

УДК 621.794

**ВОСЬМИКАНАЛЬНА РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНА АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ****В. Р. Скальський, Є. П. Почапський, Б. П. Клим, О. Г. Сімакович, Я. Д. Толопко***Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, м. Львів,
79601, тел. (0322) 29-63-51, e-mail: pochapskyu@ipm.lviv.ua*

Розкрито структуру восьмиканальної радіотелеметричної акустико-емісійної системи моніторингу об'єктів тривалої експлуатації. Представлені результати розробки програмно-алгоритмічного забезпечення для апаратної частини системи і для персонального комп'ютера, який здійснює управління системою та постобробку акустико-емісійної інформації. Наведені основні технічні характеристики системи.

Ключові слова: радіотелеметрична акустико-емісійна система, мікроконтролер.

Раскрыта структура восьмиканальной радиотелеметрической акустико-эмиссионной системы мониторинга объектов длительной эксплуатации. Представлены результаты разработки программно-алгоритмического обеспечения для аппаратной части системы и для персонального компьютера, осуществляющего управление системой и постобработку акустико-эмиссионной информации. Приведены основные технические характеристики системы.

Ключевые слова: радиотелеметрическая акустико-эмиссионная система, микроконтроллер.

Introduced the structure of acoustic emission telemetry system for monitoring the objects of long operation. The results of the development of algorithmic software for hardware system and for the personal computer have been presented. The system allow to control of acoustic emission experiment and post-processing obtained data. The basic specifications of the system have been described.

Key words: acoustic emission telemetry system, microcontroller.

Вступ. Традиційні акустико-емісійні системи мають низку недоліків, серед яких є наявність кабельних ліній від об'єкта контролю до місця розташування системи. Останнім часом розроблені бездротові технології, які є значно дешевші і усувають ці недоліки. Сюди слід віднести радіотелеметричні системи, під якими розуміють сукупність передавальної і приймально-реєструючої апаратури, призначеної для вимірювання, передачі за допомогою радіохвиль, прийому і реєстрації різних параметрів, що характеризують процеси на об'єкті контролю. Використання новітньої елементної бази для побудови таких систем діагностування дає можливість покращувати їх технічні характеристики, зменшувати вагу, габарити та енергоспоживання.

Аналіз публікацій. Постановка проблеми. За кордоном останнім часом активно ведуться розробки апаратури з використанням радіоканалу для передачі акустико-емісійної інформації. Такі засоби пропонують відомі зарубіжні холдинги та компанії: Mistras Group на чолі з компанією PAC (США), Vallen Systeme (Німеччина), Brüel&Kjær (Данія),

ИНТЕРЮНИС, НВФ “Диатон”, ДИАПРОМЕЛ (Росія) [1–10].

Серед відомих виробників на ринку акустико-емісійних засобів чільне місце посідає компанія PAC (США), яка пропонує систему реєстрації “Радіоканал”, створену на базі сучасних мікропроцесорів [7]. В основі цієї бездротової системи є вузол, до якого належать первинний перетворювач та модуль, що здійснює вимірювання параметрів сигналів акустичної емісії (АЕ) і передає їх у цифровому вигляді через радіоканал на приймальну станцію, з'єднану з персональним комп'ютером (ПК) через канал USB. Вузли системи можуть працювати від автономного джерела живлення протягом кількох годин.

Вузол із перетворювачем – це повноцінний функціональний цифровий канал із можливостями обчислення всіх параметрів сигналу АЕ. Він 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; б) – у “мережевому” режимі, коли одні вузли передають сигнали до базової станції через своїх сусідів. Цей режим найзручніший для моніторингу об’єктів контролю (ОК) великої протяжності.

У Росії широко застосовують діагностичну АЕ-апаратуру сімейства A-Line 32D [8] (ТзОВ ИНТЕРЮНИС). До останнього покоління приладів належить система підвищеної заводськості модульного типу з послідовним високошвидкісним цифровим каналом передачі даних Лель /A-Line 32D (DDM/R) із комплектом цифрового бездротового зв’язку. До складу системи входять: центральний блок збору і обробки даних на базі індустріального комп’ютера; центральна приймально-передавальна станція, призначена для прийому даних із модулів АЕ та управління ними; приймально-передавальна станція, обладнана вбудованими акумуляторами, що забезпечують до 8 год. роботи в автономному режимі; модуль АЕ; первинний перетворювач. Система забезпечує передачу даних радіоканалом у радіусі 500 м від центральної станції.

Відома також безпроводна система моніторингу будівельних конструкцій фірми “Геотек” [9], яка забезпечує передачу даних з ОК без його візуального огляду. Дані вимірювань можуть передаватися до користувача різними шляхами (наприклад, через Інтернет). Декілька первинних перетворювачів об’єднують у мережу, утворюючи “вузли”, які мають джерело живлення і самостійно можуть передавати сигнали тільки на малі відстані. Тому на об’єкті встановлюють центральний пристрій, який збирає і зберігає інформацію в базі даних для аналізу з різних вузлів. У разі настання критичної ситуації надходить повідомлення у вигляді сигналу тривоги. Центральний пристрій виконує також калібрування первинних перетворювачів і перепрограмування їх вузлів, забезпечуючи в цілому гнучкість системи. Центральний пристрій має ПК з постійним джерелом живлення і відповідними програмами [10].

