

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

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

ПОРТАТИВНА СИСТЕМА SKOP-8M ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ



Описано принципи побудови й функціональні можливості вузлів і блоків аналогової та цифрової обробки сигналів модернізованої портативної 8-канальної системи SKOP-8M для виміру й аналізу сигналів акустичної емісії. Показано, що вони виконані з урахуванням тенденцій розвитку сучасної схемотехніки та із застосуванням елементної бази відомих світових виробників. Подано короткий опис розробленого програмного забезпечення системи, проілюстровані його можливості для оперативного відбору, попередньої обробки, візуалізації і збереження акусто-емісійної інформації. Розглянуто конструкційне виконання електронних вузлів і блоків, наведені основні технічні характеристики системи.

Ключові слова: акустична емісія, технічне діагностування, багатоканальна портативна вимірювальна система, програмне забезпечення.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

З кожним роком в Україні збільшується кількість обладнання та відповідальних конструкцій тривалого експлуатування, які вже вичерпали свій проектний ресурс. Внаслідок деградації конструкційних матеріалів, з яких вони виготовлені, відбувається окрихчування, яке сприяє зародженню та розвитку найнебезпечніших, з точки зору міцності конструкцій, дефектів типу тріщин. Спонтанне поширення тріщин в конструкціях тривалої експлуатації тягне за собою суттєві матеріальні збитки, порушення екологічної ситуації, людські жертви тощо.

На забезпечення безаварійної роботи подібних конструкцій направлені розробки нових перспективних методів і засобів неруйнівного контролю. Важливе місце тут відводиться методам з використанням явища акустичної емісії (АЕ).

Особливістю апаратури для проведення АЕ-досліджень є її універсальність, що дає змогу діагностувати стан будь-яких виробів чи елементів конструкцій незалежно від їх форми та розмірів, віддалі до об'єкта контролю тощо. Якщо систематизувати відомі літературні дані [1, 2], то всі АЕ-засоби за сферами призначення можна розділити на групи: 1 – для комплексних досліджень; 2 – для спеціалізованих; 3 – для контролю стану великогабаритних об'єктів; 4 – портативні одно- і багатоканальні.

Необхідно наголосити, що внаслідок швидкого розвитку електроніки більшість АЕ-засобів уже давно фізично і морально застаріли. В Україні ж взагалі відсутнє промислове виробництво будь-якої АЕ-апаратури, тому сьогодні гостро відчувається потреба в портативних багатоканальних засобах АЕ-діагностування, які можна легко уніфікувати, використовуючи сучасні портативні персональні комп'ютери (ПК) типу Note Book. Актуальність

проблеми зумовлена ще й тим, що Держспоживстандартом України введено в дію нормативний документ [3], який регламентує проведення АЕ-контролю об'єктів підвищеної небезпеки.

Відомі деякі розробки портативних АЕ-засобів, які виготовлені в одиничних макетних варіантах в Україні [4–9] та в обмежених кількостях поза її межами [9, 10]. Серед таких засобів необхідно відзначити розробки, здійснені у Фізико-механічному інституті [4–7], а також у Інституті електрозварювання Національної академії наук України [9]. Зупинимось на розробках першої установи, оскільки розроблені її засоби є аналогом і прототипом для описаної в цій праці 8-канальної портативної акустико-вимірювальної системи SKOP-8M.

Отже, одноканальний прилад для реєстрації сигналів АЕ, який знайшов своє застосування у виробничих умовах машинобудівного комплексу, описаний в [4]. Він може слугувати базовим приладом для набуття необхідних знань та практичних навичок студентами вищих учбових закладів, інженерно-технічним персоналом або науковими співробітниками під час розробки, освоєння методик відбору та реєстрації сигналів АЕ у процесі технічного діагностування виробів. Відома також розробка портативного накопичувача вибірок сигналів АЕ SVR-6 [5], призначеного для реєстрації сигналів АЕ по 4-х каналах у лабораторних, виробничих і польових умовах обстежень об'єкта 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'ятовуючому пристрої. Для оперативного контролю передбачена індикація усередненої частоти проходження вибірок, сумарної кількості їх накопичення, часу випробування та обсягу вільної пам'яті.

Модернізований портативний накопичувач вибірок сигналів АЕ СК-7 [6] забезпечує виділення, відбір, первинну обробку і збереження у Flash-пам'яті сигналів АЕ, їх візуалізацію, необхідну вторинну обробку, передачу інтерфейсом в ПК. Засоби самоконтролю приладу дозволяють тестування пам'яті, звукову індикацію її переповнення, контроль якості фіксації первинних п'єзоперетворювачів сигналів АЕ, цифрову індикацію напруги акумуляторної батареї, візуальну індикацію її розрядження та автоматичне виключення за умови глибокого розряду. Програмне забезпечення приладу СК-7 виконано в діалоговому режимі згідно зі стандартною технологією і працює в середовищі операційної системи Windows 95/98 і вище.

