

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

«На правах рукопису»

УДК 534.6:681.518.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.С. Єременко

“ ” 2019р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»  
на тему: «Система моніторингу акустичних параметрів»

Виконав: студент VI курсу, групи ВВ-81мп  
Мальований Антон Олександрович

Науковий керівник  
к.т.н., доцент, Синиця В.І.

Консультант з розділу «Розробка стартап-проектів»  
д.е.н., доцент Бояринова К.О.

Рецензент  
к.т.н., доцент, Стаценко О.В.

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.  
Студент

Київ – 2019 року

## ВСТУП

Моніторинг - це процес систематичного або безперервного збору інформації про параметри складного об'єкта або діяльності для визначення тенденцій зміни даних параметрів.

В даний час в більшості промислово розвинених країн ведеться розробка і оптимізація способів моніторингу і прогнозування. Правильно розрахована і налаштована система моніторингу дозволяє вчасно виявити і попередити деформаційні процеси в контрольованому об'єкті, що мінімізує збитки і дозволяє уникнути людських жертв і втрат дорогого устаткування, - це є важливою складовою ризик-менеджменту, який здійснює контроль за складними інженерними об'єктами.

Цілі функціонування моніторингу:

- контроль характеру і інтенсивності протікання процесів, небезпечних для об'єкта моніторингу;
- формування інформації про небезпечні процеси для оперативного прийняття рішень з охорони об'єкта.

Завдання моніторингу:

- проведення первинної обробки вимірювальних даних, накопичення та архівування їх в базах даних;
- оцінка стану об'єкта охорони і можливого негативного розвитку контрольованих небезпечних процесів;
- формування набору вихідних документів, що характеризують техногенну ситуацію і тенденції її розвитку.

Розроблена вимірювальна система акустичних характеристик об'єктів призначена для вимірювання рівнів звукового тиску, середньоквадратичних, еквівалентних рівнів звуку при випробуванні та експлуатації машин і механізмів з метою їх діагностики та виявлення дефектів. Система може бути використана для оцінки впливу звуку та інфразвуку на людину, екологічного контролю шуму в житлових та громадських приміщеннях, на виробництві, при моніторингу технічного стану промислового та побутового обладнання.

## **2. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ**

Метою розробки є створення багатоканальної вимірювальної системи для аналізу акустичного шуму, призначеної для вимірювання середньоквадратичних рівнів звукового тиску в октавних полосах частот з метою визначення акустичних характеристик промислових об'єктів, різноманітних механізмів та машин з наступною реєстрацією та аналізом результатів вимірювань на реєстраторі або за допомогою ПК. Такий підхід дозволяє встановити зв'язок результатів вимірювань з реальним технічним станом досліджуваного обладнання.

Розроблювана в магістерській дисертації вимірювальна система дозволяє здійснювати вимірювання з достатньо високою точністю та меншими грошовими витратами при заданих функціональних можливостях, ніж аналогічні пристрої, що використовуються

### **3 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ**

#### **3.1 Технічні характеристики вимірювальної системи акустичних характеристик об'єктів:**

- число вхідних каналів – 8;
- діапазон вимірюваних рівнів звуку від 20дБ до 100 дБ;
- діапазон частот із взваженою характеристикою типу А і Lin від 10 Гц до 12000 Гц;
- часові характеристики усереднення СКЗ – 1с («повільно») і 125 мс («швидко»);
- тип частотного аналізу – октавний;
- діапазон зміни вихідної напруги 0...10 В;
- діапазон зміни вихідного постійного струму 0...20 А;
- опір навантаження не менше 2 кОм для напруги и 600 Ом для струмів;
- робочі умови експлуатації від 10°C до 35°C;
- похибка вимірювання – 3 дБ.

#### **3.2 Склад и габаритні розміри вимірювальної системи**

- блок акустичних датчиків;
- модуль АЦП;
- модуль оперативної обробки сигналів;
- модуль ЦАП;
- комплект з'єднуючих кабелів, перехідників, роз'ємів;
- маса системи не повинна перевищувати 10 кг;
- габаритні розміри системи мають бути не більше 325×280×270 мм.

## **4 ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА КОНСТРУКЦІЇ**

### **СИСТЕМИ**

В наш час основним напрямом при побудові інформаційних та керуючих систем для вимірювання акустичних характеристик об'єктів є розподілені обчислювальні системи на базі мікропроцесорних контролерів, зв'язаних між собою і центральною локальною мережею - інформаційною магістраллю. При цьому контролери мають бути максимально наближені до джерел технологічної інформації. Найбільш активно такий напрям розвивається стосовно до інтегрованим керуючим системам, коли практично всі функції вимірювання, контролю, захисту та керування об'єкту виконуються на однорідній технічній базі елементів цифрової вимірювальної техніки у вигляді відповідних мікроконтролерів.

Тим не менш, створення таких систем потребує серйозної науково-технічного опрацювання і перспектива їх широкого впровадження достатньо віддалена. Тому сьогодні на передньому плані стоїть задача розробки та впровадження різноманітних інформаційних систем на базі сучасної та доступної мікропроцесорної технології.

#### **4.1 Короткий огляд можливих технічних рішень та обґрунтування вибраного рішення**

##### **4.1.1 Короткий огляд модульних систем збору і обробки інформації**

Системи збору та обробки інформації призначені для автоматизації процесів експлуатаційного контролю і діагностики стану турбо- та гідроагрегатів, генераторів і систем їх забезпечення.

Часто виникають задачі, потребуючі одночасного вводу і обробки більшої кількості аналогових сигналів. Наприклад: введення датчиків температур (термопар), напруг, зняття інформації з резистивних датчиків, одночасне керування зовнішніми об'єктами за допомогою реле и т. д.

Для рішення подібного класу задач пропонуються системи виконувати по модульному принципу як показано на рис. 4.1.

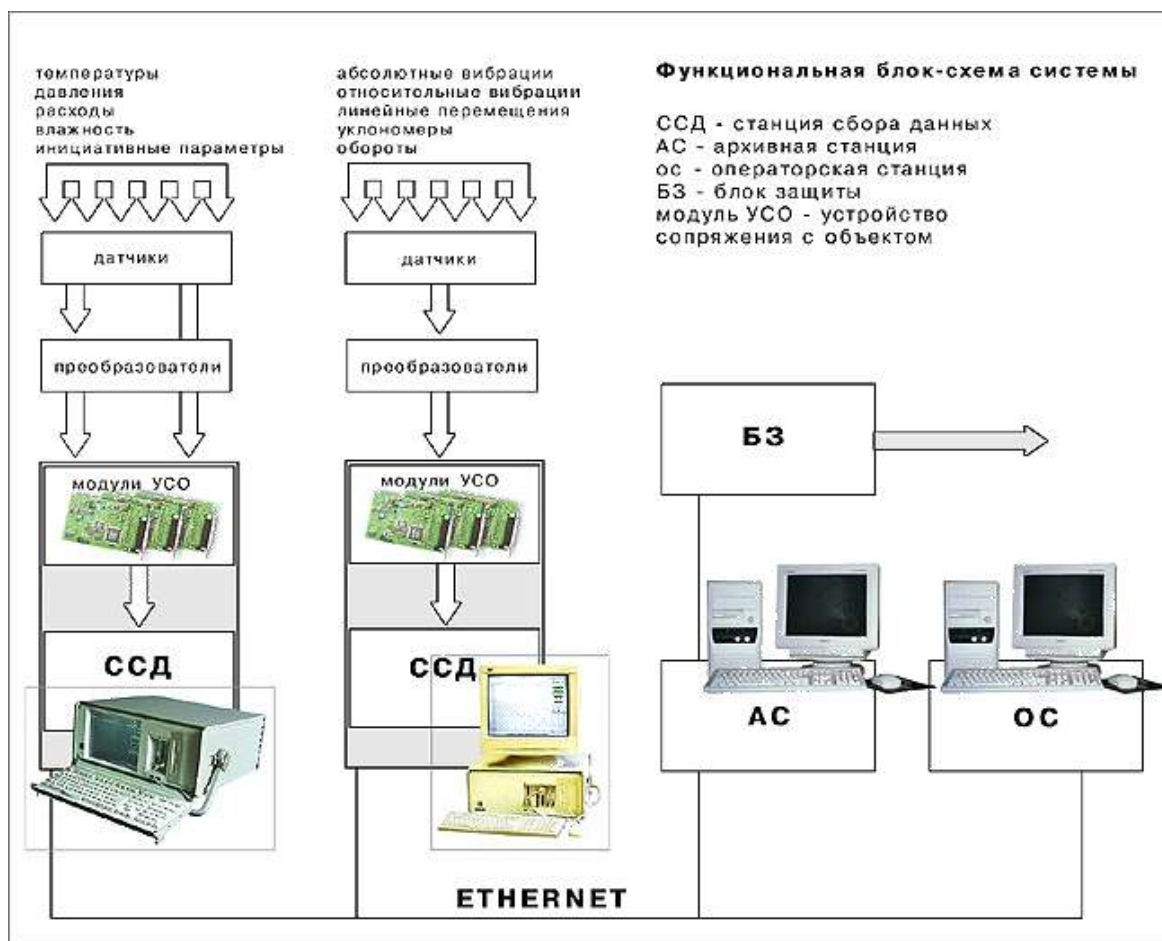


Рисунок 4.1 - Модульный принцип построения систем сбора и обработки данных

### Модульные системы на базе LTC

LTC - це модульна система збору даних з різноманітних датчиків та керування в задачах промислової автоматизації [1]. Широка номенклатура модулів в системі LTC дозволяє безпосередньо підключатися до всіх основним типам індустриальних датчиків, включаючи:

- Термопари і термоопори;
- Потенціометричні, частотні та струмові входи;
- Індивідуальна та групова гальванорозв'язки;
- П'єзо - і тензодатчики;
- Цифрові та ключові входи / виходи.

Загальний вигляд подібної системи представлений на рис. 4.2



Рис. 4.2 - Зовнішній вигляд модульної системи збору даних

Система складається з декількох варіантів конструктивів, що називаються LTC-крейти, що підключаються до комп'ютеру за допомогою крейт-контролерів. Крейт-контролер забезпечує керування установленими в крейті модулями та зняття з них інформації. Крейт може підключатися до комп'ютеру через принтерний порт. Для LTC-крейтів створена широка номенклатура вимірювальних та керуючих модулів. Для лабораторних і переносних застосувань є більш компактні корпуси.

Система виконує широкий спектр задач в областях промислової автоматизації, дозволяє створювати розподілену мережу керування даними, володіє невисокою вартістю по відношенню до аналогів, що виробляються другими фірмами.

## Модульна система LM-типу

Модульная система збору і керування даними, призначена для лабораторних досліджень [2]. Система, що описана представлена на рис 4.3 и дозволяє збільшити число каналів на платі М-1270, а також підключити індивідуальні аналогові фільтри на кожен канал, збільшити число цифрових входів-виходів и т.д.

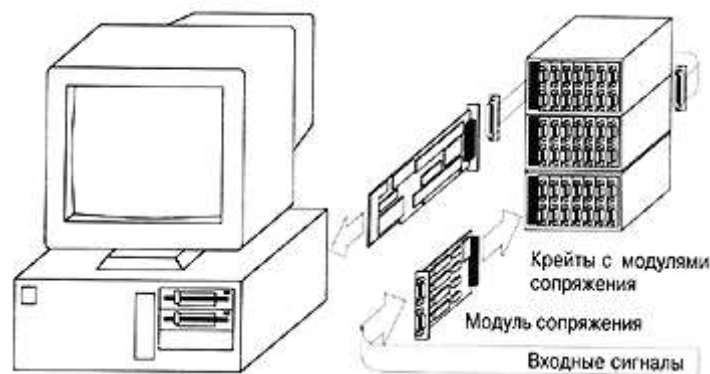


Рисунок 4.3 - Модульна система збору і керування даними

Система складається з конструктива LM-крейт, всередині якого можна встановити до 8-ми модулів УСО: мультиплексорів, підсилювачів, вимірювачів терморезисторів и т.д., управління якими здійснюється платою М-1270. До одної плати можуть підключатися до 8ми крейтів, розміщених поза комп'ютером. Максимальна віддаленість від плати 5м, габарити крейту 85x140x225 мм. Система володіє невисокою вартістю і підвищеною надійністю за рахунок простоти виконання.

### LM-101 мультиплексор

Збільшення числа досліджуваних сигналів вольтового діапазона.



Кількість каналів – 16

Частота переключення - до 200 кГц

Захист від перевантажень – є.

LM-102 програмований підсилювач мультиплексор

Збільшення числа досліджуваних сигналів мілівольтового і вольтового-го діапазону.

Кількість каналів - 16

Частота перемикавання - до 200 кГц

Коефіцієнт посилення - 1, 10, 100.

LM-201 програмований підсилювач

Спеціальні завдання посилення, робота в системах віброаналіза.

Кількість каналів - 4 незалежних

Частота перемикавання - до 300 кГц

Коефіцієнт посилення - 1 ... 128 с кроком  $\times 2$ .

LM-202 програмований низькочастотний фільтр

Фільтрація ВЧ складової, в т. ч. Вище частоти Найквіста. Робота в системах віброаналізу.

Кількість каналів - 2

Порядок фільтра - 8

Тип фільтра - еліптичний, Батерворте

Частота зрізу - 20 Гц ... 20 кГц.

Інформаційно-обчислювальні системи на базі МІС-400 прийшли на зміну LM-системам.

## Мобільний багатоканальний аналізатор типу МІС

На рис 4.4 представлений зовнішній вигляд багатоканального



аналізатора МІС-400D [3].

Рисунок 4.4 - Зовнішній вигляд багатоканального аналізатора МІС-400D

Технічні характеристики:

- габарити 465x435x200 (4U, ширина 19");
- вага 8-10 кг (в залежності від кількості модулів);
- інтегрований вимірювальний крейт на 16 модулів.

На базі МІС-400 виконуються багатоканальні модулі, призначені для побудови вимірювальних комплексів, систем частотного аналізу сигналів, вібро та шумодіагностики.

### МС-201 модуль для вібро- та шумовимірювань

Дозволяє проводити вимірювання по 8 аналогових каналах в частотному діапазоні 0 - 20 кГц. Плата має чотири незалежних вимірювальних каналу, кожен з яких включає в себе диференційний вхід-ної підсилювач із захистом від перенапруги, 16-розрядний сигма-дельта АЦП з цифровою фільтрацією 256 порядку, програмований підсилювач, що відключається ФВЧ. На платі встановлений сигнальний процесор, що дозволяє здійснювати

цифрову фільтрацію вхідних сигналів і обробку уставок. Плата має вбудовану систему самотестування, самокалібрування, автобалансування і сигналізації про перевантаження каналів. Є схема міжмодульних синхронізації, що дозволяє об'єднувати плати в систему з єдиним такосигналом.

Число каналів - 8 диференціальних;

Число незалежних каналів - 4;

Розрядність АЦП - 16 біт;

Частота перетворення  $F_p$  - 128 Гц - 41.6 кГц;

Вхідний діапазон - 10В, 5В, 2.5В, 1.25В, 625 мВ, 312 мВ, 156 мВ;

Нерівномірність АЧХ в смузі  $0.45 F_p$  - <0.1 дБ;

Придушення поза смуги пропускання  $> 0.6 F_p$  -> 76 дБ;

Частота зрізу ФВЧ за рівнем -3 дБ - 0.1 Гц;

Придушення синфазної перешкоди -> 70 дБ;

Сигнальний процесор - ADSP2186 33 МГц.

При роботі з пьезопреобразователь можлива робота з підсилювачами заряду МР-07

Мобільний багатоканальний аналізатор МІС – 300D [4]

Призначений для побудови багатоканальних вимірювальних систем для реєстрації вібраційних, шумових та технологічних параметрів. Зовнішній вигляд представлений на рис 4.5.

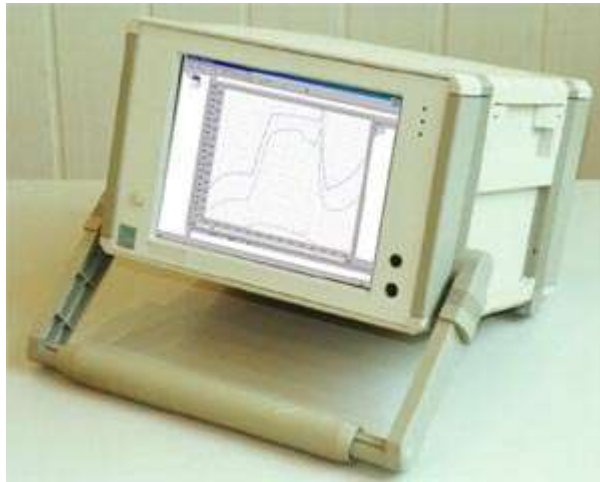


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд багатоканального аналізатора МІС – 300D

#### Варіанти застосування:

- прилад для багатоканальної реєстрації сигналів і обробки вимірювань;
- прилад для мобільних систем моніторингу і контролю;
- прилад для вібраційного і шумового контролю - аналізатор в комплекті зі спеціальним програмним забезпеченням;
- універсальний прилад для дослідницьких лабораторій;
- переносна багатоканальна тензо-станція.

#### Основні сфери застосування:

- системи шумового і вібраційного моніторингу об'єктів;
- системи для стендових випробувань;
- розподілені вимірювальні системи.

Приладовий корпус з кольоровим рідкокристалічним дисплеєм, в котром встановлено:

- SBC-одноплатний комп'ютер;

- блок живлення;
- жорсткий диск;
- кошик для вимірювальних модулів.

У кошику може бути встановлено до 7 вимірювальних модулів і модуль контролера. Модулі об'єднані за допомогою крос-плати.

Відмінні риси (порівняння з МІС-400D)

- менші габарити;
- число вимірювальних модулів - до 7

Функціональні можливості:

- вимір в реальному часі різноманітних параметрів;
- попередні перетворення;
- відображення (у вигляді формулярів, у варіанті з монітором);
- контроль (оцінка параметрів, порівняння з уставками);
- діагностика (аналіз з можливістю виклику діагностичних програм);
- архівація (зберігання даних з можливістю перегляду та аналізу через);
- оформлення протоколів (на папері або магнітному носії);
- видача сигналу типу "сухий контакт" для включення сигналізації і використання в системах захисту.

Технічні особливості

- можливе використання подвійного живлення: ~ 220В або джерело постійного струму (базовим комплектом не передбачено);
- є віброзахисний підвіска для накопичувачів на ЖМД;
- монітор харчування;

- захист від зависання програм;
- можливе використання накопичувачів без використання рухомих-трудящих деталей (FLASH пам'ять);
- комплекс сумісний з усім набором периферійних пристроїв для ПЕОМ.

Габаритні розміри і маса:

- габарити 320г300г200;
- вага 7-9 кг (в залежності від кількості модулів).

Склад базового комплекту:

- Корпус-Кольоровий РК-дисплей 10.4 " 640г480 з графічним адаптером - Pentium-II 400 MHz 32 Mb 10 Gb FDD;
- Джерело живлення (~ 220В);
- Вимірювальний крейт на 7 слотів;
- Крейт-контролер для вимірювального крейта;
- ПО для реєстрації та обробки вимірювань.

## **4.2 Короткий огляд первинних вимірювальних перетворювачів**

Первинні вимірювальні перетворювачі – це електроакустичні прилади, перетворюючи акустичні сигнали в електричні і називаються мікрофонами.

Для такого перетворення використовуються різні фізичні явища.

Наприклад, для електромеханічного перетворення може бути використаний будь-який ефект, приводячий до появи різниці потенціалів або струму при переміщенні або деформації тіла під дією прикладених сил.

В відповідності з використованим ефектом розрізняють такі основні типи мікрофонів: електродинамічні, електромагнітні, конденсаторні (електростатистичні), пьезоелектричні и т. д. [7].

В якості вимірювальних перетворювачів звуку в повітрі використовуються головним чином електроакустичні перетворювачі електростатичного типу (конденсаторні мікрофони), електретні мікрофони і мікрофони пьезоелектричного типу.

Для прецизійних вимірювань використовують переважно конденсаторні мікрофони, які є прийомниками тиску та мають, в основному, однакову чутливість для звуку любого напрямку падіння.

#### **4.2.1 Конденсаторні мікрофони**

Конденсаторні мікрофони [8] виготовляють з капсюлями різних розмірів – діаметрами від 23,77мм (1дюйм) до 3,175мм (1/8 дюйму). Мікрофони з більшими діаметрами володіють високою чутливістю, але обмеженим діапазоном частот, тоді як з малим діаметром дозволяють працювати до частот більше 100 кГц. Чутливість конденсаторних мікрофонів складає порядку 4-50 мВ/Па. Конденсаторні мікрофони бажано використовувати у випадку дослідження шумів об'єктів при наявності електромагнітних полів, як менш чутливі до завад.

До недоліків конденсаторних мікрофонів варто віднести їх помітну залежність від температури, тиску, необхідної напруги. В комплект мікрофонів зазвичай включається додаткові захисні, противодощеві сітки і екрани, а також різні дифузори, підвищуючі ненаправленість мікрофону.

Конденсаторні вимірювальні мікрофони фірми Брюль і К'єр призначені для точних вимірювань в інфразвуковому, звуковому і ультразвуковому діапазонах частот. Є мікрофонні капсулі діаметром 1, 1/2, 1/4 і 1/8 дюйма.

Мікрофони з лінійною частотною характеристикою (діаметр 1 і 1/2 дюйма) найбільш ефективні при роботі на відкритому повітрі в вільному звуковому полі. Мікрофони з лінійною характеристикою звукового тиску (діаметр 1/2, 1/4 і 1/8 дюйма) розраховані на експлуатацію в дифузному звуковому полі та на застосування в закритих порожнинах і камерах зв'язку.

Вимірювальні мікрофони забезпечуються індивідуальними паспортами, що містять криві частотної характеристики.

#### **4.2.2 Вимірювальні мікрофонні передпосилувачі**

Капсулі конденсаторних мікрофонів володіють низькою внутрішньою ємністю та, відповідно, мають бути узгоджені через попередній підсилювач, що має високий вхідний імпеданс, з основною вимірювальною схемою або іншою звуковимірювальною апаратурою.

