

**В.Р. Скальський, Б.П. Клим, Є.П. Почапський,  
Р.М. Плахтій, Я.Д. Толопко, Ю.З. Коссак, О.М. Станкевич**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

## **ДВОПРОЦЕСОРНА АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА ТЕЛЕМЕТРИЧНА СИСТЕМА**



*Описано принцип побудови та робота модулів реєстрації накопичення та передачі радіоканалом сигналів акустичної емісії, що призначені для роботи в телеметричній системі моніторингу великогабаритних об'єктів. Модулі виконані з урахуванням тенденцій розвитку сучасної схемотехніки та із застосуванням елементної бази відомих світових виробників.*

*Ключові слова: неруйнівний контроль, акустична емісія, телеметрична система, радіоканал.*

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ**

В Україні проблема технічного діагностування (ТД) та неруйнівного контролю (НК) великогабаритних об'єктів довготривалої експлуатації з кожним днем стає все гострішою. Це особливо стосується відповідальних промислових об'єктів, зокрема у нафтогазовому і хімічному виробництві, в енергетиці, на трубопроводному та залізничному транспорті тощо. Для підвищення безпеки їх експлуатації та зниження аварійності важливого значення набуває необхідність моніторингу таких об'єктів, що дасть можливість виявляти руйнування на ранніх стадіях і, таким чином, запобігати виникненню аварійних ситуацій. Важлива роль тут відводиться методології, яка ґрунтується на застосуванні явища акустичної емісії (АЕ).

Особливістю апаратури для проведення АЕ-діагностування є її універсальність, що дає змогу оцінити стан будь-яких виробів чи елементів конструкцій незалежно від їх форми та

розмірів, віддалі до об'єкта контролю (ОК) тощо [1]. Необхідно зазначити й те, що з швидким розвитком сучасної електроніки більшість АЕ-засобів швидко морально старіють. За кордоном останнім часом активно ведуться розробки апаратури з використанням радіоканалу для передачі АЕ-інформації. Такі засоби пропонують відомі зарубіжні холдинги та компанії: Mistras Group на чолі з компанією PAC (США), Vallen Systeme (Німеччина), Brüel&Kjær (Данія), ІНТЕРЮНІС, НВФ «Диатон», ДИАПРОМЕЛ (Росія) [2–7].

Не зважаючи на деякі оригінальні розробки АЕ-засобів [8, 9], промислове виробництво подібної апаратури в Україні взагалі відсутнє. Тому створення портативних багатоканальних телеметричних систем АЕ-діагностування є актуальним.

### **СТАН ПРОБЛЕМИ**

Поширені сьогодні діагностичні АЕ-системи мають низку недоліків, серед яких суттєвими є наявні кабельні лінії від ОК до місця розташування АЕ-системи. Останнім часом розроблено нові технології, які і значно дешевші, і

усувають ці недоліки. До них належать бездротові системи передачі інформації. Використання новітньої елементної бази для побудови таких систем діагностування дає можливість покращувати їх технічні характеристики, зменшувати вагу, габарити та енергоспоживання.

Серед відомих виробників на ринку АЕ-засобів НК та ТД чільне місце посідає компанія РАС (США), яка пропонує систему реєстрації АЕ «Радіоканал» [10], створену на базі сучасних мікропроцесорів. В основі цієї бездротової системи є вузол, до якого належать первинний перетворювач АЕ та модуль, що здійснює вимірювання параметрів сигналів і передає їх у цифровому вигляді по радіоканалу на приймальну станцію, яка з'єднується з персональним комп'ютером (ПК) через канал USB. Вузли розроблені на основі спеціальних мікросхем, що можуть працювати від автономного джерела живлення протягом кількох годин.

Вузол із перетворювачем — це повноцінний функціональний цифровий АЕ-канал із можливостями обчислення всіх параметрів АЕ і форми хвилі і має вбудований попередній підсилювач (можна також підключати зовнішній підсилювач). Окрім того, що вузол підтримує часові параметри імпульсу АЕ, у системі передбачено спеціальний «пакетний» режим автоматичного контролю первинних перетворювачів для реалізації більшої потужності імпульсу.

Система може працювати у двох режимах: а) безпосередньої передачі сигналів від вузлів до базової станції та б) у «мережевому» режимі, коли вузли передають сигнали до базової станції через сусідні вузли. Цей режим найзручніший для моніторингу ОК великої протяжності.

У Росії сьогодні широко застосовують діагностичну АЕ-апаратуру сімейства А-Line 32D [11] (ТзОВ ИНТЕРЮНИС). До останнього покоління приладів належить система підвищеної заводостійкості модульного типу з послідовним високошвидкісним цифровим каналом передачі даних Лель /А-Line 32D (DDM/R) із комплектом цифрового бездротового зв'язку

[11]. До складу системи входять: центральний блок збору і обробки даних на базі індустріального комп'ютера; центральна приймально-передавальна станція (ЦППС), яка призначена для прийому даних із модулів АЕ та управління ними (один блок ЦППС може забезпечувати бездротову передачу даних із 16 ППС, кожна з яких дозволяє підключити один або два модулі АЕ); приймально-передавальна станція, яка обладнана вбудованими акумуляторами, що забезпечують до 8 год роботи в автономному режимі; модуль АЕ; первинний перетворювач. Система забезпечує стійку передачу даних радіоканалом у радіусі 500 м від ЦППС. У деяких випадках (з використанням направлених антен) дальність дії сягає до 1 км.

