

проектування ГСЧ, що не вимагає використання складних фільтрів для обмеження ширини заданого спектра. Можливість використання цифрових пристроїв для формування такого спектра спрощує побудову таких генераторів і забезпечує високу стабільність параметрів генерованого сигналу.

1. Прудис І., Проць Р., Голинський В., Тебенько Я., Сторож В. *Радіохвильовий засіб виявлення на лініях витікаючої хвилі / Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Теорія і проектування напівпровідникових та радіоелектронних пристроїв". – 1997. – № 326. – С. 33–35.* 2. Яцишин Е.М., Проць Р.В., Сторож В.Г., Тебенько Я.В., Голинський В.Д. *Рубежная радиолокационная система на излучающих кабелях: Материалы IV Крымской конференции "СВЧ-техника и спутниковый прием". – Севастополь, 26–28 сентября 1994 г.*

УДК 620.179.16

В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.М. Плахтій, Р.І. Сулим
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

ВОСЬМИКАНАЛЬНИЙ ПОРТАТИВНИЙ ПРИЛАД АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

© Скальський В.Р., Оліярник Б.О., Плахтій Р.М., Сулим Р.І., 2005

Розглянуто концепцію побудови восьмиканального портативного приладу відбору і обробки сигналів акустичної емісії. З урахуванням сучасних досягнень схемотехніки та виготовлення електронних засобів наведено результати розробки принципових електричних схем основних вузлів приладу.

The conception of design of 8 channels portable device for selection and processing of acoustic emission signals is considered. The results of electrical schematic diagram designing of the device taking into account the modern achievements in circuit engineering and electronic facilities production are obtained.

Актуальність проблеми

Особливістю апаратури для проведення акустико-емісійних (АЕ) досліджень є її універсальність, що дає змогу діагностувати стан будь-яких виробів чи елементів конструкцій. Якщо систематизувати відомі у літературі розробки, то всі апаратурні АЕ-засоби можна класифікувати так [1; 2]: 1 – для комплексних досліджень; 2 – спеціалізованого призначення; 3 – для контролю стану великогабаритних об'єктів; 4 – портативні одно- і багатоканальні.

Необхідно зазначити, що зі швидким розвитком сучасної електроніки, більшість АЕ-засобів вже фізично і морально застаріли. В Україні взагалі відсутнє промислове виробництво будь-якої АЕ-апаратури, тому сьогодні на часі є створення портативних багатоканальних засобів АЕ-діагностування, які можна легко уніфікувати, використовуючи сучасні портативні персональні комп'ютери (ПК) типу Note Book.

Стан проблеми. Відомі деякі розробки портативних АЕ-засобів, які виготовлені в поодиноких макетних варіантах в Україні [3–6], та дрібними серіями поза її межами [7–9]. Серед них необхідно відмітити розробки, що здійснювались у Фізико-механічному інституті НАН України [3–5]. Так, відомо створення одноканального приладу для реєстрації сигналів АЕ, який знайшов своє застосування у виробничих умовах машинобудівного комплексу [3]. Він може бути також базовим приладом для набуття необхідних знань та практичних навичок студентами вищих навчальних закладів, інженерно-технічним персоналом або науковими співробітниками під час розробки та освоєння методик відбору та реєстрації сигналів АЕ (САЕ) у процесі технічного діагностування виробів.

Відома також розробка портативного накопичувача вибірок сигналів АЕ SVR-6 [4], призначеного для реєстрації сигналів АЕ по 4-х каналах у лабораторних, виробничих і польових умовах обстежень

об'єктів контролю та передачі записаної (накопиченої) інформації в ПК по інтерфейсу RS-232 для подальшої її обробки чи зберігання. Прилад забезпечує відбір сигналів АЕ на фоні завад за допомогою частотної та амплітудної селекції, виділення абсолютного значення максимальної амплітуди за час дискретизації, аналого-цифрове перетворення, часову прив'язку і збереження вибірок в енергонезалежному запам'ятовувальному пристрої. Для оперативного контролю наявною є індикація усередненої частоти проходження вибірок, сумарної кількості їх накопичення, часу випробування та обсягу вільної пам'яті.

