

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр БОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою моніторингу вмісту залізу в руді»

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛТп-19
(шифр групи)

спеціальності _____ 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Бова Ярослав Олександрович
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник _____ зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф. _____ Олександр БОВНА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент _____ зав. каф. ПМІ, д.т.н., проф. _____ Ольга ДМИТРИЄВА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.*

_____ Олександр БОВНА
(підпис)

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
_____бакалавра_____

Тема: «Розробка електронного пристрою моніторингу вмісту залізу в руді»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТп – 19

Ярослав БОВА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Олександр ШТЕПА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« _____ » 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Бова Ярослав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою моніторингу вмісту залізу в руді

керівник проекту (роботи) Вовна Олександр Володимирович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2022 року № 180

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
3.1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
3.2	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз методів і технічних засобів вимірювального контролю вмісту залізу в руді		
2	Розробка математичної моделі вимірювального зонда з різним розташуванням генератора та приймача		
3	Розробка електронного пристрою резонансного індукційного контролю вмісту заліза в руді		
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві		

Студент

(підпис)

Ярослав БОВА

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Олександр ВОВНА

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Бова, Я.О. Розробка електронного пристрою моніторингу вмісту залізу в руді / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 57 стор., 8 рис., 17 посилань.

Для здійснення кількісного вимірювального контролю наявності феромагнітних компонентів запропоновано застосовувати індукційний метод. Розроблено структурну схему пристрою вимірювального контролю кількості заліза в руді. Під час розробки пристрою запропоновано схему компенсації похибки результату вимірювання від зміни зазору між зондом і поверхнею руди. Використання ультразвукового сенсору дозволить розширити діапазон розташування зонда над поверхнею руди, що досліджується, в діапазоні від 2 до 100 см, що на порядок більше діапазону вимірювання в існуючих пристроях.

Під час розробки електронного пристрою вимірювання вмісту залізу в руді необхідно вимірювальну та генераторну індуктивні котушки в зонді розташовувати паралельно між собою, а поверхню досліджуваної руди перпендикулярно щодо цих котушок. Реалізація такої конструкції зонда дозволить в 1,5 рази збільшити чутливість електронного пристрою контролю кількості заліза в руді. Використання осердя в котушці генератора є недоцільним тому, що значення напруженості поля залежить тільки від кількості витків та величини струму намагнічування. Під час дії постійного амплітудного значення напруги генератора величина струму намагнічування зменшується під час підвищення величини індуктивного опору обмотки. Розроблено алгоритм роботи електронного пристрою вимірювального контролю кількості заліза в руді з обліком зміни геометричних параметрів зазору між вимірювальним зондом та поверхнею досліджуваної руди. У алгоритмі здійснюється інтегральна оцінка кількості заліза в руді.

Ключові слова: залізо, магнітні властивості, руда, вимірювання, індукція, котушка, резонанс, контур, мікроконтролер, відстань, ультразвуковий сенсор.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВМІСТУ ЗАЛІЗУ В РУДІ.....	9
1.1 Аналіз компонентного складу залізних руд.....	10
1.2 Аналіз методів вимірювального контролю вмісту заліза в руді.....	11
1.3 Аналіз принципу дії індукційного методу визначення вмісту заліза в руді.....	13
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗОНДА З РІЗНИМ РОЗТАШУВАННЯМ ГЕНЕРАТОРА ТА ПРИЙМАЧА.....	19
3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ РЕЗОНАНСНОГО ІНДУКЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВМІСТУ ЗАЛІЗА В РУДІ.....	28
3.1 Розробка структури електронного пристрою визначення вмісту заліза в руді.....	28
3.2 Розробка алгоритму функціонування електронного пристрою визначення вмісту залізу в руді.....	36
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	51

ВСТУП

Однією з базових умов розвитку сучасної економіки України є покращення показників якості продукції, що випускається промисловістю. Підвищення ефективності виплавки чавуну можна досягти завдяки застосуванню руди, яка має високий вміст заліза, ще дозволить забезпечити підвищення показників якості готової продукції. Визначати та контролювати показники якості руди, а також продуктів, що отримують під час її збагачення, можна тільки за точними результатами промислових досліджень, а також оцінки компонентного складу руди.

Актуальність досліджень випускної кваліфікаційної роботи бакалавра обумовлено недостатньою кількістю досліджень в сфері безперервного вимірювального контролю параметрів збагачення залізної руди. Технологи на гірничо-видобувних підприємств зазвичай шляхом проб і помилок використовують доволі невелику за точністю методику картування, а також прогнозування та випробування здійснюється з невисокими показниками точності якості залізної руди. Основною задачею під час здійснення випробування з високими показниками якості вимірювального контролю параметрів руди є кореляція між різними параметрів, а саме геометричні розміри проб руди, мінералогічний склад і щільність.

