

**Є.П. Почапський**

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

## **КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІДБОРУ ТА ОБРОБКИ СИГНАЛІВ МАГНІТОПРУЖНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ**



*Описані структура та принципи побудови основних блоків комп'ютеризованої системи, яка призначена для відбору та обробки інформації, представленої сигналами магнітопружної акустичної емісії. Розроблено системне програмне забезпечення. Наведені основні технічні характеристики системи.*

*Ключові слова: неруйнівний контроль, магнітопружна акустична емісія, комп'ютеризована система, програмне забезпечення.*

### **СТАН ПРОБЛЕМИ**

Забезпечення неруйнівного контролю (НК) елементів конструкцій промислових об'єктів в умовах неперервної їх експлуатації є актуальною технічною задачею сучасності. Застосування акустичної емісії (АЕ) як одного із ефективних методів НК у деяких випадках обмежене, оскільки додаткове навантаження об'єкта контролю (ОК), як цього вимагають регламентні документи на проведення АЕ-діагностування, може бути недопустимим [1–3]. У таких випадках для діагностування феромагнітних елементів конструкцій можна використовувати явище магнітопружної акустичної емісії (МАЕ). Вона виникає за умов перемагнічування феромагнітного конструкційного матеріалу і пов'язана з ефектом Баркгаузена. Пружні імпульси, що супроводжують процеси стрибкоподібної зміни намагніченості, виходять на поверхню зі значних глибин металу, їх відповідним чином реєструють і обробляють вимірювальними засобами.

Збуджують МАЕ-процеси стрибкоподібної зміни положення 90-градусних доменних стінок, якими супроводжуються магнітострикційні ефекти [4]. Перші спроби реєстрації пружних коливань, що виникають під час перемагнічування, та пояснення фізичної суті явища були зроблені ще в 40-х роках минулого століття [5], однак свого розвитку такі дослідження набули пізніше [6, 7]. Кількість окремих джерел пружних хвиль в конструкційних сталях виявляється настільки великою, що здійснити реєстрацію одиночних актів зміщення 90-градусних доменних стінок практично неможливо. Тому навіть для низьких частот перемагнічування сигнал МАЕ є усередненим по всьому об'єму матеріалу, який перемагнічують. Сигнал МАЕ, що формується суперпозицією великої кількості пружних імпульсів від окремих джерел, викликаних дією на феромагнетик зовнішнього періодичного в часі перемагнічуючого поля, логічно розглядати як нестационарний випадковий процес з періодично змінними ймовірнісними характеристиками, причому період зміни дорівнює періоду

ду перемагнічування  $T$ . Частота зовнішнього перемагнічуючого поля зазвичай лежить в діапазоні від одиниць до десятків Гц [6–8], а частотний спектр сигналу МАЕ знаходиться в межах від одиниць кГц до декількох МГц. Але під час експериментальних досліджень, як правило, використовують діапазон  $10 \text{ кГц} \div 1 \text{ МГц}$ . Такий вибір обумовлений тим, що на низьких частотах наявний високий рівень сторонніх акустичних шумів, а на високих частотах — сильне загасання пружних хвиль в досліджуваних тілах. Магнітопружну акустичну емісію реєструють високочутливим п'єзоелектричним перетворювачем. Амплітуда вихідних електричних імпульсів випадково змінюється в широкому динамічному діапазоні (до 60 дБ). Інформативними параметрами сигналу з виходу перетворювача є підсумковий рахунок, сума амплітуд сигналу, середньоквадратичне значення, миттєва потужність, амплітудно-частотний спектр, густина ймовірності розподілу амплітуд тощо [8].

Значення інформативних параметрів сигналу МАЕ залежать від впливу на ферромагнетик перемагнічуючого поля різної напруженості та частоти, форми перемагнічуючого імпульсу і чутливі до структурних змін матеріалу ОК, режиму його термообробки, пластичної деформації, залишкових напружень, наводнення тощо [8–11]. Здеградований матеріал змінює свою доменну структуру, що в свою чергу впливає на зміну параметрів МАЕ. Експериментально виявлено, що найбільше змінює потужність МАЕ пластичне деформування матеріалу, а дещо менше — водневий чинник, дія якого, в свою чергу, залежить від концентрації у ферромагнетик [8–11].

Зрозуміло, що для ефективного відбору та обробки сигналу МАЕ, а відтак і діагностування ОК, необхідне відповідне апаратурне забезпечення методу. Розв'язання цієї задачі дає можливість одержувати додаткову інформацію про стан ферромагнітного матеріалу з його локального об'єму в умовах неперервної експлуатації ОК.

Відомі підходи до відбору сигналу АЕ ґрунтуються на амплітудному критерії, коли по-

чаток вимірювань співпадає з моментом перевищення сигналом наперед заданого порогу, який перевищує рівень шумів [1–3]. Оскільки імпульси АЕ появляються в часі випадково, то, відповідно, початок вимірювань також буде випадковим.