Виклад основного матеріалу. Незважаючи на деякі оригінальні розробки АЕ-засобів [11, 12], промислове виробництво акустико-емісійної апаратури в Україні взагалі відсутнє. Набутий досвід експлуатації розроблених у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України апаратурних АЕ-засобів для діагностування об’єктів тривалого

експлуатування [13], зокрема чотиріканальної телеметричної системи [14–16], використаний для формулювання основних вимог до розроблення багатоканальної радіотелеметричної АЕ-апаратури, яка давала б можливість неперервно відстежувати стан конструкції чи обладнання, що працюють в умовах дії шкідливих та вибухонебезпечних середовищ, з одночасним підвищенням оперативності та якості діагностування. До них можна віднести:

- зменшення потужності споживання первинних приймально-передавальних модулів (ПППМ) (збільшення часу неперервної роботи системи);
- збільшення дальності передачі даних (вихід персоналу за зону ймовірної небезпеки);
- збільшення зони контролю об’єкта;
- зменшення похибки визначення координат джерел за рахунок покращення часової синхронізації вимірювальних каналів;
- зменшення похибки вимірювання амплітуди сигналу АЕ за рахунок збільшення розрядності АЦП;
- застосування алгоритмів оптимізації встановлення антени з урахуванням реального загасання пружних хвиль.

Структурна схема восьмиканальної радіотелеметричної акустико-емісійної системи, яка в значній мірі відповідає поставленим вимогам, наведена на рис. 1.

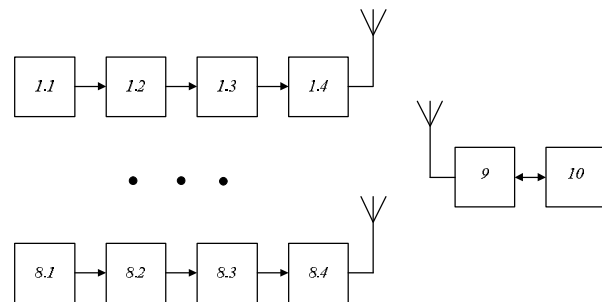


Рисунок 1 – Структурна схема восьмиканальної радіотелеметричної акустико-емісійної системи

Вона містить такі основні вузли: перетворювачі АЕ восьми каналів (1.1...8.1), попередні (1.2...8.2) і демодулюючі (1.3...8.3) логарифмічні підсилювачі каналів – для підсилення і демодуляції сигналів АЕ з виходу перетворювачів; первинні приймально-передавальні модулі (1.4...8.4) – для відбору, попереднього опрацювання та передачі радіоканалом вимірювальної інформації, представлені сигналами АЕ; базовий приймально-передавальний модуль (БППМ) 9 –

для приймання радіоканалом вимірювальної і службової інформації та передачі її в комп'ютер через порт USB; персонального комп'ютера (ПК) 10, який керує роботою системи, а також опрацює, запам'ятовує і візуалізує вимірювальну інформацію.

Структурна схема ПППМ каналу системи наведена на рис. 2. Тут 3 – мікроконтролер, який служить для відбору, попереднього опрацювання сигналу АЕ, а також здійснює управління процесом передачі та прийому інформації по радіоканалу. З метою зменшення потужності споживання ПППМ використовується мікроконтролер серії MSP430 з низьким енергоспоживанням - MSP430F2618. Блоки 4, 5 – приймач-передавач CC2520 та підсилювач потужності CC2591, відповідно. Сумісне їх використання дало змогу значно підвищити дальність зв'язку. Також модуль містить автономне акумуляторне джерело живлення 1. В БППМ, окрім перелічених структурних елементів для обміну інформацією з ПК, використано контролер USB FT245RL. Живлення БППМ здійснюється з ПК по каналу USB.

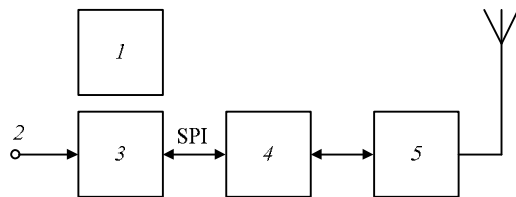


Рисунок 2 – Структурна схема ПППМ

Збільшення контрольованої зони на об'єкті досягнуто застосуванням восьми акустичних каналів. Розміщення первинних перетворювачів каналів відбувається з урахуванням реального загасання пружних хвиль в матеріалі контрольованого об'єкта та особливостей його форми.

Система побудована на базі мережевого протоколу *SimpliciTI*, який розроблений компанією TI і орієнтований на мережі з малопотужними пристроями (до 30 пристроїв в мережі). Він дуже простий у застосуванні і потребує мінімальних ресурсів мікроконтролера. Протокол *SimpliciTI* підтримує топологію “зірка” з точкою доступу для одержання і відправлення повідомлень кінцевим пристроєм. Він поширюється з відкритим кодом і не вимагає ліцензії, легко адаптується під конкретні задачі.