Також немає достовірних результатів просторового та статичного розподілення залізної руди з обліком природних властивостей, які істотно впливають на показники під час збагачення руди. Без обліку зазначеного зв'язку, а також характеристик розподілення неможливе отримати кількісні значення показників під час дослідження руди, що не дозволяє підвищити точність планування для отримання характеристик і параметрів збагаченої руди. Отримано невелику кількість статистичних даних для обґрунтування величини максимально допустимої похибки вимірювального контролю показників точності вимірювальних пристроїв і систем.

Методи кількісного визначення вмісту залізного компонента руди базуються на її магнітних властивостях. Для здійснення неруйнівного вимірювального контролю якості залізних руд застосовується способи вимірювання величини взаємної магнітної індукції, яка має місце між двома котушками індуктивності. Зазначені котушки індуктивності розміщують на деякій відстані між собою у вимірювальному зонді. Величину чутливості цих індукційних електронних пристроїв обумовлено низькою величиною корисного інформаційного сигналу, що формується на вимірювальній котушці. Амплітудне значення цього сигналу зменшується в тисячу разів, якщо виконувати порівняння з величиною амплітуди напруги, що має місце на котушці генератора, якщо котушки рознесено на велику відстань між собою. Для ідентифікації інформаційної складової сигналу здійснюють розкладання його до квадратурних складових, а також виконують синхронне детектування. Реалізація зазначених способів істотно ускладнює апаратну компоненту вимірювального пристрою, проте не призводить до збільшення величини чутливості до зміни параметрів вимірювального контролю, що має місце під час зміни зазору між досліджуваною поверхнею та вимірювальним чутливим перетворювачем зонда.

Використання резонансного режиму роботи вимірювальної котушки індуктивності, яка безпосередньо підключається до контуру резонансу, дозволяє збільшити амплітудне значення інформаційного сигналу. Цей спосіб резонансного вимірювального контролю базується на принципі взаємодії залізної руди з електричним полем. Отже, необхідно провести дослідження для визначення величини впливу ефекту резонансу на величину точності вимірювання, чутливості, а також оцінити динамічний діапазон вимірювальних індукційних пристроїв.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВМІСТУ ЗАЛІЗУ В РУДІ

Одними з базових показників якості залізної руди є якісний та кількісний склад рудного матеріалу, а також часова стабільність зазначеного складу. Основні вимоги кінцевих споживачів щодо якості сировини залізної руди зводяться до забезпечення визначення таких показників:

- значення вмісту базових компонентів, середня величина цих компонентів у залізній руді за визначений проміжок часу повинна відповідати узгодженому або регламентованому рівню;

- мінімальні допуски щодо відхилень вмісту компонентів у залізній руді від середньої величини за аналізований проміжок часу між окремими пробами та партіями залізної руди;

- максимальна величина однорідного складу залізної руди у кожній з партії або за проміжок часу.

Забезпечення виконання зазначених вимог забезпечується завдяки виконанню технічного завдання, яке базується на певній якісній та кількісній залежності між обсягами та якістю залізної в аналізованих партія.

Для визначення технологічних властивостей залізних руд з подальшою їх підготовкою до збагачення визначаються масова кількість корисного компоненту. Основним компонентом залізної руди є магнетит. До особливості магнетиту, на якому базується принцип збагачення, а також способи вимірювального контролю цього компонента, є виражені магнітні властивості. Виділення заліза, що входить до складу руди, здійснюється зі застосуванням електричних магнітів, які розташовуються над поверхнею руди, яка переноситься за допомогою транспортера.

Визначення кількості заліза в руді використовується для вимірювального контролю показників якості технологічних процесів, що мають місце на збагачувальній фабриці.

1.1 Аналіз компонентного складу залізних руд

Залізо є однією з розповсюдженою корисною копалиною на планеті. Воно входить до більшості природних утворень. Зазвичай розповсюджена велика кількість заліза як окисли, сульфідів та солі кисневих кислот. Під залізною рудою розуміють гірничу породу, яку за кількістю заліза та її формою можна застосовуватися для вилучення металу в промислових умовах.

Найбільшу цінність щодо промислового застосування є руди, до складу яких входять мінерали та окисли заліза: магнетит ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), що має в своєму складі 72,36% заліза, а також гематит (Fe_2O_3), який складається з 69,96% заліза [1].

До другої доволі великої групи залізних руд входять бурі залізняки ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), до складу цих з'єднань входить залізо, що знаходиться як гідратований оксид. Залежно від кількісного вмісту води мають місце окремі типи мінералів: гетит, гідрогематит, лімоніт [1].