Відома також безпроводна система моніторингу будівельних конструкцій фірми «Геотек» [12], яка забезпечує передачу даних з ОК без візуального його огляду. Дані вимірювань можуть передаватися до користувача різним шляхом (напр., через Інтернет). Декілька первинних перетворювачів об'єднують в мережу, утворюючи «вузли», які мають джерело живлення і можуть передавати самостійно сигнали тільки на малі відстані. Тому на об'єкті встановлюється центральний пристрій, який збирає і зберігає інформацію в базі даних для аналізу з різних вузлів. Ці дані використовують для оцінки поточного стану конструкцій і у разі настання критичної ситуації видається повідомлення у вигляді сигналу тривоги. Центральний пристрій виконує також калібрування первинних перетворювачів і забезпечує перепрограмування їх вузлів, зберігаючи в цілому систему гнучкою. Центральний пристрій має ПК з постійним джерелом живлення і відповідними програмами [12].

В Україні на особливо небезпечних промислових об'єктах успішно використовуються діагностичні системи сімейства ЕМА. Розроблена в Інституті електрозварювання (ІЕЗ) ім. Є.О. Патона НАНУ апаратура ЕМА-3 призначена для оцінки стану посудин високого тиску, сховищ різного призначення, компресорних

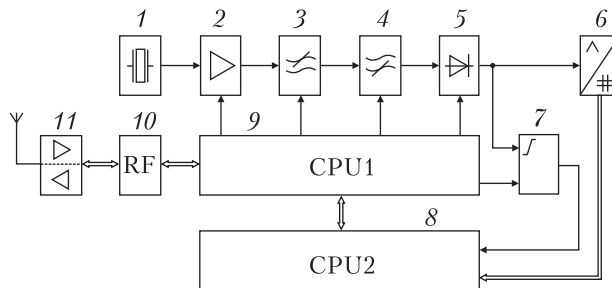
станцій, магістральних трубопроводів, котельних установок, рухомих деталей, роторів турбін і інших конструкцій і агрегатів в процесі випробувань і експлуатації.

Апаратура забезпечує автоматизовані вимірювання, збір, обробку і зберігання діагностичної інформації, необхідної для прийняття рішення про стан конструкцій і його прогнозування. Апаратура ЕМА-3 призначена для вирішення завдань акустико-емісійного контролю за утворенням і розвитком тріщин, що виникають при зварці, для безперервного моніторингу виробів протягом усього процесу експлуатації.

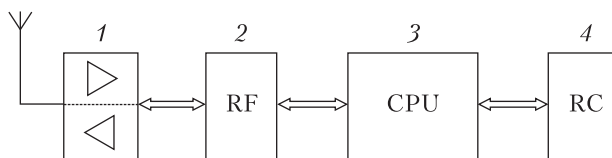
Програмне забезпечення ЕМА-3 дає можливість керувати діагностичною апаратурою в процесі випробувань і обробки результатів. Під час випробувань це дає змогу визначати координати дефектів, що розвиваються, прогнозувати руйнівне навантаження на ранніх етапах навантаження і оцінювати залишковий ресурс контрольованого виробу. Результати випробувань представляються у вигляді таблиць або графіків. За результатами випробувань програма протягом короткого часу автоматично створює оформлений відповідно до прийнятих стандартів звіт [13–15].

АЕ-системи використовують радіоканал або кабельні лінії для зв'язку периферійних вузлів, що встановлюють на ОК, з базовою станцією, призначеною для збору та подальшої обробки інформації. На жаль, під час сеансу зв'язку периферійного пристрою однопроцесорні системи не можуть одночасно вимірювати вхідний сигнал, оскільки зайняті процесом передачі даних. Тому під час діагностування швидких процесів частина вхідної інформації може бути не зафіксована.

При розробці телеметричної системи нами переслідувалась мета вибрати концепцію побудови та практично реалізувати принципові електричні схеми і програмне забезпечення дво-процесорної телеметричної системи для підвищення достовірності реєстрації імпульсів АЕ з мінімальними втратами інформації у про-



**Рис. 1.** Структурна схема радіотелеметричного каналу АЕ-системи: 1 – первинний п'єзоперетворювач сигналів; 2 – логарифмічний підсилювач; 3 – фільтр низьких частот (ФНЧ); 4 – фільтр високих частот (ФВЧ); 5 – детектор; 6 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 7 – компаратор; 8 – накопичувальний мікроконтролер; 9 – передавальний мікроконтролер; 10 – приймально-передавальний модуль; 11 – підсилювач потужності



**Рис. 2.** Структурна схема базової станції телеметричної АЕ-системи: 1 – підсилювач потужності; 2 – приймально-передавальний модуль; 3 – мікроконтролер; 4 – ПК

цесі її відбору під час моніторингу чи діагностування відповідальних об'єктів тривалого експлуатування.

### КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ

Телеметрична АЕ-система складається з дво-процесорного периферійного приймально-передавального модуля (ПППМ), показаного на рис. 1, та базової приймально-передавальної станції (БППС), наведеної на рис. 2.