Портативна 8-канальна акустико-емісійна система відбору, реєстрації та обробки сигналів АЕ призначена для використання під час проведення неруйнівного контролю матеріалів, виробів та конструкцій різної форми та функціонального призначення [7]. Вона побудована з використанням SMD-елементів та адаптована до роботи з операційними системами сімейства Windows. У спеціально розробленому програмному забезпеченні реалізовані функції для обробки вхідних даних, їх візуального відображення, визначення координат дефектів та збереження отриманих результатів у пам'яті ПК.

Перераховані вище характеристики, висока швидкість обміну даними між системою і ПК дають можливість працювати в режимі реального часу і конкурувати з розробками знаних світових виробників, таких, як PAC, Vallen Systeme, Інтерюніс тощо.

Мета даної роботи — з урахуванням практики діагностування виробів і елементів конструкцій різноманітних відповідальних об'єктів удосконалити окремі функціональні вузли та блоки, програмне забезпечення АЕ-системи SKOP-8 і на її основі створити адаптивну портативну акустико-емісійну інформаційно-вимірювальну систему SKOP-8M з кращими технічними характеристиками та

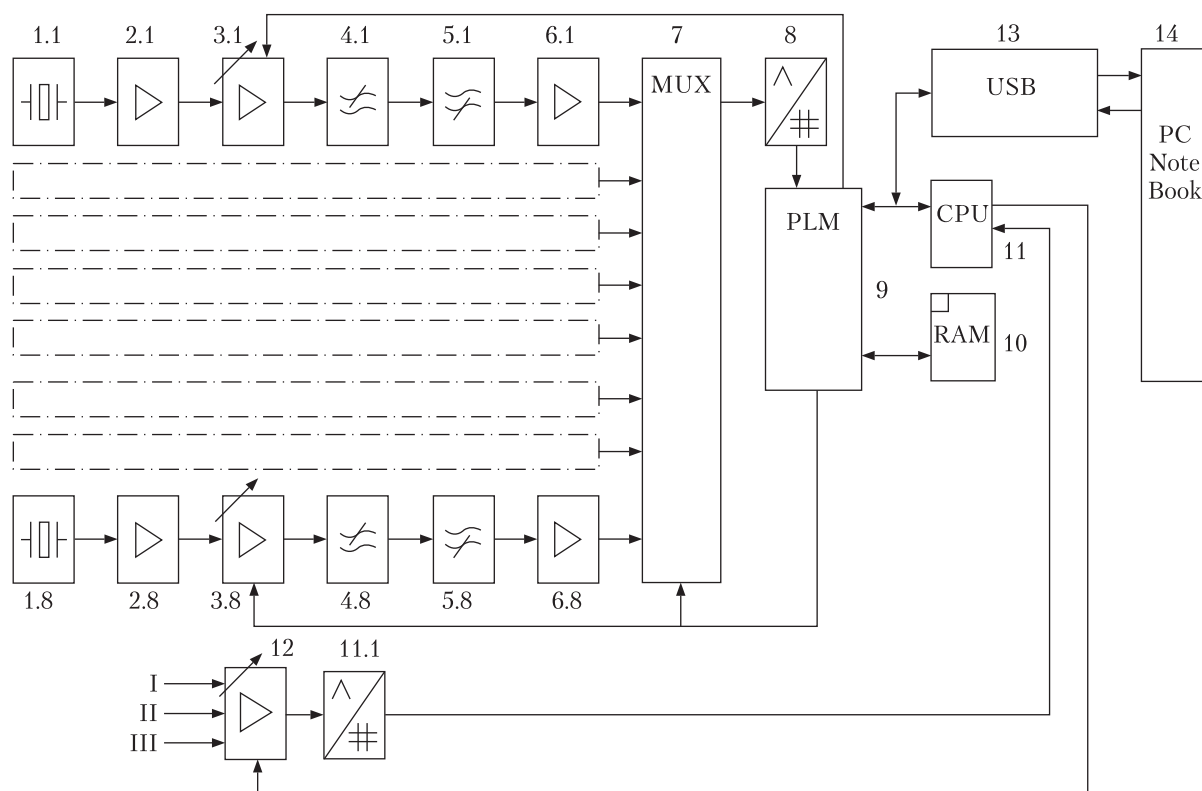


Рис. 1. Структурна схема портативної 8-канальної АЕ-системи SKOP-8M: 1 – первинний перетворювач АЕ; 2 – попередній підсилювач; 3 – підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення; 4 – фільтр низьких частот; 5 – фільтр високих частот; 6 – масштабуючий підсилювач; 7 – комутатор; 8 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 9 – оперативний запам’ятовуючий пристрій; 10 – програмована логічна інтегральна схема (ПЛІС); 11 – мікроконтролер; 12 – підсилювачі параметричних каналів; 13 – контролер USB; 14 – ПК типу Note Book; I, II, III – низькочастотні входи параметричних каналів

підготувати необхідну технічну документацію для її серійного випуску.