Модернізований портативний накопичувач вибірок сигналів АЕ СК-7 [5] забезпечує виділення, відбір, первинну обробку і збереження у Flash-пам'яті сигналів АЕ, їх візуалізацію, необхідну вторинну обробку; передачу інтерфейсом в персональний комп'ютер. Засоби самоконтролю приладу забезпечують тестування пам'яті, звукову індикацію її переповнення, контроль якості фіксації первинних п'єзоперетворювачів сигналів АЕ (ПАЕ), цифрову індикацію напруги акумуляторної батареї, візуальну індикацію її розрядження та автоматичне виключення за глибокого розряду. Програмне забезпечення приладу СК-7 виконане в діалоговому режимі згідно зі стандартною технологією і працює в середовищі операційної системи Windows 95/98 і вище.

Мета роботи – розробити концепцію побудови та практично реалізувати схеми електричних принципів портативного восьмиканального приладу відбору та обробки сигналів АЕ.

Концепція побудови приладу

Портативний прилад відбору, реєстрації та обробки сигналів АЕ (далі прилад) призначений для використання під час проведення неруйнівного контролю (НК) матеріалів, виробів і конструкцій різної форми та функціонального призначення. Приладом забезпечується виділення, реєстрація та попередня обробка сигналів АЕ з подальшим збереженням їх в пам'яті ПК типу Note Book для необхідної обробки отриманих даних, їх візуалізації в реальному масштабі часу тощо. За допомогою відповідного програмного забезпечення передбачається проводити визначення координат місця знаходження джерел САЕ з графічним їх відображенням на дисплеї комп'ютера у співвідношенні зі зображенням розгортки ОК і відтворення хвильового відображення події АЕ. Приладом реєструються такі характеристики САЕ: спектр частот, амплітуда огинаючої, сумарний рахунок, сума амплітуд огинаючої, швидкість рахунку, час наростання переднього фронту імпульсу, його тривалість тощо. В основу створення восьмиканального приладу АЕ покладено як оригінальні розробки та експериментальні результати, так і відомі літературні дані. Концепція побудови приладу показана на рис. 1.

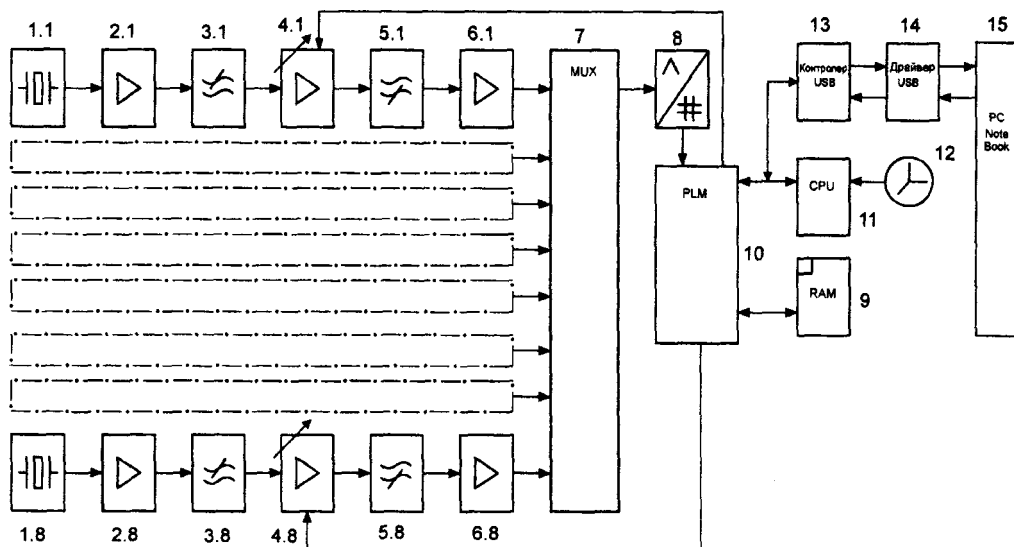


Рис. 1. Блок-схема портативного 8-канального приладу АЕ:

- 1 – первинний п'єзоперетворювач сигналів АЕ; 2 – попередній підсилювач (ПП);
- 3 – фільтр низьких частот (ФНЧ); 4 – підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення;
- 5 – фільтр високих частот (ФВЧ); 6 – масштабний підсилювач; 7 – комутатор;
- 8 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 9 – оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП);
- 10 – програмована логічна інтегральна схема (ПЛІС); 11 – мікроконтролер; 12 – годинник;
- 13 – контролер USB; 14 – драйвер обміну з ПК; 15 – ПК типу Note Book