Виготовлені і випускаємі фірми Брюль і К'єр передпідсилювачі [9] забезпечені різьбою для кріплення мікрофонних капсулів і невід'ємним багатожильним кабелем довжиною 2 м з відповідним штепселем. Передпідсилювачі працюють або від вимірювальних підсилювачів, частотних аналізаторів і інших звуковимірювальних приладів фірми Брюль і К'єр, або від спеціальних батарейних або мережевих джерел живлення. Для збільшення довжини з'єднуючого передпідсилювач і звуковимірювальну



апаратуру кабеля передбачені багатожильні з'єднуючі кабелі, забезпечені відповідними з'єднувачами [10].

Деякі приклади зовнішнього вигляду передпідсилювачів фірми Брюль і К'єр приведені на рис. 4.8.



Рисунок 4.2.2.1 - Мікрофонні підсилювачі типу 2645(1/2") та 2660

### **4.3 Короткий огляд цифро-аналогових перетворювачів**

Перетворювач цифра-аналог являє собою пристрій, на вхід якого подається цифровий код, а на виході виходить ступінчасто змінювана аналогова величина заданого розміру. Отже, ЦАП є програмно-керованою мірою величини. Якщо вхідний цифровий код змінюється через кожну одиницю молодшого розряду, то вихідна величина ЦАП змінюється рівномірно ступінчасто. Перетворювачі цифра-аналог, крім того використовуються для заданої зміни аналогової величини з дуже високою точністю.

Перетворювачі коду в миттєву напругу, такі перетворювачі будуються на основі комутаторів зразкових напруг або зразкових струмів. До них пред'являються наступні вимоги:

- ☐ висока точність, швидкодія та лінійність;
- ☐ мінімальні похибки від недосконалості ключів;

- ☐ великий вхідний та малий вихідний опір;
- ☐ мінімальний вплив наведень.

Сьогодні в різних країнах випускається велика кількість інтегральних ЦАП різної розрядності. Роздивимось основні модифікації та їх параметри.

Інтегральні мікросхеми серії K572 (СНД) відрізняються малою споживаною потужністю, можливістю роботи від одного джерела, середньою швидкістю, високою надійністю. Недоліком є схильність пробою статичним струмом. У серію входять десятирозрядний (K572ПА1) і 12-розрядний (K572ПА2) перетворювачі. Ці ЦАП працюють в режимі біполярних розмножувальних ЦАП, тобто перемножують значення опорної напруги на керуючий код. Це істотно розширює їх область застосування.

Мікросхема ЦАП K594ПА1 (СНД) виконана по біполярній планарно-епітаксильній технології з n-p-n і p-n-p транзисторами. Управління ЦАП здійснюється додатковим кодом. ЦАП виконаний за комбінованою схемою - 8 старших розрядів виконані за схемою зважених струмів, а 4 молодших - у вигляді сітки R-2R. Мікросхема K1108ПА1 (СНД) 12-розрядної ЦАП виконані по біполярній технології з тонкоплівковими резисторними матрицями з підгонкою лазерним променем. Завдяки струмовим ключам K1108ПА1 має значно більш високу швидкість, ніж ІС K572ПА1.

ЦАП типу TDA8776AK (Phillips) має десять розрядів, вбудовану схему затримки 5 молодших розрядів, дешифратор рядів (2 старші розряди) та

колонок (3 середніх розряди). Буферний регістр виконаний на ЕЗЛ, 5 старших розрядів перетворюються за допомогою матриці 3x2, а молодші – за допомогою сітки R-2R. Таке рішення дозволяє добитись дуже високої швидкодії ( $f_{ск} = 1000\text{МГц}$ ).

Десятибітний швидкісний малопотужний ЦАП типу HI5780JSQ (Harris) с можливістю відключення унергії також побудований у двухкасадній схемі: 4 молодших розряди та 6 старших розрядів використовують струмові ключі та вбудований декодер сигналу.

Дванадцятибітний HI5731BIP (Harris) і чотирнадцятибітний HI5741BIP (Harris) ЦАП побудовані аналогічно TDA8776AK (Phillips). Різниця полягає в розрядності каскадів. У HI5741BIP резистивна матриця R-2R має розрядність 8 та 10 відповідно, а 4 старших розряди перетворюються паралельною матрицею 2x2.

Тип	К572ПА1	К572ПА2	К94ПА1	К1108ПА1	ТDА8776АК	НI5780JSQ	НI5731BIP	НI5741BIP
Розрядність	10	12	12	12	10	10	12	14
I спожив., мА	5	2	35	15	170	20	11 2	10 8

$F_{\max}$ , МГц	0,01	0,08	0,3	2,5	100	80	10	10
Диф. нелін., МЗР	1	1	0,5	1	$\pm 0,2$	0,5	0,5	0,5
Абсолютна похибка, МЗР	$\pm 30$	$\pm 20$	$\pm 15$	$\pm 30$	$\pm 0,3$	1,25	0,75	1

Сьогодні випускається п'ять типів ЦАП в мікросхемному виконанні ЦАП К572ПА1 (10-розрядний) и ЦАП К572ПА2 (12-розрядний) мають час встановлення вихідного струму порядку 5 мкс. Особливістю цих двох ЦАП є широкий діапазон зміни опорної напруги: 15 В, через що, їх називають помножуючі ЦАП, так як вихідний струм визначається добутком значення цифрового коду на  $U_{оп}$ : ЦАП К572ПА1 працює по входах від ТТЛ-мікросхем. ЦАП К572ПА2 може працювати як від ТТЛ, так і від МОП-мікросхем.

## Висновки

1. Огляд і аналіз сучасних конструкцій [6,10,11], а також структурних схем побудови систем вимірювання акустичних характеристик об'єктів, виконаний в даному розділі, показує, що найбільш оптимальним варіантом по сукупності технічних і економічних параметрів є нерозподілена система із вбудованими модулями вводу/виводу аналогових сигналів. 2. Системи побудовані на основі сучасних засобів вимірювальної та обчислювальної техніки, є відкритими та уніфікованими, що дозволяє в короткий час і з мінімальними затратами модернізувати або розширити їх функціональні можливості в відповідності с задачами користувача.

3. Проектована вимірювальна система повинна мати модульну структуру і можливість нарощення кількості аналогових входів, а також можливість підключення інших первинних вимірювальних перетворювачів аналогічного призначення.

4. Програмне забезпечення нижнього рівня системи, що розроблюється (введення, фільтрація, початкова обробка вхідних даних, низькорівневе керування процесом вимірювання, обмін даними між окремими модулями системи и ПК) доцільно виконувати на базі бібліотеки стандартних підпрограм.

5. Програмне забезпечення верхнього рівня системи, що розроблюється (аналіз даних, архівація, статична обробка даних та ін.) доцільно виконувати на базі пакету програму обробки сигналів (ПОС).

На основі зроблених висновків, в якості платформи для вимірювальної системи акустичних характеристик об'єктів приймається нерозподілена система з вбудованими “інтелектуальними” модулями вводу/виводу аналогових сигналів.

## 5 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ РОБОТОЗДАТНІСТЬ, МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

### 5.1 Розробка та опис структурної схеми проектованої вимірювальної системи акустичних параметрів об'єктів. Принцип роботи. Загальний алгоритм функціонування

Вимірювальна система акустичних параметрів об'єктів на базі мікропроцесора призначена для діагностування двигунів, з метою виявлення прихованих дефектів в них, а також для зняття шумових характеристик промислового обладнання та механізмів. В основу роботи системи покладений принцип послідовного частотного аналізу стаціонарного випадкового процесу з автоматизацією керування та обробки.

Структурна схема вимірювальної системи акустичних параметрів об'єктів представлена на рис. 5.1.1

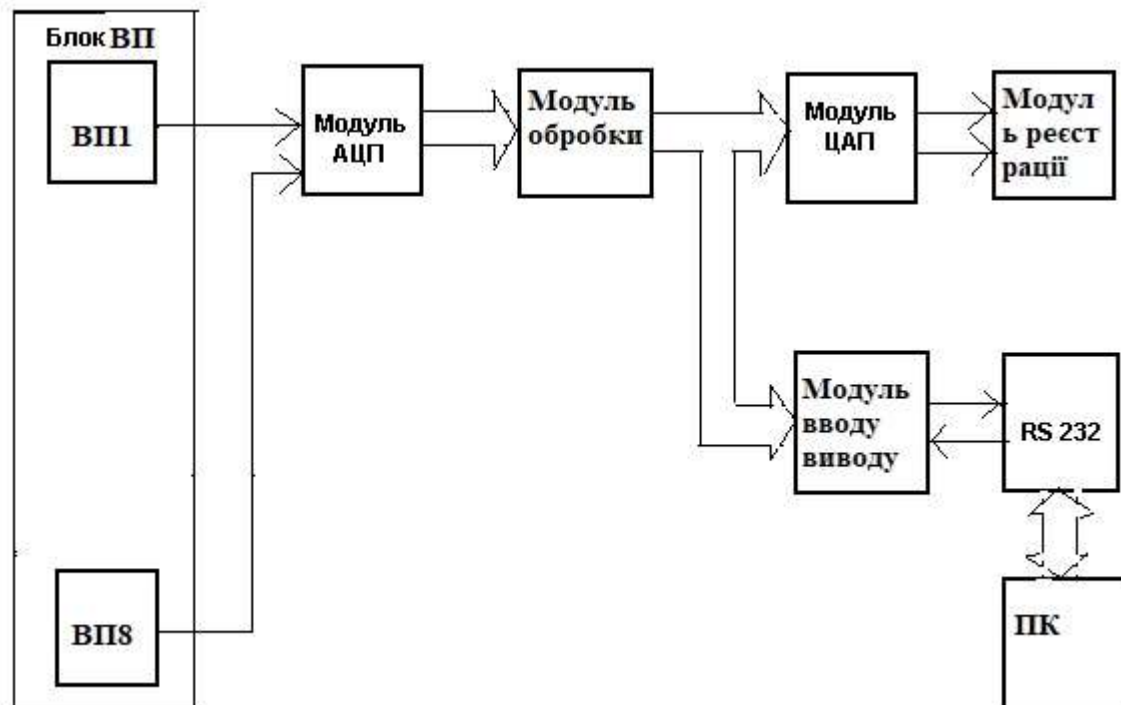


Рисунок 5.1.1 - Структурна схема системи моніторингу акустичних параметрів

Вимірювальна система акустичних параметрів об'єктів складається з:

- блок вимірювальних перетворювачів акустичних сигналів;
- модуль аналого-цифрового перетворення (модуль АЦП);
- модуль (мікропроцесорний) оперативної обробки сигналів;
- модуль цифро-аналогового перетворення (модуль ЦАП);
- модуль реєстрації;
- модуль вводу/виводу (модуль ВВ);
- ПК.

Конструктивно вимірювальна система представляє собою металічний компоновочний каркас, в який вставляються модуль АЦП, модуль оперативної обробки сигналів на базі мікропроцесору, модуль ЦАП, модуль ВВ и блок живлення. В каркасі всі модулі з'єднуються за допомогою роз'ємів і проводів. Каркас відкритий тільки з одного боку для установки модулів та доступу до органів управління. Блок вимірювальних перетворювачів акустичних сигналів розміщений на об'єкті дослідження в відповідності з обраною схемою і підключається до системи за допомогою коаксіальних кабелів. Наприклад, для підключення акустичного датчика (мікрофона) до передпідсилювача можна використовувати перехідник DB 0375 (в залежності від типу акустичного датчика), подовжувач АО 0442 (до 10 м) і вхідний перехідник JJ 2615. Для підключення виходу передпідсилювача до вимірювальної системи (вхід модуля АЦП) використовуються з'єднуючі кабелі типу АО0523, АО0621, АQ0622 (в залежності від довжини) та ін. ПК, що розміщується на робочому місці оператора, з'єднується з модулем прийомопередатчика системи через інтерфейсний кабель КІ-1.

Вимірювальна система розрахована на одночасне підключення вісьми акустичних вимірювальних перетворювачів (датчиків), які призначені для роботи з одним модулем АЦП, и передбачує збір інформації по кожному із вимірювальних каналів в режимі реального часу. Для встановлення більшої кількості датчиків, необхідні додаткові модулі АЦП.

Модуль АЦП перетворює вимірюваний сигнал з мінімальними спотвореннями, відокремлює сигнал від завад, масштабує його та виконує аналогово-цифрове перетворення.

Мікропроцесорний модуль обробки сигналів керує та контролює роботу вимірювальної системи по кожному вимірювальному каналу, приймає на зберігання та видає оперативну інформацію в процесі роботи системи, проводить частотний аналіз методом послідовної фільтрації в октавних і  $1/3$ -октавних полосах, вираховує задані акустичні характеристики (згідно з обраним режимом роботи системи), виконує візуалізацію результату вимірювань, а також здійснює інші арифметичні та логічні операції з даними, що поступають на його вхід.

Модуль ЦАП (модуль виводу аналогової інформації) містить один двухканальний цифроаналоговий перетворювач (ЦАП), що перетворює коди сигналів від модулю оперативної обробки сигналів в пропорційне значення напруги постійного струму.

Модуль реєстрації, на вході якого поступають сигнали з модулю ЦАП, призначений для автоматичного документування (реєстрації) подій, в якості якого можна використовувати двухкоординатний реєструючий прилад.

Модуль вводу/виводу перетворює паралельний потік даних в послідовний і здійснює двунаправлений обмін даними з ПК через інтерфейс RS232.

ПК виконує функції по зберіганню, статистичній обробці та архівації отриманої інформації, а також може бути використаний для керування декількома системами, що включені по розподільній схемі, виконувати широкополосну та спектральну статистику, контроль рівня зашумленості, моніторингу шуму, визначення джерела шуму і складання карт шуму, оцінки заходів по зниженню шуму. Можливе здійснення дистанційного керування ПК через мережу.



Вимірювані сигнали, перетворені датчиками, поступають на вхід модулю аналого-цифрового перетворення, де відбувається попередня фільтрація, масштабування та перетворення в числовий код. Числовий код подається на вхід мікропроцесорного модулю обробки сигналів, в якому виконується частотний аналіз вибірки і розраховуються задані характеристики акустичних об'єктів і здійснюється оперативна індикація. Вихідні дані модулю обробки поступає на вхід модулю ЦАП з метою перетворення його в постійну напругу, а також передаються в ПК через модуль прийомопередатчика та інтерфейс RS232. Постійна напруга з виходу модуля ЦАП поступає на вхід модулю реєстрації для графічної документації результатів вимірювань.

Взаємодія функціональних модулів вимірювальної системи в процесі роботи виконується наступним чином:

- по команді «Вимірювання» перша програма за допомогою МП здійснює початкові установки системи і організовує періодичну роботу АЦП, вихідні коди якого після кожного циклу аналого-цифрового перетворювача заносяться в пам'ять і там зберігаються;
- по завершенню першої програми автоматично включається друга програма, по якій АЦП відключається, а інформація, записана в пам'яті, послідовно, в тому ж порядку, як і при запису, періодично витягується та подається на ЦАП, який керує переміщенням пера реєстратора по вертикалі (вхід Y). Керування пером реєстратора по горизонталі (вхід X), відбувається ЦАП, на вхід якого поступають сигнали, що відповідні номеру періода процесу витягування сигналів з пам'яті;
- по завершенню другої програми автоматично включається третя програма, по якій мікропроцесорний модуль здійснює частотний аналіз вибірки в заданих полосах;
- четверта програма здійснює обробку отриманих відліків з метою отримання заданих акустичних характеристик;

- п'ята програма призначена для здійснення обміну даними через інтерфейс RS232 з ПК.

Таким чином, в роботі вимірювальної системи можна виділити п'ять основних часових інтервалів:

- процедура підготовки системи до вимірювання акустичного сигналу;
- процедура вимірювання і перетворення акустичного сигналу;
- процедура частотного аналізу та враховування заданих характеристик;
- процедура документування (реєстрації) вимірюваного процесу;
- процедура передачі даних через модуль ВВ та інтерфейс RS232 в ПК.

Варто відмітити, що деякі часові інтервали можуть бути об'єднані при розпаралелюванні процедури обчислювальних операцій. Можливість об'єднування інтервалів роботи системи варто розглянути при розробці функціональної та принципової схем при детальній оцінці всіх часових співвідношень.

На даному етапі проектування можливо провести наступну оцінку швидкодії системи.

Частота вводу аналогових сигналів в систему визначається частотою дискретизації, яка, відповідно рекомендаціям МЕК, повинна складати  $f_d = 48$  кГц. Отже, відлік аналогового сигналу поступає на вхід системи через кожні

$$\Delta t = 1 / f_d = 1/48 \text{ кГц} \sim 21 \text{ мкс.}$$

Таким чином, час перетворення одного відліку з урахування поправочного коефіцієнту ( $R_3$ ), що враховує втрату часу на перехідні процеси, повинно складати

$$\Delta t = \Delta t / R_3 = 21/1,5 = 14 \text{ мкс.}$$

Значення середнього часу перетворення  $t_{\text{пр}}$  сучасних швидкодіючих АЦП складає 1,0 – 2,0 мкс, тоді модуль АЦП системи дозволяє здійснювати введення аналогових сигналів з частотою  $1 / t_{\text{пр}} = 500$  кГц на один канал або

62,5 кГц на канал при 8-ми канальному введенні, що для нашого випадку цілком прийнятно.

Аналогічним чином можна оцінити швидкодію системи при виводі аналогових сигналів на модуль реєстрації. Значення середнього часу перетворення  $t_{пр}$  сучасних швидкодіючих ЦАП складає порядку 2,5 мкс, тоді модуль ЦАП системи дозволяє здійснювати вивід аналогових сигналів з частотою  $1/t_{пр} = 400$  кГц на один канал або 50 кГц на канал при 8-ми канальному введенні.

На цьому етапі проектування можливо приблизно оцінити необхідний об'єм ОЗП модулю оперативної обробки сигналів.

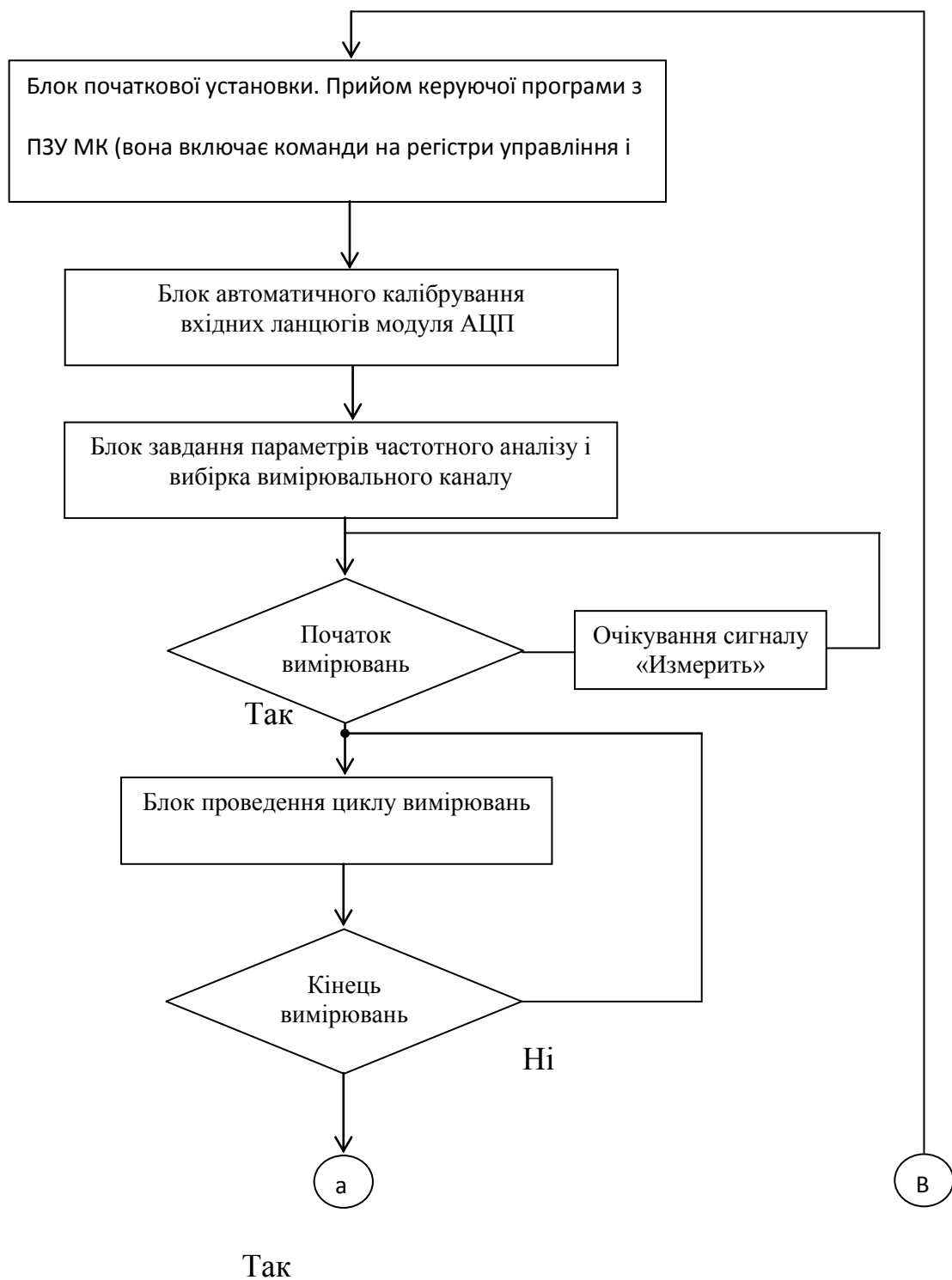
Припустимо, що передача інформації здійснюється 2-х байтовим кодовим словом, а об'єм оброблюваної вибірки складає 1024 відліки по кожному каналу. Отже, об'єм ОЗП для одного каналу має бути не менше 2 Кбайт для запису кожного відліку 2 байта (16 розрядів) пам'яті, без урахування запису другої супутньої інформації або результатів обробки.

Згідно вимогам технічного завдання сумарна похибка вимірювання акустичних характеристик не повинна

перевищувати  $\pm 3$  дБ. На основі аналізу функціональних можливостей кожного модулю системи ця похибка мож бути розподілена між модулями вимірювальної системи в наступній пропорції: на БАД –  $\pm 2,7$  дБ, на модуль АЦП –  $\pm 0,2$  дБ, на модуль обробки –  $\pm 0,01$  дБ, на модуль ЦАП –  $\pm 0,09$  дБ.

Джерела похибок і проведення класифікації самих похибок системи доцільно розглянути на етапі функціонального проектування кожного із модулів системи, що розроблюється.