Кількість ПППМ відповідає кількості первинних перетворювачів сигналів АЕ, що встановлюють на ОК. базова приймально-передавальна станція розташовується в зоні радіовидимості всіх встановлених ПППМ (до 300 м) і приймає радіоканалом інформацію, що реєструється всіма ПППМ, та через USB-інтерфейс передає її в ПК для подальшої обробки.

Кожний ПППМ складається з аналогових та цифрових вузлів, зібраних на сучасних мало-

споживаючих електронних компонентах, що мають можливість програмного переходу у «сплячий» режим, під час якого енергоспоживання зменшується більш ніж на 2 порядки.

У активному стані кожний ПППМ здійснює реєстрацію сигналів АЕ від свого первинного перетворювача і в момент приходу сигналу АЕ, що перевищує програмно наперед встановлений пороговий рівень шумів, починає запис його в пам'ять з їх часовою прив'язкою. Дані в цифровому вигляді накопичуються мікроконтролером CPU2 (рис. 1). В цей час мікроконтролер CPU1 проводить налагодження сеансів зв'язку радіоканалом з БППС, встановлює наявність вільного каналу для зв'язку, синхронізується з мікроконтролером БППС та обмінюється з ним іншою службовою інформацією. В певний момент часу всі накопичені зареєстровані дані про сигнали АЕ з CPU2 переносяться в CPU1, де доповнюються байтами службової інформації та передаються у модуль приймача-передавача RF, щоб передати їх в ефір вільним радіоканалом. Мікроконтролер CPU2 знову переходить у режим накопичення зареєстрованих сигналів, а CPU1 далі слідкує за готовністю радіоканалу і приймає керуючі та синхронізуючі команди з БППС. Після приходу з БППС команди переходу у сплячий режим CPU1 переводить всі активні компоненти в режим зниженого енергоспоживання, а сам переходить у режим очікування.

Завдяки такій організації обміну даними між 2-ма контролерами вдалося здійснити передачу радіоканалом інформативних даних на БППС цілими масивами подій, а не лише інформацію про одну подію АЕ. Згідно з протоколами передачі цифрових даних, що регламентують передачу супроводжуючої службової інформації разом з корисною, у даному випадку службова інформація передається тільки один раз з великим масивом інформативних даних, що скорочує кількість сеансів зв'язку та зменшує загальний час роботи у передавальному режимі. Завдяки цьому збільшено кількість ПППМ, що встановлюються на ОК, а отже і діагносто-

вану площу чи об'єм ОК, суттєво знижено енергоспоживання на один радіоканал. Завдяки тому, що один мікроконтролер знаходиться в режимі накопичення даних і не обслуговує радіоканал, час відсутності реєстрації інформативного сигналу АЕ скоротився.

### ВИКОНАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ТА МОДУЛІВ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО КАНАЛУ

**Аналоговий тракт.** Спочатку сигнали АЕ проходять відповідну обробку в аналоговому тракті телеметричного каналу системи. З метою зниження споживаної потужності для збільшення можливого часу роботи від акумуляторів у всіх вузлах та модулях як аналогової, так і цифрової частини ПППМ застосовано електронні компоненти з низьким енергоспоживанням та можливістю переходу у сплячий режим, зокрема операційні підсилювачі AD8028 фірми «Analog Devices». Структурна схема такого підсилювача приведена на рис. 3. За подачі від мікроконтролера на виводи 5, 6 потенціалу логічного нуля ця мікросхема переходить у сплячий режим зі зниженням енергоспоживання у 17 разів, а час виходу з цього режиму становить лише 45 нс, що важливо для деяких прикладних застосувань у швидкодіючих інформаційних системах [16]. Широкий діапазон напруг живлення, частотні та часові параметри цього операційного підсилювача дозволили використати його у вузлах ФНЧ, ФВЧ та детекторі огинаючої телеметричної АЕ-системи.

Для підсилення сигналів АЕ з виходу первинного перетворювача розроблено основний підсилювач, що формує основну смугу пропускання тракту та забезпечує динамічний діапазон вхідних сигналів. Він виконаний із застосуванням логарифмічного підсилювача AD8307 цієї ж фірми (рис. 4) і відзначається малою споживаною потужністю зі збереженням основних електричних параметрів, необхідних для роботи з сигналами як малого, так і високого рівня. Наявність сплячого режиму дозволяє при подачі від контролера команди на вивід 6 знизити енергоспоживання у 53 рази [17].

Формування робочої смуги частот відбувається за допомогою ФНЧ та ФВЧ, виконаних за традиційною схемою Баттерворта з комутованою частотою зрізу. У порівнянні з фільтрами Чебишева, Бесселя, Кауера та Кея фільтр Баттерворта має найбільш плоску характеристику в смузі пропускання з меншою крутизою спаду до смуги згасання. Але для подальшого перетворення корисного сигналу в цифрову форму та отримання заданої точності перетворення нерівномірність характеристики в смузі пропускання виходить на перший план, оскільки досліджуваний сигнал лежить в смузі пропускання, а не на спаді характеристики. Ось чому найкориснішим у даному випадку є застосування фільтра Баттерворта [18].