Виконання основних вузлів і блоків

Попередній підсилювач. Для підсилення електричних сигналів з ПАЕ розроблено ПП, що встановлюється безпосередньо біля ПАЕ. Він призначений для формування основної смуги пропускання та компенсації втрат сигналу у з'єднувальних кабелях. Розроблений нами ПП виконаний із застосуванням операційних підсилювачів (ОП) фірми "Analog Devices". Вказані ОП відзначаються малою споживаною потужністю зі збереженням основних електричних параметрів, необхідних для роботи з сигналами малого рівня. Такі підсилювачі широко використовуються під час виготовлення активних фільтрів та ПП у прецизійному обладнанні з автономним живленням, медичній апаратурі.

Основні електричні параметри ПП:

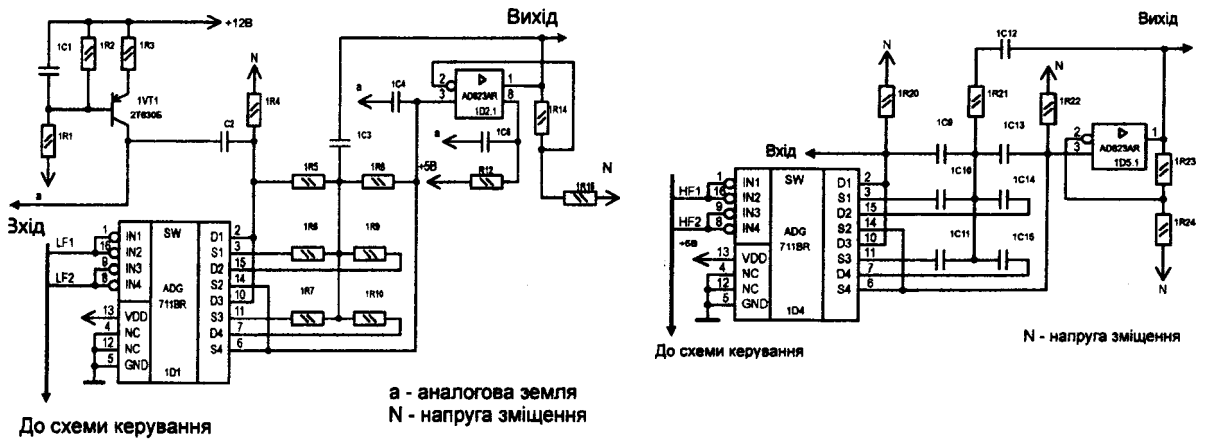
Діапазон напруг живлення.....	3...36 V
Вихідний струм.....	15 mA
Максимальна робоча частота.....	16 MHz
Температурний дрейф.....	2 $\mu V/^{\circ}C$
Максимальний вхідний струм.....	25 μA
Вхідний опір.....	$10^{13} \Omega$
Вхідна ємність.....	1,8 pF
Рівень шумів, приведений до входу.....	10 nV/ \sqrt{Hz}

Для уникнення перевантажень вхідних каскадів ПП сигналами великих амплітуд на вході встановлено симетричний діодний обмежувач з напругою обмеження ± 400 mV. Перший каскад ПП виконаний за схемою повторювача. Як відомо, повторювач має великий вхідний та малий вихідний опори та коефіцієнт підсилення, що дорівнює 1. Він використовується для узгодження великого опору ПАЕ з входом підсилювача. Другий каскад ПП виконаний за схемою інвертуючого підсилювача з коефіцієнтом підсилення 40 dB. Конденсатори, встановлені в колах від'ємних зворотних зв'язків ОП, використовуються для частотного корегування характеристик ОП. Живлення ПП здійснюється кабелем через вихідний роз'єм. Для частотної розв'язки корисного сигналу та постійної напруги живлення використовуються джерело струму в основному блоці та блокуючий конденсатор в ПП. ОП живиться через транзисторний параметричний стабілізатор з напругою стабілізації 5 V.

Для подальшої обробки електричний сигнал АЕ з ПП по екранованому кабелю завдовжки близько 200 м подається на основний блок, де відбувається його фільтрування, основне підсилення, перетворення в цифровий вигляд та збереження в пам'яті оперативного запам'ятовувального пристрою.

