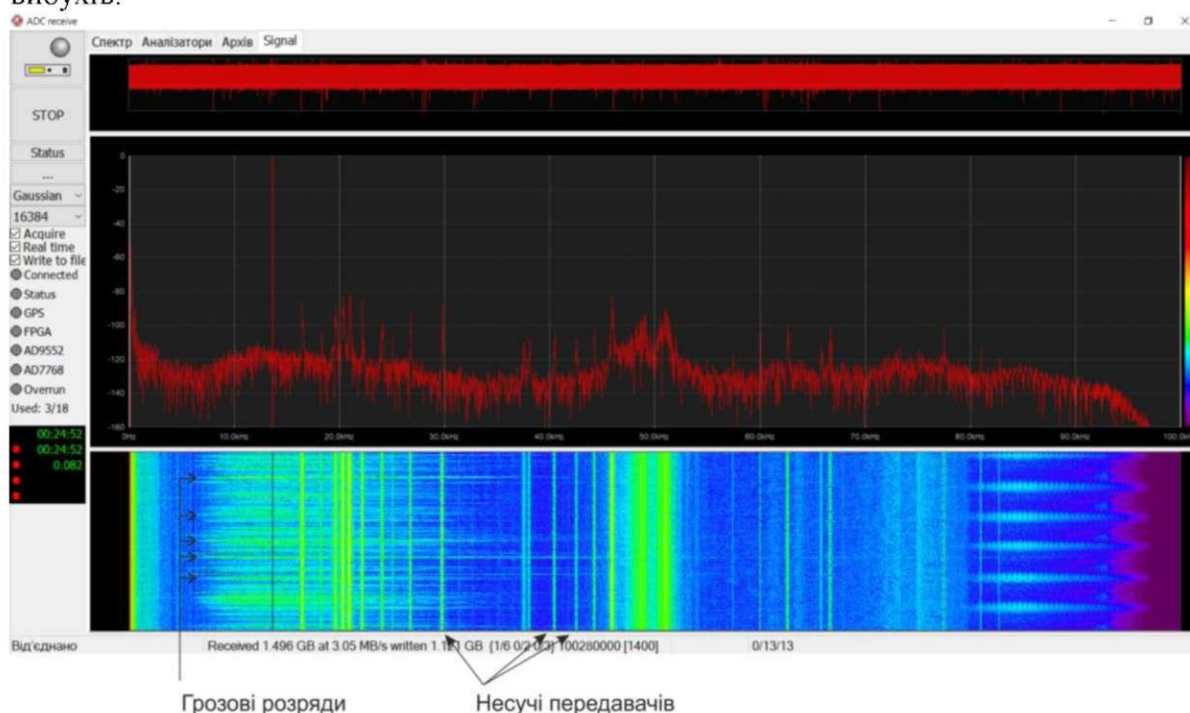


Рис. 2. Програми аналізу та реєстрації даних

Таким чином використання сучасної елементної бази дозволило підвищити чутливість та розширити функціональні можливості існуючого комплексу моніторингу. Далі нами планується розвивати можливості сумісного опрацювання сигналів із декількох станцій для визначення координат джерела сигналу та автоматичного розпізнавання атмосфериків та вістлерів.

Література

1. Burke C. P., Jones D. L. Global radiolocation in the lower ELF frequency band // J. Geophys. Res. — 1995. — Vol. 100, no. D12. — Pp. 26263–26271.
2. Лящук О. І. Комплексні підходи до пошуку ймовірних провісників землетрусів в районі гір Вранча [Текст] / О. І. Лящук, В. Ю. Савельєв, В. М. Павлович // Геодинаміка. — 2007. — № 1(6). — С. 55-59.
3. Головний центр спеціального контролю: Радіотехнічний моніторинг [Електронний ресурс] . — Режим доступу : <https://gcsk.gov.ua/radiotexnichnij-monitoring.html>