Для побудови фільтра ФНЧ використовували операційні підсилювачі AD8028 цієї ж фірми. Фільтр реалізований у вигляді неінвертуючого підсилювача напруги з коефіцієнтом підсилення 1,59. Частотну характеристику фільтра формують резистори і конденсатори, включені в коло додатного зворотного зв'язку. Для комутації частот зрізу використовується швидкодіючий комутатор ADG711 фірми «Analog Devices», який до постійно підключеного ланцюжка резисторів підключає один або два додаткових ланцюжки. Управління комута-

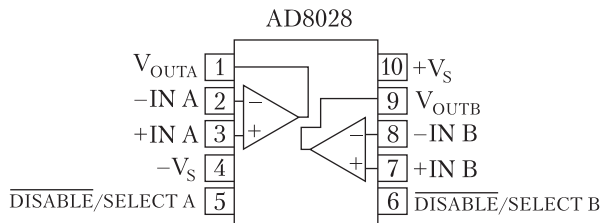


Рис. 3. Структурна схема економічного операційного підсилювача зі сплячим режимом

ром здійснюється за командою мікроконтролера через цифрову шину.

Фільтр ФВЧ виконаний аналогічно. Для комутації частот зрізу комутатор до постійно підключеного ланцюжка конденсаторів підключає один або два додаткових ланцюжки. Управління комутатором аналогічне.

Для виділення огинаючої сигналу АЕ у телеметричному каналі служить детектор. У аналоговому тракті використали піковий детектор, що має максимальне відношення швидкості наростання сигналу на виході схеми до спаду вершини імпульсу. Якщо в схемі детектора використані операційні підсилювачі з найменшими вхідними струмами, то спад вершини імпульсу визначатиметься величиною зворотного струму діода, оскільки зворотні струми відповідних діодів перевищують струми змі-

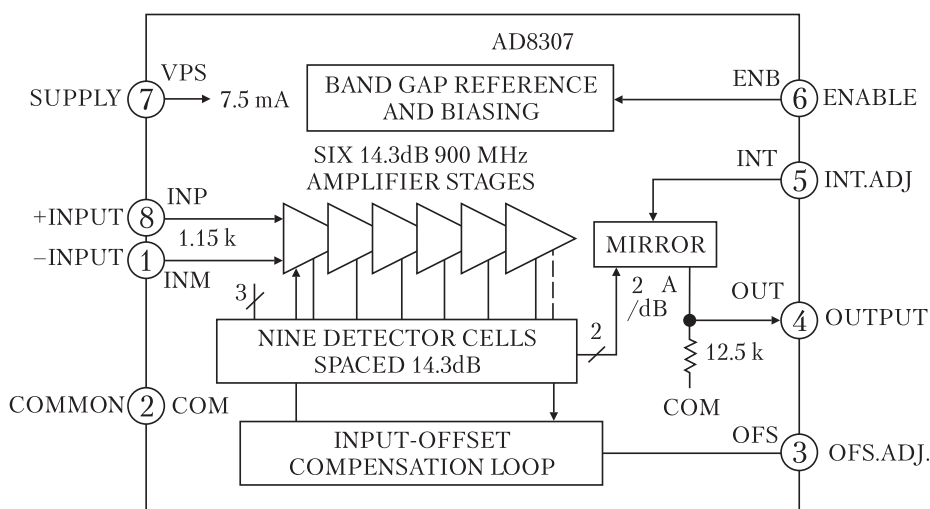


Рис. 4. Структурна схема логарифмічного підсилювача

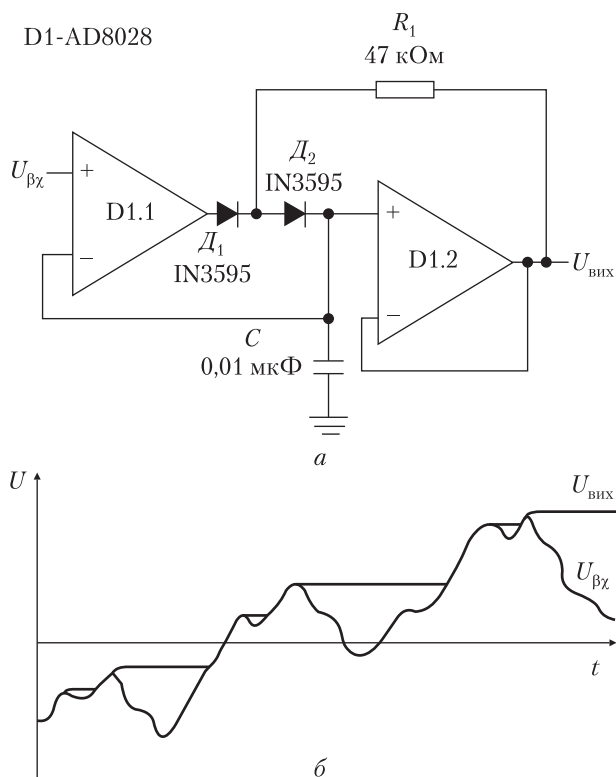


Рис. 5. Принципова електрична схема детектора радіотелеметричного АЕ-каналу (а) та часова діаграма його роботи (б)

шення операційних підсилювачів [16]. На рис. 5 наведена розроблена схема. Напруга на конденсаторі  $C$  повторює вхідне коливання на інтервалі його збільшення: мікросхема  $D1.1$  заряджає конденсатор через обидва діоди, а вихідна напруга схеми  $D1.2$  ніяк не впливає на цей процес. Коли значення вхідної напруги стає меншим пікового, схема  $D1.1$  переходить у режим насичення, а  $D1.2$  підтримує напругу в точці з'єднання діодів, яка дорівнює напрузі на конденсаторі і повністю усуває зворотний струм у діоді  $D_2$ . Невеликий зворотний струм діода  $D_1$  протікає через резистор  $R_1$  і створює на ньому падіння напруги, яким можна знехтувати. У даному детекторі використали операційні підсилювачі AD8028.