Частотні фільтри. Формування робочої смуги частот відбувається фільтрами ФНЧ та ФВЧ (рис. 2). Фільтри виконані у вигляді активних фільтрів Баттерворта 2-го порядку з комутованою частотою зрізу. Порівняно з фільтрами Чебишева, Бесселя, Кауера та Кея фільтр Баттерворта має найбільш плоску характеристику в смузі пропускання, хоча і меншу крутизну спаду до смуги зникання. Але для подальшого перетворення корисного сигналу в цифрову форму та отримання заданої точності перетворення нерівномірність амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) в смузі пропускання виходить на перший план, оскільки досліджуваний сигнал лежить в смузі пропускання, а не на спаді характеристики. Ось чому найбільш корисним у цьому випадку є застосування фільтра Баттерворта.

Для виконання фільтра ФНЧ використовували ОП тієї самої фірми. Фільтр реалізований у вигляді неінвертуючого підсилювача напруги з коефіцієнтом підсилення 1,59. Частотну характеристику фільтра формують резистори і конденсатори, увімкнені в коло додатного зворотного зв'язку. Для комутації частот зрізу використовується швидкодіючий комутатор фірми "Analog Devices", який до постійно підключеного ланцюжка резисторів підключає один або два додаткові ланцюжки. Управління комутатором здійснюється за командою процесора через цифрову шину.



а б
 Рис. 2. Принципова електрична схема ФНЧ (а) та ФВЧ (б)

Фільтр ФВЧ виконаний в аналогічний спосіб. Для комутації частот зрізу комутатор до постійно підключеного ланцюжка конденсаторів підключає один або два додаткові ланцюжки. Управління комутатором здійснюється за командою процесора через цифрову шину.

Підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення. Для основного підсилення корисного сигналу в смузі робочих частот використали підсилювачі з програмованим коефіцієнтом підсилення фірми "Microchip". Вони не потребують зовнішньої обв'язки та зворотних зв'язків. Управління коефіцієнтом підсилення відбувається програмно, командами процесора по послідовному інтерфейсу SPI. Коефіцієнт підсилення може приймати 8 фіксованих значень від 1 до 32. За послідовним інтерфейсом може бути встановлений режим енергозощадження в період, коли підсилювач не використовується.

Основні електричні параметри підсилювача:

- Програмовані коефіцієнти підсилення.....+1,+2,+4,+5,+8,+10,+16,+32
- Похибка встановленого коефіцієнта.....±1%
- Дрейф напруги на виході.....±275 μV
- Максимальна робоча частота.....12 MHz
- Рівень шумів, приведений до входу.....10 nV/√Hz
- Струм споживання.....1 mA
- Напруга живлення.....2,5...5,5 V

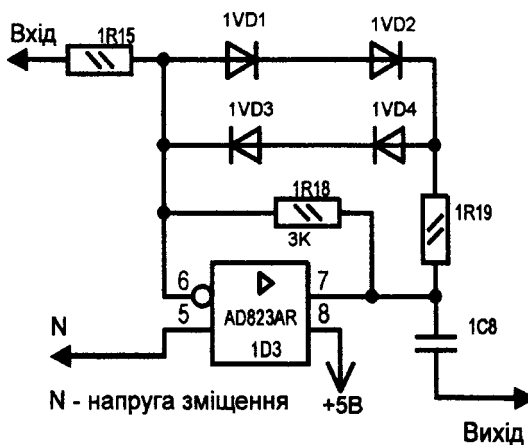


Рис. 3. Принципова електрична схема масштабного підсилювача

Масштабний підсилювач. У разі непрогнозованого перевищення рівня сигналу для захисту від перевантаження елементів схеми та переповнення АЦП вступає в дію масштабний підсилювач (рис. 3). Він виконаний за схемою інвертуючого підсилювача з коефіцієнтом підсилення 3. В коло від'ємного зворотного зв'язку ОП увімкнений симетричний діодний обмежувач. Під час досягнення вхідним сигналом рівня приблизно 0,8 V діоди починають відкриватися, відповідно коефіцієнт підсилення зменшується. За вхідної напруги більше за 1,2 V масштабний підсилювач працює як повторювач. Далі сигнал АЕ подається на комутатори.

Комутатори. В приладі використано швидкодіючі комутатори фірми "Analog Devices". Вони виготовлені за перспективною субмікронною технологією, що уможливило істотно зменшити розміри інтегрованих елементів та зв'язків між ними. В результаті вдалося зменшити перехідний опір комутатора та споживану потужність, а також збільшити його швидкодію. Комутатор сумісний як з ТТЛ, так із КМОП логікою.