Збудження ж сигналів МАЕ відбувається за умови перемагнічення ферромагнітного зразка зовнішнім магнітним полем, тому важливо синхронізувати перемагнічення з відбором сигналів. Це дасть змогу виявити, на якій ділянці кривої перемагнічення ми реєструємо сигнал МАЕ з тими чи іншими значеннями його параметрів, та ідентифікувати механізм його генерування [6, 7]. Врешті-решт такий підхід уможливує точніше пов'язати інформативні параметри сигналу з механічними та магнітними параметрами ферромагнітного матеріалу для інтерпретації результатів діагностування, підвищити інформативність обстежень ОК. Для розв'язання заданої задачі синхронізації в роботі запропоновано застосувати цифровий генератор сигналу перемагнічення, що дасть змогу точно прив'язати початок вимірювань до відповідної ділянки кривої перемагнічення.

Таким чином, якщо узагальнити вищесказане, то можна стверджувати, що на відміну від акустико-емісійних вимірювальних систем за собою відбору та обробки сигналів МАЕ повинні мати у своєму складі блок збудження магнітного поля на ОК із забезпеченням необхідної сили струму на накладному електромагніті, а також мати можливість змінити його форму та частоту. Іншою особливістю систем для діагностування ОК за сигналами МАЕ є необхідність синхронізації вимірювань. Окрім того, динамічний діапазон сигналів МАЕ дещо менший від аналогічного для сигналів АЕ (до 120 дБ), проте робоча смуга частот в обох методах задається вибором типу первинного перетворювача. Вхідні ланки розробленої системи повинні мати високий вхідний опір, низьку вхідну ємність, частотні фільтри з високою крутизною зрізу верхніх і нижніх частот, високу швидкодію каскадів підсилення у поперед-

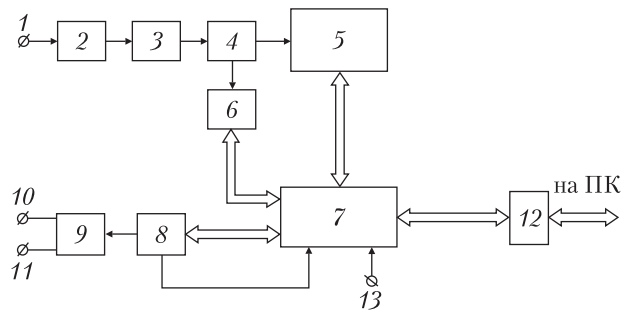
ньому підсилювачі. Слід зауважити, що на вході системи сигнали здебільшого не перевищують десятків-сотень мікрвольт. Дуже важливим питанням при їх розробленні є також забезпечення такого зворотного зв'язку з входними електричними ланками системи, за якого вдалося б уникнути обмеження сигналу на вході аналого-цифрового перетворювача [12].

З урахуванням існуючого стану вимірювальних АЕ-засобів і засобів для діагностування феромагнітних елементів конструкцій метою даної розробки є створення комп'ютеризованої системи для відбору і обробки сигналів МАЕ на основі сучасних електротехнічних рішень та нових методів обробки інформаційних сигналів. Також з метою універсалізації доцільно реалізувати в розроблюваній системі обидва підходи до відбору сигналу, що розширить сферу її використання для діагностування ОК методами АЕ чи МАЕ.

#### ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МАЕ-1Л

Структурна схема розробленої комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л для відбору та обробки сигналу АЕ чи МАЕ наведена на рис. 1. Вимірювальний аналоговий канал системи включає в себе п'єзоелектричний перетворювач, вихід якого з'єднаний з входом 1 попереднього підсилювача 2, смуговий фільтр 3, основний підсилювач з програмно керованим коефіцієнтом підсилення 4. Блоки аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 5, дискримінації та відстежування сигналу АЕ 6, управління 7 становлять цифрову частину. Для збудження сигналу МАЕ у феромагнітних матеріалах додатково розроблені відповідні технічні вузли, які виконані як генератор сигналу перемагнічення 8, вихідний силовий блок генератора 9 з виходами 10, 11. Зв'язок з персональним комп'ютером (ПК) здійснюється через інтерфейс 12, а зовнішня синхронізація системи — через вхід 13.