Виділений, підсилений та протестований у аналоговому тракту сигнал АЕ подається на

АЦП, що служить для перетворення вхідних аналогових сигналів у цифровий вигляд для збереження в пам'яті та подальшої передачі за допомогою радіоканалу на БППС.

**Протоколи та частоти радіозв'язку для телеметрії.** Найперспективнішим діапазоном телеметричної передачі інформації є 2400–2483,5 МГц. Найбільшої швидкості передачі і найвищої завадостійкості досягають на частоті 2,4 ГГц і для інформативних даних разом зі службовою інформацією вона становить 500 кб/с. З урахуванням цього та завантаженості мережі пропускна здатність радіоканалу для корисної інформації є 5–40 кб/с. На рис. 6 наведено зв'язок цих параметрів з дальністю радіозв'язку. Крім цього, у високочастотніших діапазонах існує можливість організувати більшу кількість радіоканалів при однаковій ширині смуги каналу.

За допомогою відомих електричних параметрів приймально-передавальних пристроїв можна визначити максимальну дальність радіозв'язку в ідеальних умовах на рівнинній місцевості за такою формулою:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}}, \quad (1)$$

де  $P_t$  – потужність на передавальній антені,  $P_r$  – потужність на приймальній антені,  $G_t$  та  $G_r$  – коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен відповідно,  $d$  – віддаль між передавальною та приймальною антенами,  $\lambda = \frac{c}{f}$  – довжина хвилі, на якій працює радіоканал,  $f$  – його робоча частота,  $c$  – швидкість світла. І навпаки, коли відома відстань, на яку треба передати інформацію в заданому радіодіапазоні, можна визначити необхідну вихідну потужність радіопередавача. Крім того, вказані вище параметри приймально-передавальних пристроїв зв'язані між собою та з відстанню  $d$  співвідношеннями

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right) - 20 \log d, \quad (2)$$

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (3)$$

Передача цифрових даних радіоканалом відбувається згідно з відповідними розробленими стандартами. Існує кілька стандартизованих протоколів передачі даних, що регламентують визначений алгоритм роботи багатьох приймально-передавальних пристроїв в одній мережі, де користуються одним або більше радіоканалами. Всі протоколи розроблені під конкретні прикладні застосування і забезпечують різні швидкість передачі даних, дальність зв'язку, достовірність передачі, енергоспоживання та ступінь захисту інформації. У таблиці наведена порівняльна характеристика найуживаніших протоколів. Серед найдосконаліших необхідно відзначити стандарт Zigbee (IEEE802.15.4), який працює з повним протоколом квітування для надійної передачі даних і дозволяє керувати живленням, гарантуючи мале споживання енергії. Перевагою цього стандарту є наявність набагато меншого «стеку» протоколу, ніж у Bluetooth.

Стандарт Zigbee оптимізований для переривчастої передачі даних, що сприяє досить низькому загальному споживанню енергії (за умови передачі невеликої кількості даних між тривалими періодами часу). Однак через складний алгоритм передачі службової інформації та великий її об'єм не завжди вдається використати цей стандарт у випадку відносно швидкодіючих телеметричних систем. Тоді доцільнішим видається мережевий протокол передачі даних Simpliсi TI, розроблений фірмою

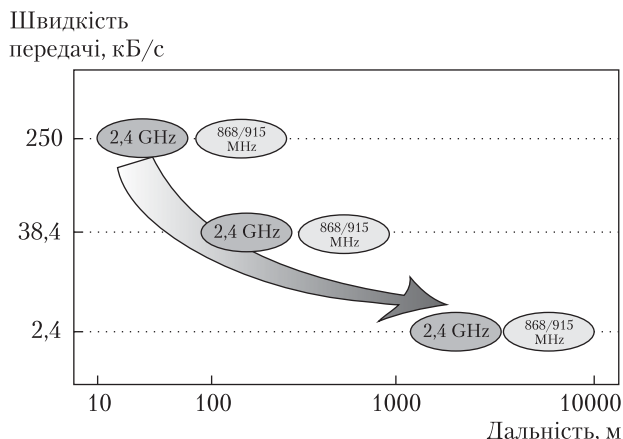


Рис. 6. Залежність дальності радіозв'язку від частотного каналу та швидкості передачі інформації

Texas Instruments. Протокол орієнтований на мережі з невеликою кількістю пристроїв, дуже простий у застосуванні і використовує мінімальні ресурси мікроконтролера під час реалізації. Незважаючи на скромні вимоги до ресурсів мікроконтролера, мережевий протокол Simpliсi TI підтримує топології «зірка» з точкою доступу для запису даних з кінцевого пристрою і відправки повідомлень йому, а також може мати до чотирьох ретрансляторів (розширювачів віддалі зв'язку). Мережевий протокол Simpliсi TI розповсюджується з відкритим кодом і не вимагає ліцензії та інших відчислень користувача. Розробники пристроїв бездротового зв'язку можуть адаптувати цей протокол під свої потреби.