Основні електричні параметри комутатора:

Максимальна робоча частота.....	200 MHz
Час вмикання	16 ns
Час вимикання.....	10 ns
Перехідний опір в увімкненому стані.....	до 5 Ω
Напруга живлення.....	1,8...5,5 V

Аналого-цифровий перетворювач. На вхід комутаторів подаються сигнали з кожного з 8-ми каналів, а виходи під'єднані до АЦП. За командою процесора один із входів комутатора по чергово під'єднується до входу АЦП. Команди на комутатор подаються по цифровій шині від програмованої інтегральної схеми.

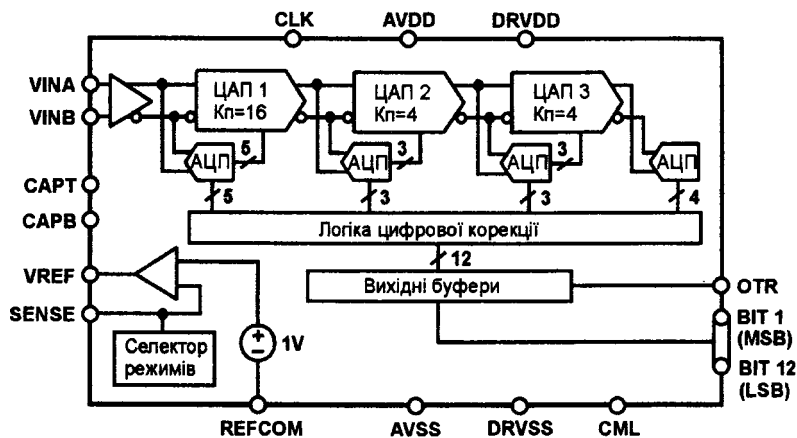


Рис. 4. Архітектура побудови АЦП: VINA – інвертуючий аналоговий вхід; VINB – неінвертуючий аналоговий вхід; CAPT, CAPB – вивід корегування шумів, VREF – опорна напруга; SENSE – вивід вибору опорної напруги; REFCOM – земля опорної напруги; AVSS – аналогова земля; DRVSS – земля цифрової частини; CML – середня точка синфазного сигналу; BIT 1 (MSB) – молодший цифровий розряд даних; BIT 12 (LSB) – старший цифровий розряд даних; OTR – індикація переповнення; DRVDD – живлення цифрової частини; AVDD – живлення аналогової частини; CLK – тактовий вхід

АЦП використовується для перетворення вхідних аналогових сигналів кожного каналу в цифровий вигляд для подальшого збереження в пам'яті. У приладі використано швидкодіючий АЦП фірми "Analog Devices". Це є паралельний 12-розрядний АЦП конвеєрного типу. Архітектура його побудови показана на рис. 4. Він складається з 4-х внутрішніх АЦП, кожний з яких формує свою частину розрядів. Перший внутрішній АЦП формує 4 старші розряди, які, своєю чергою, знову перетворюються в аналогову форму на цифро-аналоговому перетворювачеві (ЦАП), з внутрішнім підсилювачем і віднімаються від загального повного сигналу. Отриманий залишок ніби

по конвеєру подається на наступний внутрішній АЦП, що формує чергові молодші розряди, які, своєю чергою, знову перетворюються в аналогову форму на 2-му ЦАП з внутрішнім підсилювачем. Отриманий сигнал знову віднімається від попереднього залишку і перетворюється в подальші молодші розряди на 3-му АЦП. Завдяки таким складним перетворенням з проміжними підсиленнями залишку одержуємо більшу точність аналого-цифрового перетворення, особливо стосовно сигналів низького рівня. Підготовані в такий спосіб дискрети вихідних розрядів подаються на логіку цифрового корегування, що усуває можливі неточності і через вихідні буфери видаються на вихід АЦП. Під час переповнення АЦП на спеціальному виході з'являється сигнал переповнення.