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ SKOP-8M

Акустико-емісійна інформаційно-вимірювальна система SKOP-8M призначена для проведення неруйнівного контролю матеріалів, виробів і конструкцій різної форми та функціонального призначення. Вона забезпечує виділення, реєстрацію та попередню обробку сигналів АЕ з подальшим збереженням їх у пам’яті ПК типу Note Book для необхідної обробки отриманих даних, їх візуалізації в реальному масштабі часу, постобробки тощо. За допомогою відповідного програмного забезпечення проводиться визначення

координат генерування сигналів АЕ з графічним їх відображенням на дисплеї комп’ютера у співвідношенні зі зображенням розгортки об’єкта контролю і відтворення хвильового відображення події АЕ. Системою реєструються такі характеристики сигналів АЕ: амплітуда обвідної сигналу АЕ, сумарний рахунок, сума амплітуд обвідної сигналу, швидкість рахунку, час наростання переднього фронту імпульсу, його тривалість, хвильове відображення сигналу, його частотний спектр тощо. В основу створення АЕ-системи покладено як оригінальні розробки та експериментальні результати, отримані авторами [1, 12–17], так і відомі з літературних джерел. Концепція побудови системи показана на рис. 1.

АЕ-система здійснює реєстрацію сигналів АЕ по восьми незалежних інформаційних сигнальних каналах, і в момент приходу сигналу, що перевищує встановлений пороговий рівень шумів, по будь-якому з восьми каналів починає запис сигналів АЕ в цифровому форматі на всіх каналах з часовою прив'язкою у кожному. Отримана інформація візуалізується на дисплеї ПК у реальному масштабі часу, а місце руйнування (координати джерел АЕ) відображається на розгортці ОК.

ВИКОНАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ АЕ-СИСТЕМИ. АНАЛОГОВИЙ ТРАКТ

Спочатку сигнали АЕ проходять відповідну обробку в аналоговому тракті кожного каналу вимірювальної системи. Концепція її побудови описана в [14]. Для підсилення електричних сигналів з виходу первинного п'єзоперетворювача сигналів АЕ використано попередній підсилювач, що встановлюється безпосередньо біля нього. Він призначений для формування основної смуги пропускання та компенсації втрат сигналу у з'єднувальних кабелях.

Для основного підсилення корисного сигналу в смузі робочих частот використали послідовну ланку підсилювачів з програмованим коефіцієнтом підсилення фірми «Microchip» (рис. 2). На відміну від прототипу [17] дана концепція дозволяє розширити діапазон регулювання коефіцієнтів підсилення аналогового тракту, що вирішує проблему адаптування інформаційно-вимірювального каналу до чутливості п'єзоперетворювачів сигналів АЕ, виготовлених різними виробниками. Управління коефіцієнтом підсилення відбувається програмно, командами мікропроцесора по послідовному інтерфейсу SPI. Коефіцієнт підсилення може приймати 64 фіксованих значення. За послідовним інтерфейсом можна встановлювати режим енергозбереження в період часу, коли підсилювачі не використовуються.

Формування робочої смуги частот відбувається за допомогою низькочастотних та високочастотних фільтрів, виконаних за схемою

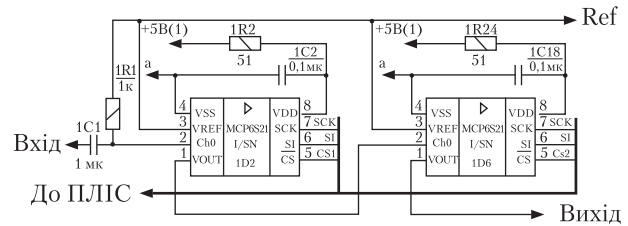


Рис. 2. Принципова електрична схема підсилювачів з програмованим коефіцієнтом підсилення

активних фільтрів Баттерворта 4-го порядку з комутованою частотою зрізу (рис. 3). У порівнянні з прототипом застосовані тут фільтри забезпечують крутизну спаду амплітудно-частотної характеристики АЕ-каналу 24 дБ/октаву, що в більшості випадків дає можливість ефективніше знешкодити завади в умовах діагностування об'єкта контролю.

Для виконання фільтрів використовували операційні підсилювачі фірми «Analog Devices». Фільтри реалізовані за схемою ланцюжка неінвертуючих підсилювачів напруги 1D3, 1D9, частотну характеристику яких формують резистори 1R3–1R8, 1R25–1R30 і конденсатори 1C10–1C16, 1C24–1C29, включені в коло позитивного зворотного зв'язку. Для комутації частот зрізу використовуються швидкодіючі комутатори 1D1, 1D5, 1D7, 1D8 цієї ж фірми, які підключають додаткові ланцюжки до постійно діючого ланцюжка резисторів чи конденсаторів. Управління комутаторами здійснюється за командою мікропроцесора через цифрову шину.