**Цифрові вузли та модулі приймально-передавальної частини телеметричного каналу.** Отже до складу цифрової частини теле-

Характеристики протоколів передачі даних радіоканалами

Основні характеристики	Протокол передачі даних				
	Аматорський радіочастотний	Simpliсi TI	802.14.4 TIMAC	RF4CE	ZigBee
Топологія зв'язку	змінна	лінійна та зіркова мережева	зіркова мережева	зіркова мережева	стільниковка
Об'єм пам'яті	змінний	<8 кБ	<32 кБ	<64 кБ	>64 кБ
Складність	змінна	низька	низька	низька	середня

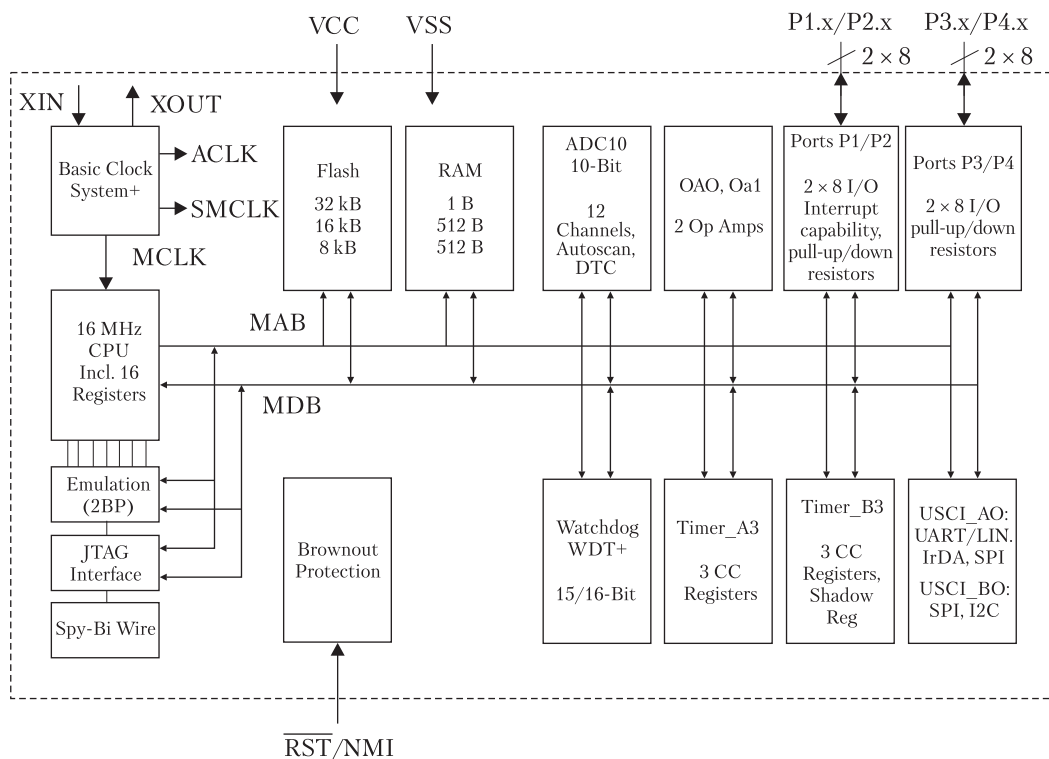


Рис. 7. Внутрішня архітектура мікроконтролера MSP430F2274

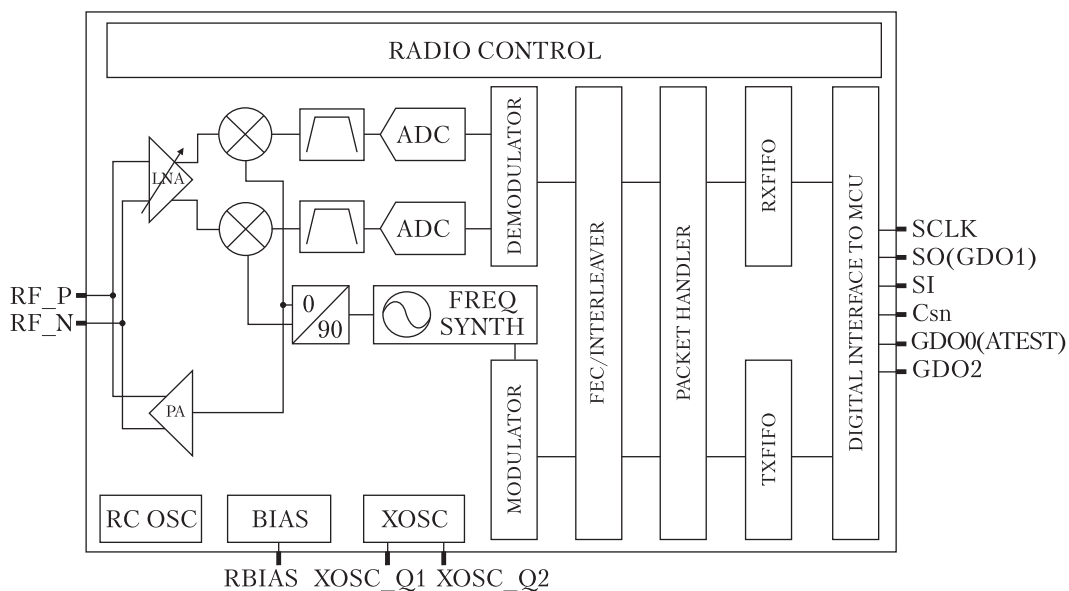


Рис. 8. Внутрішня архітектура приймача-передавача CC2500



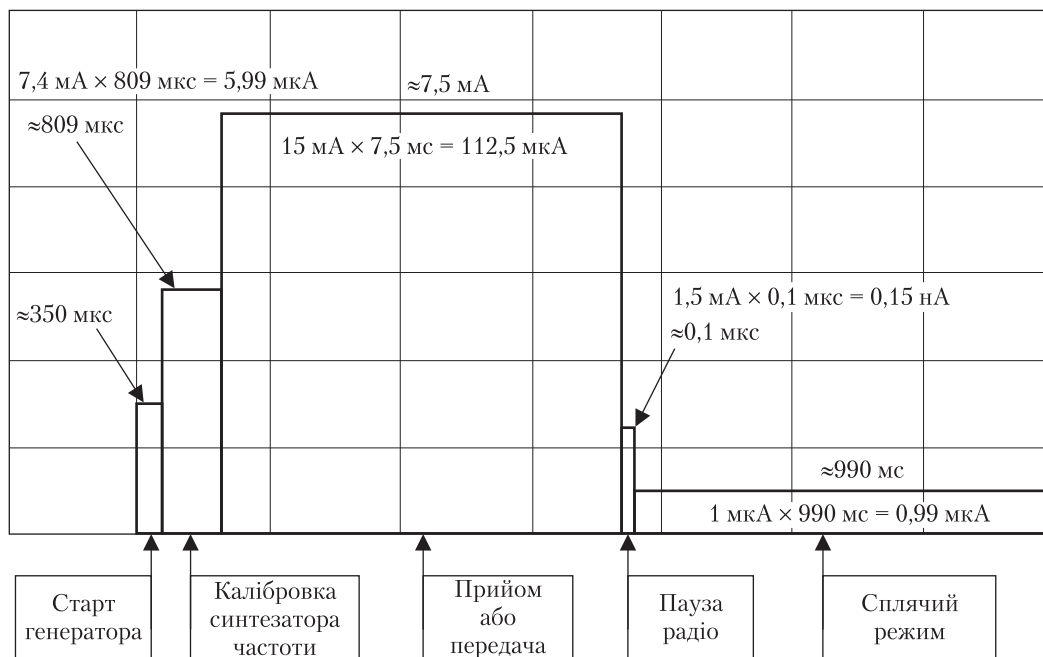


Рис. 9. Часова діаграма та енергетичні характеристики під час роботи приймально-передавального тракту

метричного каналу входять 2 мікроконтролери та приймач-передавач з підсилювачем потужності. Мікроконтролер CPU2 призначений для збору та накопичення АЕ-інформації у цифровому вигляді і формування кадрів даних для передачі радіоканалом. Мікроконтролер CPU1 керує роботою телеметричного каналу в цілому, організовує сеанси зв'язку з БППС, отримує дані з CPU2, синхронізує роботу каналу з БППС.