Для підвищення завадостійкості вхідний каскад АЦП виконаний у вигляді диференційного підсилювача із запам'ятовуванням сигналу. Сигнал на час дискретизації запам'ятовується на конденсаторах, а вхід АЦП відключається від загальної схеми. В такий спосіб АЦП по чергово оцифровує сигнали з кожного каналу. Період дискретизації задається командами процесора через ПЛІС. Цифровий код, що відповідає аналоговому сигналу, з виходу АЦП через шинні формувачі надходить для запису на оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП). У приладі використано ОЗП фірми "Samsung".

Основні електричні параметри ОВП:

Обсяг пам'яті.....	128 К×8 р
Час доступу.....	55 ns
Напруга живлення.....	4,5...5,5 V
Струм споживання в робочому режимі.....	10 mA
Струм споживання в черговому режимі.....	3 mA

Для формування сигналів управління комутатором та підсилювачами зі змінним коефіцієнтом підсилення, забезпечення запису даних в ОЗП, накопичення і доступу до них з боку мікропроцесора використовується ПЛІС (рис. 5).

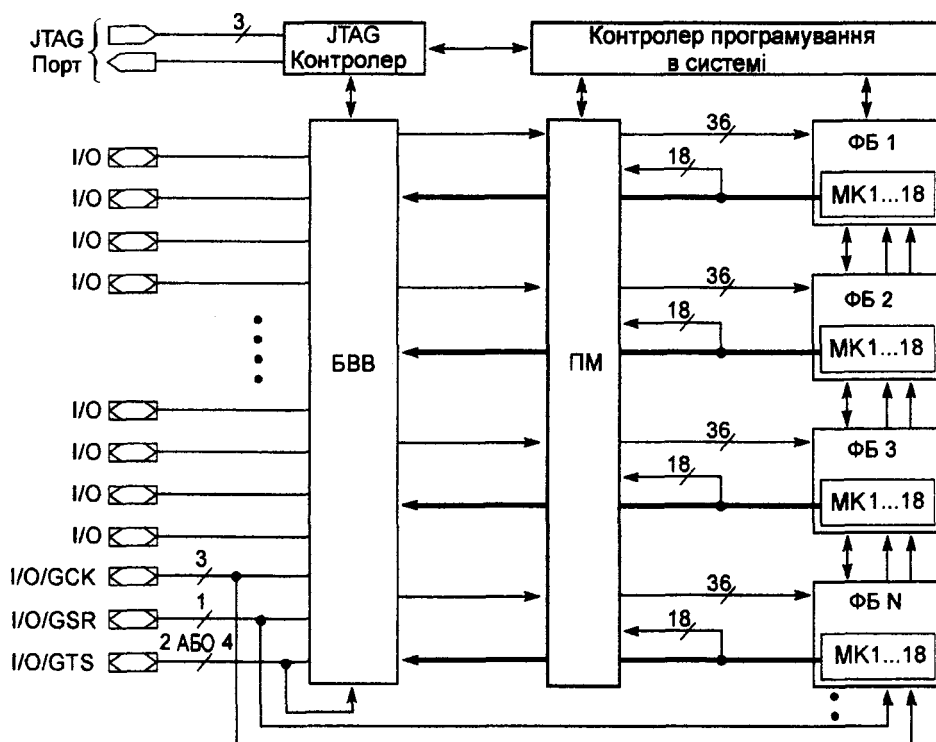


Рис. 5. Архітектура побудови ПЛІС: I/O – вивід вхід/вихід;
 GCK – глобальні сигнали тактування;
 GSR – глобальні сигнали встановлення/скидання;
 GTS – глобальні сигнали керування третім станом

У приладі використовується ПЛІС фірми "Xilinx". Мікросхеми (МС) цього типу застосовують для створення нестандартних арифметико-логічних пристроїв, дешифраторів, мультиплексорів тощо. Мікросхема являє собою підсистему, що складається з 8-ми функціональних блоків (ФБ), блока вводу-виводу (БВВ), з'єднаних переключальною матрицею (ПМ). БВВ забезпечує буферизацію всіх входів і виходів МС. Кожний ФБ складається з 18-ти макрокомірок (МК) зі структурою 36V1 і уможливорює одержати 18 логічних функцій практично від будь-якої комбінації з 36 змінних. ПМ забезпечує подачу будь-яких вихідних сигналів ФБ і вхідних сигналів на входи ФБ. Від 12 до 18 вихідних сигналів кожного ФБ (залежно від кількості виводів у корпусі) і відповідні сигнали дозволу виходу подаються безпосередньо на БВВ.