У блоці 2 електричний сигнал МАЕ підсилюється, а потім фільтрується з використанням смугового активного фільтра Баттерворта

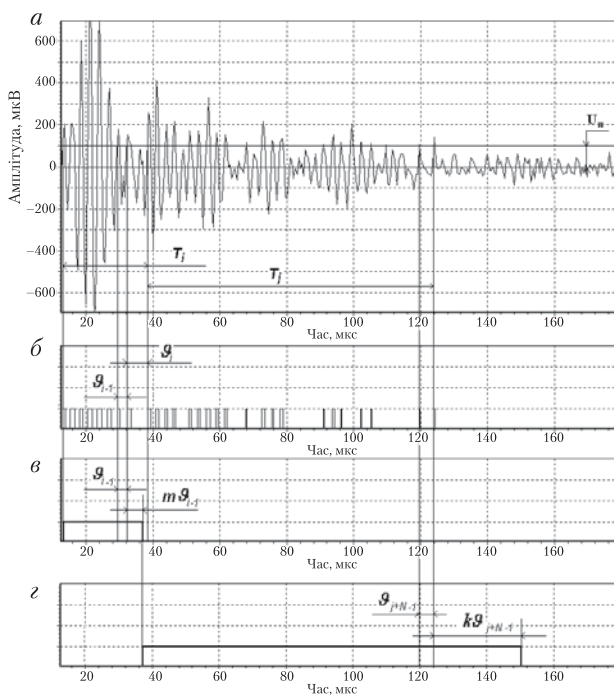


**Рис. 1.** Структурна схема комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л: 1 – вихід з п'єзоелектричного перетворювача; 2 – попередній підсилювач; 3 – смуговий фільтр; 4 – основний підсилювач з програмно керованим коефіцієнтом підсилення; 5 – блок АЦП, 6 – блок дискримінації та відстежування сигналу АЕ; 7 – блок управління; 8 – генератор сигналу перемагнічення; 9 – вихідний блок генератора; 10, 11 – виходи генератора перемагнічення; 12 – інтерфейс

другого порядку 3, налаштованого на діапазон робочих частот у смузі від  $f_H = 10$  кГц до  $f_B = 500$  кГц. Такий вибір обумовлений тим, що на низьких частотах до 10 кГц наявний високий рівень фонових акустичних завад, а на високих частотах — сильне загасання пружних хвиль у досліджуваних об'єктах.

Далі відфільтрований сигнал надходить на вхід основного підсилювача 4, де остаточно підсилюється до необхідного амплітудного рівня. Блок 4 побудований на мікросхемі AD604 фірми Analog Devices, яка має два незалежні лінійні керовані напругою підсилювачі з динамічним діапазоном підсилення 6÷54 дБ кожен. Для формування керуючої напруги в діапазоні 0÷2,5 В використано 4-канальний 8-бітний цифро-аналоговий перетворювач AD7305 цієї ж фірми. Керуючий код записується програмно у відповідні внутрішні регістри мікросхеми.

Функціонування системи забезпечує блок управління 7, побудований на мікросхемі програмованої логіки EPM9320ALC84-10 фірми Altera. Основні режими та параметри роботи системи задаються програмно з ПК шляхом запису в блок 8 відповідної управляючої інформації. У залежності від вибору вимог оператора система може функціонувати у двох



**Рис. 2.** Часова діаграма імпульсів керування в окремих точках комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л (в асинхронному режимі)

режимах: *асинхронному* та *синхронному*. Асинхронний режим відповідає ситуації, коли проводяться експериментальні дослідження в області фізики та механіки руйнування конструкційних матеріалів методами АЕ, тоді моменти появи окремих імпульсів АЕ випадково розподілені у часі [1, 2], внаслідок чого виникає задача виявлення сигналу на фоні завад.

Діаграма імпульсів в окремих точках під час функціонування комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л в асинхронному режимі наведена на рис. 2. У цьому режимі система працює так.

Підсилений сигнал (рис. 2, а) з виходу основного підсилювача 4 (рис. 1) поступає на вхід 1 блока дискримінації та відстежування сигналу АЕ 6, структурна схема якого зображена на рис. 3. Вона містить амплітудний дискримінатор 3, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) 4, основний 5 і додатковий 6 блоки ковзного порівняння часових інтервалів.

У амплітудному дискримінаторі 3 блока відбувається порівняння амплітуди сигналу з порогом  $U_n$  дискримінації, який задається програмно подачею на групу входів 2 цифро-аналогового перетворювача 4 відповідного коду, найчастіше виходячи з умови перевищення порогом рівня акустичних та електричних шумів. Для дискримінації використовується компаратор AD8561 фірми Analog Devices. В момент перевищення сигналом встановленого рівня дискримінації під дією переднього фронту сигналу (рис. 2, б) на виході 7 дискримінатора запускається блок АЦП 5 (рис. 1) і тим самим розпочинається процес реєстрації сигналу з відповідним записом результату перетворення вимірюваного інформативного сигналу АЕ в оперативно-запам'ятовуючій пристрій. Одночасно сигнал з виходу дискримінатора 3 поступає на входи основного 5 і додаткового 6 блоків ковзного порівняння часових інтервалів (рис. 3).