У цифровій частині як мікроконтролери CPU1 та CPU2 були використані процесори MSP430 виробництва Texas Instruments [19]. Це малоспоживаючі мікроконтролери, які містять кілька особливих пристроїв, різноманітні установки периферії і призначені для різноманітних застосувань. Архітектура забезпечує п'ять малоспоживаючих режимів, оптимізованих на продовження часу експлуатації батареї в переносних вимірювальних приладах (рис. 7).

Мікроконтролер CPU1 працює у парі з мікросхемою приймача-передавача CC2500, який керується та обмінюється даними з мікроконтролером по інтерфейсу SPI і призначений для

прийому та передачі цифрової інформації радіоканалом. Функціональну схему мікросхеми приймача-передавача зображено на рис. 8. Під час передачі частотний синтезатор мікросхеми генерує несучу частоту, яка модулюється цифровими даними та через мікросхему підсилювача потужності передається в ефір. А прийнятий сигнал збільшується підсилювачем з програмованим коефіцієнтом підсилення і подається на змішувачі, уже з яких сигнал проміжної частоти демодулюється, фільтрується і у цифровому вигляді передається по інтерфейсу SPI до мікроконтролера CPU1. Для змішувача використовується сигнал з частотного синтезатора [20].

Приймач-передавач, керований мікроконтролером CPU1, працює згідно з діаграмою, наведеною на рис. 9.

Таким чином, вибрана концепція побудови телеметричного каналу забезпечує його високі експлуатаційні характеристики, підвищення достовірності реєстрації імпульсів АЕ з мінімальними втратами інформації у процесі її

відбору під час діагностування відповідальних об'єктів тривалої експлуатації.