Кожна макрокомірка мікросхеми може виконувати як логічну комбінаторну, так і реєстрову функції. Макрокомірка має 5 основних і 4 додаткові входи. Запам'ятовуючий елемент в МК може бути сконфігурований як D-тригер або як тактований тригер-защипка, або ж може не використовуватися. Під час увімкнення МС всі реєстри переводяться в початковий стан, заданий під час програмування користувачем. Якщо початковий стан не заданий, то реєстри встановлюються в нуль. Крім того, на кожен МК надходять ще 4 глобальні керуючі сигнали (3 тактових і 1 сигнал установки/скидання), які можуть бути використані для керування роботою тригера. Глобальні керуючі сигнали надходять безпосередньо з керуючих виводів МС.

БВВ виконує функцію інтерфейсу між внутрішніми логічними сигналами та контактами МС. Він може працювати з сигналами, що мають стандартні КМОП або TTL рівні. У мікросхемі є можливість керування тривалістю фронту вихідного сигналу для кожного вихідного буфера, що дає змогу за необхідності зменшити рівень перешкод на виходах МС за рахунок незначного зменшення швидкодії.

Ця ПЛІС має архітектурні особливості, що уможливають вносити зміни в схему, не змінюючи призначення виводів. Це запевняє розробника в тому, що призначення вхідних та вихідних контактів залишаться незмінним за будь-яких непередбачених змін схеми і проводитиме розробку друкованої плати. Мікросхема програмується в системі через стандартний JTAG-інтерфейс. Програмування в такій системі дає змогу швидко і ефективно вносити зміни в проект і при цьому немає необхідності виймати мікросхему з розроблюваного пристрою.

У ПЛІС використовуються передові методи, що забезпечують повний захист схеми від несанкціонованого зчитування і випадкового стирання. Захист від зчитування (код секретності) встановлюється користувачем для усунення можливості зчитування чи копіювання схеми. Код секретності може бути відмінений тільки за повного стирання МС.

Мікросхема забезпечує можливість встановлення режиму економічного енергоспоживання не тільки для всієї схеми, але й для вибраних користувачем МК, що уможливорює істотно знизити енергоспоживання МС загалом.

Основні технічні параметри:

Затримка сигналу від входу до виходу по всіх виводах.....	10 ns
Частота роботи 16-розрядного лічильника.....	125 MHz
Кількість макрокомірок.....	144
Кількість вентилів.....	3200
Кількість тригерів.....	144
Вихідний струм.....	24 mA
Мінімальна кількість циклів програмування.....	10000
Час зберігання записаної конфігурації.....	не менше 20-ти років

Мікроконтролер. Роботою приладу керує 8-розрядний високопродуктивний мікроконтролер фірми "Atmel". Він забезпечує синхронізацію роботи усієї системи, приймання команд від персонального комп'ютера, обробку і видачу сигналів управління для вузлів пристрою, формує кадри передавання даних і доповнює їх часом виникнення події. Розвинута архітектура процесора дає змогу підтримувати 133 потужні інструкції. До складу мікроконтролера входять 32 реєстри

загального призначення, що безпосередньо приєднані до арифметично-логічного пристрою. Система команд процесора уможливує одночасний доступ до 2-х незалежних регістрів, що істотно збільшує його продуктивність.

Мікроконтролер має такі характеристики:

- внутрішня перепрограмовувана пам'ять для програм обсягом 128 kb;
- внутрішній енергонезалежний перепрограмований пристрій обсягом 4 kb;
- внутрішній ОЗП обсягом 4 kb;
- 53 входи/виходи загального призначення;
- 32 регістри загального призначення;
- лічильник реального часу;
- 4 гнучкі таймери/лічильники з методами порівняння;
- 2-провідний байт, орієнтований послідовний інтерфейс;
- 8-канальний АЦП на 10 розрядів з диференціальним входом і програмованим підсиленням;
- програмований таймер з внутрішнім генератором;
- послідовний серійний інтерфейс (SPI) для системного програмування;
- тестовий інтерфейс (JTAG), що забезпечує доступ до систем відлагодження та системного програмування;
- 6 режимів енергозаощадження, що встановлюються програмно;
- тактова частота, що встановлюється програмно;
- напруга живлення 4,5—5,5 В;
- продуктивність 16 млн. операцій/с.