Блок-схема алгоритму роботи БППМ системи, який відіграє роль точки доступу мережі, наведена на рис. 3. При включенні базового модуля блок 1 здійснює початкову

ініціалізацію мікроконтролера. Сюди відноситься: налаштування його системи тактових сигналів, портів вводу-виводу, контролера USB, конфігурація базового таймера. Далі програма (блок 2) ініціалізує приймач-передавач, при цьому послідовно відбувається налаштування каналу SPI для взаємодії між MSP430 та CC2520 і перевід останнього в режим прийому.

Після завершення ініціалізації апаратної частини викликається функція ініціалізації мережі *SMPL_Init(sCB)* (блок 3). Параметр *sCB* представляє собою вказівник на функцію виклику, виконувану в обробнику переривань при отриманні посилки точкою доступу.

Функція зворотного виклику *sCB* фільтрує прийняті пакети в залежності від їх ідентифікатора каналу зв'язку для того, щоб визначити джерело посилання і розрізнити запит на підключення до мережі нового кінцевого пристрою. Нульовий ідентифікатор каналу зв'язку означає запит на підключення.

Якщо запит прийнятий, точка доступу присвоює кінцевому пристрою, який підключився, ідентифікатор в діапазоні від 0x01 до 0x1D. Відповідно до ідентифікатора каналу зв'язку, функція зворотного виклику *sCB* визначає і інкрементує відповідний семафор *sPeerFrameSem* або *sJoinSem* для їх обробки в тілі основної програми. Якщо встановлено семафор *sJoinSem* (блок 4), то викликається функція встановлення зв'язку (блок 7). Після чого збільшується число пристроїв, які розпізнаються точкою доступу (блок 8), а семафор *sJoinSem* декрементується.

Семафор *sPeerFrameSem* встановлюється кожен раз, коли БППМ приймає повідомлення від пристрою в мережі, після чого відбувається прийом інформації з ПППМ та передача її в ПК (блоки 9, 10). Блок 11 здійснює зворотню передачу керуючої інформації в ПППМ. Це може бути інформація щодо режиму роботи, величини порогу дискримінації, а також відлік часу базового таймера для синхронізації всіх ПППМ системи.

Якщо жоден із семафорів не встановлений, то програма здійснює запит ПК на ймовірний ввід керуючої інформації (блоки 5, 6).

Блок-схему алгоритму роботи ПППМ системи, який відіграє роль кінцевого пристрою мережі, наведено на рис. 4. В ПППМ блок 1 здійснює додатково ініціалізацію АЦП, яке використовується для оцифрування огинаючої сигналу АЕ, аналогового компаратора – для визначення моменту перевищення сигналом порогу дискримінації, а також ЦАП – для задання значення цього порогу.