Загальний алгоритм функціонування вимірювальної системи акустичних характеристик об'єктів можна представити блок-схемою, зображеною на рис. 5.1.2.



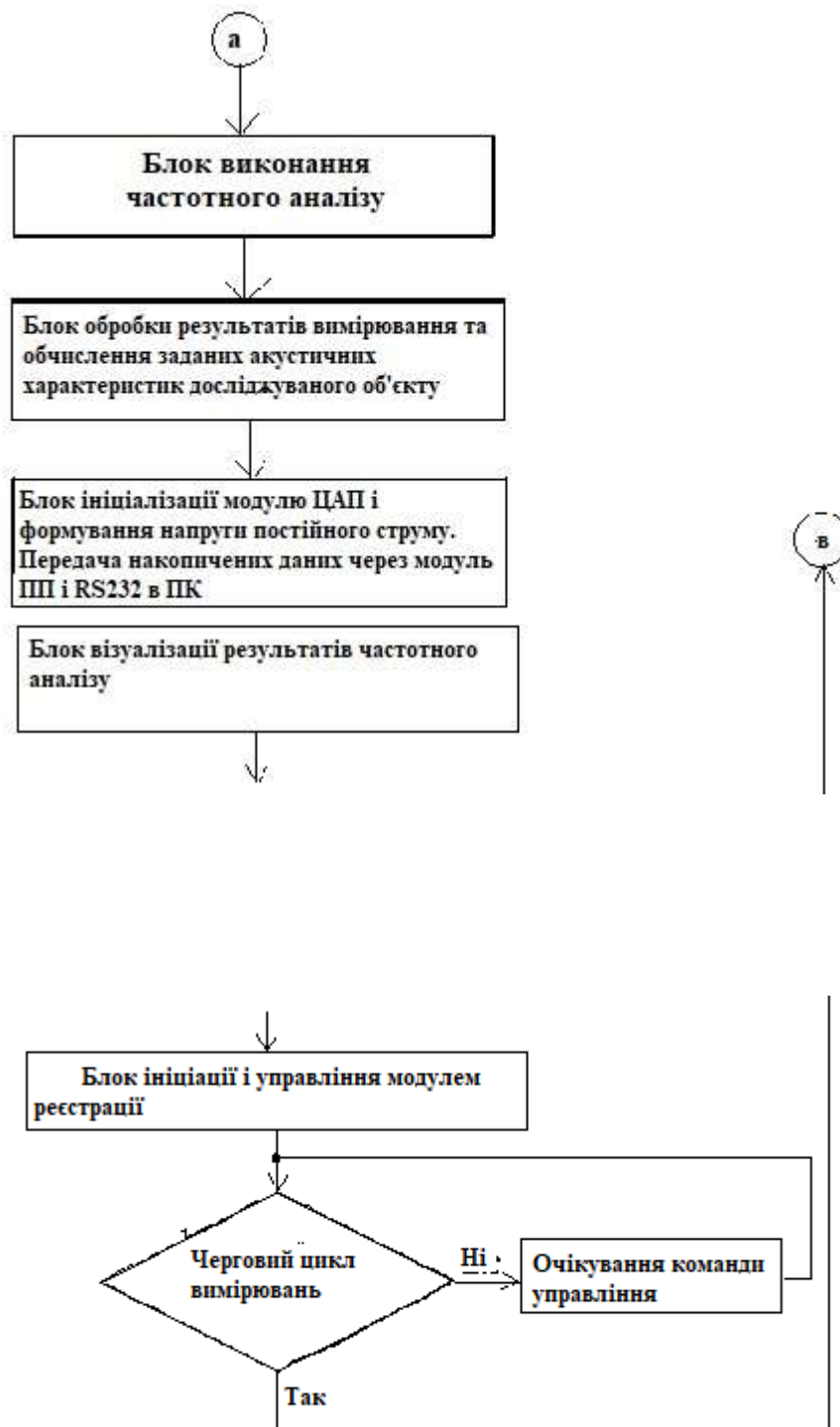


Рисунок 5.1.2 - Загальний алгоритм функціонування вимірювальної системи акустичних характеристик об'єктів

## 5.2 Розробка функціональної схеми ВС акустичних параметрів

Аналіз розробленої структурної схеми системи і аналіз взаємодії модулів вимірювальної системи показує, що типовими компонентами ІВС є: вимірювальні перетворювачі, пристрої узгодження (АЦП, ЦАП та ін.); пристрої збору і обробки первинних даних; пристрої сполучення (інтерфейси); ПК; пристрої візуалізації та реєстрації результатів вимірювань.

Враховуючи модульний принцип побудови вимірювальної системи акустичних характеристик доцільно провести розробку функціональної схеми кожного із модулів, що входять в систему, окремо.

### 5.2.1 Розробка функціональної схеми блоку акустичних датчиків

Функціональна схема блоку акустичних датчиків представлена на рисунку 6.3.

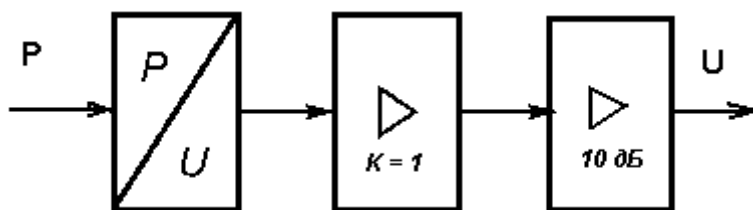


Рисунок 5.2.1 – Функціональна схема блоку акустичних датчиків

Блок акустичних датчиків складається з наступних функціональних блоків:

- первинний вимірювальний перетворювач;
- попередній підсилювач;
- вимірювальний підсилювач.

Роботу блоку акустичних датчиків по функціональній схемі можна описати наступним чином.

Первинний вимірювальний перетворювач (звукоприймач) (ПВП) приймає акустичний сигнал і перетворює його в електричний (напругу), який проходить через попередній підсилювач (ПП), підсилюється вимірювальним підсилювачем та поступає на вхідний комутатор системи. ПП служить для узгодження імпедансів з метою зменшення дії завад та наводок, а вимірювальний підсилювач (ВП) призначений для підсилення сигналу.

5.2.1.1 Вимоги до компонентів функціональної схеми блоку акустичних датчиків.

На основі структурного розрахунку сумарна похибка блоку акустичних датчиків не повинна перевищувати  $\pm 2,7$  дБ. Ця похибка може бути розподілена між первинним вимірювальним перетворювачем і попереднім підсилювачем в наступній пропорції: на ПВП –  $\pm 2,0$  дБ, на ПП –  $\pm 0,5$  дБ, на ВП –  $\pm 0,2$  дБ.

Вимоги до первинних вимірювальних перетворювачів

Первинний вимірювальний перетворювач призначений для сприйняття вимірюваного звукового тиску, перетворення його в електричний сигнал і повинен задовольняти наступним вимогам:

- Чутливість не менше 50 мВ/Па;
- Частотний діапазон 10 Гц – 12 кГц;
- Динамічний діапазон 15 – 120 дБ;
- Робочий температурний діапазон від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;
- Похибка в частотному діапазоні –  $\pm 2,0$  дБ.

Вимоги до попереднього вимірювального підсилювача

Попередній вимірювальний підсилювач призначений для безпосереднього з'єднання з первинним вимірювальний перетворювачем і має задовольнити наступні вимоги:

- Частотний діапазон 3 Гц – 18 кГц;
- Коефіцієнт підсилення – 0 дБ;
- Вхідний імпеданс –  $> 10 \text{ ГОм}/0,2 \text{ пФ}$ ;
- Вихідний опір –  $< 50 \text{ Ом}$ ;
- Рівень власного шуму (кор.«А») –  $< 5 \text{ мкВ}$ ;
- Похибка не більше –  $\pm 0,5 \text{ дБ}$ .

По заданим вимогам і в відповідності з оглядом доцільно обрати конденсаторний вимірювальний перетворювач (мікрофон) фірми «Брюль і К'єр» типу 4176. Зовнішній вигляд мікрофонов приведений на рисунці 5.2.1.1



Рисунок 5.2.1.1 – Зовнішній вигляд мікрофонів фірми «Брюль і К'єр» типу 4939, 4130, 4176, 4188, 4189, 4190 відповідно

Характеристики обраного вимірювального мікрофону наступні:

- Чутливість — 50 мВ/Па;
- Частотний діапазон — від 7 Гц до 12,5 кГц;
- Динамічний діапазон — від 14 до 142 дБ;
- Температурний коефіцієнт —  $- 0,004 \text{ дБ/}^{\circ}\text{C}$ ;
- Робочий температурний діапазон від  $- 30^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ ;
- Частота зрізу (-3дБ) — 5 Гц;
- Діаметр капсуля — 1/2 дюйму;
- Похибка в частотному діапазоні —  $\pm 2 \text{ дБ}$ .



Обраний вимірювальний мікрофон типу 4176 фірми «Брюль і К'єр» по своїм технічним характеристикам повністю задовольняє поставленим вимогам.

При виборі попереднього мікрофонного підсилювача також будемо орієнтуватися на вироби фірми «Брюль и К'єр». Виберем один из підсилювачів ряду 2669B/L, 2669 C, 2670/2670–WB-1419, 2670-W-001, зовнішній вигляд яких представлений на рис. 6.5.

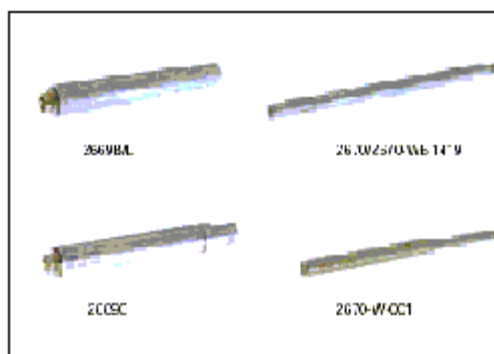


Рисунок 6.5 – Зовнішній вигляд передпідсилювачів фірми «Брюль і К'єр» типу 2669B/L, 2669 C, 2670/2670–WB-1419, 2670-W-001.

Для підключення конденсаторного мікрофону діаметром  $\frac{1}{2}$  дюйму оберемо попередній підсилювач моделі 2669L, який забезпечений різьбою для кріплення мікрофона і невід'ємним багатожильним кабелем (2 м) з відповідним штепселем.

Характеристики обраного підсилювача наступні:

- Частотний діапазон — від 3 Гц до 20 кГц;
- Вхідний імпеданс —  $> 10 \text{ ГОм}/0,2 \text{ пФ}$ ;
- Вихідний опір — 25 Ом;
- Коефіцієнт підсилення — 0 дБ;
- Рівень власного шуму (кор.«А») —  $< 3 \text{ мкВ}$ ;
- Похибка —  $\pm 0,5 \text{ дБ}$ .

Обраний передпідсилювач моделі 2669L фірми «Брюль і К'єр» по своїм технічним характеристикам повністю задовольняє поставленим вимогам.

### 5.2.2 Розробка функціональної схеми модулю АЦП

Функціональна схема модулю АЦП представлена на рисунку 5.2.2.1.

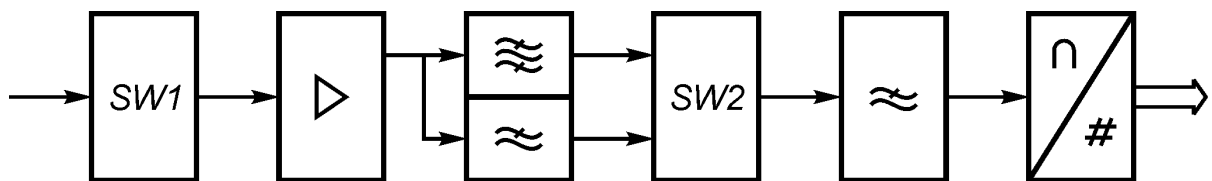


Рисунок 5.2.2.1 - Функціональна схема модулю АЦП

Модуль АЦП містить наступні функціональні блоки:

- комутатор вхідних каналів (SW1);
- регульований (програмуємий) підсилювач;
- набір коректуючих фільтрів;
- проміжний комутатор (SW2);
- антиелайсінговий фільтр;
- аналого-цифровий перетворювач.

Попередньо підсилена напруга через з'єднувальний коаксіальний кабель поступає на вхід коммутатору (SW1), працюючого по схемі  $8 \rightarrow 1$  і

забезпечуючого заданий режим опитування вимірювальних каналів і режим калібровки (корекції). Роботою комутатора керує мікроконтролер.

Напруга з виходу комутатора посилюється підсилювачем з регульованим коефіцієнтом посилення (програмований підсилювач), роботою якого (перемикання коефіцієнта посилення) керує мікроконтролер, і надходить на входи коригувальних фільтрів, які забезпечують корекцію типу «А» і типу «Lin». Виходи фільтрів через комутатор (SW2), що працює за схемою  $2 \rightarrow 1$ , підключаються до антиелайсінговому фільтру, який запобігає накладення спектрів при аналого-цифровому перетворенні.

АЦП перетворює аналогову напругу в числовий код, який надходить на модуль оперативної обробки сигналів. Початком і закінченням циклу перетворення АЦП управляє мікроконтролер.

Після передачі кожного числового коду (відповідного одному відліку вимірюваного сигналу) мікроконтролер формує адресу для зберігання кодового слова і запам'ятовує його в буферному ОЗП.

Цей процес циклічно повторюється до тих пір, поки не буде закінчено формування всіх відліків і в буферне ОЗП не будуть записані всі результати перетворення АЦП. Після закінчення прийому всіх відліків мікроконтролер переходить в режим очікування.

Знаючи послідовність роботи і функціональне призначення кожного блоку, а також вимоги технічного завдання можна перейти до формування технічних і метрологічних вимог до кожного компоненту функціональної схеми.

5.2.1.1 Вимоги до компонентів функціональної схеми модуля аналого-цифрового перетворення.

На підставі структурного розрахунку сумарна похибка модуля АЦП не повинна перевищувати  $\pm 0,2$  дБ ( $\pm 2,3\%$ ). Ця похибка може бути розподілена між комутатором (SW1), програмованим підсилювачем (ПП), блоком

коригувальних фільтрів, комутатором (SW2), антилайсінговим фільтром і АЦП в наступній пропорції: на SW1 -  $\pm 0,2\%$ , на ПУ -  $\pm 0,5\%$ , на КФ -  $\pm 0,8\%$ , на SW2 -  $\pm 0,1\%$ , на АЕФ -  $\pm 0,2\%$ , на АЦП -  $\pm 0,5\%$ .

#### Вимоги до вхідного комутатору

Вхідний коммутатор (SW1) призначений для підключення вимірювальної або опорної змінної напруги до входу програмуемого підсилювача (ПП) і повинен задовольняти наступним вимогам:

- Опір розімкненого ключа -  $> 50 \text{ Мом}$ ;
- Опір замкнутого ключа -  $< 10 \text{ Ом}$ ;
- Кількість комутованих каналів - 8;
- Напруга комутованих виводів -  $0 \dots 5\text{В}$ ;
- Схема роботи  $8 \rightarrow 1$ ;
- Час включення -  $< 5 \text{ мкс}$ ;
- Сумарна похибка -  $0,2\%$ ;

#### Вимоги до програмованого підсилювача

Програмований підсилювач призначений для посилення напруги змінного струму до рівня необхідного для роботи АЦП в режимі мінімальної похибки (яка досягається при використанні повного діапазону зміни вхідної напруги АЦП) при зміні вхідного сигналу в широкому динамічному діапазоні.

Необхідний динамічний діапазон для програмованого підсилювача(без урахування попереднього посилення) становить 70 дБ, отже, кількість ступенів регулювання посилення становить

$$N_{yc} = \frac{D_{пол}}{D_{ступ}} = \frac{70}{10} = 7 ,$$

де  $D_{пол}$  – повний динамічний діапазон;

$D_{ступ}$  - динамічний діапазон одної ступені.

Виходячи з умови забезпечення необхідної точності установки  $K_{yc}$  та стійкості ОУ, коефіцієнт посилення на один каскад не повинен перевищувати 10-20 дБ, отже, програмований підсилювач повинен містити 3 - 4 підсилювальні осередки, кожна з яких може мати одну - дві ступені регулювання з кроком 10 дБ.

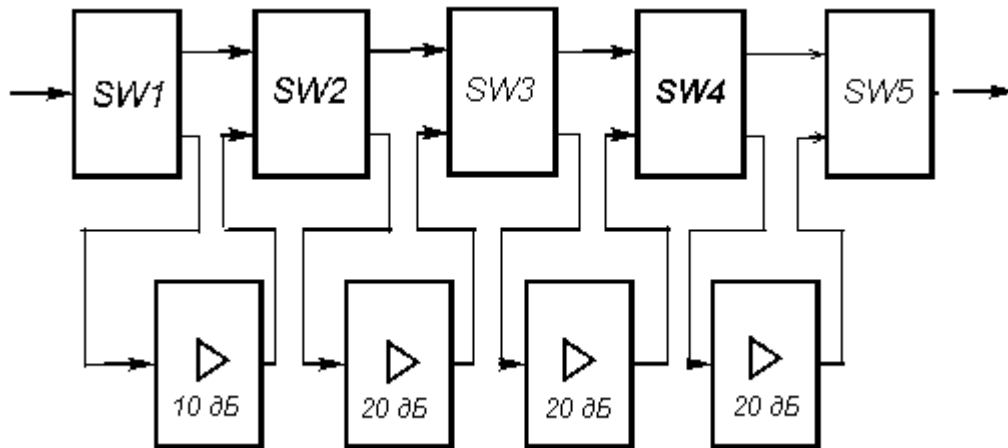


Рисунок 5.2.1.2 – Функціональна схема програмуємого підсилювача

Програмуємый підсилювач має задовольняти наступні вимоги:

- Коефіцієнт усилення – 70 дБ;
- Количество усилительных ячеек –4;
- Количество ступеней регулирования - 2;
- Коефіцієнт усилення каждой ступени - 10 дБ;
- Суммарная погрешность – 0,5 %.

Вимоги до коригувальних фільтрів

Коригувальні фільтри призначені для адаптації рівня гучності акустичних шумів під особливості слухового апарату людського вуха і повинні відповідати таким вимогам:

- Частотна характеристика типу «А»;
- Частотна характеристика типу «Lin»;

- Коефіцієнт перетворення на постійному струмі - 1;
- Динамічний діапазон - 20 дБ;
- Сумарна похибка - 0,8%;

Вимоги до проміжного комутатора

Проміжний комутатор (SW2) дає змогу підключити виходи коригувальних фільтрів до входу антиелайсінгового фільтра і повинен відповідати таким вимогам:

- Опір розімкнутого ключа  $\rightarrow 50 \text{ Мом}$ ;
- Опір замкнутого ключа  $< 10 \text{ Ом}$ ;
- Кількість комутованих каналів - 8;
- Напруга комутуваних каналів - 0 ... +5 В;
- Схема роботи  $2 \rightarrow 1$ ;
- Час включення -  $< 5 \text{ мкс}$ ;
- Сумарна похибка - 0,2%;

Вимоги до антиелайсінговому фільтру

Антиелайсінговий фільтр (АЕФ) призначений для зменшення ефекту накладення спектрів дискретизованого сигналу при аналого-цифровому перетворенні і повинен відповідати таким вимогам:

- Частота зрізу в звуковому діапазоні - 16 кГц;
- Коефіцієнт перетворення на постійному струмі - 1;
- Динамічний діапазон - 20 дБ;
- Сумарна похибка - 0,2%;
- Мінімальна загасання на частоті 24 кГц - не менше 70 дБ.

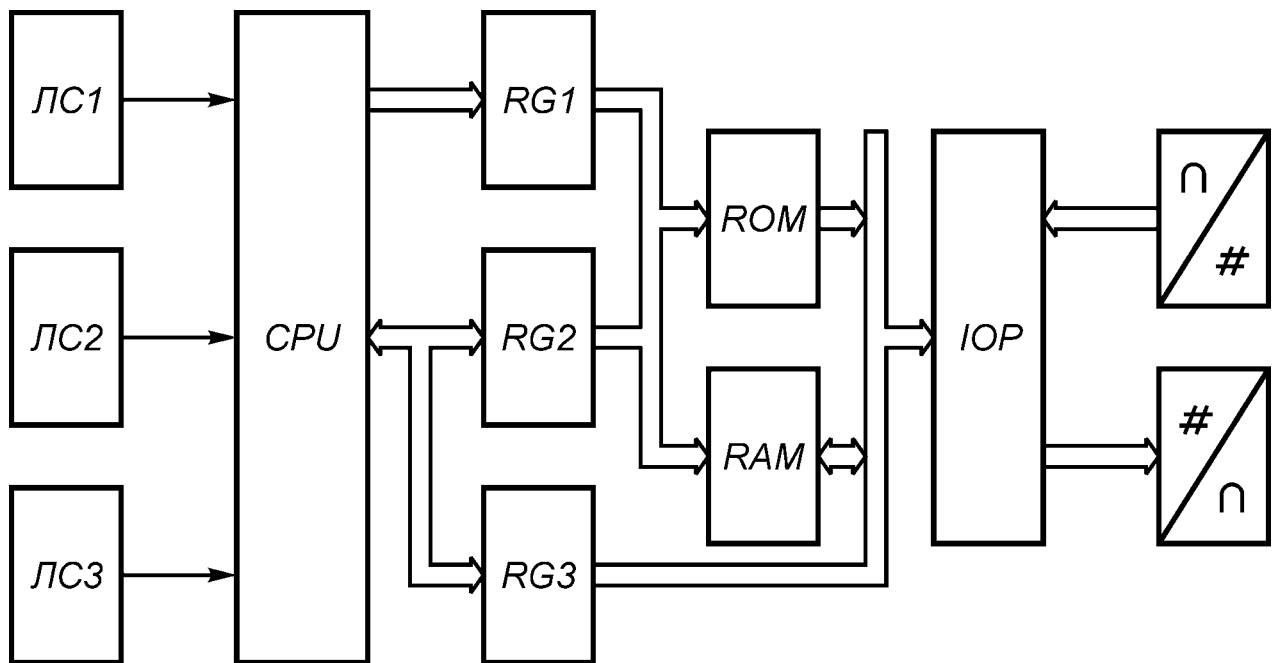
### Вимоги до аналого-цифрового перетворювача

АЦП призначений для перетворення аналогового напруги в числовий код з метою подальшої обробки отриманих відліків засобами обчислювальної техніки і повинен відповідати таким вимогам:

- Кількість розрядів - 12;
- Час встановлення вихідного сигналу - 20 нс;
- Номінальний вихідний струм - 1 мА;
- Наявність пристрою вибірки / зберігання - Так;
- Наявність керуючих входів - Так;
- Сумарна похибка - 0,5%.