Для фіксації дати і часу виникнення події в приладі використовуємо годинник фірми "Maxim". Це – годинник реального часу, що рахує секунди, хвилини, години, день місяця, місяць, день тижня і рік з корегуванням високосного року. Корегування дійсне до 2100 року.

Основні технічні параметри:

- об'єм ОЗП з акумуляторним живленням для зберігання даних – 96 байт;
- можливість видачі два рази на день програмованого сигналу будильника;
- виходи годинника з частотами 1 Hz і 32,768 kHz;
- підтримує послідовний серійний інтерфейс SPI;
- монопольний режим для читання;
- резервування основного живлення мікросхеми;
- напруга живлення 2...5,5 В;
- мікросхема забезпечує автоматичне корегування календаря, якщо кількість днів місяця менша, ніж 31;
- годинник працює як в 12-ти-, так і в 24-годинному форматі.

Для організації обміну даними з персональним комп'ютером використовується мікросхема контролера і приймально-передавача послідовного серійного інтерфейсу USB фірми "FTDI". Вказана мікросхема забезпечує перетворення даних паралельного порту приладу в послідовні дані для передачі через порт USB на персональний комп'ютер, і навпаки. Завдяки використанню помножувача тактової частоти вдалося значно підвищити швидкість обміну даними.

Основні технічні параметри:

Тактова частота.....	6 MHz
Швидкість обміну даними.....	12 Mbit/s
Підтримка програмного забезпечення.....	Windows 98/98 SE/2000/ME/XP
Напруга живлення.....	4,35—5,25 V

Усі дані заносяться на жорсткий диск персонального комп'ютера типу Note Book, де відбувається їх аналіз і обробка. За допомогою комп'ютера здійснюється керування приладом. З

нього може встановлюватися кількість каналів обробки події, час дискретизації сигналів, задаватись необхідне підсилення каналів, поріг рівня шуму і смуга пропускання.

Живлення приладу здійснюється напругою +5 В, що подається через роз'єм порту USB персонального комп'ютера Note Book. Конструктивне виконання зроблено у вигляді ПК Note Book із вмонтованою монтажною платою або на окремому піддоні, що приєднується до ПК.

Висновки

Створено концепцію побудови портативного восьмиканального приладу відбору, обробки та реєстрації сигналів АЕ. Відпрацьовано на макетах основні функціональні вузли та блоки аналогової і цифрової частини приладу.

За отриманими технічними характеристиками прилад відповідає сучасним світовим аналогам і може бути запроваджений у серійне виробництво в Україні, з огляду на вимоги проведення АЕ діагностування виробів підвищеної небезпеки [10].

Застосування розробки у виробництві дасть змогу підвищити ефективність діагностування, зменшити затрати на проведення неруйнівного контролю великогабаритних конструкцій та споруд.

1. Корозія залізобетону. Апаратурні засоби. АЕ – контроль та діагностика будівельних споруд // *Технич. діагностика и неразрушающий контроль*. – 2000. – № 2 – С. 9–27.
2. Ерминсон А.Л., Муравин Г.Б., Шин В.В. Акустико-емиссионные приборы и системы // *Дефектоскопия*. – 1986. – № 5. – С. 3–11.
3. Скальський В. Р. Прибор для регистрации сигналов акустической эмиссии СВР-4 // *Технич. діагностика и неразруш. контроль*. – 1995. – № 1. – С. 71–79.
4. Скальський В.Р., Пустовой В.М., Бархан А. Портативний накопичувач вибірок сигналів акустичної емісії SVR-6 // *Технич. діагностика и неразруш. контроль*. – 1999. – № 3. – С. 35 – 46.
5. Скальський В.Р., Карпукін І. І. Модернізований портативний накопичувач вибірок сигналів акустичної емісії СК-7: Зб. наук. праць ФМІ НАН України “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів”. – К. – Львів, 2002. – Вип. 7. – С. 77–82.
6. Филоненко С. Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. – К., 1999.
7. MISTRAS 2001. AEDSP-32/16. User's manual. – Rev. 1. PAC Part Number 6300-1000. – 1995. – 300 p.
8. Ямазучі К. Системи акустико-емісійного контролю // *Хіакай кенса*. – 1988. – 38, № 6. – С. 498 – 502.
9. CGR Locamat: Multichannel acoustic emission source localization system / Prospect of Corporation CGR. – Paris, 1982.
10. ДСТУ 4227-2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки. – К., 2003.