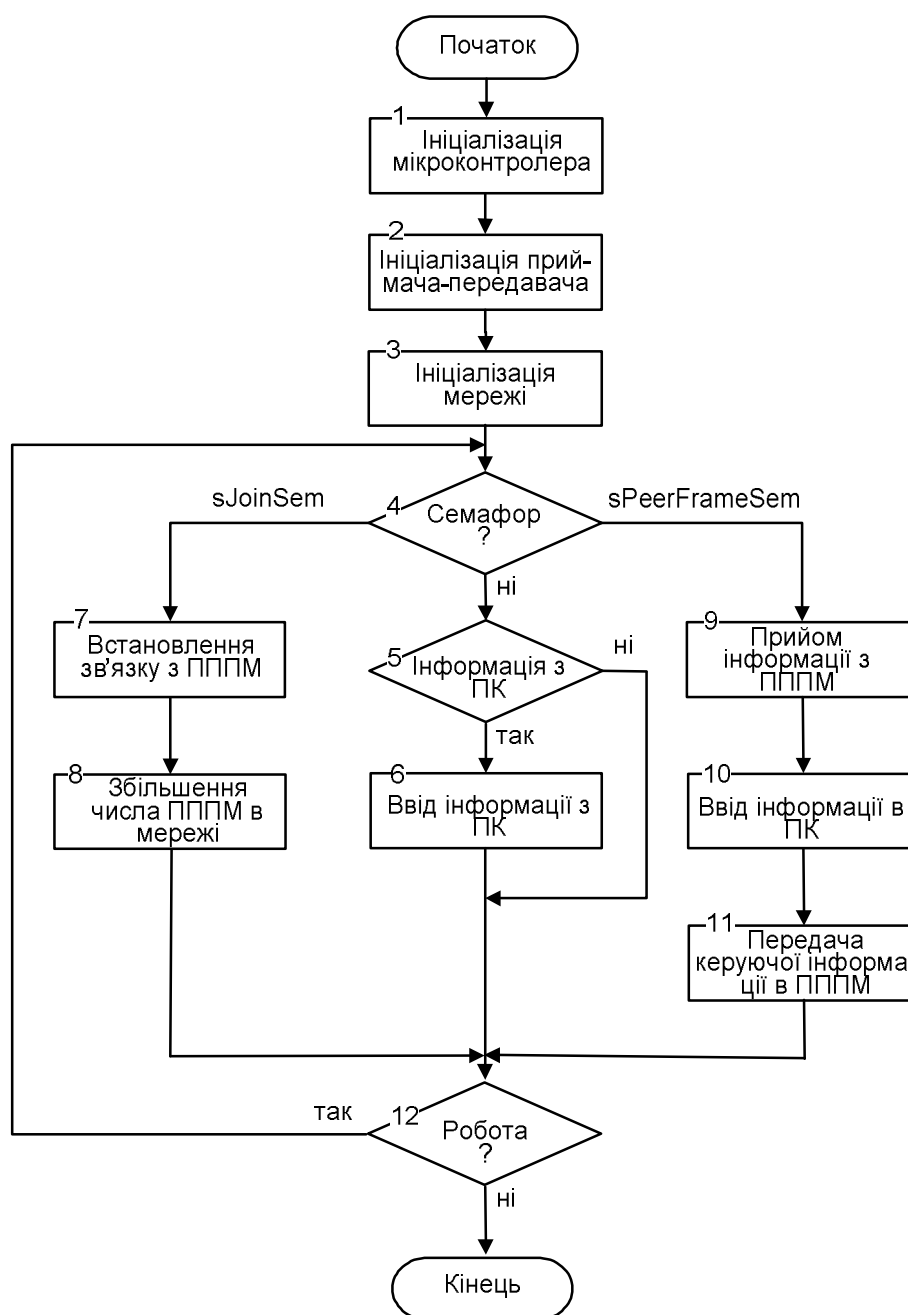


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму роботи БППМ

Після підключення до мережі (блок 3) в блоці 4 відбувається вибір режиму роботи ПППМ. В тестовому режимі відбувається генерування тестової послідовності (блок 5) з відповідною передачею її в БППМ (блок 9). В контрольному режимі відбувається оцифрування сигналу (блок 7) на виході логарифмічного підсилювача 3 (рис. 1) з метою контролю рівня шумів. В основному режимі відбувається запуск процесу збору АЕ-даних

(блок 6), який включає вимірювання моментів приходу та амплітуди імпульсів АЕ. Після завершення часу нагромадження відбувається послідовна передача з часовою затримкою (блок 8) інформації в БППМ з наступним прийомом від нього керуючої інформації. Одержана інформація використовується, зокрема, для синхронізації таймера, задання порогу дискримінації, вибору режиму роботи.