### ВИСНОВКИ

Застосування обробки інформації двома мікроконтролерами дало можливість збільшити кількість ПППМ на ОК, а отже і збільшити обсяги діагностування. Завдяки використанню сучасної елементної бази та схемотехнічних рішень вдалося суттєво знизити енергоспоживання радіоканалом.

Технічні характеристики телеметричної АЕ-системи відповідають сучасним світовим аналогам як за рівнем технічних характеристик, так і за програмним забезпеченням.

Дану розробку можна без особливих капіталовкладень запровадити у серійне виробництво в Україні, що дасть можливість підвищити ефективність моніторингу та діагностування виробів і споруд, особливо об'єктів тривалої експлуатації та підвищеної небезпеки, а відтак ефективно побудувати єдину мережу GPRS чи Інтернет-збору інформації.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Скальський В.Р., Коваль П.М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. — Львів: Сполом, 2005. — 396 с.
2. Physical Acoustics Corporation [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.pacndt.com>.
3. Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.vallen.de>.
4. Brüel&Kjær [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://bksv.com>.
5. IU ИНТЕРЮНИС. Системы промышленного мониторинга [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: [http://interunis.ru/products/ae\\_sistemi](http://interunis.ru/products/ae_sistemi).
6. Акустическая эмиссия, НПФ Диатон [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.diaton-test.ru/index.htm>.
7. ДИАПРОМЕЛ. Диагностическая и промышленная электроника [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://www.diapromel.narod.ru>.
8. Портативна система SKOP-8M для вимірювання та аналізу сигналів акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.П. Клим, Р.М. Плахтій [та ін.] // Наука та іннов. — 2010. — Т. 6, № 3. — С. 20–29.
9. Особливості програмного забезпечення акустико-емісійних засобів неруйнівного контролю / В.Р. Скальський, О.М. Станкевич, Б.П. Клим [та ін.] // Техніческая диагностика и неразрушающий контроль. — 2010. — № 3. — С. 5–13; № 4. — С. 16–23.
10. Система регистрации АЭ «Радиоканал» [Электронный ресурс] // ДИАПАК. — Режим доступа: URL: <http://www.diapac.ru/Wireless.php/>.
11. Акустико-эмиссионные системы А-Line 32D (DDM/R) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: [http://www.avek.ru/equipment/?section\\_id=107&item\\_id=841/](http://www.avek.ru/equipment/?section_id=107&item_id=841/).
12. Автоматизированная оценка состояний конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс] // GEOTEK. — Режим доступа: URL: [http://www.npp-geotek.ru/monitoring/articles/building/building.php?sphrase\\_id=117498/](http://www.npp-geotek.ru/monitoring/articles/building/building.php?sphrase_id=117498/).
13. Диагностические системы семейства «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры (Обзор) / С.А. Недосека, А.Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2005. — № 3. — С. 20–26.
14. О непрерывном мониторинге хранилищ жидкого аммиака / А.Я. Недосека, С.А. Недосека, М.А. Яременко [и др.] // Автоматическая сварка. — 2004. — № 2. — С. 10 — 17.
15. Об опыте применения АЭ технологии при непрерывном мониторинге оборудования Одесского припортового завода / А.Я. Недосека, С.А. Недосека, М.А. Яременко [и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2008. — № 4. — С. 85–95.
16. AD8028 — Low Distortion, High Speed Rail-to-Rail Input/Output Amplifiers — Analog Devices [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/102773/AD/AD8028.html>.
17. AD8307 — Low Cost DC-500 MHz, 92 dB Logarithmic Amplifier — Analog Devices [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/48438/AD/AD8307.html>.
18. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. — М.: Мир, 1983. — т. 1. — 598 с.
19. MSP430x22x2, MSP430x22x4 mixed signal microcontroller [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/231876/TI/MSP430F2274.html>.
20. CC2500 — Single Chip Low Cost Low Power RF Transceiver — Texas Instruments [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/143402/TI/CC2500.html>.

*В.Р. Скальський, Б.П. Клим,  
Е.П. Почапський, Р.М. Плахтий, Я.Д. Толопко,  
Ю.З. Коссак, О.М. Станкевич*

ДВУХПРОЦЕССОРНАЯ  
АКУСТИКО-ЭМИССИОННАЯ  
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Описаны принцип построения и работа модулей регистрации накопления и передачи по радиоканалу сигналов акустической эмиссии, которые предназначены для работы в телеметрической системе мониторинга крупногабаритных объектов. Модули выполнены с учетом тенденций развития современной схемотехники и с применением элементной базы известных мировых производителей.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль, акустическая эмиссия, телеметрическая система, радиоканал.

*V.R. Skal'skiy, B.P. Klym,  
E.P. Pochapskiy, R.M. Plakhtiy, Ya.D. Tolopko,  
Yu.Z. Kossak, O.M. Stankevich*

DUAL-PROCESSOR ACOUSTIC  
EMISSION TELEMETRIC SYSTEM

The paper describes the principle of design and work of modules for registration, accumulation and transmission of acoustic emission signals via radio channel that is intended to work in a telemetric system for monitoring large scale objects. The modules are designed using the advances in modern circuit engineering and with application of the elemental resources of leading electronic producers.

*Key words:* nondestructive testing, acoustic emission, telemetric system, radio channel.

Стаття надійшла до редакції 14.04.11