На виході первинного перетворювача сигнал АЕ складається з двох частин. Перша зумовлена реєстрацією прямого сигналу АЕ від джерела; вона є найбільш інформативною і має вигляд короткого згасаючого радіоімпульсу. Друга частина формується внаслідок багатократного відбивання від бокових поверхонь сигналом та накладання нових типів хвиль, які виникають при цьому. Тому з часом зареєстровані сигнали АЕ відрізняються від первинних, що несуть інформацію про джерело і зазвичай мають вигляд довгих радіоімпульсів зі згасаючою за експонентою амплітудою [1, 2]. Тривалість інформативної частини  $T_i$  набагато менша від тривалості неінформативної  $T_r$  (рис. 2, а).

Ураховуючи вищесказане, після виділення моменту появи імпульсу АЕ важливо встановити момент закінчення інформативної частини сигналу, щоб виключити можливість реєстрації неінформативної частини. З цією метою в блоці порівняння часових інтервалів 6 відбувається додаткове порівняння періоду поточного коливання  $\theta_i$  (інтервалу часу (рис. 2, б) між двома послідовними спрацюваннями компаратора 3 в АЕ-імпульсі) з величиною  $m\theta_{i-1}$ ,

яка є значенням попереднього періоду, помноженим на коефіцієнт  $m$ , котрий приймає значення в інтервалі  $1,5 < m < 2$ . Порівняння відбувається до моменту перевищення періодом  $\vartheta_i$  величини  $m\vartheta_{i-1}$ , який приймається за кінець реєстрації інформативної частини сигналу (рис. 2, в). Заднім фронтом сигналу на виході 9 блока 6 (рис. 3) здійснюється зупинка роботи блока АЦП та блокування його запуску, а також запуск роботи основного блока порівняння часових інтервалів 6.

Важливо також встановити момент закінчення імпульсу АЕ, щоб виключити можливість реєстрації хибних імпульсів внаслідок вимірювання коливань всередині окремого імпульсу [13]. З цією метою в основному блоці порівняння часових інтервалів 6 (рис. 3) відбувається порівняння періоду поточного коливання  $\vartheta_{i+N}$  (інтервалу часу між двома послідовними спрацюваннями компаратора 3) в АЕ-імпульсі зі значенням попереднього періоду, помноженого на коефіцієнт  $k$ , який більший за одиницю  $k\vartheta_{i+N-1}$  (із фізичних міркувань доцільно задаватися значеннями коефіцієнта з інтервалу  $2 < k < 10$ ), до моменту його перевищення, який приймається за кінець даного імпульсу і початок очікування наступного (рис. 2, г). Заднім фронтом сигналу на виході 8 блока 5 здійснюється розблокування запуску блока АЦП. Схема готова до реєстрації наступного імпульсу.

Таким чином, запропонований підхід, який ґрунтується на додатковому відслідковуванні величини періоду біжучого коливання в імпульсі АЕ, забезпечує реєстрацію тільки інформативної частини сигналу АЕ з метою зменшення об'єму збережуваних АЕ-даних та оперативності їх обробки.

З метою узгодження частоти дискретизації та швидкості вводу даних в ПК через його паралельний порт дані, що оцифровують, попередньо записують в оперативну пам'ять блока АЦП. З блока 5 дані з меншою швидкістю через інтерфейс 12 поступають в оперативну пам'ять комп'ютера. Ознакою факту реєстрації

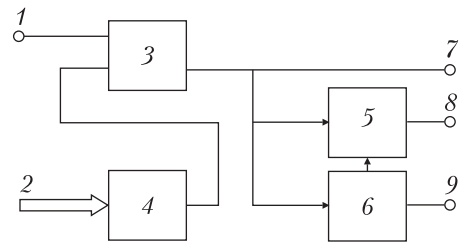


Рис. 3. Структурна схема блока дискримінації та відстежування сигналу АЕ

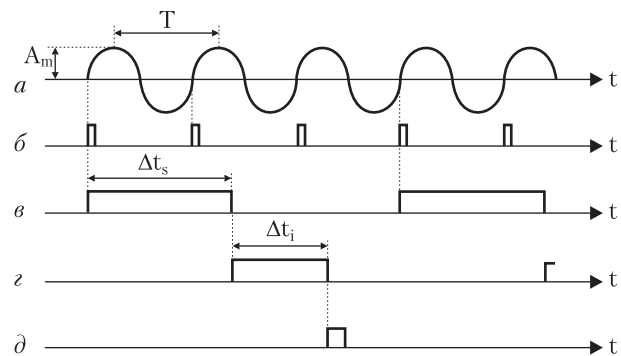
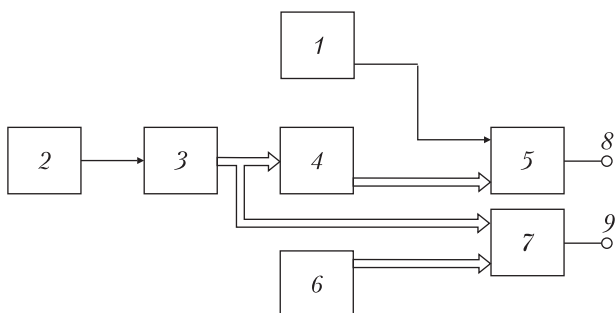