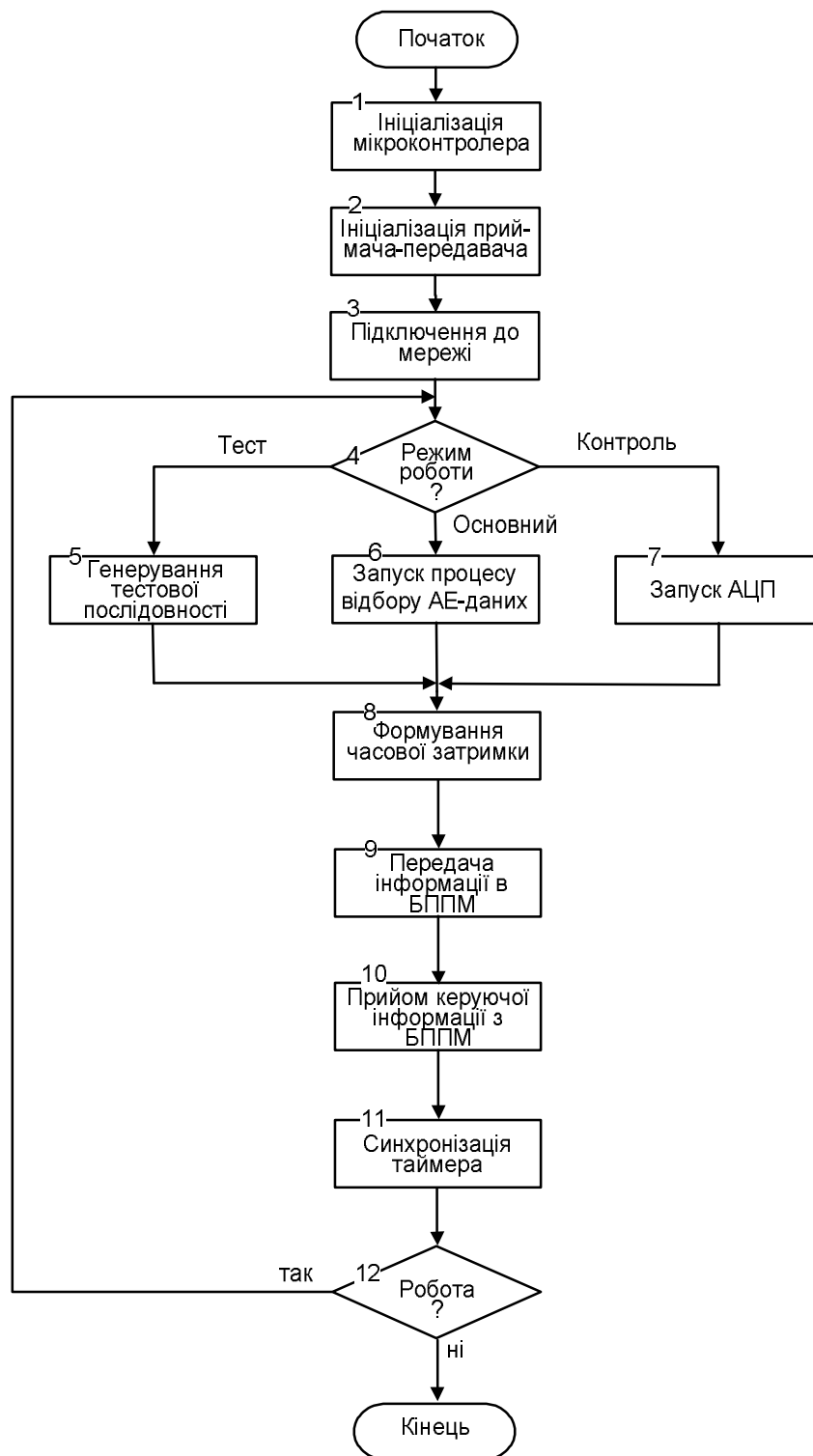


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритму роботи ПППМ

На рис. 5 наведена блок-схема підпрограми обробки переривання аналогового компаратора, якому виділено один вектор переривання, з яким пов'язаний прапорець переривання CAIFG.

Він встановлюється по наростаючому або спадному фронту сигналу компаратора (визначається бітом CAIES регістра управління компаратора CACTL1). Якщо встановлені також

біти дозволу переривання CAIE і GIE, то встановлення прапорця CAIFG генерує запит переривання. Біт CAIFG автоматично скидається при обробці переривання або може бути скинутий програмно.

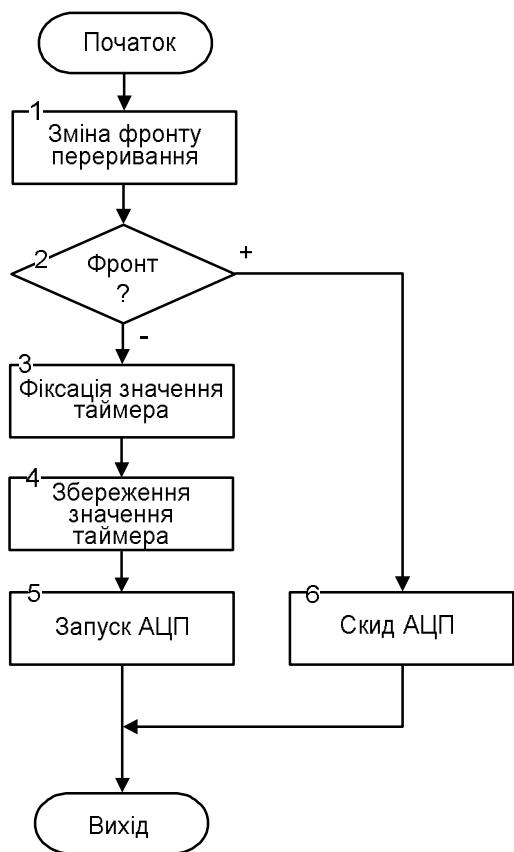


Рисунок 5 – Блок-схема підпрограми обробки переривання компаратора

При спрацюванні компаратора в момент перевищення вхідним сигналом порогу дискримінації спадним фронтом сигналу на виході встановлюється біт CAIFG та генерується запит переривання. При обробці цього запиту в блоці 1 підпрограми переривання (рис. 5) здійснюється зміна фронту, за яким встановлюється прапорець переривання. Це дасть змогу одержати виклик підпрограми переривання при згасанні інформаційного сигналу нижче від порогу дискримінації. Якщо мало місце перевищення сигналом порогу, то послідовно відбувається фіксація та збереження значення таймера ПППІМ (блоки 3, 4), яке приймається за момент приходу сигналу АЕ на первинний перетворювач відповідного каналу. Блок 3 підпрограми ініціює запуск роботи 12-розрядного АЦП мікроконтролера, для якого заданий циклічний одноканальний режим

перетворення. Згасання сигналу нижче порогу дискримінації призводить до зворотнього спрацювання компаратора, відповідно, блок 6 підпрограми зупиняє роботу АЦП.

При завантаженні результату перетворення в регістр даних ADC12MEM0 встановлюється прапорець переривання ADC12IFG0. Якщо встановлені також біт ADC12IE0 і біт загального дозволу переривань GIE, то генерується запит на переривання. Біт ADC12IFG0 скидається автоматично при зверненні до регістра ADC12MEM0 або ж може бути скинутий програмно.

На рис. 6 наведена блок-схема підпрограми обробки переривання АЦП.

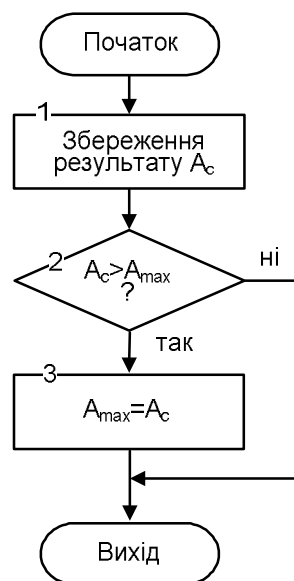


Рисунок 6 – Блок-схема підпрограми обробки переривання АЦП

Блок 1 підпрограми здійснює збереження результату перетворення з регістра ADC12MEM0, а блоки 2, 3 проводять пошук максимального значення на масиві результатів перетворення (блоки 2, 3).