### **5.2.3 Розробка функціональної схеми модулю оперативної обробки сигналів**

Функціональна схема модуля оперативної обробки сигналів представлена на рис. 5.2.3.1



. рисунку 5.2.3.1 - Функціональна схема модуля оперативної обробки сигналів

Модуль оперативної обробки сигналів включає в себе наступні функціональні блоки:

- мікроконтролер;
- пристрій сполучення з перефirieю;
- постійний запам'ятовуючий пристрій;
- оперативно запам'ятовуючий пристрій.

Крім того, до складу модуля входять блоки логічних елементів, що забезпечують нормальне функціонування основних вузлів.

Роботу модуля за функціональною схемою можна описати в такий спосіб.

Після надходження сигналу "Старт" керуюча програма мікроконтролера здійснює всі необхідні початкові установки системи і сигналізує про готовність до проведення вимірювань.



При надходженні сигналу "Початок вимірювання" керуюча програма мікроконтролера виконує необхідні установки і перемикання в залежності від обраного режиму роботи і здійснює цикл автокалібровки (якщо він передбачений), який полягає в підключенні до входу програмованого підсилювача опорного сигналу, що знімається з джерела опорного напруги (ДОН), і запису числового коду результату калібрування в буферне ОЗП.

Наступний етап циклу вимірювання - запуск АЦП (аналогічно режиму автокалібровки) і запис результату перетворення сигналу з виходу вимірювального перетворювача досліджуваного акустичного тракту (який потрапив на АЦП через вхідний комутатор, програмований підсилювач ПП, коригувальні фільтри КФ і вхідний АСФ). Після передачі кожного числового коду (відповідного одному відліку вимірюваного сигналу) мікроконтролер формує адресу для зберігання кодового слова, запам'ятовує його в буферному ОЗП і запускає новий цикл перетворення.

Одночасно мікроконтролер здійснює управління процесом формування вхідного і вихідного сигналів модуля ЦАП і виконує оперативну обробку отриманих відліків. Мікроконтролер формує адресу для зберігання кодового слова і запам'ятовує його в буферному ОЗП. Цей процес циклічно повторюється до тих пір, поки не буде закінчено формування всіх відліків заданого впливу і в буферне ОЗП не будуть записані всі результати перетворення АЦП. Результатом роботи керуючої і прикладної програм мікроконтролера є наявність в буферному ОЗП результатів вимірювань акустичного шуму, результатів частотного аналізу, результатів розрахунку заданих акустичних характеристик, які підготовлені до видачі на модуль реєстрації, центральний ПК і індикацію.

Після закінчення цього процесу в буферному ОЗП зберігаються результати перетворення вимірюваного сигналу акустичного тракту.

Спочатку мікроконтролер за заданою програмою, що зберігається в ПЗП, коригує результати вимірювань за результатами калібрування (якщо це передбачено), що дозволяє зменшити мультиплікативну похибку вимірювань. Після цього програма мікроконтролера виконує послідовний частотний аналіз методом фільтрації над отриманим ансамблем відліків.

Потім прикладна програма мікроконтролера програмно розраховує необхідні акустичні характеристики об'єкта. Для оперативного контролю, результати розрахунку виводяться на індикатор вимірювальної системи, що представляє собою багатостроковий ЖКІ розміром 128x64.

Виконавши програмний розрахунок заданих характеристик, мікроконтролер переходить в режим зв'язку з ПК за допомогою послідовного інтерфейсу і по черзі передає всю накопичену в буферному ОЗП інформацію в ПК.

Знаючи послідовність роботи і функціональне призначення кожного блоку, а також вимоги технічного завдання можна перейти до формування технічних і метрологічних вимог до кожного компоненту функціональної схеми.

5.2.3.1 Вимоги до компонентів функціональної схеми модуля оперативної обробки сигналів.

На підставі структурного розрахунку сумарна похибка модуля не повинна перевищувати  $\pm 0,05$  дБ ( $\pm 0,6\%$ ). Ця похибка не може бути розподілена між окремими функціональними вузлами модуля, так як визначається в основному форматом представлення результату вимірювання, процедурою округлення або усічення, кількістю арифметичних операцій.

Вимоги до мікроконтролеру

Мікроконтролер призначений для управління АЦП, ЦАП, здійснення 8-канального вводу аналогових сигналів, виконання цифрової фільтрації в

реальному масштабі часу, здійснення первинної обробки акустичних сигналів, виведення отриманої інформації на периферійний пристрій, здійснення зв'язку з центральним ПК і повинен відповідати таким вимогам:

- Тактова частота - 11 МГц;
- Розрядність АЛУ - 8;
- Ємність пам'яті програм (ППЗП) - 4 Кб;
- Ємність оперативної пам'яті (ОЗП) - 1 Кб;
- Наявність портів введення / виводу - Так;
- Розрядність шини даних - 16;
- Формат представлення чисел - фіксована кома;
- Формат слова - 2 байта;
- Час виконання команди - 1 мс;
- Сумарна похибка - 0,6%.

#### **5.2.4 Розробка функціональної схеми модулю ЦАП**

Модуль ЦАП містить наступні функціональні блоки:

- цифро-аналоговий перетворювач;
- вихідний підсилювач сигналу по напрузі;
- вихідний підсилювач сигналу по струму;
- вузол гальванічної розв'язки.

Крім того, модуль ЦАП містить наступні функціональні вузли, що не роблять безпосередній вплив на метрологічні характеристики системи:

- схему формування відповіді;

- схеми екстреного відключення;
- схему порівняння адрес;
- буферні регістри;
- одновібратор запису;
- генератор імпульсів запису;
- комутатор імпульсів запису;
- шинний формувач;
- перетворювач напруги +24 В в -24 В;
- стабілізатор напруги +15 В в -15 В.

Роботу модуля за функціональною схемою можна описати таким чином.

Прийом інформації модулем ЦАП здійснюється по шинам даних інтерфейсу і записується в регістрах модуля.

У разі рівного розподілу сигналів на схему порівняння адрес видається сигнал дозволу (сигнал - ВДЧ), який призначений для формування імпульсу запису. Далі сигнал надходить на схему формування сигналу відповіді, який говорить про те, що модуль ЦАП готовий до роботи, тобто готовий приймати, видавати інформацію і підчинятись сигналам МК. Запуск джерела опорної напруги здійснюється, що свідчить сигналом «Готово».

Далі запускається одновібратор запису і генератор імпульсів запису. За допомогою імпульсів відбувається запис в буферні регістри і в ЦАП. Після закінчення звернення, сформований на буферних регістрах 12-розрядний код через гальванічну розв'язку (оптрони) передається в канали ЦАП і записує у внутрішній регістр одного з перетворювачів. (Управління і комутацією сигналів, записи в буферні регістри і в регістри ЦАП проводиться за допомогою одновібраторів).

При необхідності негайно зупинити модуль на схему екстреної зупинки модуля подається сигнал, і відключає джерело опорної напруги.

Кожен канал ЦАП має по два виходи: вихід сигналу напруги і вихід сигналу струму. Вихідний сигнал напруги знімається з вихідного підсилювача напруги, а вихідний сигнал струму знімається вихідного підсилювача струму.

Модуль має своє джерело живлення, який перетворює +24 В в -24 В необхідні для роботи модуля, а також стабілізатор напруги +15 В в -15 В.

Знаючи послідовність роботи і функціональне призначення кожного блоку, а також вимоги технічного завдання можна перейти до формування технічних і метрологічних вимог до кожного компоненту функціональної схеми.

#### 5.2.4.1 Вимоги до компонентів функціональної схеми модуля цифро - аналогового перетворення

На підставі структурного розрахунку сумарна похибка модуля ЦАП не повинна перевищувати  $\pm 0,1$  дБ ( $\pm 1,2\%$ ). Ця похибка може бути розподілена між ЦАП і вихідним підсилювачами потужності (ВУ) в наступній пропорції: на ЦАП - 0,8%, на ВУ - 0,4%.

##### Вимоги до ЦАП

ЦАП призначений для перетворення числового коду в напругу постійного струму для подальшої реєстрації виміряного значення модулем реєстрації і повинен відповідати таким вимогам:

- Кількість розрядів - 12;
- Час встановлення вихідного сигналу -  $< 5$  мкс;
- Частота дискретизації  $\rightarrow 0,05$  МГц;
- Функція запису і зберігання - Так;
- Наявність висновків управління - Так;

- Сумарна похибка -  $\pm 0,8\%$ .

Вимоги до вихідних підсилювачів

Вихідні підсилювачі призначені для забезпечення заданих напруг і струмів при підключенні виходу ЦАП до модуля реєстрації і повинні відповідати таким вимогам:

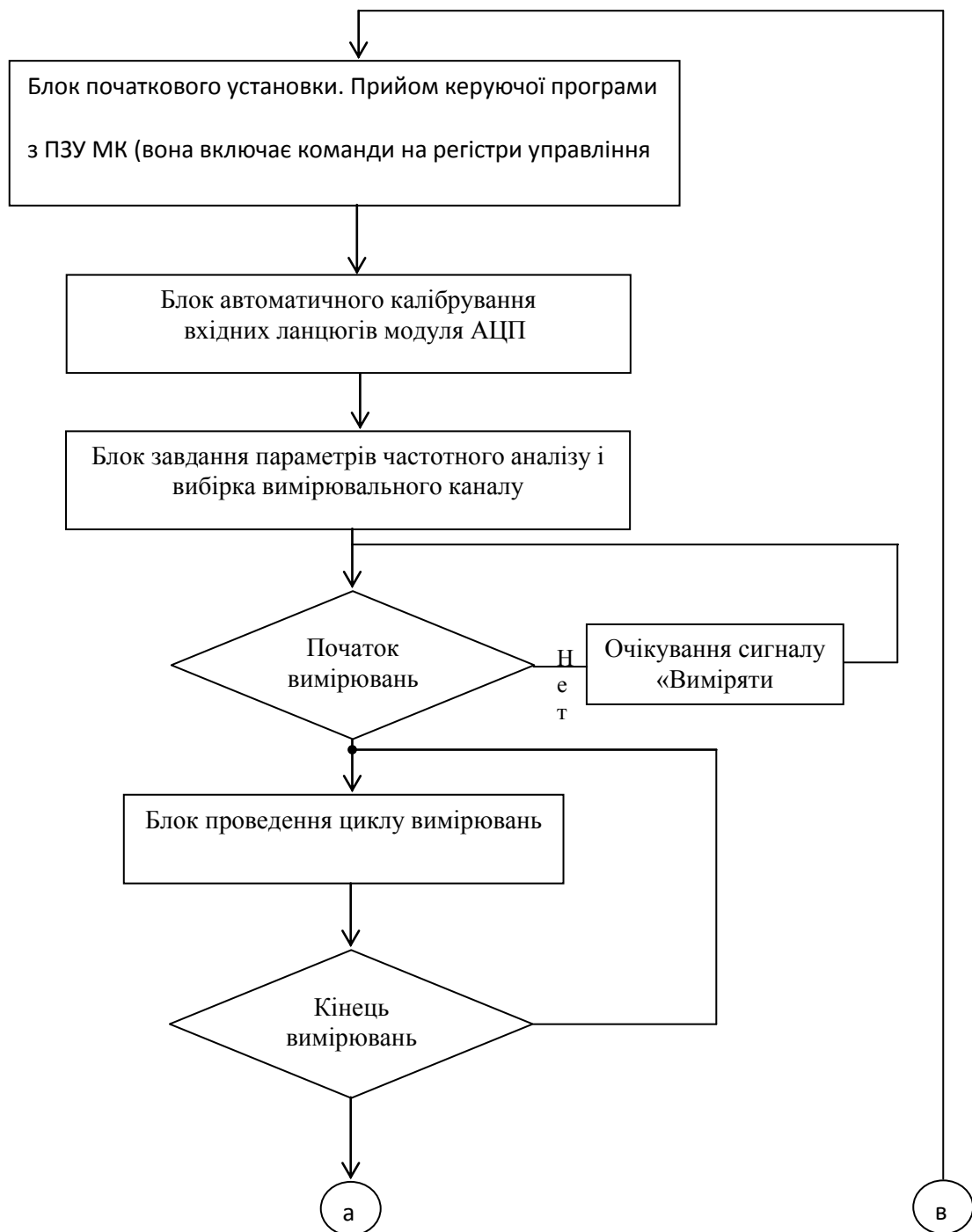
- Діапазон зміни вихідного напруги - від -10 до 10 В;
- Діапазон зміни вихідного струму - від 0 до 20 мА;
- Опір навантаження - 600 Ом;
- Сумарна похибка - 0,4%.

Встановлені вимоги до функціональних блоків окремих модулів можуть бути скориговані при розробці принципових схем в залежності від обраної елементної бази.

## **5.2.5 Розробка алгоритмів функціонування системи та окремих модулів**

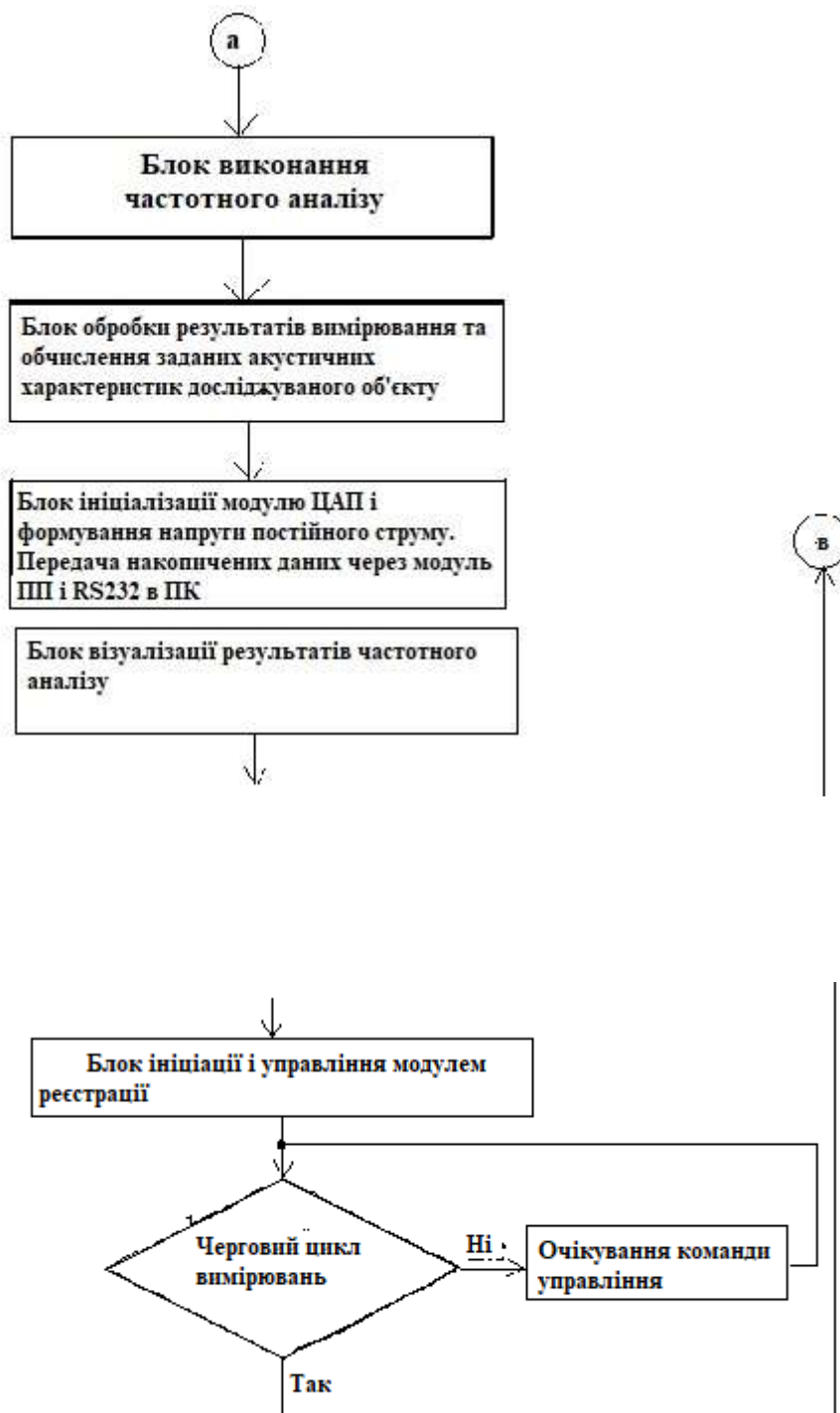
### **6.2.5.1 Розробка загального алгоритму функціонування ВС**

Блок-схема функціонування системи може бути представлена в наступному вигляді.



### 5.2.5.2 Розробка алгоритму управління роботою ВС

Блок-схема керуючої програми може бути представлена в наступному вигляді



Розглянемо опис блок-схеми алгоритму функціонування системи моніторингу акустичних характеристик об'єктів.



Перший блок приймає керуючу програму з ПЗП МК. У цьому блоці запам'ятовуються основні параметри вимірювання:

- встановлюються коефіцієнти посилення вхідних підсилювачів;
- перемикаються вхідні і вихідні комутатори;
- задається кількість відліків (обсяг вибірки);

Другий блок забезпечує процедуру автокалібровки. Система працює в установленому режимі. Вхід програмованого підсилювача підключається до джерела опорної напруги. Результати перетворення для цього випадку запам'ятовуються в ОЗП і надалі (при обробці МК) служать для корекції результатів вимірювань.

У третьому блоці встановлюються параметри частотного аналізу, частоти зрізу вхідного фільтра (в залежності від режиму роботи) і вибирається робочий вимірювальний

Четвертий блок. Система знаходиться в очікуванні сигналу «Вимірювання» (блок № 5).

При надходженні сигналу «Вимірювання» починається робота шостого блоку, власне циклу вимірювання.

Блок № 6 забезпечує виконання процедури вимірювання (частотного аналізу) в заданих смугах і відповідно до обраного режиму роботи. Після проведення чергового вимірювання контролер проводить декремент лічильника подій і опитує його стан. Якщо процедура вимірювання не закінчена, система повертається до чергового циклу вимірювань. Так відбувається до вичерпання всіх відліків вимірюваного сигналу. Після закінчення циклу вимірювань вимірювальний канал відключається, і система знову переходить до автономного режиму роботи.

Блок № 7 виробляє оперативну обробку отриманих даних (виконується МК), яка включає в себе процедуру послідовного частотного аналізу методом

фільтрації і обчислення всіх заданих акустичних характеристик досліджуваного об'єкта.

Блок № 8 ініціалізує модуль ЦАП і забезпечує перетворення отриманих даних в напругу постійного струму по двох каналах. Одночасно мікроконтролер через модуль ПП і інтерфейс RS-232 пересилає накопичені в ОЗП коди результатів вимірювань і результатів калібрування в ПК і переходить в режим очікування.

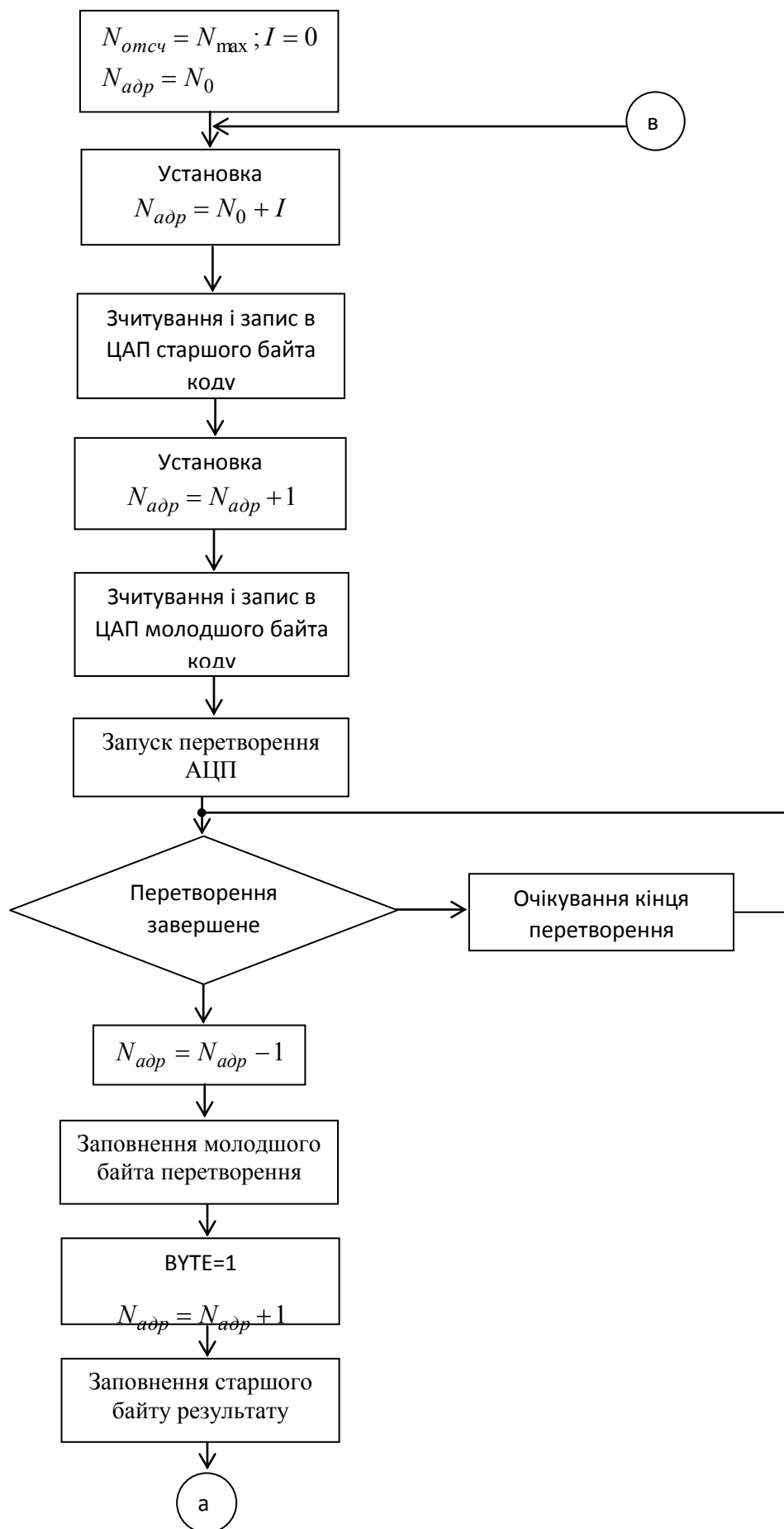
Блок № 9 виконує процедуру візуалізації результатів частотного аналізу і обробки даних на дисплеї вимірювальної системи.