Рис. 4. Часова діаграма імпульсів керування в окремих точках комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л у синхронному режимі для високих частот перемагнічення

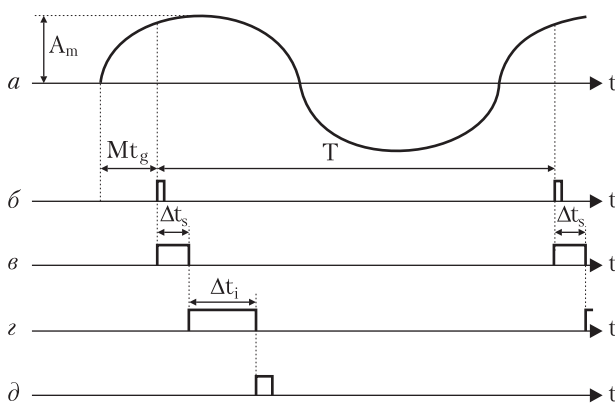
системою сигналу АЕ і його дискретизації для комп'ютера є одиничний стан тригера «Data» у блоці управління 7.

Синхронний режим роботи системи застосовується у випадках, коли для експериментальних досліджень використовується метод МАЕ, що виникає під час перемагнічення феромагнетиків. Перемагнічення здійснюється періодично в часі, а тому априорі відомий інтервал часу, протягом якого можлива поява сигналу МАЕ.

Діаграми імпульсів в окремих точках за умови функціонування комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л в синхронному режимі для високих частот перемагнічення, коли період перемагнічення менший від часу, протягом якого відбувається дискретизація сигналу  $T < \Delta t_s$ , наведені на рис. 4. У цьому режимі система працює синхронно з роботою генератора сигналу перемагнічення 8, який генерує сигнал синусоїдної форми (рис. 4, а).



**Рис. 5.** Структурна схема генератора сигналу перемагнічення: 1 – перший ЦАП; 2 – таймер, 3 – лічильник адреси; 4 – оперативна пам'ять; 5 – другий ЦАП; 6 – регістр номера синхроімпульса; 7 – цифровий компаратор; 8 – вихід сигналу перемагнічення; 9 – вихід синхроімпульса



**Рис. 6.** Часова діаграма імпульсів керування в окремих точках комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л у синхронному режимі для низьких частот перемагнічення

Для розробки генератора використано мікроконтролер MSP430F2619T компанії Texas Instruments. Він містить 16-розрядний центральний процесор архітектури RISC, різноманітні периферійні модулі, зокрема два таймери А і В, два 12-розрядні ЦАП, використовувані для побудови генератора.

Структурна схема розробленого генератора сигналу перемагнічення наведена на рис. 5. 12-розрядним кодом на цифрових входах першого ЦАП 1 задається опорна напруга другого ЦАП 5 в діапазоні  $0 \div 2,5$  В. Це забезпечує зміну напруги на виході другого ЦАП, який є одночасно виходом 8 сигналу перемагнічення ге-

нератора, у цьому ж діапазоні зафіксованого максимального коду на його входах. За такого підключення ЦАП для генерування сигналу достатньо зберігати в оперативній пам'яті 4, під'єднаній до цифрових входів другого ЦАП 5, наперед обчислені значення генерованого сигналу довільної форми (напр., синусоїдного) на періоді в певній кількості точок  $N_g$ . Похибка відтворення форми сигналу визначається кількістю цих точок (у розробленому генераторі  $N_g = 256$ ) і розрядністю ЦАП.

Частота генерування сигналу  $f = 1/T$  визначається частотою зміни адреси оперативної пам'яті, який задається лічильником адреси 3, на лічильний вхід якого поступає тактовий сигнал з частотою  $f_t$  з виходу таймера 2. Вона дорівнює  $f = f_t/N_g$ , тобто задається в кінцевому рахунку частотою тактового сигналу таймера  $f_t$ , яку можна змінювати у широкому діапазоні записом у таймер 2 відповідного коду. Для синхронізації відбору сигналу МАЕ з процесом перемагнічення феромагнетика в момент, коли код адресного лічильника 3 порівнюється із кодом, записаним у регістрі номера синхроімпульсу 6 на виході цифрового компаратора 7, який є одночасно виходом синхроімпульсу 9, генерується імпульс синхронізації.