На рис. 7 наведена блок-схема підпрограми обробки переривання таймера, яка відповідає вектору переривання регістра TVCCR0 для біта CCIFG.

Прапорець переривання CCIFG, встановлюється при досягненні таймером в процесі рахунку значення, що зберігається в регістрі TVCL0. При переході таймера від значення, записаного в регістрі TVCL0, до нульового блок 1 підпрограми обробки переривання блокує переривання компаратора, блок 2 зупиняє роботу АЦП, а блок 3 ініціює початок передачі інформації.



Рисунок 7 – Блок-схема підпрограми обробки переривання таймера ПППМ

На рис. 8 наведені часові діаграми роботи приймачів-передавачів системи, які розкривають принцип синхронізації таймерів ПППМ. Після закінчення процесу нагромадження акус-

то-емісійної інформації протягом часу T_{ac} приймачі-передавачі ПППМ послідовно переводяться на час T_t із сплячого режиму в режим передачі (рис. 8, а, б, в).

Формат інформаційної частини пакету, що передається на БППМ, наведено на рис. 9. В першому байті зберігається номер ПППМ, в другому - кількість зареєстрованих імпульсів АЕ. На час приходу імпульса відводиться три байти, на його амплітуду – два. Розмір інформаційного масиву не може бути більшим від п'ятидесяти двох.

Після закінчення передачі приймач-передавач кожного ПППМ переводиться в режим прийому. Протягом часу T_r (рис. 8, а) відбувається прийом керуючої інформації з БППМ (рис. 8, з). Це, зокрема, відлік часу N_i ($i = 1, \dots, 8$) базового таймера (рис. 8, д), який використовується для синхронізації таймера кожного ПППМ.

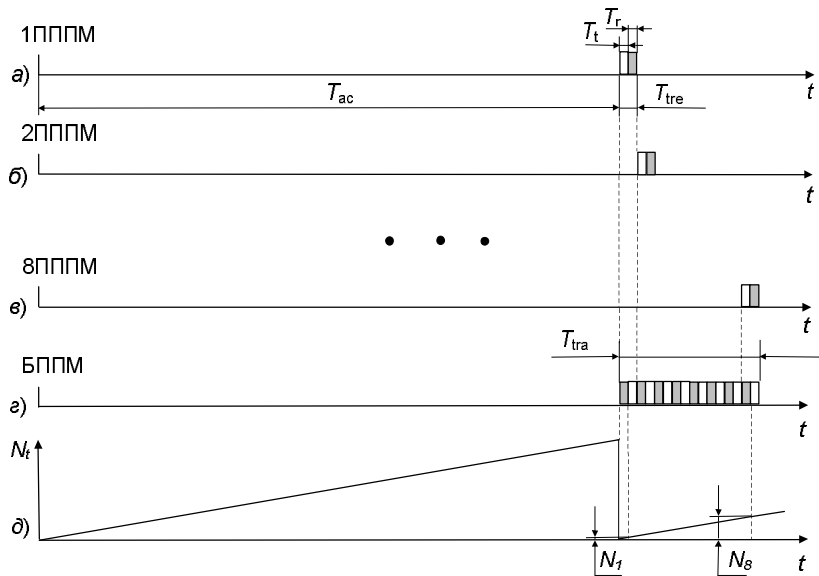


Рисунок 8 – Часові діаграми роботи приймачів-передавачів системи

№ ПППМ	к-сть даних	Момент приходу 1-го імпульса АЕ	Амплітуда 1-го імпульса АЕ	• • •	Момент приходу N-го імпульса АЕ	Амплітуда N-го імпульса АЕ
1байт	1байт	3 байти	2 байти	• • •	3 байти	2 байти
n ≤ 52						

Рисунок 9 – Структура інформаційної частини пакету, що передається з ПППМ на базу

Приймач-передавач ПППМ в активному режимі перебуває тільки протягом інтервалу часу $T_{re} = T_r + T_p$, решту часу він знаходиться в стані сну. Такий підхід дає можливість значно зменшити його споживання. Приймач-передавач бази здійснює обмін інформацією з периферійними пристроями протягом інтервалу часу $T_{ra} = T_{re} * 8$ (рис. 8, з), решту часу він очікує інформацію з ПППМ.

Програмне забезпечення блоків системи розроблялося в середовищі IAR Embedded Workbench IDE, яке є потужним засобом розробки для MSP430 мікроконтролерів.

Блок-схема розробленого інформаційного програмного забезпечення ПК, який здійснює управління восьмиканальною радіотелеметричною акустико-емісійною системою, а також служить для зберігання, обробки та візуалізації діагностичної інформації наведена на рис. 10.

У блоці 1 програми здійснюється підключення БППМ до комп'ютера через порт USB. Блок 2 здійснює початкову ініціалізацію глобальних змінних програми, використовуючи ini-файл. Сюди слід віднести можливість задання необхідної кількості АЕ каналів, які будуть використовуватись, типу об'єкту контролю (лінія, площина, циліндр, сфера), порогів дискримінації шумів в АЕ каналі, координат ПАЕ, а також параметрів налаштування радіоканалу (потужність та підсилення приймача-передавача).