У випадку непрогнозованого перевищення рівня сигналу для захисту від перевантаження елементів схеми та переповнення АЦП вступає в дію масштабний підсилювач 1D10.1 (рис. 3, б). Він виконаний за схемою інвертуючого підсилювача з коефіцієнтом підсилення 3. У коло негативного зворотного зв'язку операційного підсилювача ввімкнено симетричний діодний обмежувач. Під час досягнення вхідним сигналом рівня близько 0,8 В діоди починають відкриватися. Відповідно коефіціє-

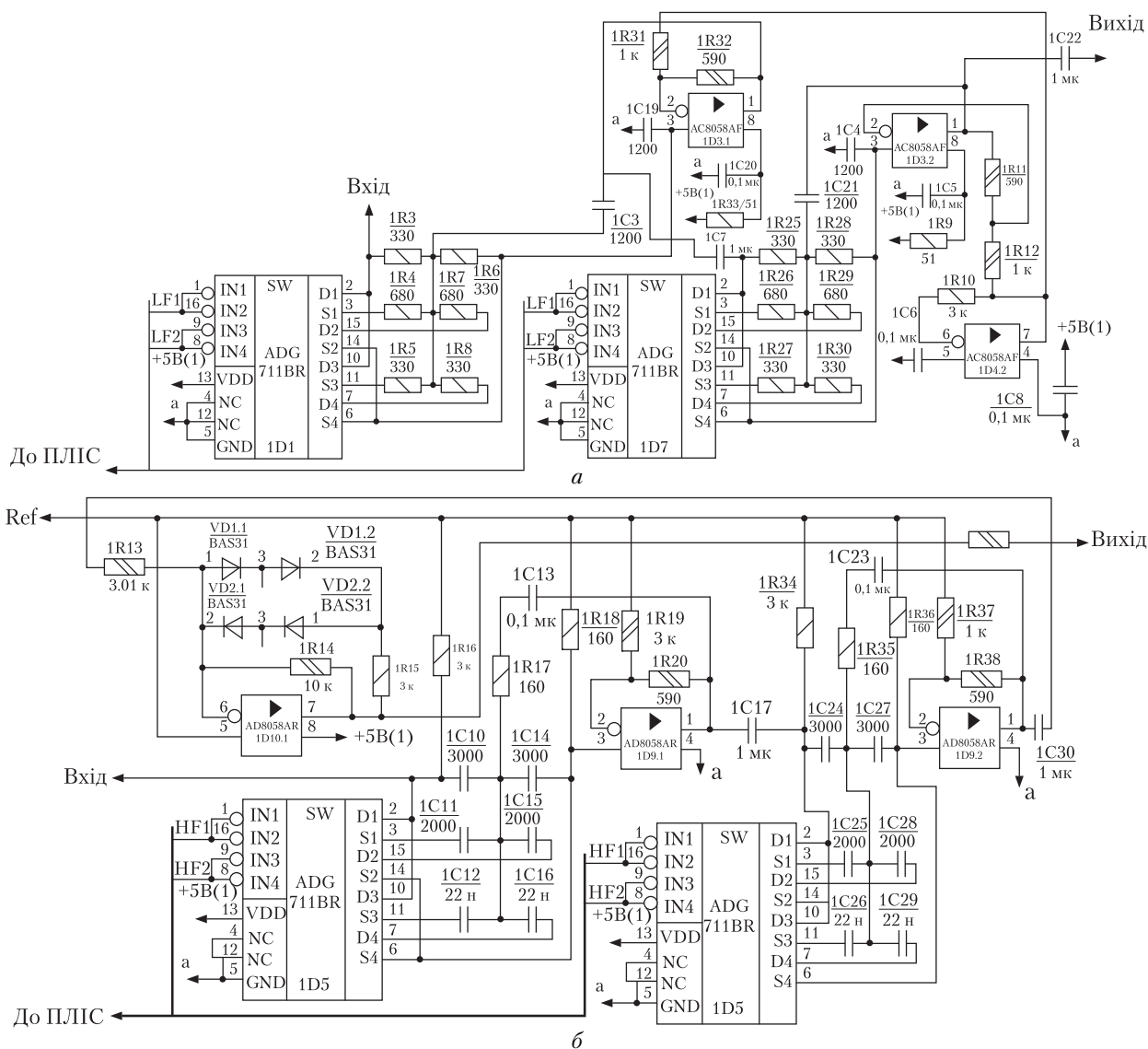


Рис. 3. Принципова електрична схема фільтрів: а – фільтри низьких частот; б – фільтри високих частот

ент підсилення зменшується. За вхідної напруги більше 1,2 В масштабний підсилювач працює як повторювач. Далі сигнал АЕ подається на комутатор та АЦП.

ВУЗЛИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ АЕ

АЦП служить для перетворення вхідних аналогових сигналів кожного каналу в цифровий вид для подальшої обробки та збереження в ОЗП. В АЕ-системі використано швидкодійний

АЦП конвеєрного типу фірми «Analog Devices», що забезпечує частоту дискретизації 16 МГц.

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. Таким чином, АЦП за чергою 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 ОЗП.