Сигнал, згенерований генератором 8, знаходиться в діапазоні  $0 \div 2,5$  В і для підсилення за амплітудою і потужністю поступає на вихідний блок 9 (рис. 1). У ньому також відфільтровується постійна складова сигналу, а максимальне підсилення досягає значення напруги  $\pm 36$  В, яка подається з блока живлення системи. У блоці 9 використано операційний підсилювач ОРА541 компанії Burr-Brown з напругою живлення до  $\pm 40$  В і вихідним струмом до 10 А. У ньому формуються два синусоїдних сигнали, зміщених по фазі на  $90^\circ$ , які поступають на відповідні виходи 10, 11, а далі – на два виводи обмотки накладного електромагніта. Такий спосіб підключення дає змогу одержати максимальну напругу, прикладену до обмотки, яка дорівнює  $2 \times 36$  В. З виходу 9 (рис. 5) імпульси прямокутної форми (рис. 4, б), за фа-

зою прив'язані до генерованого синусоїдного сигналу, поступають на один із входів блока управління 7 (рис. 1), який дає дозвіл на роботу АЦП 5. Довжина вибірки  $N_s$  (максимальне значення визначається об'ємом оперативної пам'яті, і в нашому випадку дорівнює  $N_{smax} = 65536$ ), період дискретизації  $T_s$  і, відповідно, час роботи АЦП  $\Delta t_s$  (рис. 4, в) задаються оператором з міркувань  $\Delta t_s \geq T$  і записуються в блок 7 програмно. Тут  $T$  – період сигналу, який генерує генератор 8.

Після закінчення процесу дискретизації тригер «Data» блока управління 7 встановлюється в одиничний стан (рис. 4, з). Комп'ютер протягом часу  $\Delta t_i$  вводить дані, які записуються під час дискретизації в блок оперативної пам'яті системи. Після закінчення вводу даних тригер «Data» програмно імпульсом (рис. 4, д) переводиться в нульовий стан. Тоді система готова до чергового циклу реєстрації сигналу АЕ.

Вигляд імпульсів в окремих точках за функціонування комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л у синхронному режимі для низьких частот перемагнічення, коли період перемагнічення більший від часу, протягом якого відбувається дискретизація сигналу  $T > \Delta t_s$ , наведено на рис. 6.

У даній ситуації зареєструвати сигнал МАЕ, збуджений під час одного періоду перемагнічення, неможливо за один цикл вимірювань. Мінімальна кількість циклів вимірювань дорівнює  $N_{zmin} = \text{int} [T/(T_s N_{smax})] + 1$ , де оператор  $\text{int}[\bullet]$  дає цілу частину від результату ділення.

Розроблений генератор сигналу перемагнічення дає змогу здійснити потрібну кількість послідовних циклів, зміщених у часі на величину  $MT_g$ , де  $M$  – номер синхроімпульсу генератора,  $T_g$  – період виводу значень генератора (рис. 6, б).

Блок інтерфейсу 12 забезпечує зв'язок апаратної частини системи з ПК, який здійснює управління експериментом, введення та збереження даних, їх подальшу обробку за відповідними алгоритмами та візуалізацію результатів. Вхід зовнішньої синхронізації 13 використовується, коли перемагнічення фе-

ромагнетика здійснюється зовнішнім незалежним генератором.

#### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МАЕ-1Л

Структурна схема розробленого системного програмного забезпечення комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л наведена на рис. 7.

Блок 1 забезпечує вибір одного із двох основних режимів функціонування системи:

а) асинхронний режим, за якого відбір сигналу МАЕ не синхронізований з генератором перемагнічення;

б) синхронний режим, який забезпечує функціонування системи синхронно з роботою генератора перемагнічення.

У випадку першого режиму блок 2 проводить планування експерименту, направлено на ефективний відбір сигналу АЕ. При цьому задається ім'я файлу, в якому будуть зберігатися дані експерименту, також з урахуванням конкретних умов експерименту задаються та обчислюються значення основних параметрів функціонування системи: коефіцієнт підсилення підсилювача каналу АЕ –  $k$ , величина порога дискримінації  $U_n$  сигналу каналу АЕ, період дискретизації сигналу АЕ –  $T_s$ , об'єм вибірки сигналу АЕ –  $N_s$ .

Після закінчення процедури ініціалізації параметрів системи в блоці 6 здійснюється запит на запуск роботи системи у заданому режимі. Після запуску системи блок 7 проводить аналіз стану тригера «Data»  $T_d$ . Встановлення тригера  $T_d$  в одиничний стан є ознакою того, що виник і був оцифрований сигнал АЕ. Блоком 7 при цьому здійснюється передача управління на блок 8. Цей блок організовує послідовне введення в оперативну пам'ять комп'ютера через паралельний порт  $N_s$  значень сигналу МАЕ, взятих через період дискретизації  $T_s$ .