Блок проводить також планування експерименту, направлено на ефективний відбір сигналу АЕ. При цьому задається ім'я файлу, в якому будуть зберігатися дані експерименту, задаються, обчислюються та визначаються експериментально, виходячи із конкретних умов експерименту, значення основних параметрів функціонування ПППМ-ів та БППМ системи:

а) поріг дискримінації U_p сигналу каналів АЕ;

б) потужність радіопередавачів ПППМ-ів та БППМ (визначається експериментально і залежить від максимальної віддалі між ПППМ та БППМ);

в) підсилення радіоприймачів ПППМ-ів та БППМ (також визначається експериментально). Тут же в залежності від типу та розмірів об'єкту контролю вибирається положення системи координат, задається розміщення ПАЕ та визначаються їх координати.

Також задається апріорно або визначається експериментально значення швидкості поширення акустичної хвилі в контрольованому

об'єкті. Швидкість акустичної хвилі є обов'язковим вхідним параметром алгоритму обчислення координат джерел АЕ.

Блок забезпечує вибір одного із чотирьох режимів функціонування системи:

а) основний режим, в якому відбувається відбір, попередня обробка, нагромадження, візуалізація та збереження вимірювальної інформації, представлені сигналами АЕ під час моніторингу відповідальних промислових об'єктів та конструкцій;

б) режим "Контроль";

в) режим "Тест";

г) режим "Налаштування".

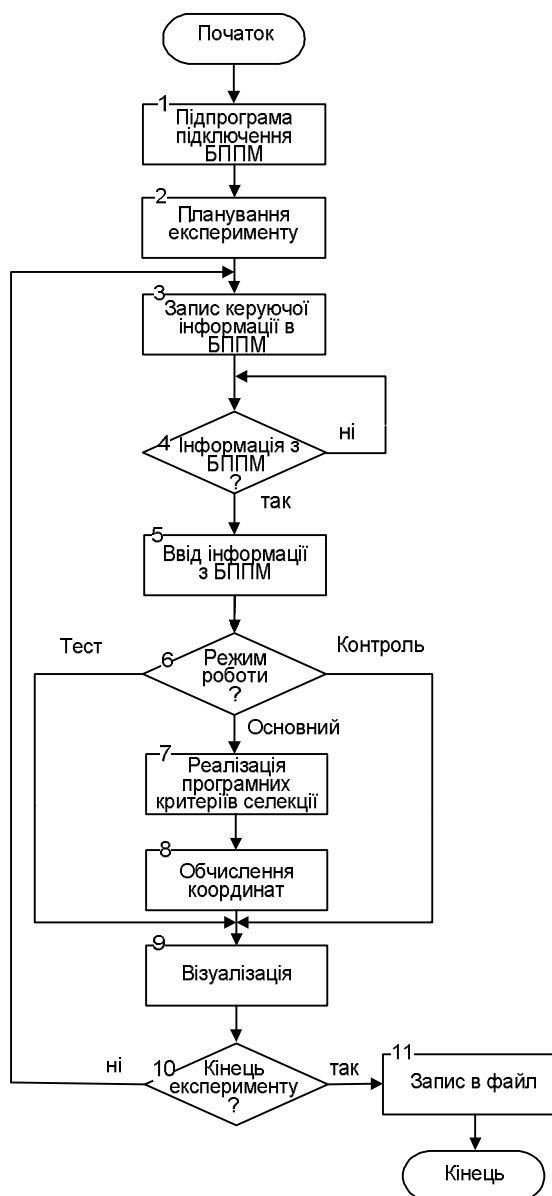


Рисунок 10 – Блок-схема програмного забезпечення телеметричної системи

Блок 3 організує запис керуючої інформації в БППМ, після чого програма переходить в режим очікування інформації з БППМ (блок 4). З одержанням підтверджуючої квитанції відбувається перехід на блок 5, який організує послідовний ввід з БППМ пакетів даних. В залежності від вибраного при плануванні режиму роботи в блоці 6 відбувається розгалуження програми.

В основному режимі блок 7 здійснює перевірку введених даних на предмет їх приналежності справжнім джерелам АЕ за низкою програмних критеріїв. Для комбінацій РЧП, які задовільняють відповідні до геометрії акустичної антени критерії, у блоці 8 відбувається обчислення координат джерела АЕ.

Блок 9 здійснює візуалізацію результатів обробки в системі координат, яка відповідає типу локації (лінійна локація, локація на площині, циліндрі, сфері) і вибраній конфігурації антени. У блоці 10 приймається рішення про продовження чи закінчення експерименту. У випадку продовження експерименту відбувається передача управління знову на блок 3. Система готова до чергового вводу інформації з ПППМ. У протилежному випадку блок 11 здійснює запис введених даних в файл і вихід з програми. У файлі даних, одержаних у цьому режимі, зберігається інформація про амплітуди та моменти появи імпульсів АЕ восьми ПППМ, а також координати джерел АЕ в системі координат, яка відповідає вибраному типу локації.

Під час вибору блоком 2 режимів "Тест" чи

"Контроль" блок 6 передає управління на блок 9, де відбувається візуалізація одержаної інформації, відповідно, тестової пілкоподібної послідовності чи рівня шумів на виході логарифмічного підсилювача. Останній режим використовують з метою оцінки рівня шумів на виході детекторів огинаючої в АЕ-каналах ПППМ для задання оптимального рівня їх дискримінації під час планування експерименту.