У розробленій вимірювальній системі використано ПЛІС фірми «Xilinx». Мікросхеми цього типу застосовують для створення нестандартних арифметико-логічних пристроїв, дешифраторів, мультиплексорів тощо. Мікросхема може працювати з сигналами, що мають стандартні комплементарні (метал–окисел–напівпровідник) або транзистор–транзисторні логічні рівні. Вона може керувати тривалістю фронту вихідного сигналу для кожного вихідного буфера, що за необхідності дає можливість зменшити рівень перешкод на виходах мікросхеми за рахунок незначного зменшення швидкодії.

ПЛІС, використана в даній розробці, має архітектурні особливості, які дають змогу вносити зміни в схему, не змінюючи призначення виводів. Отже, призначення вхідних та вихідних контактів залишиться незмінним за будь-яких непередбачених змін принципової схеми і можна проводити розробку друкованої плати. Ця мікросхема програмується в системі через стандартний JTAG-інтерфейс. Таке програмування дозволяє швидко і ефективно вносити зміни в проект і тоді немає необхідності виймати її з розроблюваного пристрою.

У цьому пристрої використано також передові методи, що забезпечують повний захист схеми від несанкціонованого зчитування і випадкового стирання. Захист від зчитування (код секретності) встановлюється користувачем для запобігання зчитування чи копіювання схеми. Код секретності може бути відмінений тільки за умови повного стирання пам'яті мікросхеми.

Роботою АЕ-системи керує 8-розрядний високопродуктивний мікроконтролер фірми «Atmel». Він забезпечує синхронізацію роботи всієї системи, прийом команд від персонального комп'ютера, обробку і видачу сигналів управління для вузлів пристрою, формує кадри передачі даних і доповнює їх часом виникнення події. Розвинена архітектура процесора дає мож-

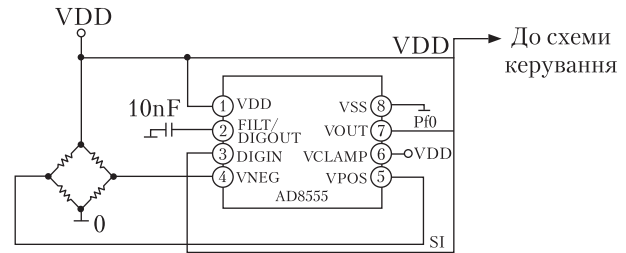


Рис. 4. Принципова електрична схема інструментального підсилювача параметричного каналу

ливість підтримувати 133 потужні інструкції. До складу мікроконтролера входять 32 регістри загального призначення, що безпосередньо приєднані до арифметично-логічного пристрою. Система команд процесора дозволяє одночасний доступ до 2-х незалежних регістрів, що суттєво збільшує його продуктивність.

Для організації обміну даними з персональним комп'ютером використовується мікросхема контролера і приймача-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.

Усі дані заносяться на жорсткий диск персонального комп'ютера типу Note Book, де відбувається їх аналіз і обробка. За допомогою комп'ютера здійснюється керування системою. І з нього можна встановлювати кількість каналів обробки події, час дискретизації сигналів, задавати необхідне підсилення каналів, поріг рівня шуму і смугу пропускання.

ПАРАМЕТРИЧНІ КАНАЛИ

В АЕ-системі також є 3 додаткові автономні низькочастотні аналогові канали для одночасної реєстрації під час випробувань об'єкта контролю таких важливих параметрів, як температура, тиск, деформація тощо.

У більшості випадків таку інформацію отримують з резистивних, ємнісних, індуктивних тощо первинних перетворювачів, увімкнених

у потенціометричні, мостові та інші схеми, або з приладів попередньої обробки (нормалізаторів), що видають сигнал у вигляді струму або напруги. Для підсилення сигналів, одержаних з мостових схем, застосовують інструментальні підсилювачі, розроблені для виділення мізерних сигналів на фоні великих синфазних перешкод. Вказані підсилювачі мають диференційний вхід, великий коефіцієнт підсилення, низьке значення дрейфу нуля на виході та великий (більше 80 дБ) коефіцієнт послаблення синфазного сигналу, необхідний для виявлення малих корисних сигналів, накладених на вищі синфазні напруги. На рис. 4 представлена принципова електрична схема такого підсилювача, що розроблена і використовується в параметричних каналах. У ній застосовано мікросхему інструментального підсилювача з програмованим коефіцієнтом підсилення AD8555 фірми «Analog Devices». Коефіцієнт підсилення параметричного каналу в межах від 70 до 1280 дискретів встановлюється оператором з клавіатури комп'ютера, що дає можливість оперативно налаштовуватись до умов діагностування. Вихідний сигнал через ПЛІС подається на один з входів АЦП, що входить до складу сигнального мікроконтролера.