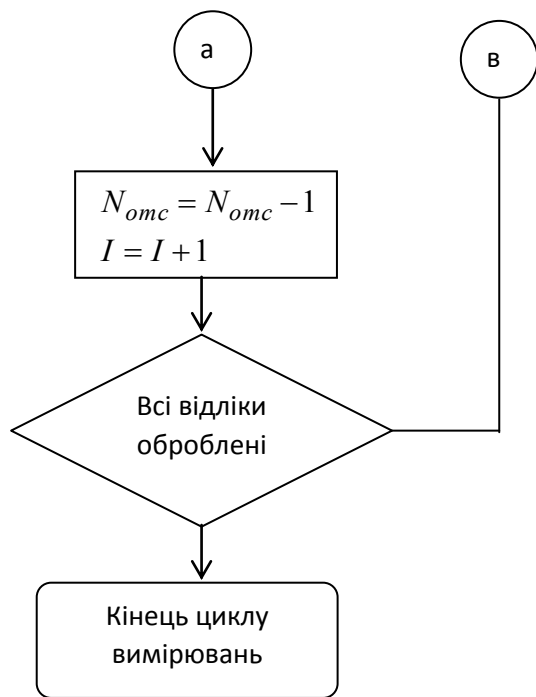
Блок № 10 виконує ініціалізацію і управління модулем реєстрації. Система переходить в режим очікування команди запуску від керуючої програми на перемикання каналу вимірювання.

Блок № 11. При надходженні команди починається робота шостого блоку, тобто циклу вимірювання за наступним **заданої вимірювального каналу**

#### 5.2.5.3 Розробка алгоритму вимірювання

Блок-схема алгоритму вимірювання (цикл вимірювання) може бути представлена в наступному вигляді





### 5.2.3 Аналіз і класифікація похибок вимірювального каналу ІВС

Структурна схема вимірювального каналу ІВС представлена на рис 5.2.3.

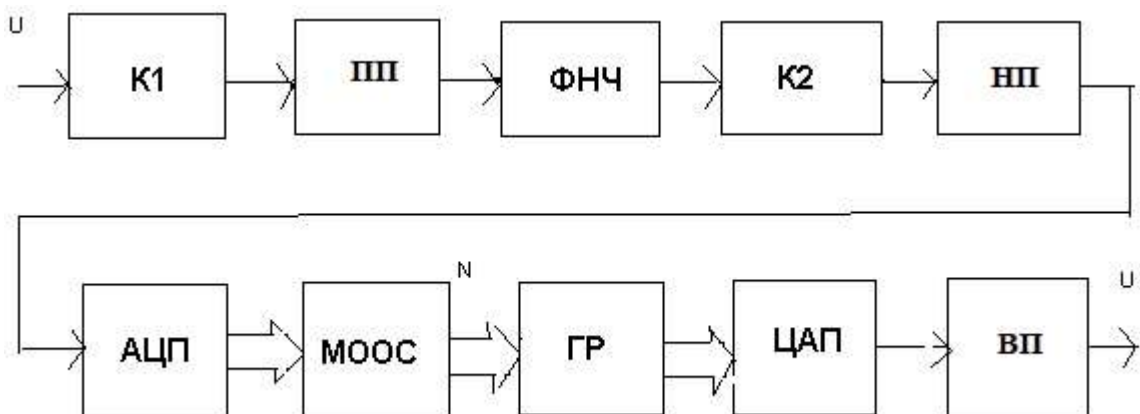


Рисунок 5.2.3 – Структурна схема вимірювального каналу

На схемі відображені наступні функціональні блоки:

К1 – вхідний комутатор;

ПП – програмуємий підсилювач;

ФНЧ – фільтр нижніх частот;

К2 – проміжний комутатор;

НП – нормуючий підсилювач;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МООС – модуль обробки сигналів;

ГР – вузол гальванічної розв'язки;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

ВП – вихідний підсилювач.

Рівняння перетворення вимірювального каналу можливо записати у вигляді:

- для цифрового виходу

$$N_x = U_{вх} \cdot K_{K1} \cdot K_{ПП} \cdot K_{ФНЧ} \cdot K_{K2} \cdot K_{НП} \cdot K_{АЦП} \cdot K_{МОС}$$

- для виходу аналової напруги постійного струму

$$U_{вих} = U_{вх} \cdot K_{K1} \cdot K_{ПП} \cdot K_{ФНЧ} \cdot K_{K2} \cdot K_{НП} \cdot K_{АЦП} \cdot K_{МОС} \cdot K_{ГР} \cdot K_{ЦАП} \cdot K_{ВП}$$

де

$K_{K1}$  — коефіцієнт перетворення вхідного комутатора;

$K_{ПП}$  — коефіцієнт перетворення програмованого підсилювача;

$K_{ФНЧ}$  — коефіцієнт перетворення ФНЧ;

$K_{K2}$  — коефіцієнт перетворення проміжного комутатора;

$K_{АЦП}$  — коефіцієнт перетворення аналого-цифрового перетворювача;

$K_{МОС}$  — коефіцієнт перетворення модуля управління та обробки інформації;

$K_{ГР}$  — коефіцієнт перетворення вузла гальванічної розв'язки;

$K_{ЦАП}$  — коефіцієнт перетворення цифро-аналогового перетворювача;

$K_{ВП}$  — коефіцієнт перетворення вихідного підсилювача.

Рівняння перетворення вимірювального каналу для аналової напруги постійного струму з урахування похибок кожного функціонального блоку можна представити в наступному вигляді:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} \odot K_{K1} (1 + \gamma_{K1}) \odot K_{ПП} (1 + \gamma_{ПП}) \odot K_{ФНЧ} (1 + \gamma_{ФНЧ}) \odot K_{K2} (1 + \gamma_{K2}) \odot K_{НП} (1 + \gamma_{НП}) \odot K_{АЦП} (1 + \gamma_{АЦП}) \odot K_{МОС} (1 + \gamma_{МОС}) \odot K_{ГР} (1 + \gamma_{ГР}) \odot K_{ЦАП} (1 + \gamma_{ЦАП}) \odot K_{ВП} (1 + \gamma_{ВП}),$$

де:

$\gamma_{K1}$  — похибка вхідного комутатора;

$\gamma_{ПП}$  — похибка програмованого підсилювача;

$\gamma_{ФНЧ}$  — похибка фільтру нижніх частот;

$\gamma_{K2}$  — похибка проміжного комутатору;

$\gamma_{НП}$  — похибка нормуючого підсилювача;

$\gamma_{АЦП}$  — похибка аналого-цифрового перетворювача;

$\gamma_{МОС}$  — похибка модуля управління і обробки інформації.

$\gamma_{ГР}$  — похибка вузла гальванічної розв'язки;

$\gamma_{ЦАП}$  — похибка цифро-аналогового перетворювача;

$\gamma_{ВП}$  — похибка вихідного підсилювача;

Таким чином, рівняння сумарної похибки вимірювального каналу з урахуванням нехтування похибками 2-го і вищих порядків малості можна представити в наступному вигляді:

$$\gamma_{икс} = (1 + \gamma_{к1}) \odot (1 + \gamma_{пп}) \odot (1 + \gamma_{фнч}) \odot (1 + \gamma_{к2}) \odot (1 + \gamma_{нп}) \odot (1 + \gamma_{ацп}) \odot (1 + \gamma_{моос}) \odot (1 + \gamma_{гр}) \odot (1 + \gamma_{цап}) \odot (1 + \gamma_{вп}) = \gamma_{к1} + \gamma_{пп} + \gamma_{фнч} + \gamma_{к2} + \gamma_{нп} + \gamma_{ацп} + \gamma_{моос} + \gamma_{гр} + \gamma_{цап} + \gamma_{вп}$$

де  $\gamma_{икс}$  — сумарна похибка вимірювального каналу.

Максимальне значення допустимої сумарної похибки каналу вимірювання була розподілена по функціональним блокам у відповідності зі своєю значимістю.

Таким чином, рівняння сумарної похибки вимірювального каналу з урахуванням нехтування похибками 2-го і вищих порядків малості можна представити в наступному вигляді:

Розглянемо похибки кожного з блоків з урахуванням їх розбиття на систематичну і випадкову складові. Для випадкової складової в якості характеристики виберемо середньоквадратичне відхилення (СКВ).

Є підстави вважати, що систематична і випадкова складові похибки вносять однакову частку в результуючу похибку кожного вузла. З цієї причини розподіл сумарної похибки кожного блоку виглядає наступним чином:

$$\gamma_{сист} = \gamma_{вип} = \gamma_i / 2$$

де  $\gamma_i$  — сумарна похибка  $i$  – го вимірювального блоку.

СКВ (характеристика) випадкової похибки кожного вузла, в припущенні нормального закону розподілу, має вигляд:

$$\Sigma_{вип} = \gamma_{вип} / K$$

де  $K$  — коефіцієнт, що залежить від виду закону розподілу випадкової складової сумарної похибки вимірювального блоку.

Проаналізуємо джерела складових похибки кожного функціонального вузла вимірювального каналу і проведемо їх класифікацію додаток D (таблиця 5.1) з урахуванням тієї обставини, що джерела похибок комутаторів

K1 і K2, а також програмованого підсилювача, що нормує підсилювач і фільтрб нижніх частот модул. АЦП ідентичні.

Виходячи з даних таблиці джерел похибок блоків розглянутого каналу, расчитаем систематичну і слу-чайну складові похибки кожного блоку. Розрахунок проведемо в припущенні, що складові похибки кожного блоку розподілені по рівномірному закону і надають однаковий вплив на сумарну похибку, причому компоненти кожної складової від різних джерел вади знайти не корельовані між собою і надають однаковий вплив на свою складову. Характеристику СКО випадкової складової похибки будемо розраховувати для довірчої ймовірності  $P = 0,9$  і значень квантільного коефіцієнта  $\xi = 1,65$  при нормальному законі розподілу і  $\xi = 1,56$  для рівномірного розподілу.

### **5.3 Розрахунок елементів принципів схем окремих блоків, елементів блоків, оцінювання похибок окремих блоків, груп пов'язаних блоків**

Виходячи з результатів розробки функціональної схеми вимірювальної системи акустичних характеристик, можна перейти до вибору і розрахунку елементів принципів схем.

#### **5.3.1 Обґрунтування вибору елементної бази**

Вітчизняна промисловість випускає велику кількість різних типів інтегральних мікросхем, що об'єднуються в серії. Кожна серія характеризується особливостями технології виготовлення, конструктивним виконанням і типом корпусу. Зазвичай в серію входить набір схем, що дозволяють створювати на їх основі досить широкий клас вимірювальних і радіоелектронних пристроїв.



При розробці апаратури доцільно використовувати мікросхеми однієї серії. Однак, в різні серії входять набори інтегральних мікросхем, що мають однотипні принципові схеми. Таким чином, можна застосовувати в одному виробі різні ІС, якщо вони сумісні за своїми параметрами.

В даному випадку вибираємо найбільш поширені інтегровані схеми, а саме інтегральні мікросхеми на основі транзисторних-транзисторної логіки (ІС ТТЛ).

### **5.3.2 Розрахунок елементів принципової схеми модуля АЦП**

#### **5.3.2.1 Розрахунок і вибір вхідного комутатора**

Виходячи з вимог, визначених при функціональному розрахунку, доцільно використовувати електронні ключі, які необхідно вибирати з урахуванням динамічних характеристик вимірювального каналу та малого впливу опору відкритого  $R_0$  і закритого  $R_3$  ключа на сумарну похибку (значення  $R_0$  і  $R_3$  повинні визначатися по заданій похибці на блок комутатора).

Час перетворення одного відліку вимірюваного сигналу становить 14 мкс, а електронні ключі мають швидкодію (час перемикання) в діапазоні від 50 нс до 300 нс.

Типове значення опору відкритого електронного ключа знаходиться в межах від 10 Ом до 250 Ом, а закритого - не менше 108 Ом на постійному струмі. Таким чином, є підстави вважати, що на сумарну похибку не буде надано значний вплив.

Отже, електронний комутатор цілком підходить для виконання поставленого завдання.

В якості комутатора вибираючи електронний комутатор серії MPC 506 ("Burr Brown") з параметрами:

- число каналів ..... 8
- опір відкритого ключа, не більше, Ом ..... 70
- час затримки включення, не більше, нс ..... 150
- опір закритого ключа, не менше, МОм ..... 50
- максимальне комутоване напруга, В .....  $\pm 15$
- залишкову напругу, мВ .....  $< 10$

Похибка, яка обумовлена впливом залишкової напруги на ключах комутатора, при  $U_{ост} < 10$  мВ (паспортні дані) розрахуємо за формулою

$$\gamma_U = \frac{\Delta U_{см}}{U_{max}} \cdot 100\% = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10} \cdot 100\% = 0,1\%$$

Ця похибка є адитивною, носить випадковий характер, розподілена за нормальним законом і повністю визначає сумарну похибку обраного комутатора.

СКВ цієї похибки складе

$$\sigma_U = \frac{0,1\%}{3} = 0,03\%.$$

$$\gamma = \gamma \pm 1,6 \cdot \sigma = 0,01 + 1,6 \cdot 0,09 \sim 0,15 \%, (P = 0,9).$$

### 5.3.2.3 Розрахунок похибок АЦП

Сумарна похибка АЦП визначається трьома складовими: похибкою квантування; похибкою дрейфу; похибкою диференціальної нелінійності.

Похибка від квантування є мультиплікативною, носить випадковий характер, становить  $\pm 1$  МЗР (паспортні дані) і визначається як:

$$\gamma_{KB} = \frac{1}{2^N} \cdot 100 \% = \frac{1}{2^{12}} \cdot 100 \% \approx 0,05\%$$

де N — к-сть розрядів АЦП.

Похибка від дрейфу є адитивною, носить слу-чайний характер, становить  $\pm 0,5$  МЗР (паспортні дані) і визначається як:

$$\gamma_{\partial p} = \frac{0,5}{2^N} \cdot 100 \% = \frac{0,5}{2^{12}} \cdot 100 \% \approx 0,03\%.$$

Похибка від диференціальної нелінійності є мультиплікативною, носить випадковий характер, становить  $\pm 0,5$  МЗР (паспортні дані) і становить:

$$\gamma_{\partial n} = \frac{0,5}{2^N} \cdot 100 \% = \frac{0,5}{2^{12}} \cdot 100 \% \approx 0,03\%.$$

Характеристики (СКО) цих похибок відповідно рівні:

$$\sigma(\gamma_{кв}) = \frac{\gamma_{кв}}{2\sqrt{3}} = \frac{0,05\%}{2\sqrt{3}} \approx 0,014\%$$

$$\sigma(\gamma_{\partial p}) = \sigma(\gamma_{\partial n}) = \frac{0,03\%}{2\sqrt{3}} \approx 0,01\%$$

Отже, сумарну похибка МПС можна записати через СКО випадкових складових як

$$\sigma(\gamma_{\Sigma}^{АЦП}) = \sqrt{\sigma(\gamma_{кв})^2 + \sigma(\gamma_{\partial p})^2 + \sigma(\gamma_{\partial n})^2} \approx 0,02\%$$

Границю похибки розрахуємо для довірительного ймовірності  $P = 0,9$  з урахуванням результуючого закону розподілу. Згортка трьох рівномірних законів розподілу являє собою трапецедальний закон розподілу, квантіль якого для  $P = 0,9$  дорівнює приблизно 1,6. Відповідно, верхня і нижня границя похибки дорівнюватиме:

$$\gamma_{\Sigma}^{АЦП} = \pm 1,6 \cdot 0,02\% = \pm 0,03\%.$$

### 6.3.2.5 Розрахунок і вибір аналого-цифрового перетворювача

В даний час випускається велика кількість ВС АЦП, які розрізняються як розрядністю, як і принципом дії (паралельного перетворення або з

використанням методу послідовних наближень). При паралельному перетворенні потрібна велика кількість компараторів, розрядність таких АЦП відносно мала, проте їх швидкодія дозволяє проводити обробку відеосигналів зі спектром в кілька МГц. У нашому випадку більш істотним є-ється підвищена розрядність АЦП (точність кодування) по-цьому доцільно застосувати АЦП послідовного преоб-разования.

Аналіз випускаються АЦП показує, що в нашому випадку поставленим вимогам відповідає ВС АЦП типу AP97820 виробництва фірми Burr-Brown, технічні характеристики якого наступні:

Тип - конденсаторний, послідовного наближення;

Розрядність - 12 біт;

Максимальна частота вибірки - 100 кГц (потрібно 48 кГц);

Діапазон входних напруг 0-5 В;

Єдине джерело живлення +5 В;

Вбудований пристрій ВХ і генератор - Так;

Формат представлення даних - паралельний з трьома з-ставлять;

Споживана потужність - 100 мВт;

Температурний діапазон 0 - +85 ° С;

Сумарна похибка - 4 ОМР.

Обраний АЦП має режим, що дозволяє передавати 12 розрядів коду по 8 - бітної шині послідовно за два такту. Зчитування результат, вибірка і зберігання проводиться за входом Read / Convert .Вибір кристала здійснюється з виводу 25 (сигнали  $\overline{R/C}$ ,  $\overline{CS}$ ). Читання даних проводиться по сигналу BUSY (0-1).

### **Розрахунок похибок аналого-цифрового перетворювача**

Всі похибки обраного дванадцятирозрядного АЦП нормуються щодо ОМР (одиниці молодшого розряду), тобто у вигляді межі допустимого значення:

- випадкова мультипликативна похибка від інтегральної нелінійності становить

$$\gamma_{\text{ін}} < +1\text{ЕМР або } \gamma_{\text{ін}} = 0,024 \%;$$

- систематична мультипликативна похибка масштабування

$$\gamma_{\text{м}} < +5 \text{ ЕМР або } \gamma_{\text{м}} = 5 \cdot 0,024 = 0,12 \%;$$

- випадкова адитивна похибка зміщення нуля

$$\gamma_{\text{см}} \leq +2 \text{ ЕМР або } \gamma_{\text{см}} = 2 \cdot 0,024 = 0,048 \%;$$

- випадкова адитивна похибка шумів квантування

$$\gamma_{\text{шкв}} \leq 1/2 \text{ ЕМР или } \gamma_{\text{шкв}} = 0,5 \cdot 0,024 = 0,012 \%.$$

Межа допустимого значення сумарної похибки АЦП визначається як:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{\text{ін}} + \gamma_{\text{м}} + \gamma_{\text{см}} + \gamma_{\text{шкв}} = 0,024 \% + 0,12 \% + 0,048 \% + 0,012 \% = 0,2\%.$$

Слід зазначити, що найбільший внесок вносить похибка масштабування, яка хоч і велика, проте легко зменшується при наявності такту корекції або автокалібрації.

#### **5.3.2.6 Розрахунок сумарної похибки модуля АЦП**

З метою з'ясування ступеня впливу складових похибки результуючу похибку модуля АЦП проведемо підсумовування окремо систематичної і випадкової складових похибки функціональних вузлів.

На підставі розрахунку випадкових складових похибки окремих вузлів модуля сумарна випадкова похибка може бути визначена через СКВ з урахуванням законів розподілу

#### **5.3.2.7 Розрахунок елементів принципової схеми антиелайсінгового фільтра**

Функціональне призначення антиелайсінгового фільтра (АЕФ) полягає в обмеженні спектра вимірюваного аналогового сигналу на вході АЦП з метою зниження похибок вимірювання, а також усунення ефекту накладання спектрів при дискретизації сигналу.

Результатом проектування є апроксимація характеристики фільтра і його передавальна функція (коефіцієнти передавальної функції).

Вихідними даними для розрахунку є вимоги, пред'явлені до фільтру при структурному розрахунку: частота зрізу, коефіцієнт посилення, похибка в смузі пропускання, похибка в смузі затримування, порядок і тип фільтра.

Таким вимогам найбільш доцільно задовольняють поліноміальні фільтри, зокрема фільтри Баттерворда. Ці фільтри мають плоску частотну характеристику в смузі пропускання і нескінченне загасання в смузі затримування з ростом частоти, відрізняються майже лінійної ФЧХ. Фільтр з такою характеристикою більш простий в налаштуванні, ніж інші поліноміальні фільтри (Чебишева, Бесселя).

Для фільтрів Баттерворда, Чебишева і Бесселя, званих поліноміальними фільтрами, ланка другого порядку описується передавальною функцією виду

$$H(p) = \frac{c \cdot 4\pi^2 f_c^2}{p^2 + 2\pi \cdot p \cdot b \cdot f_c + c \cdot 4\pi^2 f_c^2},$$

де  $b$ ,  $a$  і  $c$  коефіцієнти фільтру;

$f_{cp}$  – частота зрізу фільтра.

Розрахунок коефіцієнтів передавальної функції фільтра проведемо з використанням програмного пакета MathLAB для наступних вихідних даних:

Частота зрізу - 16 кГц;

Нерівномірність у смузі пропускання - 0,1 дБ;

Мінімальна загасання на частоті 0,5 фд - <60 Дб;

Порядок фільтра - 4.

Розрахункові значення коефіцієнтів фільтра Баттерворда четвертого порядку при пульсаціях в смузі пропускання на рівні -0,1 дБ складають:

$$b_1 = 1,8478 \quad c_1 = 1,0000$$

$$b_2 = 0,7654 \quad c_2 = 1,0000.$$

При реалізації ланок фільтра на основі операційних підсилювачів (активні фільтри) перевагу віддають структурі Саллі-Кі, яка побудована на основі неінвертуючого підсилювача, включеного за схемою джерела напруги, і управляється напругою

Принципова схема одного осередку антиелайсінгового фільтра нижніх частот показана на рис. 5.3.2.1

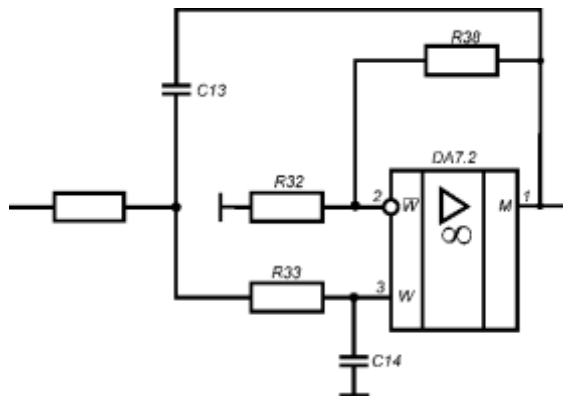


Рисунок 5.3.2.1- Принципова схема одного лонцюга другого порядку антиелайсінгового фільтра

Визначимо номінальні значення елементів фільтра.