У блоці 9 здійснюється попередня обробка сигналу, а блок 10 забезпечує візуалізацію введених даних на моніторі. У блоці 11 приймається рішення про закінчення експерименту чи перехід на блок 13. У випадку продовження експерименту блоком 13 здійснюється переве-

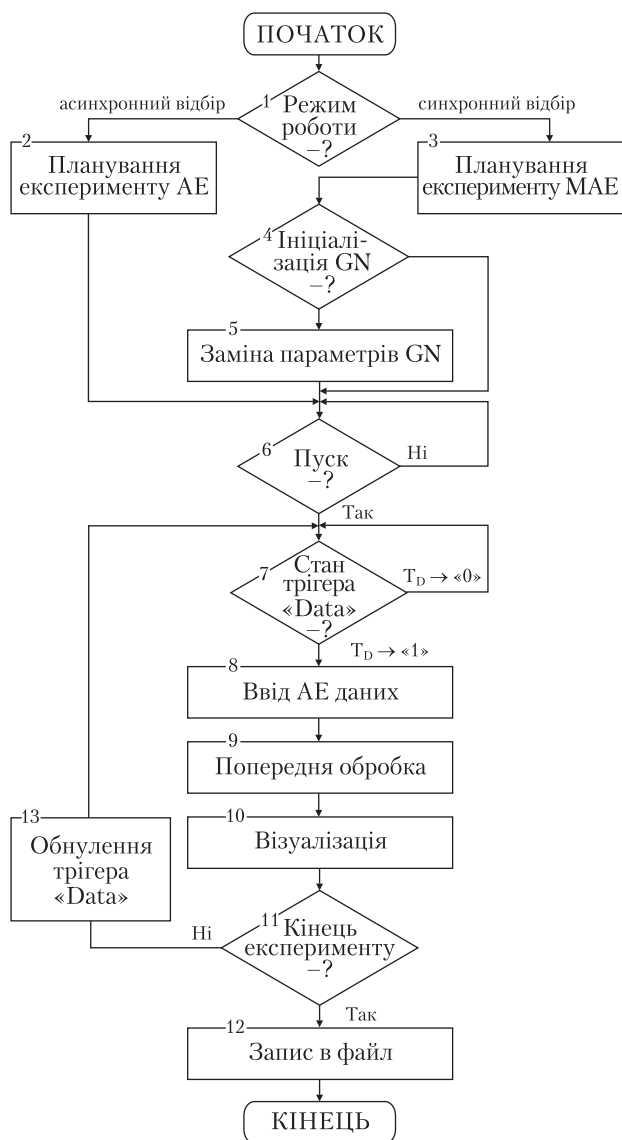


Рис. 7. Структурна схема системного програмного забезпечення



Рис. 8. Апаратний блок комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л

дення тригера «Data» в нульовий стан і передача управління знову на блок 7. Система готова до реєстрації чергового сигналу АЕ. У протилежному випадку блок 12 здійснює запис введених даних у файл і вихід з програми.

У разі вибору синхронного режиму відбору сигналу МАЕ блок 3 (рис. 7) проводить відповідне планування експерименту. При цьому також задається ім'я файлу, в якому будуть зберігатися дані експерименту, задаються та обчислюються з урахуванням конкретних умов експерименту значення основних параметрів функціонування системи в цьому режимі, а також блокується робота блока дискримінації та відстежування сигналу АЕ 6 (рис. 1) Далі відбувається перехід на блок 4, в якому приймається рішення про задання потрібних робочих параметрів генератора перемагнічення. За умов позитивного рішення в блоці 5 задаються такі параметри генератора перемагнічення: частота сигналу, амплітуда сигналу, номер синхроімпульсу.

Після закінчення процедури ініціалізації параметрів системи управління передається на блок 6, який програмно здійснює запуск роботи системи. Надалі система функціонує подібно до асинхронного режиму.

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

Під час проведення експерименту здійснюється виведення у реальному масштабі часу в графічній формі сигналу МАЕ на монітор, а також номери зареєстрованої вибірки, періоду дискретизації та масштабу шкали амплітуд.

На панелі інструментів знаходяться кнопки: вибору вікон задання коефіцієнта підсилення та рівня дискримінації акустичного каналу Amp; вибору вікон задання частоти дискретизації SF; довжини вибірки SL; параметрів генератора сигналу перемагнічення; імені файла даних. У вікні розміщені також кнопки управління процесом проведення вимірювань («Reset», «Start»,



«Stop», «Close»), управління генератором («Reset», «Start»), вибору режиму роботи («synchronous», «asynchronous»).

Також розроблено програмне забезпечення мікроконтролера MSP430F2619T, на якому створений генератор сигналу перемагнічення. Для цього використано інтегроване середовище IDE IAR Embedded Workbench.

На рис. 8 наведено загальний вигляд апаратного блока розробленої комп'ютеризованої системи МАЕ-1Л.