Розроблені параметричні канали з програмованими коефіцієнтами підсилення та встановлення нуля дають можливість швидко адаптуватися до умов діагностування різноманітних ОК.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЕ-СИСТЕМИ

Сучасні засоби програмування дають розробнику потужну базу для створення ефективних прикладних програм, які здатні вирішувати різнопланові прикладні задачі. Різноманіття мов програмування дають можливість вибрати ту, яка здатна найефективніше та максимально просто реалізувати поставлену задачу. В основу розробки програмного забезпечення покладено деякі алгоритми обробки САЕ як портативних АЕ-засобів — аналогів, що раніше були створені у Фізико-механічному

інституті Національної академії наук України, так і передових світових виробників. Розроблене програмне забезпечення задовольняє необхідні стандартні вимоги щодо обробки сигналів АЕ та має такі характеристики [13]:

- ✦ робота системи в двох режимах: реального часу та постобробки даних;
- ✦ збереження даних на жорсткому диску в файлах зі спеціальним розширенням;
- ✦ робота одночасно з декількома файлами;
- ✦ наявність спеціальних програмних фільтрів для відбору справжніх сигналів АЕ;
- ✦ можливості для графічного представлення зібраної інформації;
- ✦ розвинені функції відображення графічних представлень та друку звітів;
- ✦ наявність засобів відображення форми сигналу;
- ✦ функції цифрової обробки сигналів, що включають одержання коефіцієнтів Фур'є, амплітудної та фазової характеристик.

Основним етапом роботи над створенням програмного забезпечення був вибір засобів програмування, які дали б можливість реалізувати всі поставлені задачі. Саме тому для створення програмного забезпечення було вибрано мову Object Pascal та середовище програмування Delphi6. З урахуванням усіх необхідних теоретичних та практичних знань щодо створення програм забезпечення кращими світовими виробниками АЕ-засобів в основу програми забезпечення було покладено такі основні положення:

- ✦ програмне забезпечення побудоване на принципах об'єктно-орієнтованого програмування. Це дало змогу працювати з даними як з об'єктами, а також дозволило створити та застосувати для обробки АЕ-даних широкий набір методів;
- ✦ створено декілька додаткових класів, які були необхідні для обробки параметрів САЕ. Зокрема, для роботи з модулем пам'яті використовується компонент класу TDirect Port, який призначений для зчитування даних в режимі реального часу;

- ✦ для реалізації можливості працювати одночасно з декількома вибірками даних та паралельно переглядати інформацію у графічному та таблично-статистичному представленнях нами використана MDI-технологія. За цією технологією в клієнтській області головного вікна програми користувач має можливість відкривати довільну кількість дочірніх вікон. Саме в такому форматі побудовані усі сучасні програми збору та обробки АЕ-інформації [16];
- ✦ спектральні характеристики САЕ отримують за допомогою методу швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). ШПФ — це низка ефективних алгоритмів, призначених для швидкого обчислення дискретно-часового ряду Фур'є (ДЧРФ). Основна ідея ШПФ — розподіл n -точкового ДЧРФ на два і більше менших ДЧРФ, кожний з яких можна обчислити окремо, а потім лінійно підсумувати з іншими, для того щоб отримати ДЧРФ початкової n -точкової послідовності. Ці ДЧРФ меншого розміру можна, у свою чергу, поділити на ще менші ДЧРФ відповідно менших послідовностей. Оскільки ШПФ використовує дані комплексного типу, то для цього у ПЗ системи створений клас TComplex, який акумулює основні операції з комплексними числами;
- ✦ у ПЗ, окрім базових функціональних можливостей, які базуються на відомих ПЗ [6], закладено широкі можливості для відображення інформації у табличному та графічному виглядах (рис. 5). Передбачено також створення звітних форм з можливістю їхнього друку або збереження результатів у текстових файлах.

КОНСТРУКЦІЙНЕ ВИКОНАННЯ АЕ-СИСТЕМИ

Конструкційне виконання електронних вузлів і блоків зведено до розташування їх на одній двохсторонній друкованій платі з одностороннім монтажем. 8-канальний аналоговий АЕ-тракт зайняв на ній ліву нижню частину (рис. 6). Справа від зони розташування високочастотної