Режим "Налаштування" використовується на етапі технічного налаштування БППМ та ПППМ. При цьому перевіряється коректність реакції блоків системи на різноманітні директиви (команди), які посилюються комп'ютером через порт USB.

Програмне забезпечення системи розроблялося в середовищі швидкого візуального проектування DELPHI. Розроблений багатівіконний графічний інтерфейс користувача системи включає головне меню, панель інструментів, стандартні діалогові вікна, спливаючі підказки.

На рис. 11 наведено загальний вигляд блоків радіотелеметричної системи. Вона складається із восьми блоків ПППМ (1), базового блока БППМ (2), блока імітатора (3), блоків підсилювачів (4), ПК (5).

Основні технічні характеристики розробленої системи:

- коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача – 35 дБ;
- максимальний коефіцієнт підсилення логарифмічного підсилювача – 92 дБ;
- частота дискретизації огинаючої сигналу АЕ – 0,2 МГц;



Рисунок 11 – Загальний вигляд радіотелеметричної системи акустико-емісійного моніторингу

- розрядність АЦП каналу АЕ – 12;
- похибка вимірювання моменту приходу сигналу АЕ в каналах – 1 мкс;
- об'єм пакету даних ПППМ – 52 байти;
- структура пакету даних – номер ПППМ, кількість зареєстрованих імпульсів АЕ (≤ 10), їх амплітуда та час приходу;
- величина інтервалу часу нагромадження інформації АЕ в ПППМ – до 1 с;
- час неперервної роботи ПППМ – 170 год;
- діапазон радіочастот – 2400 – 2483,5 МГц;
- розрахункова дальність передачі – 900 м;
- розміри – ПППМ: 170x83x24 мм,
– БППМ: 125x83x24 мм.

Система пройшла випробування в лабораторних умовах та метрологічну перевірку.

ВИСНОВКИ

Запропоновано структуру восьмиканальної радіотелеметричної акустико-емісійної системи моніторингу об'єктів тривалої експлуатації.

Розроблено програмно-алгоритмічне рішення, НПФ Диатон [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.diatontest.ru/index.htm>. 6. ДИАПРОМЕЛ. Диагностическая и промышленная электроника [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.diapromel.narod.ru>.

7. Система регистрации АЭ “Радиоканал” [Електронний ресурс] // ДИАПАК. – Режим доступу: <http://www.diapac.ru/Wireless.php>. 8. Акустико-эмиссионные системы А-Line 32D (DDM/R) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.avek.ru/equipment/?section_id=107&item_id=841. 9. Автоматизированная оценка состояний конструкций зданий и сооружений [Електронний ресурс] // ГЕОТЕК. – Режим доступу: URL: <http://www.npp-geotek.ru/monitoring/>. 10. Аппаратная часть системы беспроводной связи ООО “Геотек” [Електронний ресурс] // Геотек. – Режим доступу: URL: <http://www.npp-geotek.ru/monitoring/articles/wireless/wireless.php>. 10. О непрерывном мониторинге хранилищ жидкого аммиака / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, М. А. Яременко и др. // Автоматическая сварка. – 2004. – № 2. – С. 10–17. 11. 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. – № 2. – С. 85–95. 12.

забезпечення для апаратної частини системи та для персонального комп'ютера, який здійснює управління системою та постобробку акустико-емісійної інформації.

Створена телеметрична акустико-емісійна система відповідає сучасним світовим аналогам як за рівнем технічних характеристик, так і за програмним забезпеченням.

Physical Acoustics Corporation [Virtual Resource]. – Access Mode: URL: <http://www.pacndt.com>. 2. Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company [Virtual Resource]. – Access Mode: URL: <http://www.vallen.de>. 3. Brüel&Kjær [Virtual Resource]. – Access Mode: URL: <http://bksv.com>. 4. IУ ИНТЕРЮНИС. Системы промышленного мониторинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://interunis.ru/products/ae_sistemi/. 5. Акустическая эми

Портативна система 8КОР-8М для вимірювання та аналізу сигналів акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.П. Клим, Р.М. Плахтій та ін. // Наука та іннов. – 2010. – № 3. – С. 20-29. 13. Двопроцесорна акустико-емісійна телеметрична система / В. Р. Скальський, Б. П. Клим, Є. П. Почапський та ін. // Наука та інновації. – 2011. – Т.7. – № 6. – С. 33–43. 14. Патент України №100073: G01N29/14. Спосіб радіотелеметричної передачі акустико-емісійної інформації / Скальський В.Р., Назарчук З.Т., Клим Б.П. та ін. – Опубл. 12.11.2012, Бюл. №21. 15. Акустико-емісійна телеметрична система діагностування великогабаритних об'єктів / В. Р. Скальський, Б. П. Клим, Є. П. Почапський та ін. // VI Міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтопромислового обладнання”: збірник тез доповідей (29 листопада – 2 грудня 2011 р., м. Івано-Франківськ, Україна). – Івано-Франківськ, 2011р. – С. 73–77.

Поступила в редакцію 15.12.2015р.

Рекомендували до друку: докт. техн. наук, проф. Лютак І. З., докт. техн. наук, проф. Горбійчук М.І.