Передавальна функція ланки фільтра може бути записана як:

$$H(p) = \frac{1 + R_{38}/R_{32}}{1 + (R_{31} + R_{33}) \cdot C_{14} \cdot p + C_{13} C_{14} R_{31} R_{33} p^2}$$

При необхідному коефіцієнті КФНЧ = 1,0, який визначається резисторами R32 і R38, резистор R32 = , а резистор R38 = 0. При цьому не дотримується умова рівності опорів для входних струмів ОП. Отже,

необхідно змінити значення КФНЧ і зробити його, наприклад, що дорівнює 1,1. Тоді відношення опорів  $R_{32} / R_{38} = \text{КФНЧ} - 1 = 1,1 - 1 = 0,1$ .

Розрахунок завжди починають з вибору ємності конденсатора C13 за рекомендаціями. Значення ємності потрібно вибирати приблизно рівною  $10 / f_{\text{ср}}$ , де  $f_{\text{ср}}$  в кілогерцах, а значення ємності отримуємо в нанофарадах. Такий підхід дає можливість отримувати розрахункові значення резисторів фільтра в діапазоні одиниць, десятків або сотень кіло.

При заданому значенні  $f_{\text{ср}} = 16 \text{ кГц}$ , отримуємо значення ємності рівне 0,6 нФ. Для зручності обчислень приймаємо значення ємності C13 рівне 1 нФ.

Конденсатор вибираємо стабільними типу К71-7-Н30-1,0нФ  $\pm 0,1\%$ .

Подальший розрахунок елементів фільтра проводиться для значень C14, R31 і R33, на підставі розрахованих коефіцієнтів фільтра.

Значення ємності C14 визначається з виразу

$$C_{14} \leq \left[ K_{\text{фнч}} - 1 + b^2 / 4c \right] \cdot C_{13} \leq \left[ 1,1 - 1 + (0,7654)^2 / 4 \cdot 1 \right] \cdot 1 \cdot 10^{-9} \leq 5 \cdot \text{нФ}$$

Конденсатори вибираємо стабільними типу К71-7- Н30 - 4,3 нФ  $\pm 0,1\%$ .

Значення опору R<sub>31</sub> розраховуємо із формули

$$R_{31} = \frac{1 / \pi f_c C_1}{b + \sqrt{b^2 + 4c \left( K_{\text{фнч}} - 1 \right) - 4c \cdot C_2 / C_1}}$$

Значення опору R<sub>33</sub> розраховуємо із формули

$$R_{33} = \frac{1}{c \cdot C_{14} C_{13} R_{31} (2\pi f_c)^2} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 6,8 \cdot 10^3 (2 \cdot 3,14 \cdot 16 \cdot 10^3)^2} = 8,5 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$



Опори резисторів  $R_{31}$  и  $R_{33}$  вибираємо із ряду E192 типу C2-29B - 0,125 – 8,5 кОм  $\pm 0,25\%$ .

Вибір ОП для ФНЧ виробляємо по допустимій адитивній похибці від напруги зсуву ОП  $U_{см}$  і по необхідній швидкості наростання вихідної напруги.

Напруга зсуву ОП не повинно перевищувати величини:

$$U_{см} \leq \delta_{доп} \cdot U_{вхфнч},$$

де  $\delta_{доп}$  — допустиме значення адитивної похибки ;

$U_{вхфнч}$  — вхідна напруга фільтра

Для номінального вхідного напруги  $U_{вх}$  ФНЧ = 5 В і при  $\pm 0,1\%$  значення  $U_{см}$  не повинно перевищувати значення:

$$U_{см} \leq 0,1 \cdot 10^{-2} \cdot 5 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Швидкість наростання вихідної напруги  $U_{нар}$  визначає вимоги до динамічних характеристик ОП. Умова неспотвореної передачі форми сигналу має вигляд:

$$V_{нар} \geq 2\pi \cdot f_{\max} \cdot U_{вых\max},$$

де  $f_{\max}$  — максимальна частота спектра сигналу (12 кГц).

Визначимо необхідне значення  $V_{нар}$  в чисельному вигляді:

$$V_{нар} \geq 2 \cdot 3,14 \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 5 = 3,7 \cdot 10^5 \frac{\text{В}}{\text{с}} = 0,37 \frac{\text{В}}{\text{мкс}}.$$

В якості УПТ вибираємо ОП типу ОРА227АР з наступними параметрами:

- коефіцієнт посилення 106
- гранична частота посилення 2 МГц

- напруга зсуву 0,5 мВ
- дрейф напруги зсуву 3 мкВ / ° С
- коефіцієнт ослаблення синфазних перешкод 110 дБ
- напруга живлення  $\pm 15$  В.

### **Розрахунок похибок фільтра нижніх частот**

Похибки антиелайсінгового фільтра в основному обумовлені нестабільністю постійної часу фільтра. (Похибками, властивими ОП і ланці зворотного зв'язку, можна знехтувати).

Похибка від зміни постійної часу призводить до з-трансформаційних змін частоти зрізу фільтра. Ці складові похибки є пренебрежимо малими і можуть не розраховуватися.

### **5.3.3 Розрахунок елементів принципової схеми мікропроцесорного модуля оперативної обробки**

**Розглянемо також вибір елементів і функціонування цифрової частини системи.**

#### **5.3.3.1 Обґрунтування вибору елементної бази**

Вітчизняна промисловість випускає велику кількість різних типів інтегральних мікросхем, що об'єднуються в серії. Кожна серія характеризується особливостями технології виготовлення, конструктивним виконанням і типом корпусу. Зазвичай в серію входить набір схем, що дозволяють створювати на їх основі досить широкий клас радіоелектронних пристроїв.

При розробці апаратури доцільно використовувати мікросхеми однієї серії. Однак, в різні серії входять набори інтегральних мікросхем, що мають однотипні принципові схеми. Таким чином, можна застосовувати в одному виробі різні ІС, якщо вони сумісні за своїми параметрами.

В даному випадку вибираємо найбільш поширені інтегровані схеми, а саме мікросхеми на основі транзисторно-транзисторної логіки (ВС ТТЛ).

Основою процесора цифрової обробки є мікро-контролер. При виборі мікроконтролера основні вимоги: забезпечення необхідної швидкодії, можливість підключення буферного ОЗП, мінімальна вартість. Перерахуємо вимоги відповідають 8 - бітовий мікроконтролера серії 80C31 фірми Intel.

Розглянемо його пристрій і основні характеристики.

### **6.3.3.2 Основні характеристики 80C31.**

Мікроконтролер виконаний на основі високорівневої n-МОН технології і випускається в корпусі БІС, що має 40 зовнішніх виходів. Для роботи МК потрібно одне джерело електроживлення +5 В. Взаємодія МК із середовищем в стандарті ТТЛ-схем з трьома станами виходу здійснюється через чотири програмованих порту введення / виведення 80C31. Корпус 80C31 має два висновки для підключення кварцового резонатора, чотири виводу для сигналів, керуючих режимом роботи МК, і вісім ліній порту 3, які можуть бути запрограмовані користувачем на виконання спеціалізованих (альтернативних) функцій обміну інформацією з середовищем.

МК має в своєму складі такі апаратні засоби: процесор, до складу якого входять 1-байтного АЛУ і схема апаратної реалізації команд множення і ділення, стирані ППЗУ програм ємністю 4 Кбайта, ОЗП даних ємністю 128 байт; генератор, схему синхронізації і управління. Потужність, що розсіюється 1,5 Вт, діапазон робочих температур -10 ... 70 ° С. Частота синхронізації  $f = 11$  МГц, мінімальний цикл виконуючи команди дорівнює 1 мкс. Внутрішня пам'ять використовується для програм ініціалізації і тестування процесора.

### **Склад, призначення та функціональні можливості МК 80C31.**

#### **Пам'ять програм**

Пам'ять програм (СППЗУ) DD9 (8Кбайтх8) підключається на шину зовнішніх даних за допомогою сигналу PSEN і призначена за зберігання команд, констант, керуючих верств ініціалізації, таблиць перекодування вхідних і вихідних змінних. Має 16 - бітну шину адреси, через яку забезпечується доступ з лічильника команд або з регістра покажчика даних.

### **Пам'ять даних**

Пам'ять даних (ОЗП) DD10 (2Кбайтх8) призначена для зберігання змінних в процесі виконання прикладної програми в процесі виконання прикладної програми, адресується одним байтом і має ємність 128 байт. Крім того, до адресного простору примикають

### **Пристрій управління і синхронізації**

Всі чотири порти 80C31 призначені для введення або виведення інформації побайтно.

Порт P0 реалізує мультиплексорного шину адреса / дані і працює як збудник з трьома станами. На початку циклу зовнішньої пам'яті молодші вісім розрядів адреси включаються вхідними сигналами на P0. Сигнал ALE (дозвіл фіксації адреси) подається на вхід STB (strob) регістра DD5, який виробляє їх подальшу вибірку на шину адреси. Старші вісім розрядів формуються портом P2 при виконанні в програмі команди MOVX (звернення до зовнішньої пам'яті). Регістри DD5, DD6 підсилюють адресну шину. Сигнал OE заземлений і адресні сигнали завжди передаються на вихід мікросхеми, так як шина адреси однонаправлена. Дані формуються портом P0 і підсилюється буфером DD8.

Порт введення / виведення DD11, являє собою програмований паралельний інтерфейс, до якого підключаються АЦП і ЦАП. Крім того, порт призначений для сполучення з клавіатур-рій і дисплеєм.

У програмному паралельному інтерфейсі порти РА РВ можутьбуферізовуватися регістрами за допомогою яких можна керувати цифропечаті і іншими виконавчими пристроями.

#### **5.3.4 Розрахунок елементів принципової схеми модуля ЦАП**

Схема електрична принципова модуля ЦАП приведена в додатку і складається з:

- ☐ схеми порівняння адрес;
- ☐ схеми формування відповіді;
- ☐ одновібратора запису;
- ☐ генератора імпульсів запису;
- ☐ комутатора імпульсів запису;
- ☐ схеми екстреного відключення;
- ☐ буферних регістрів;
- ☐ гальванічної розв'язки;
- ☐ перетворювача напруги +24 В в -24 В;
- ☐ стабілізатора напруги +15 В в -15 В;
- ☐ джерела опорного напруги;
- ☐ цифро-аналогового перетворювача;
- ☐ вихідного підсилювача сигналу по напрузі;
- ☐ вихідного підсилювача сигналу по струму.

Схема порівняння модуля порівнює надходять на входи сигнали і при їх рівності видається дозвіл - сигнал ВДЧ. Далі формується сигнал «ОТВ», що говорить про те, що модуль готовий до роботи, тобто готовий приймати, видавати інформацію і підкорятися сигналам МП. Сигнали модуль приймається по шинам інтерфейсу. Прийом інформації проводиться за два

звернення до модуля. При першому зверненні ( $A_0 = 0$ ), модуль приймає по шинам даних інтерфейсу молодші вісім розрядів коду і заносить їх в регістри D9 і D10. При другому зверненні ( $A_0 = 1$ ) - модуль приймає чотири старших розряду коду і заносить їх в регістр D11. При цьому, вміст розрядів D4-D7 шин даних інтерфейсу байдуже. Після закінчення другого звернення сформований на буферному регістрі 09-11 12-розрядний код через оптрони VE1-VE5 передається в канали ЦАП і записує внутрішній регістр одного з перетворювачів, в залежності від стану розряду A адресного байта. Управління записи в буферні регістри і в регістри ЦАП проводиться за допомогою одиниць D6 і D7. Комутиють сигнали запису елемента мікросхеми D8.1 і D8.2.

Кожен канал ЦАП має по два виходи: вихід сигналу напруги і вихід сигналу струму. Вихідний сигнал напруги знімається з операційного підсилювача D15 через емітерний повторювач на транзисторах VT8 і VT9. Вихідний сигнал струму знімається з операційного підсилювача D16 через емітерний повторювачі на транзисторах VT10 і VT11.

#### **6.3.4.1 Обґрунтування вибору елементної бази**

Вітчизняна промисловість випускає велику кількість різних типів інтегральних мікросхем, що об'єднуються в серії. Кожна серія характеризується особливостями технології виготовлення, конструктивним виконанням і типом корпусу. Зазвичай в серію входить набір схем, що дозволяють створювати на їх основі досить широкий клас радіоелектронних пристроїв.

При розробці модуля ЦАП доцільно використовувати мікросхеми однієї серії. Однак в різні серії входять набори інтегральних мікросхем, що мають однотипні принципові схеми. Таким чином, можна застосовувати в одному виробі різні ІС, якщо вони сумісні за своїми параметрами.

В даному випадку вибираємо найбільш поширені ін-інтегрованої схеми, а саме мікросхеми на основі транзисторно-транзисторної логіки (ІС ТТЛ).

Як цифроаналогового перетворювача вибираємо мікросхему ЦАП К572ПА2А - дванадцятирозрядний множаючий цифроаналоговий перетворювач з функцією запису і зберігання цифрової інформації, який серед своїх аналогів відрізняється самою малою величиною диференціальної нелінійності в процентах від повної шкали. Це єдиний ЦАП сумісний з серією ТТЛ, ТТЛШ і МОП структурами.

Для формування опорного напруги і перетворення напруги будемо використовувати операційні підсилювачі КР140УД608, вибір яких задовольняє умовам роботи схеми:  $U_{\text{вих}}$  не менше 11 В;  $I_{\text{ном}}$  не більше 4 мА.

Для вихідних підсилювачів обрані операційні підсилювачі КР544УД1 з коефіцієнтом підсилення не менше 100000 і струмом споживання не більше 3.5 мА, що задовольняє умовам роботи схеми.

Для посилення сигналу ЦАП будемо використовувати транзистори КТ361Б - кремнієвий (p-n-p),  $U_{\text{ке}} = 15$  В і  $I_{\text{к}} = 50$  мА.

Для реалізації підсилювача потужності по напрузі виберемо кремнієві (p-n-p) транзистори, що витримують великі напруги. Такими є КТ502Д і КТ505Д, у яких  $U_{\text{ке}} = 60$  В і  $I_{\text{к}} = 0.6$  мА.

Для реалізації підсилювача потужності по току виберемо кремнієвий (n-p-n) транзистор 3102БМ з коефіцієнтом посилення  $200 \div 500$ ,  $U_{\text{ке}} = 30$  В і  $I_{\text{к}} = 200$  мА.

#### **5.3.4.2 Вибір і розрахунок ЦАП**

Для перетворення цифрового коду в аналогову напругу виберемо мікросхему К572ПА2, яка представляє собою 12-розрядний множаючий

цифроаналоговий перетворювач з функцією запису і зберігання цифрової інформації і по вирівняти сигналів безпосередньо узгоджується з цифровими ТТЛ-пристроями.

Перетворювач К572ПА2 управляється 12-розрядним кодом, який може запам'ятовуватися в двох вбудованих включених регістрах.

Запис вхідного коду  $N$  в перший регістр, відбувається по сигналу  $E1 = 1$ , а по сигналу  $E2 = 1$  код з першого регістра переписується в другий. Код другого регістра перетворюється в вихід-ної струм  $I1$  і в доповнює ток  $I2$ . Таким чином, якщо на вхід  $E1$  або  $E2$  поданий нульовий сигнал, то зміна керуючого коду  $N$  не приведе до негайного зміни вихідного струму ЦАП.

В даному перетворювачі є два заземлених виведення, аналоговий (4) і цифровий (22).

Крім того, до складу мікросхеми входить резистор зворотного зв'язку  $R_O$ ,  $C$ , (висновок 47), який включається в ланцюг зворотного зв'язку зовнішнього операційного підсилювача.

#### **5.3.4.3 Розрахунок вихідного підсилювача напруги**

Розроблюваний підсилювач спроектований на ОП D15 і на компліментарних транзисторах VT8 і VT9. Сигнал, посилений по напрузі з ОУ D14 надходить на інвертується вхід ОП D15, а з нього на вихідний підсилювач на транзисторах VT8 і VT9 різної структури.

Для істотного підвищення потужності в навантаженні використовується двотактний підсилювач потужності на транзисторах про-протиіжного типу провідності (комплементарна пара).

При наявності позитивного сигналу на виході D15, транзистор VT8 працює як емітерний повторювач, а транзистор VT9 закритий. Якщо сигнал з виходу D15 негативний, то відкриваються транзистор VT9, а транзистор VT8 -



закривається. Таким чином, транзистори працюють поперемінно, кожен протягом одного напівперіоду вхідного напруги.

Для забезпечення зміни вихідної напруги в діапазоні від 0 до +10 В і від -10 до 0 і до +10 В в схемі УПН застосуємо перемикач SA2. При замиканні контактів 1 і 2 транзистор VT8 буде працювати постійно, а вихідна напруга буде змінюватися в межах від 0 до +10 В. Це відбувається внаслідок того, що ланцюг, зібрана на елементах C25, SA2.1 і R77, відключає транзистор VT9, тобто на базу VT9 не надходить негативна напруга.

Щоб діапазон підсилювача постійної напруги розширити від -10 В до 0 і до +10 В, необхідно перемикачем SA2.2 контакти 3 і 4 замкнути, а контакти 1 і 2 перемикача SA2.1 розімкнути. Тоді межі зміни постійної напруги збільшитися з -10 В до 0 і до +10 В. Це станеться за рахунок подачі негативної напруги з джерела опорного напруги через контакти 3 і 4 перемикача SA2.2. На базі транзистору VT9 створюється напруга, яким транзистор і відкриється.

Підсилювач другого каналу працює аналогічно підсилювача першого каналу, а схема включення володіє низьким вихідним імпедансом, що необхідно для джерела напруги.

Вихідні дані для розрахунку:

$$R_H = 2 \text{ кОм}; U_{\text{вх}} = 0 \dots 10 \text{ В}; U_{\text{вых1}} = 0 \dots 10 \text{ В}; U_{\text{вых2}} = \text{мінус } 10 \dots +10 \text{ В}$$

У режимі максимального вихідного сигналу, коли на вхід ЦАП подано код з десятковим значенням 4095 (тобто Д0 ... Д12 = 1) потужність на виході підсилювача повинна дорівнювати:

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}^2}{R_H} = \frac{10^2}{2410^3} = 50 \text{ мВт}.$$

В якості підсилювача будемо використовувати операційний підсилювач. Для отримання великих вихідних струмів до виходу ОП можна підключити

потужний транзисторний повторювач. Сигнал по зворотного зв'язку знімається з емітера, отже, зворотний зв'язок визначає потрібне вихідна напруга незалежно від падіння напруги УБЕ. При використанні даної схеми виникає проблема, пов'язана з тим, що вихідний сигнал може бути тільки одне полярним. Ця проблема вирішується застосуванням двухтактного варіанта схеми.

Схема працює в такий спосіб. Транзистор VT1 відкритий при позитивних значеннях сигналу, а транзистор VT2 - при негативних. При  $U_{вх} = 0$  колекторного струму немає, і потужність не розсіюється.

### **Розрахунок похибок вихідного підсилювача напруги**

Вихідний підсилювач працює при значних рівнях сигналу і тому складові адитивної і мультиплікативної похибки можуть не враховуватися.

#### **5.3.4.4 Розрахунок вихідного підсилювача струму**

Для забезпечення заданого коефіцієнта посилення сигналів зазвичай використовують багатокаскадні підсилювачі, в яких вихід кожного попереднього каскаду навантажений на вхід наступного.

В даній схемі вхідний сигнал на вході ОП D14 з'являється в результаті подачі на мікросхему K572ПА2А опорного напруги D12, VT5. Вихідний сигнал з ЦАП D13 надходить на вхід ОУ D14 (попередній підсилювач). Через резистор R75 сигнал посту-Паєт на інвертується вхід ОП D16. З виходу D16 сигнал посту-Паєт на вихідний каскад, зібраний на транзисторах VT10 і VT11 за схемою складеного транзистора. Транзистори включені після-послідовно, і, отже, їх коефіцієнти підсилення пере-множуються.

При замиканні контурів 1 і 2 SA3.1 діапазон посилення по то-ку змінюється від 0 до +20 мА, тому що підключається Неінвертуючий-щий вхід ОУ до загальної шини. Щоб змінити переділи від +4 мА до +20 мА, необхідно розімкнути контакти 1 і 2 перемикачем SA3.1 і замкнути контакти 3 і 4

перемикачем SA2.3. При цьому в ланцюзі відключиться резистор R87 і ток потече в обхід ре-зістора через контакти 3 і 4 перемикача SA2.3, що необхідно для встановлення вихідного струму не від 0, а від +4 мА до +20 мА. За допомогою резистора R82 усуваємо дрейф «0».

Так як ОП живиться двохполярною напругою, різниця повинна бути дорівнює «0». Резистором R82 встановлюємо вихідну напругу плюс 10, (+240.003) У.

УПТ другого каналу працює аналогічно УПТ першого каналу з високим вхідним опором, що необхідно для джерела струму.

Вихідні дані для розрахунку:

$R_H = 600 \text{ Ом}$ ;  $U_{вх} = 0 \dots 10 \text{ В}$ ;  $I_{вих1} = 0 \dots 20 \text{ мА}$ ;  $I_{вих2} = +4 \dots +20 \text{ мА}$ .

З виходу ЦАП на вхід підсилювача надходить напруга  $U_{вх}$ , пропорційне числовому коду на вході ЦАП. У навантаженні необхідно отримати струм  $I_H$ , який не залежить від вихідної напруги  $U_{вих}$  і регульований тільки напругою  $U_{вх}$ . Для цього необхідно використовувати схему джерела струму, керованого напругою. Хороше джерело струму можна побудувати на основі транзистора з використанням термокомпенсації точки спокою за допомогою термочутливих опорів або напівпровідникового діода.

Вихідний струм джерела визначається співвідношенням [4].

$$I_{вых} = -\frac{U_{вх}}{R_1} \left( \frac{R_2}{R_Э} + 1 \right) \left( 1 - \frac{1}{\beta} \right)$$

Коефіцієнт посилення по струму, залежить  $U_{KE}$  і, таким чином, струм ІБ змінюється в залежності від УП. Вплив кінцево-го посилення по току, може бути зменшено, якщо біполярний транзистор включити за схемою Дарлінгтона.