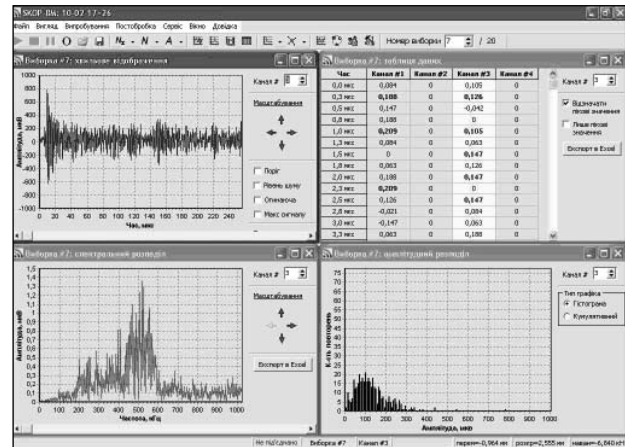


Рис. 5. Представлення АЕ-інформації у табличному та графічному виглядах

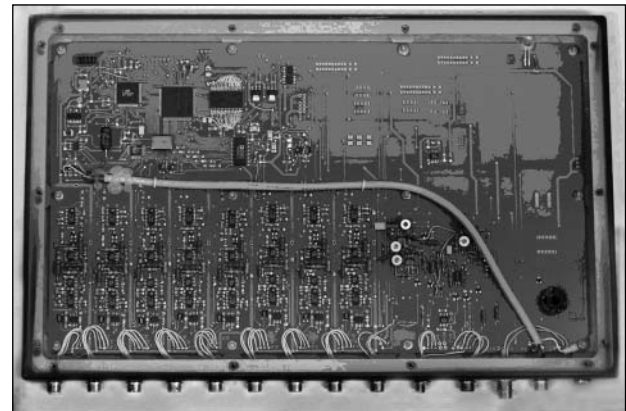


Рис. 6. Загальний вигляд інтегрованої друкованої плати зі сторони монтажу

аналогової частини виконано три низькочастотні канали для відбору та обробки додаткової інформації про об'єкт контролю: деформацію або напруження; тиск; температуру. Решта інтегрованої друкованої плати відведена для вузлів цифрової обробки сигналів АЕ та живлення як вузлів та блоків, розташованих на друкованій платі, так і зовнішніх пристроїв. Для зменшення габаритів, ваги та вартості приладу, підвищення вібростійкості під час виготовлення інтегрованої плати широко використовували SMD-елементи. У результаті одержали габаритні розміри плати — $340 \times 215 \times 12$ мм, вага — 310 г.

Інтегрована друкована плата розміщена у спеціально створеному модулі, який зручно використовувати разом із ПК типу Note Book.

Корпус модуля виготовлено із алюмінієвого сплаву Д16-Т. Знизу він закривається накривкою з ущільнюючою гумовою прокладкою для забезпечення герметичності модуля. Габаритні розміри автономного модуля приладу — $370 \times 256 \times 30$ мм; вага — 2,16 кг. Технологічне виконання корпусу фрезеруванням було вибрано з наступних міркувань. Основною вимогою під час виготовлення модуля було забезпечення його мінімальної ваги і міцності, корозійної стійкості. Тому з урахуванням цього однозначну перевагу надали легким сплавам, які добре обробляються механічно. Саме таким є алюмінієвий сплав Д16-Т. Окрім того, він порівняно недорогий. Перегородки фрезерованого корпусу забезпечують його жорсткість та міцність. Це дає можливість сприймати вібраційні та ударні перевантаження під час транспортування без механічних пошкоджень корпусу, що забезпечує високу тріщиностійкість.

Конструктивно завершеними і автономними складовими є також попередні підсилювачі. Їх корпуси виготовлено з алюмінієвого сплаву Д16-Т шляхом фрезерування із круглого профілю. Підсилювач має закріплення на корпусі кронштейн, який забезпечує його стійкість під час розташування на площині або можливість фіксування на елементах конструкції ОК. Така конструкція та технологія виготовлення попередніх підсилювачів забезпечує їх високі міцнісні характеристики з одночасним зменшенням маси та підвищенням корозійної стійкості корпусів, а також з оптимальним забезпеченням їх вартості. Кожухи підсилювачів закривають кришками з гумовими прокладками, забезпечуючи необхідну герметичність. Окрім цього, зведено до мінімуму кількість роз'ємів.

Таким чином, вибрана концепція конструктивного виконання вузлів системи забезпечує її високі експлуатаційні характеристики: компактність, мінімальну вагу, міцність корпусів

автономних блоків, їх високу герметичність, корозійну стійкість тощо.

Основні технічні характеристики системи

Кількість вхідних каналів АЕ	8
Кількість вхідних каналів додаткової інформації	3
Коефіцієнт нелінійних спотворень кожного каналу	не більше 2 %
Діапазон робочих частот АЕ-каналу	40–700 кГц
Вхідний опір підсилювача не менше	1 МОм
Рівень шумів АЕ-каналу, приведенних до входу	не більше 10 мкВ
Точність вимірювання по кожному каналу	10 %
Розрядність АЦП	не менше 12 біт
Період дискретизації для АЕ-каналів	не більше 500 нс
Низькочастотні аналогові канали	не більше 100 мкс
Похибка	не гірше 1 дискрета АЦП

ВИСНОВКИ

Розроблена портативна акустико-емісійна інформаційно-вимірювальна система дає можливість підвищити адаптивність до умов діагностування різноманітних об'єктів контролю. Забезпечено необхідні функціональні характеристики відбору та обробки сигналів АЕ і передачі отриманих даних для збереження та подальшої обробки на ПК.

Технічні характеристики розробленої системи відповідають сучасним світовим аналогам як за рівнем технічних характеристик, так і за програмним забезпеченням. Розробка дозволяє підвищити ефективність діагностування виробів і споруд, особливо об'єктів довготривалої експлуатації та підвищеної небезпеки.