### ВИСНОВКИ

Розроблена комп'ютеризована система МАЕ-1Л, яка призначена для відбору та обробки інформації, представленої сигналами МАЕ. Вона забезпечує технічне діагностування феромагнетних елементів конструкцій в умовах первинної їх експлуатації.

*Система МАЕ-1Л метрологічно атестована і пройшла випробування у виробничих умовах експлуатації об'єктів контролю.*

### Основні технічні характеристики розробленої системи

Коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача – 40 дБ.

Максимальний коефіцієнт підсилення основного підсилювача сигналу МАЕ – 100 дБ.

Зміна коефіцієнта підсилення основного підсилювача – здійснюється програмно з кроком 0,4 дБ.

Зміна порогу дискримінації підсиленого сигналу МАЕ – здійснюється програмно з кроком 10 мВ.

Смуга пропускання пасивного смугового фільтра каналу МАЕ – 10...500 кГц.

Об'єм однократної вибірки сигналу МАЕ – задається програмно з верхньою межею 64 кбайт.

Частота дискретизації сигналу МАЕ – задається програмно і може приймати значення  $2^{1-N}$  МГц, де  $N = 0, 1, \dots, 7$ .

Розрядність АЦП каналу МАЕ – 8.

Режими живлення – автономне джерело.

Частота сигналу генератора перемагнічення – 0,5...100 Гц.

Амплітуда сигналу генератора перемагнічення –  $0...2 \times 36$  В.

Максимальний струм генератора перемагнічення – 2 А.

Розрядність ЦАП генератора перемагнічення – 12.

### 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. Клим Б.П., Микитин Г.В., Почапський Е.П., Бухало О.П. Аспекти отбора сигнала акустической эмиссии // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2000. – № 3. – С. 17–23.
3. ДСТУ 4227–2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної безпеки. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 26 с.
4. Волков В.В., Кумейшин В.Ф., Черниховский М.Ю. и др. Об акустической эмиссии перемагничиваемых ферромагнетиков // Дефектоскопия. – 1986. – № 4. – С. 21–28.
5. Вонсовский С.В., Шур Я.С. Ферромагнетизм. – М.–Л.: ОГИЗ, 1948. – 530 с.
6. Оно К., Shibata M. Magnetomechanical Acoustic Emission of Iron and Steels // Mater. Evaluation. – 1980. – 38. – P. 55–61.
7. Shibata M., Оно К. Magnetomechanical Acoustic Emission – a New Method of Nondestructive Stress Measurement // NDT International. – 1981, October. – P. 227–234.
8. Глухов Н. А., Колмогоров В. Н. Связь параметров акустических шумов в перемагничиваемых конструкционных материалах // Дефектоскопия. – 1988. – № 2. – С. 26–29.
9. Горкунов Э.С., Бартеков О.А., Хамитов В.А. Магнитоупругая акустическая эмиссия в монокристаллах кремнистого железа // Изв. вузов. Сер. Физика. – 1986. – С. 62–66.
10. Болтачев В.Д., Головицкова И.В., Ермаков А.Е. и др. Эффект Баркгаузена и магнитоакустическая эмиссия в сплавах FeAl, FeCo и FeSi // Физ. мет. и металловед. – 1992. – № 12. – С. 59–67.
11. Nazarchuk Z.T., Skal's'kyi V.R., Klym V.P. et al. Influence of hydrogen on the changes in the power of Barkhausen jumps in ferromagnets // Materials Science. – 2009. – 45, № 5. – P. 663–669.
12. Назарчук З.Т., Скальський В.Р. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій. – К.: Наук. думка, 2009. – Т. 3. – 327 с.
13. Пат. №92537 Україна, МПК G01N29/04; G01N29/14. Спосіб відбору інформативного сигналу акустичної емісії. / Скальський В.Р., Назарчук З.Т., Почапський Є.П. та ін. – Опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21.

*Е.П. Почапский*

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ ОТБОРА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ  
МАГНИТОУПРУГОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ  
ЭМИССИИ

Описаны структура и принципы построения основных блоков компьютеризированной системы, которая предназначена для отбора и обработки информации, представленной сигналами магнитоупругой акустической эмиссии. Разработано системное программное обеспечение. Приведены основные технические характеристики.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль, магнитоупругая акустическая эмиссия, компьютеризированная система, программное обеспечение.

*Ye. Pochapskyu*

COMPUTERIZED SYSTEM FOR EXTRACTION  
AND PROCESSING OF MAGNETOELASTIC  
ACOUSTIC EMISSION SIGNALS

The structure and construction principles of basic blocks of the computerized system designed for selection and processing of information presented by magnetoelastic acoustic emission signals is described. The system software is developed. Its main technical characteristics are presented.

*Key words:* nondestructive testing, magnetoelastic acoustic emission, computerized system, software.

Стаття надійшла до редакції 24.03.11