В даному випадку від схеми не потрібно великого швидко-дії, тому між емітером можна не включати різі-стор, так як він трохи знижує посилення [6].

#### **5.4 Оцінювання сумарної похибки вимірювальної системи**

У попередніх розділах пояснювальної записки були розраховані сумарні похибки модуля АЦП, модуля оперативної обробки сигналів і модуля ЦАП.

Отже, сумарна похибка вимірювального каналу, що містить перераховані вище модулі, в самому найгіршому випадку може бути записана як

$$\begin{aligned}\gamma_{\Sigma}^{ук} &= \gamma_{\Sigma}^{АЦП} + \gamma_{\Sigma}^{МООС} + \gamma_{\Sigma}^{ЦАП} = \\ &= 0,18\% + 0,00\% + 0,53\% = 0,71\%\end{aligned}$$

и відповідає вимогам ТЗ.

Можна очікувати, що при роздільному підсумовуванні систематичної і випадкової складових похибки кожного модуля, межа допустимого значення буде менше ніж значення 0,71%.

Таке значення сумарної похибки розробленої системи пояснюється використанням якісних, високостабільних і малошумливих операційних підсилювачів.

#### **5.5 Розробка програмного забезпечення**

**Розробка алгоритму та програми управління комутатором і програмованим підсилювачем.**

Управління комутатором здійснюється через трьохрозрядну адресну шину. Управління програмованим підсилювачем також здійснюється через трьохрозрядну адресну шину. Для управління цими блоками використовується єдиний 6-розрядний порт виводу, що адресується як

осередок зовнішнього ОЗП з адресою 1000H. Код адреси управління програмованого підсилювача зберігається в осередку внутрішнього ОЗП з адресою 40H, а код адреси управління комутатора зберігається в осередку внутрішнього ОЗП з адресою 41H.

Структурна схема алгоритму наведена на рис 5.5.1

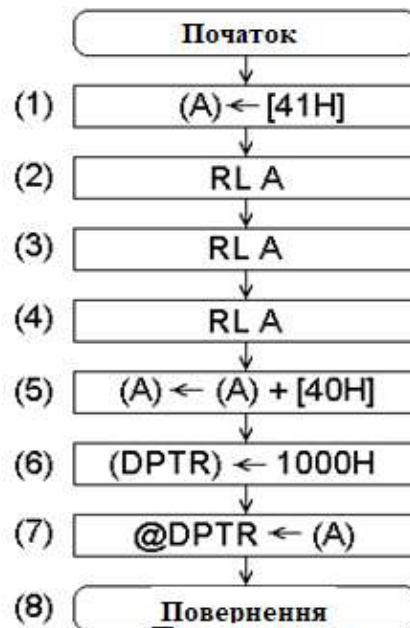


Рисунок 5.5.1 – Структурна схема алгоритму управління комутатором і програмованим підсилювачем

За командою (1) код адреси управління комутатора заноситься в акумулятор. За командами (2) - (4) цей код множиться на 8 шляхом триразового циклічного зсуву вмісту акумулятора. За командою (5) вміст акумулятора складається з кодом адреси управління програмованого підсилювача. За командою (6) в показчик даних DPTR записується адреса зовнішнього регістра, в який будуть занесені дані, і по команді (7) в цей регістр переписуються дані з акумулятора. За командою (8) проводиться вихід з програми.

## Розробка алгоритму та програми запуску і опитування АЦП

Для запуску АЦП використовується розряд D0 порту виведення, що має адресу 100H. Вихід АЦП, на якому формується сигнал закінчення перетворення, опитується через розряд D0 порту введення з адресою 1080H. Вісім молодших розрядів вихідного коду АЦП опитуються через порт введення з адресою 1081H і записуються в осередок внутрішнього ОЗП з адресою 42H, а чотири старших розряду - через порт введення з адресою 1082H і записуються в осередок внутрішнього ОЗП з адресою 43H.

Структурна схема алгоритму наведена на рис. 6.5.2.

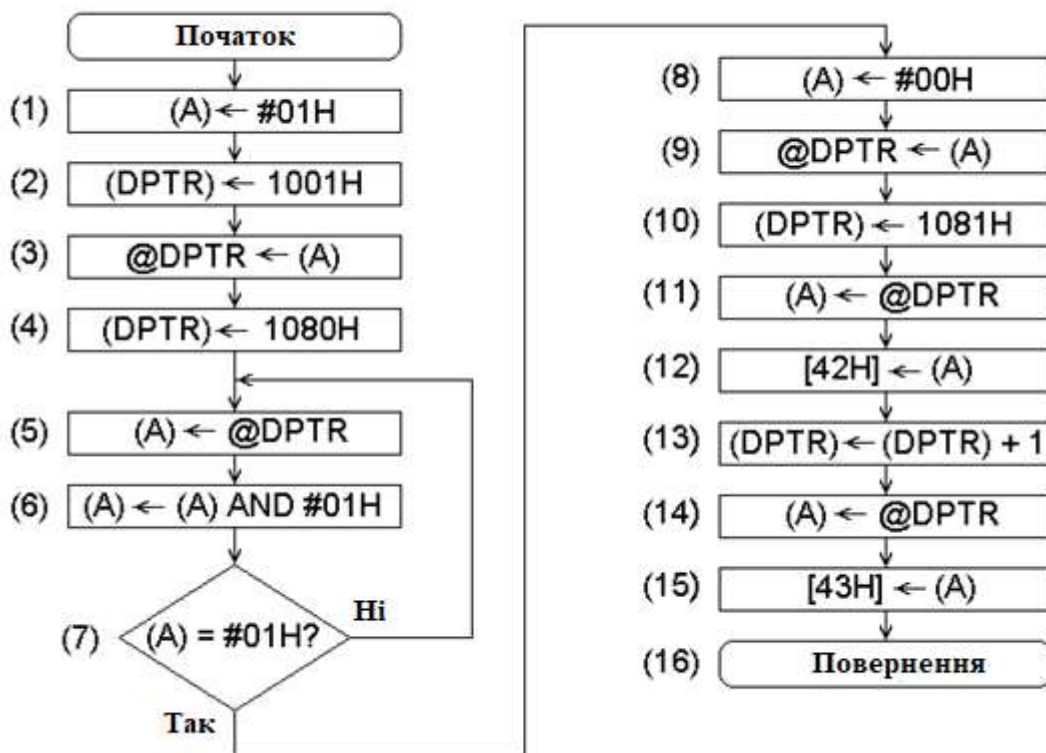


Рисунок 6.5.2 – Структурна схема алгоритму запуску і опитування АЦП

За командою (1) в розряд D0 акумулятора записується логічна 1. За командою (2) в показчик даних DPTR записується адреса порту виведення

100Н, а по команді (3) в цей порт виведення переписується вміст акумулятора. За командою (4) в показчик даних DPTR записується адреса порту введення з адресою 1080Н. Команди (5) - (7) утворюють циклічну частину програми. За командою (5) проводиться опитування порту введення з адресою 1080Н, по команді (6) утворюється кон'юнкція вмісту акумулятора з кодом 01Н, тобто виокремлюється стан розряду D0 акумулятора. За командою (7) проводиться порівняння вмісту акумулятора з кодом 01Н і перехід на команду (5) в разі їх нерівності, тобто в тому випадку, якщо АЦП не закінчив цикл перетворення. У разі, якщо АЦП завершив цикл перетворення, виконуються команди (8) і (9), які обнуляють порт виводу з адресою 00Н. За командою (10) в показчик даних DPTR записується адреса порту введення 1081Н, по команді (11) вісім молодших розрядів АЦП заносяться в акумулятор, а по команді (12) його вміст записується в осередок внутрішнього ОЗП з адресою 42Н. За командою (13) в показчик даних DPTR записується адреса порту введення 1082Н шляхом інкремента показчика даних DPTR, по команді (14) чотири старших розряду АЦП заносяться в акумулятор, а по команді (15) його вміст записується в осередок внутрішнього ОЗП з адресою 43Н. За командою (16) проводиться вихід з програми.

### **Розробка алгоритму та програми цифрової фільтрації**

Дана програма складається з чотирьох підпрограм, які розглядаються нижче.

#### **Алгоритм і підпрограма перепису коефіцієнтів фільтра з ПЗП у внутрішнє ОЗП**

Коефіцієнти фільтра 16-го порядку зберігаються в ПЗУ, перший коефіцієнт зберігається в осередку з адресою 0820Н. Для зберігання цих коефіцієнтів у внутрішньому ОЗП використовуються комірки пам'яті, перша з яких має адресу 10Н.

Структурна схема алгоритму підпрограми приведена на рис.5.5.3.

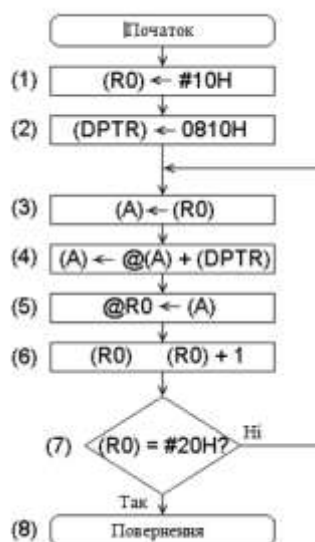


Рисунок 5,5.3 – Структурна схема алгоритму підпрограми перепису коефіцієнтів фільтру із ПЗП у внутрішнє ОЗП

За командами (1) і (2) покажчик даних DPTR завантажується адресою комірки пам'яті ПЗУ, в якій зберігається перший коефіцієнт. Команди (3) - (7) утворюють циклічну частину програми. За командам (3) і (4) акумулятор завантажується кодом з ПЗП. За командою (5) цей код переписується в комірку пам'яті внутрішнього ОЗП. За командою (6) вміст регістра R0, який є адресним регістром, збільшується на 1. За командою (7) вміст адресного регістра порівнюється з кінцевою адресою. При їх нерівності відбувається перехід на команду (3), а при їх рівності проводиться повернення з підпрограми.

#### **Алгоритм і підпрограма перепису результатів вимірювання з зовнішнього у внутрішній ОЗП**

Результати вимірювання зберігаються в зовнішньому ОЗП у вигляді двобайтових слів. Вже згадана підпрограма здійснює перепис 16 двобайтових результатів вимірювання з зовнішнього ОЗП у внутрішнє.

Структурна схема алгоритму підпрограми приведена на рис.5.5.4



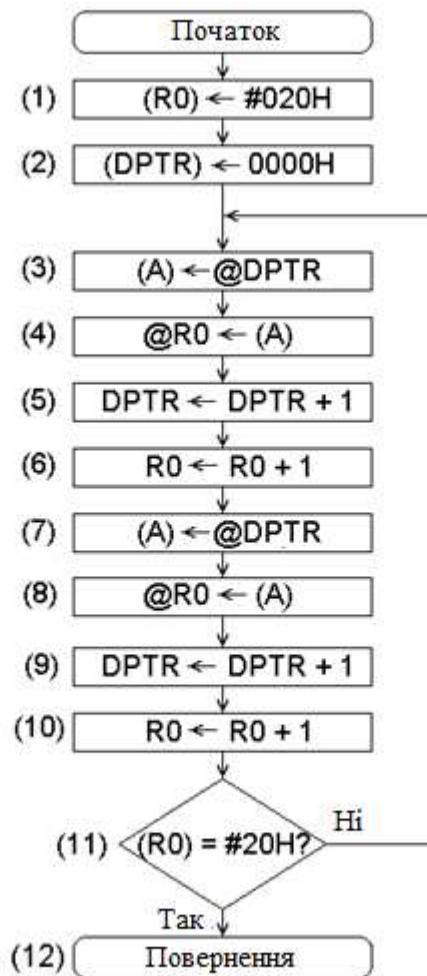


Рисунок 5.5.4 – Структурна схема алгоритму підпрограми перепису результатів вимірювання із зовнішнього у внутрішній ОЗП

Як і в попередній підпрограмі, регістр R0 є адресним регістром.

За командами (1) і (2) покажчик даних DPTR завантажується адресою комірки пам'яті зовнішнього ОЗП в якій зберігається молодший байт першого результату вимірювання. За командами (3) і (4) молодший байт результату вимірювання через акумулятор переписується з комірки пам'яті зовнішнього ОЗП в осередок пам'яті внутрішнього ОЗП. За командам (5) і (6) збільшуються на 1 вміст покажчика даних DPTR і адресного регістра R0 відповідно. За командам (7) і (8) старший байт результату вимірювання через акумулятор переписується з комірки пам'яті зовнішнього ОЗП в осередок

пам'яті внутрішнього ОЗП. За командам (9) і (10) збільшуються на 1 вміст покажчика даних DPTR і адресного регістра R0 відповідно. За командою (11) вміст адресного регістра порівнюється з кінцевою адресою. При їх нерівності відбувається перехід на команду (3), а при їх рівності проводиться повернення з підпрограми.

Алгоритм і підпрограма накопичення 16 добутків

У розглянутій підпрограмі виробляється множення 16 результатів вимірювання на коефіцієнти фільтра з подальшим накопиченням отриманих добутків.

Структурна схема алгоритму підпрограми приведена на рис.5.5.5.

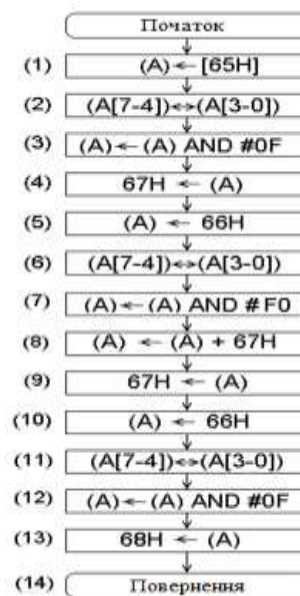


Рисунок 5.5.5 – Структурна схема алгоритму підпрограми накопичення 16 добутків

Регістри R0 і R1 є адресними регістрами. У регістрі R0 зберігається адреса осередку внутрішнього ОЗП, в якій зберігається коефіцієнт фільтра, а в регістрі R1 - адреса комірки внутрішнього ОЗП, в якій зберігається результат вимірювання. Так як один із співмножників є однобайтним (коефіцієнт фільтра), а інший - двухбайтним (результат вимірювання), то їх добуток є трибайтним числом. Для зберігання результатів добутки використовуються комірки пам'яті з наступними адресами: 60H (молодший

байт добутку), 61Н і 62Н (два середніх байта добутку) і 63Н (старший байт добутку). Для зберігання накопиченої суми використовуються комірки пам'яті з адресами 64н (молодший байт), 65Н (середній байт) і 66н (старший байт).

За командами (1) і (2) проводиться завантаження адресних регістрів R0 і R1 початковими адресами. За командами (3) - (6) проводиться обнуління елементів пам'яті, призначених для зберігання накопичуваної суми. З команди (7) починається циклічна частина підпрограми. За командами (7) - (11) проводиться множення коефіцієнта фільтра на молодший байт результату вимірювання. Молодший байт вироб-ведення записується в осередок 60Н, а старший - в клітинку 61Н. За командою (12) збільшується на 1 вміст адресного регістра R1. За командами (13) - (17) проводиться множення коефіцієнта фільтра на старший байт результату вимірювання. Молодший байт добутку записується в осередок 62Н, а старший - в клітинку 63Н. Далі проводиться накопичення отриманого добутку. За командами (18) - (20) накопичуються молодші байти добутку. За командами (21) - (28) накопичуються середні байти добутку. Якщо після виконання команди (23) тригер перенесення знаходиться в стані «1», то збільшується на 1 комірку 66н. За командами (29) - (31) накопичуються старші байти добутку. За командами (32) і (33) збільшуються на 1 вміст адресних регістрів. За командою (34) вміст адресного регістра R0 порівнюється з кінцевою адресою. При їх нерівності відбувається перехід на команду (7), а при їх рівності проводиться повернення з підпрограми.

### **Алгоритм і підпрограма ділення суми накопичених добутків**

Накопичена сума повинна бути розділена на  $256 \times 16$ . При цьому розрядність результату співпадає з розрядністю результатів вимірювання. Розподіл накопиченої суми на 256 здійснюється шляхом відкидання молодшого байта накопиченої суми. Вже згадана підпрограма здійснює розподіл середнього і старшого байта накопиченої суми на 16.

Структурна схема алгоритму підпрограми приведена на рис.5.5.6.

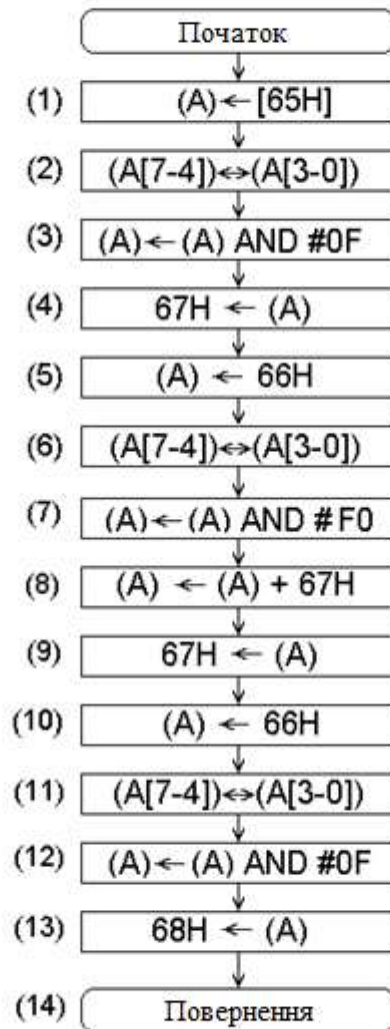


Рисунок 5.5.6 – Структурна схема алгоритму ділення суми накопичених добутків

Середній байт накопиченої суми зберігається в комірці пам'яті з адресою 65H, а старший - в комірці пам'яті з адресою 66H. Результати розподілу розміщуються в осередках пам'яті 67H (молодший байт) і 68H (старший байт).

За командою (1) середній байт накопиченої суми завантажується в акумулятор. За командою (2) проводиться обмін між тетрадами акумулятора.

Після команди (3) 4 старших розряду середнього байта накопиченої суми заносяться в 4 молодших розряду акумулятора, і по команді (4) переписуються в осередок пам'яті 67Н. За командою (5) в акумулятор заносяться старший байт накопиченої суми. За командою (6) проводиться обмін між тетрадами акумулятора. Після команди (7) 4 молодших розряди старшого байта накопиченої суми заносяться в 4 старших розряду акумулятора. Після виконання команд (8) і (9) в осередку пам'яті 67Н записаний молодший байт результату ділення. За командою (10) в акумулятор заносяться старший байт накопиченої суми. За командою (11) проводиться обмін між тетрадами акумулятора. Після команди (12) 4 старших розряду старшого байта накопиченої суми заносяться в 4 молодших розряду акумулятора, і після виконання команди (13) в осередку пам'яті 68Н записаний старший байт результату ділення. За командою (14) проводиться повернення з підпрограми.

### Програма цифрової фільтрації

Структурна схема алгоритму програми цифрової фільтрації приведена на рис. 5.5.7.

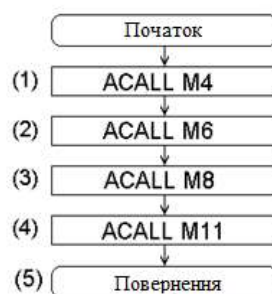


Рисунок 5.5.7 – Структурна схема алгоритму програми цифрової фільтрації

За командою (1) викликається підпрограма перепису коефіцієнтів фільтра з ПЗП у внутрішнє ОЗП. За командою (2) викликається підпрограма перепису результатів вимірювання з зовнішнього у внутрішнє ОЗП. За

командою (3) викликається підпрограма накопичення 16 добутків. За командою (4) викликається підпрограма ділення суми накопичених добутків. За командою (5) відбувається повернення з програми.

## 6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Система моніторингу акустичних параметрів»

### 6.1 Опис ідеї системи

В попередніх розділах оцінили аналоги та роботу власної системи. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Система моніторингу акустичних параметрів».

Ідея проекту полягає в розробці вимірювальної системи акустичних характеристик об'єктів, яка призначена для вимірювання рівнів звукового тиску, середньоквадратичних, еквівалентних рівнів звуку при випробуванні та експлуатації машин та механізмів з метою їх діагностики та виявлення дефектів, що уточнено наведено в табл. 5.1.

Мій винахід відрізняється від аналогів тим, що

У таблиці 6.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 6.1 Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Моніторинг промислового обладнання	Промислові підприємства	Діагностика обладнання
	Неруйнівний контроль	Отримання інформації без зупинки роботи
	Дефектоскопія	Контроль якості матеріалів і виробів з метою виявлення внутрішніх і прихованих дефектів

Отже, пропонується новий спосіб моніторингу промислового обладнання за принципом послідовного частотного аналізу стаціонарного випадкового процесу.

5.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– система майже не має аналогів та має модульну структуру в порівнянні з іншими;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

**Таблиця 5.1.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту**

№ п/п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтра- льна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Mistras AMS			
1.	Вартість програмного забезпечення	Власна розробка	Комерційна таємниця	-	+	+
2.	Конструкція	Модульна	Монолітна	-	+	+
3.	Складність конструкції	Проста	Складна	-	+	+
4.	Торгова марка	Власна	Вже дорога	-	+	+

Із таблиці можна визначити, що представлена контрукція є модульною тож може бути легко модифікована, на відміну від аналогів та має простішу конструкцію, що здешевшує проект.



## 6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка структурної схеми	Використання ПК та програм для розробки	Наявна технологія	Доступна
2.	Розробка алгоритмів програмного забезпечення	Методи математичного аналізу	Розроблена технологія	Доступна
3.	Розробка програмного забезпечення	Програмне середовище LabView	Наявна технологія	Доступна
4.	Калібрування датчиків системи	Методи математичного моделювання	Розроблена технологія	Доступна
5	Тестування системи	Багтрекер Jira	Наявна технологія	Доступна

Відповідно до інформації можна стверджувати, що технологічна реалізація для здійснення ідеї проекту доступна. Технологічна реалізація проекту можлива, тому що всі технології наявні на ринку. Проаналізувавши усі доступні варіанти мов програмування можна зробити висновок що для реалізації проекту безперечно найбільше підходить середовище розробки LabView.