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. Скальський В.Р., Демчина Б.Г., Карпунін І.І. Руйнування бетонів і акустична емісія (огляд). Повідомлення 2. Корозія залізобетону. Апаратурні засоби. АЕ — контроль та діагностика будівельних споруд // Технич. діагностика і неразрушаючий контроль. — 2000. — № 2. — С. 9–27.

3. ДСТУ 4227-2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки. — К: Держспоживстандарт України, 2003. — 26 с.
4. Скальський В.Р. Прибор для регистрации сигналов акустической эмиссии СВР-4 // Технич. диагностика и неразруш. контроль. 1995. — № 1. — С. 71–79.
5. Скальський В.Р., Пустовой В.М., Бархан А. Портативний накопичувач виборок сигналів акустичної емісії SVR — 6. // Технич. диагностика и неразруш. контроль. — 1999. — № 3. — С. 35–46.
6. Скальський В.Р., Карпунін І.І. Модернізований портативний накопичувач виборок сигналів акустичної емісії СК-7 // Зб. наук. праць ФМІ НАН України «Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів», Київ–Львів, 2002. — Вип. 7. — С. 77–82.
7. Восьмиканальний портативний прилад акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.М. Плахтій, Р.І. Сулим // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Радіоелектроніка та телекомунікації. — 2005. — № 534. — С. 54–63.
8. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. — К.: КНУЦА, 1999. — 304 с.
9. Дослідження приладів для акустико-емісійного контролю та діагностування зварних конструкцій / А.Я. Недосека, С.А. Недосека, А.А. Грузд та ін. // Зб. наук. статей «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». — К.: Вид-во ІЕЗ. ім. Є.О. Патона НАНУ, 2009. — С. 118–122.
10. MISTRAS 2001. AEDSP-32/16. User's manual. — Rev. 1. PAC Part Number 6300-1000. — 1995. — 300 p.
11. Ямагучі К. Системи акустико-емісійного контролю // Хіхакай кенса. — 1988. — 38, № 6. — С. 498–502.
12. CGR Locamat: Multichannel acoustic emission source localization system / Prospect of Corporation CGR. — Paris, 1982. — 12 p.
13. Назарчук З.Т., Скальський В.Р. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: Науково-технічний посібник у 3 т. — К.: Наук. думка, 2009. — 877 с.
14. Аналоговий тракт відбору і обробки сигналів акустичної емісії / Скальський В.Р., Оліярник Б.О., Плахтій Р.М., Сулим Р.І. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Теплоенергетика. Інженерія до-вкілля. Автоматизація. — 2005. — № 537. — С. 116–121.
15. Блоки цифрової обробки сигналів акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.М. Плахтій, Р.І. Сулим // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Автоматика, вимірювання та керування — 2005. — № 530. — С. 162–170.
16. Деякі аспекти програмного забезпечення приладів акустичної емісії / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.І. Сулим, Р.М. Плахтій // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Автоматика, ви-

- мірювання та керування. — 2005. — № 531. — С. 99–107.
17. Портативний прилад для акустико-емісійного діагностування об'єктів нафто- і газотранспортного комплексу / В.Р. Скальський, Б.О. Оліярник, Р.М. Плахтій, Р.І. Сулим // Методи та прилади контролю якості. — 2006. — № 17. — С. 7–12.

В.Р. Скальський, Б.П. Клим,
Р.М. Плахтій, Е.П. Почапський, Е.М. Станкевич,
Я.Д. Толопко, П.П. Великий

ПОРТАТИВНАЯ СИСТЕМА SKOP-8M ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Описаны принципы построения и функциональные возможности узлов и блоков аналоговой и цифровой обработки сигналов модернизированной портативной восьмиканальной системы SKOP-8M для измерения и анализа сигналов акустической эмиссии. Показано, что они выполнены с учетом тенденций развития современной схемотехники и с применением элементной базы известных мировых производителей. Подано краткое описание разработанного программного обеспечения системы, проиллюстрированы его возможности для оперативного отбора, предварительной обработки, визуализации и сохранения акусто-эмиссионной информации. Рассмотрено конструкционное выполнение электронных узлов и блоков, приведены основные технические характеристики системы.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, техническое диагностирование, многоканальная портативная измерительная система, программное обеспечение.

V. Skalskyi, B. Klym, R. Plakhtiy, E. Pochaps'kij,
O. Stankevych, Ya. Tolopko, P. Velykyi

PORTABLE SYSTEM SKOP-8M FOR MEASUREMENT AND ANALYSIS OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS

Schematic solutions and functional possibilities of the analog and digital signal conversion units and blocks of the modernized portable eight-channel system SKOP-8M for measurement and analysis of acoustic emission signals is described. It is shown that they are engineered according to the trends of modern circuit technology and application of the elementary base of the known world producers. The software description for the developed system is presented; its abilities for in-service application, that include data recording stages, preliminary treatment, visualization and storage of acoustic-emission information are illustrated. Schematic solutions for electronic units and blocks are considered, basic technical characteristics of the system are listed.

Key words: acoustic emission, technical diagnostics, multichannel portable measuring system, software.

Надійшла до редакції 25.02.10