Калібрування датчиків буде проводитись в середовищі математичного моделювання labview а саме за допомогою реальних датчиків та апроксимації результатів розроблених.

Тестування системи буде реалізовано за допомогою Багтрекера Jira який дозволяє одночасно і стежити за етапами розвитку всього проекту так і за наявності несправностей так і за вирішенням несправностей.

### 6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 6.3.1).

Таблиця 6.3.1 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Розвивається
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до ГОСТу
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60

Ринок динамічно розвивається, потреба в таких системах збільшується. Правильно розрахована і налаштована система моніторингу дозволяє вчасно виявити і попередити небезпечні процеси в контрольованому об'єкті, що мінімізує збитки і дозволяє уникнути людських жертв і втрат дорогого устаткування.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3.2).

Таблиця 6.3.2 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Моніторинг промислового обладнання	Промислові підприємства	Фінансові можливості	Висока якість, індивідуальний підхід, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, швидкодія; висока точність розрахунків, оптимальне співвідношення ціни та якості.
		Авіа- та ракетобудування		

Ринок збуту дійсно великий. В даний час в більшості промислово розвинених країн ведеться розробка і оптимізація способів моніторингу і прогнозування.

При застосуванні даної технології існують певні загрози (таблиця 6.3.3).

Таблиця 6.3.3 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Дорого	Дороговизна конструкції	Здешевшити конструкцію
2.	Зменшення промислової діяльності	Зменшення промислових підприємств	Змінювати ринок збуту
3.	Інтеграція моніторингу	З розвитком машинобудування можливе інтегрування моніторингу в об'єкти охорони	Модернізація
4.	Розвиток інших методів моніторингу	Розвиток методів моніторингу, що можуть	Модернізація

		бути ефективнішими	
5.	Розвиток технологій	Поява нових технічних рішень	Модернізація

Тобто, у нас є ряд причин по яким стартап проект може не запрацювати. Проте, практично з кожної ситуації є вихід. Ринок збуту достатньо великий і в кожній країні розвивається промислова галузь. Можна проводити маркетингові акції не лише в Україні.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 6.3.4).

Таблиця 6.3.4 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Фактор збуту	Можливість впровадження програми через національну закупівлю	Сертифікація товару за міжнародними стандартами, що збільшить його привабливість для національних тендерів
2.	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту; Підвищення ціни
3.	Високий попит на продукт	Збільшення виробництва товару та товарообігу	Покращення товару
4.	Потреба в доступності	Актуальна розробка з низькою собівартістю	Залучення іноземних інвестицій
5.	Впровадження нових технологій	Покращення методу	Патентування нових ідей, методів

Дійсно ми бачимо, що факторів для розвитку бізнесу багато. Також можна сказати, що вони більш реальні, ніж фактори загроз. На даний момент в більшості промислово розвинених країн ведеться розробка і оптимізація способів моніторингу і прогнозування

Таблиця 6.3.5 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Окремі покупці і продавці не можуть впливати на ціну.	Фокусування діяльності підприємства на якість товару.
2. Національна конкуренція	Між компаніями всередині	Варіація об'ємів

	країни.	виробництва, співпраця з науковими лабораторіями.
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі.	Формування ринкової вартості товару.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду	Конструювання нових систем для реалізації нових методів
5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її продажу.	Зміни у виробництві; додаткові витрати, підвищення рівня довіри клієнтів.
6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт.	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якісну зміну продукту. Створення власної торгової марки

Конкуренція на ринку систем моніторингу незначна. Моя розробка конкурентно спроможна і для більшого поширення її на ринку потрібно розвивати бренд .

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 6.3.6 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	В Україні відсутні. Mistras AMS	Малий бар'єр входження в ринок	Невелика собівартість	Невелика собівартість; Велика точність	Є фактори загроз з боку замінників
Висновки:	Активна боротьба	Є можливість виходу на ринок. Постійні конкуренти є.	Збільшення співвідношення ціни та якості	Збільшення співвідношення ціни та якості	Відсутнє

За результатами аналізу Таблиці 6.3.6 можна зробити висновок, що в запропонованому проекті є всі можливості потрапити на ринок, враховуючи низьку конкуренцію та відмінність від існуючих аналогів.

Таблиця 6.3.7 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Діагностика без зупинки роботи	Датчики розміщуються на поверхні обладнання без втручання в роботу
2	Ціна	Ціна нижча, за рахунок простоти конструкції
3	Бренд	Поки що малоконкурентний
4	Модульність	Нескладність у модернізації конструкції
5	Відсутність прямих конкурентів в країні	Відсутність прямих конкурентів дає можливість програмі претендувати на державні закупівлі, та маніпулювати ринком, доки конкуренти не з'являться.

Таблиця 6.3.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Mistras AMS»

З таблиць 6.3.7 та 6.3.8 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Mistras						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Швидкодія	19						+	
2	Багатофункціональність	17							+
3	Дешевизна	18						+	
4	Відсутність прямих конкурентів	15		+					
5.	Мобільність	14				+			

Таблиця 6.3.9 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Швидкодія, за рахунок методу вимірювання;	Низька мобільність, через великі габарити системи;
Багатофункціональність, завдяки можливості підлаштувати систему під різні вимірювання	наявність прямих конкурентів, які існують досить давно на ринку;
дешевизна за рахунок використання вітчизняних компонентів;	

простота модернізації завдяки модульній структурі;	
Можливості: можливість впровадження програми через національну закупівлю; якісне покращення основних параметрів продукту; збільшення виробництва товару та товарообігу; актуальна розробка з низькою собівартістю; покращення методу	Загрози: застарілість товару; зменшення продажу; зменшення продажу; збільшення конкурентноздатних методів відтворення зразкових сигналів; важко визначити точні темпи зростання ринку

Ми бачимо, що для розвитку галузі створенні умови. І їх можна покращувати. Загрози також є, але більшість з них глобальні, на які не можемо вплинути. Технічну підтримку і несвоєчасне виконання можна забезпечити тільки за рахунок збільшення капіталу компанії.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 6.3.10 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1 місяць
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Низька	8 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	Висока	2 місяці

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

## 6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 6.4.1 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Готові	Зростає	Наявні	Легко
2	Підприємства	Готові	Зростає	Наявні	Легко
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільову групу приватні підприємства. Отже, компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.



№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Концентрований маркетинг	Швидкодія, багатофункціональність, співвідношення якості та ціни	Стратегія спеціалізації

Таблиця 6.4.2 Визначення базової стратегії розвитку

Альтернативною стратегією була обрана нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу, оскільки вона найшвидша у виконанні. В якості базової стратегії розвитку обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті. За цим же критерієм була обрана базова стратегія розвитку- стратегія спеціалізації, так як ми маємо справу з невеликою часткою ринку, які вибирають адаптивну лінію поведінки на ринку, усвідомлюють своє місце на ній і йдуть у фарватері фірм-лідерів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.4.3).

Таблиця 6.4.3 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Частково продукція є першопрохідцем на ринку	Буде шукати нових, а також забирати існуючих у конкурентів	Буде, з удосконаленням	Стратегія заняття конкурентної ніші

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головною особливістю є малий розмір ринкового

сегменту. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 6.4.4 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Точність	На основі специфічних відчутних характеристик	Похибка вимірювання – 3 дБ	Підвищення рівня безпеки об'єкту охорони
2	Безпека	Рання діагностика	Зменшення втрат	Попередити небезпеку
3	Дешевизна	на низькій ціні	Вартість 16 000 грн	Використовуйте кошти раціонально

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

## 6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 6.5.1 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.5.1 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Точність	На основі специфічних відчутних характеристик	Підвищення рівня безпеки об'єкту охорони
2	Безпека	Рання діагностика	Попередження небезпеки
3	Дешевизна	Дешевизна	Вартість 16 000 грн

Ключові переваги концепції потенційного товару мають три основних вимоги та реалізуються у запропонованій системі моніторингу. Ефективність

відтворення досягається за рахунок використання методу спектрального аналізу.

Таблиця 6.5.2 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Споживач отримує готовий продукт. Його можна експлуатувати без подальшої обробки		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Багатофункціональність	Нм	Тх
	2. Швидкодія	Нм	Тх
	3. Зрозумілий інтерфейс користувача	Нм	Тх
	4. Компактність	М	Тл
	5.Дешевизна (низька ціна на товар)	М	Е
	6. Якість	М	Тх
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакування: ключ продукту в пластиковій коробці		
Марка: SASS (System for analysis and synthesis of signals)			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: підтримка програмного продукту до 5 років		
	Після продажу: знижка на наступні придбання; при підписанні договору повне обслуговування та оновлення продукту, додаткові консультації по експлуатації.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування технології, новітні технології шифрування та захисту даних			

Маємо модель системи, метою якої є діагностика промислового обладнання. Система багатофункціональна, швидкодіюча, якісний, компактна, зрозуміла для користувача, дешевша в порівнянні з аналогами. До продажу: підтримка програмного продукту до 5 років. Після продажу: знижка на наступні придбання; при підписанні договору повне обслуговування та оновлення продукту, додаткові консультації по експлуатації.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 5.5.4).

Таблиця 6.5.3 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи	Верхня та нижня межі встановлення ціни на
-------	-----------------------	------------------------------	-------------------------------	---

	замінники		споживачів	товар/послугу
	від 18 300	від 35 00	від 100 000 до «необмежений» (різні підприємства, лабораторії тощо)	10000-15000 (оскільки надається є додаткові послуги в налаштування та консультаціях експлуатування)

Встановлюємо верхню та нижню межі ціни на товар 11000 та 16000 грн так можуть надаватись додаткові послуги при впровадженні системи.

Встановлювати ціну нижче 13000 грн не є досить вигідним рішенням, але навіть і з цією ціною затрати повністю окупаються.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення :

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 6.5.4 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Обережність до альтернативних технологій	1. Встановлення контактів із споживачами; 2. Надання послуг по демонстрації чи консультацій з приводу роботи системи; 3. Відправка товару споживачу.	Дворівневий канал. Включає в себе роздрібних та оптових торговців.	Ексклюзивний збут означає, що продукт продається в одному чи декількох місцях географічно обмеженого ринку.

Був обраний вид ексклюзивного збуту з дворівневим каналом, що включає в себе як оптові так і роздрібні продажі товару. Основні функції, які мають виконуватися це встановлення контактів із споживачами, Надання послуг по демонстрації чи консультацій з приводу роботи системи.

Таблиця 6.5.5 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Орієнтація на впровадження системи у всі доступні галузі	1. Електронна пошта. 2. Публікації. 3. Формальні та неформальні канали комунікацій.	1. Дешифрізація; 2. Швидкодія; 3. Багатофункціональність.	Інформування споживачів; Розвиток попиту; Стимул продажу Пошук вигідних партнерів.	Контент-маркетинг; Публікації

Основною задачею рекламної компанії є донесення інформації про існування даної системи, її ефективність та інші позитивні властивості. Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки

## 6.6 Склад команди

Таблиця 6.6.1 – Спеціальність та роль членів команди

Спеціальність	Роль
Інженер-Технолог	Генератор ідей
Інженер-Метролог	Спеціаліст
Менеджер	Маркетолог

Таблиця 6.6.2 – Спеціальність та завдання членів команди

Спеціальність	Завдання
Інженер-Технолог	1. Дослідження існуючих рішень вимірювання фази; 2. Створення ТЗ; 3. Контроль якості;
Інженер-Метролог	4. Розробка приладу;

Менеджер	5. Створення бізнес плану; 6. Просування товару; 7. Організація приладу;
----------	--

Розглянемо схему залучення кожного члену команди до завдань (рисунок 1):

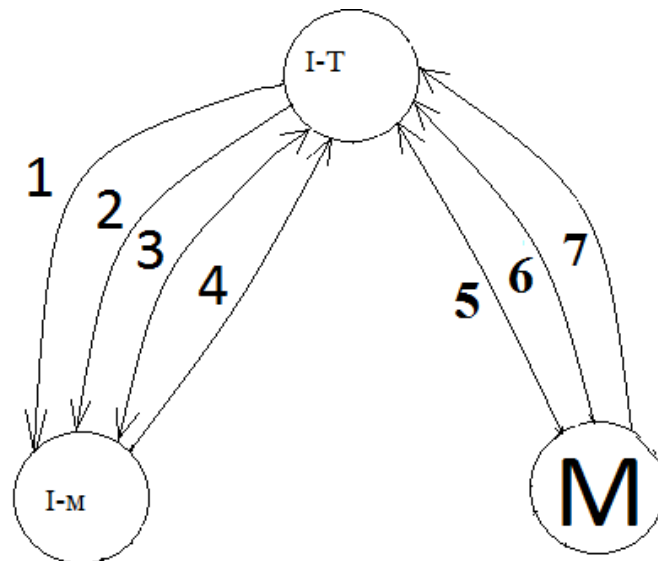


Рис6.6.1 – Схема Залучення

За схемою приведеною на рисунку 6.6.1, знайдемо кількість входів та виходів кожного члену команди:

Спеціальність	$n_{Вх}$	$n_{Вих}$	Вх, %	Вих, %	Вх/Вих
Інженер-Технолог	5	3	62.5	37.5	1,667
Інженер-Метролог	3	2	37.5	25	1,5
Менеджер	1	3	12.5	37.5	0.33
$\Sigma$	8	8	—	—	—

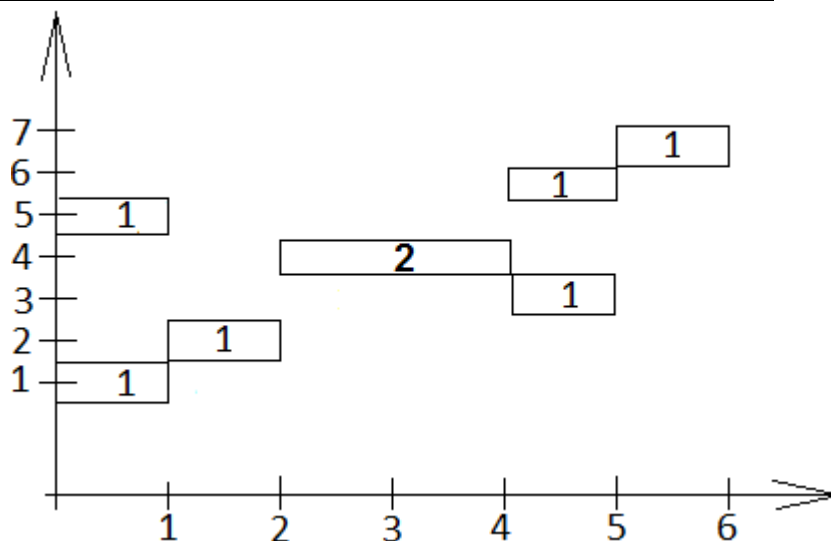


Рис 6.6.2 – Графік розподілу часу

Знайдемо загальний час залученості кожного члена команди в проект:

Таблиця 6.6.4 – Час членів команди в проекті

Спеціальність	Час, який член команди залучений, t, м	Σ	%
Інженер-Технолог	3	3	50
Інженер-Метролог	2	2	33
Менеджер	3	3	50
Термін реалізації проекту	6		

Розрахуємо вклад кожного члена команди в проект:

Таблиця 6.6.5 – Важливість членів команди

Спеціальність	–	Вклад члена команди в проект, %
Інженер-Технолог	0,5/1,667	30
Інженер-Метролог	0,33/1,5	22
Менеджер	0,5/0,33	151

Оцінимо важливість кожного фактора для нашої компанії за шкалою від 0 до 10:

Таблиця 6.6.6 – Важливість факторів

Фактор	Вага(Важливість)
Ідея	5
Підготовка бізнес плану	10
Компетентність	10
Залученість і ризику	5
Обов'язки	5

Оцінимо внесок кожного співробітника в загальну справу за вказаними вище параметрами. :

Таблиця 6.6.7 – Оцінка особистого внеску

Фактор	Вага	Генератор ідей	Спеціаліст	Маркетолог	Σ
Ідея	5	10	5	0	
Підготовка бізнес плану	10	5	0	10	
Компетентність	10	10	6	10	
Залученість і	5	10	3	9	

ризик					
Обов'язки	5	10	10	10	
Разом		300	150	295	745
Відсоток		40.3%	20.1%	39.6%	100%

## 6.7 Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що розробка даного проекту цілком обумовлена потребою в ньому, адже по всім техніко-економічним характеристикам він або рівний з аналогічними програмами, або ж навіть краще за них. Вартість даної системи є більш привабливою за аналогічні системи. На відміну від аналогів система є багатофункціональністю, має простий та зрозумілий інтерфейс, швидкодія, має компактні розміри. Проект має високий відсоток окупності 60%. Крім того є багато можливостей в його подальшому розвитку, таких як розширення функцій, сертифікація товару за міжнародними стандартами, що збільшить його привабливість для національних тендерів, підвищення попиту, підвищення ціни, покращення товару, залучення іноземних інвестицій, патентування нових ідей та методів.

Альтернативною стратегією була обрана нейтралізація ринкових загроз сильними сторонами стартапу, оскільки вона найшвидша у виконанні. В якості базової стратегії розвитку обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті. За цим же критерієм була обрана базова стратегія розвитку - стратегія спеціалізації, так як ми маємо справу з невеликою часткою ринку, які вибирають адаптивну лінію поведінки на ринку, усвідомлюють своє місце на ній і йдуть у фарватері фірм-лідерів.

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головною особливістю є малий розмір ринкового



сегменту. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація.

Був обраний вид збуту з першого і другого рівня, що включає в себе як посилкову торгівлю, так і оптові й роздрібні продажі товару.

Підсумуючи, можна сказати, що система моніторингу акустичних характеристик є рентабельним та вигідним для інвестицій.

## **Висновки**

В ході виконання магістерської дисертації на тему «Система моніторингу акустичних параметрів» була розроблена технічна документація на систему в складі пояснювальної записки і графічного матеріалу (структурна, функціональна, принципова схеми).

Проведений структурний, функціональний та принциповий розрахунки, підтверджуючі правильність і працездатність обраного технічного рішення – побудови системи по модульному принципу, що дозволяє використовувати її для вимірювання інших фізичних величин;

В системі реалізована можливість використання її в якості аналізатора-реєстратора акустичних процесів;

Розроблено конкретне програмне забезпечення для обраного типу мікропроцесору 80C31, а в загальному алгоритмі функціонування системи передбачена можливість корекції похибок результатів вимірювань.

По результатам проведених розрахунків був проведений повний аналіз похибок по кожному із модулів системи, а отримані розрахункові значення похибок не перевищують відповідних граничних значень, вказаних в завданні.

Узгоджуючись з проведеним аналізом похибок, був розроблений розділ метрологічного забезпечення системи.

Виконання графічного матеріалу було проведено з використання сучасних САПР і в відповідності з вимогами до оформлення технічної документації ЕСКД.

## **Додаток В**

### **Список використаної літератури:**

1. Херст, Г. Э., 1951. «Долгосрочная вместимость водохранилищ». Труды Американского общества гражданских инженеров, 116, 770-808.
2. Anis, A.A., Lloyd, E.H. (1976) The expected value of the adjusted re-scaled Hurst range of independent normal summands. Peters, E.E. (1994) Fractal Market Analysis. Wiley, New York. ISBN 0-471-58524-6.
3. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций / А. Н. Серьезнов, Л.Н.Степанова, В. Муравьев, - Радио и связь, 2000. - 280 страниц.
4. Прус Ю.В., Белозёров В.В., Ветров А.В. Автоматизация инженерно-технической диагностики высотных зданий на основе комплексирования методов и средств неразрушающего контроля // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности", 2008, № 5. 5 с.  
<http://ipb.mos.ru/ttb/2008-5>.
5. Peters, E.E. (1994) Fractal Market Analysis. Wiley, New York. ISBN 0-471-58524-6.
6. Коргина, М.А. Оценка напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в ходе мониторинга их технического состояния. Текст.: дис. . канд. техн. наук: 05.23.01 / Мария Андреевна Коргина. М., 2008. - 225 с.
7. В.П. Дьяконов. Matlab 6.5

*Додаток С*

*Лістинг програми управління комутатором і програмованим підсилювачем*

```
M1: MOV A,41H
RL A
RL A
RL A
ADD A,40H
MOV DPTR,#1000H
MOVX @DPTR,A
RET
```

*Лістинг програми запуску і опитування АЦП*

```
M2: MOV A,#01H
MOV DPTR,#1001H
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#1080H
M3: MOVX A,@DPTR
ANL A,#01H
CJNE A,#01H,M3
MOV A,#00H
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#1081H
MOVX A,@DPTR
MOV 42H,A
INC DPTR
MOVX A,@DPTR
MOV 43H,A
RET
```

*Лістинг підпрограми перепису коефіцієнтів фільтру із ПЗП у внутрішнє ОЗП*

```
M4: MOV R0,#10H
MOV DPTR,#0810H
M5: MOV A,R0
MOVC A,@A+DPTR
MOV @R0,A
INC R0
CJNE R0,#20,M5
RET
```

*Лістинг підпрограми перепису*

*результатів вимірювання із зовнішнього у внутрішнє ОЗП*

```
M6: MOV R0,#20H
MOV DPTR,#0000H
M7: MOVX A,@DPTR
MOV @R0,A
INC DPTR
INC R0
MOVX A,@DPTR
MOV @R0,A
INC DPTR
INC R0
CJNE R0,#40,M7
RET
```

*Лістинг підпрограми накопичення 16 добутків*

```
M8: MOV R0,#10H
MOV R1,#20H
CLR A
MOV 64H,A
MOV 65H,A
```

```
MOV 66H,A
M9: MOV A,@R0
MOV B,@R1
MUL AB
MOV 60H,A
MOV 61H,B
INC R1
MOV A,@R0
MOV B,@R1
MUL AB
MOV 62H,A
MOV 63H,B
MOV A,60H
ADD A,64H
MOV 64H,A
MOV A,61H
ADDC A,65H
MOV 65H,A
JNC, M10
INC 66H
M10: MOV A,62H
ADD A,65H
MOV 65H,A
MOV A,63H
ADDC A,66H
MOV 66H,A
INC R0
INC R1
CJNE R0,#20H,M9
RET
```

*Лістинг програми ділення суми накопичених добутків*

```
M11: MOV A,65H
SWAP A
ANL A,#0F
MOV 67H,A
MOV A,66H
SWAP A
ANL A,#F0
ADD A,67H
MOV 67H,A
MOV A,66H
SWAP A
ANL A,#0F
MOV 68H,A
RET
```