До третьої групи залізних руд входять так звані карбонатні руди, які мають в своєму складі 48,30 % заліза, що мають мінерали типу сидерит (FeCO_3) [1].

Серед мінералів, що мають в своєму складі достатньо велику кількість заліза, виділяють шамуазіт ($3\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) та фаяліт ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), у яких вміст заліза може змінюватися в діапазоні від 19 до 39 % [1].

До складу залізної руди може входити велика кількість різних типів домішок. Деяка кількість цих домішок під час доменної плавки перетворюється у чавун, що істотно погіршує якість готового металу. До цих домішок, що мають шкідливий вплив можна віднести фосфор, сірка, цинк, а також миш'як.

Сірка зазвичай представлена як пірит, проте може бути сульфідом. Під час наявності невеликої кількості сірка чавун має крихкі властивості.

У залізній руді фосфор може знаходитись як апатит, проте може бути як складним фосфатом, а також як вівіаніт. Кількісний вміст фосфору визначає різні способи виплавки сталі, тому під час визначення його вмісту необхідно

доволі високу точність результатів вимірювання. Вміст фосфору в залізній руді становить не більше сотої частки від відсотка [1].

Миш'як має місце в залізній руді як лелінгіт та арсенопірит, а також як солі миш'якової кислоти. Миш'як знаходиться в руді, що має осадове походження у бурих залізнях. Цей компонент є шкідливою домішкою навіть у кількості сотої частки від відсотка, це невелике значення надає крихкості чавуну [2].

Цинк у руді має вигляд сфалериту. Якщо кількісна частка цинку складає приблизно 0,1 %, то він має доволі шкідливий впливу [1].

Компоненти заліза, які підвищують якісні показники сталі або чавуну, та одержуються під час виплавляння на стадії збагачення у вигляді самостійних компонентів, до них відносять ванадій, марганець, титан, хром, нікель кобальт та мідь.

Кількісний вміст заліза та його з'єднань у магнетитових рудах може змінюватися в діапазоні від 19 до 72 %. Вимірювальний контроль кількісного та якісного складу залізної руди необхідно здійснювати для вдосконалення технологічних процесів виділення цінних мінералів. Відомий кількісний склад залізної руди дозволяє здійснювати вибір типів руди, яка є придатною для промислового застосування.

До руд, що добуваються промислових шляхом, можна віднести магнетитові руди, кількісний склад заліза в цих рудах може сягати 50 %. Якщо кількість заліза в магнетитовій руді становить не більше 25 %, то руда вважається бідною щодо вмісту в ній заліза.

1.2 Аналіз методів вимірювального контролю вмісту заліза в руді

Кількісний аналіз необхідний для визначення масової частки кожного з компонентів, що входять до складу залізної руди. Спочатку виконується якісний аналіз, під час якого ідентифікуються типи компонентів у вигляді

елементів і мінералів, які мають місце в аналізованій речовині. Кількісний аналіз розділяють на три типи: загальний, частковий та повний. Під час дії повного аналізу ідентифікується кількісний склад усіх компонентів, які мають місце в аналізованій руді. Для здійснення повного аналізу необхідно великі втрати робочого часу, він є доволі трудомістким.

Під час здійснення часткового аналізу ідентифікується вміст тільки потрібних компонентів проби руди. У результаті загального аналізу визначається вмісту кожного компоненту аналізованої проби руди, незважаючи на те, до складу яких з'єднань входять ці ідентифіковані компоненти.

Методи кількісного аналізу розділяються на три доволі великі групи: хімічні, фізичні та фізико-хімічні.

Хімічні методи аналізу базуються на застосуванні різних типів хімічних реакцій: осаджуваних, обмінних, окислювально-відновлювальних, а також реакцій утворення комплексів. До хімічних методів аналізу можна віднести об'ємний (титриметричний) та гравіметричний.

Гравіметричний має ще назву ваговий метод базується на вимірюванні з високими показниками точності маси компонентів руди, склад якої є відомим, зі застосуванням цього методу здійснюється виділення компоненту як простої речовини або сполуки.

Гравіметричний аналіз базується на законі збереження маси речовини під час дії хімічних перетворень. Цей метод має найвищі показники точності серед інших хімічних методів аналізу. Відносне значення похибки вимірювання цим методом складає не більше 0,1 %, проте цей аналіз є трудомісткий та має двоволі великий проміжок часу на виконання [2 – 4].

Об'ємний або титриметричний метод базується на введенні до аналізованої речовини компонента, обсяг і концентрацію якого точно визначено, що має назву титрант. Титрант необхідно вводити до того моменту, поки речовина, що аналізується повністю не вступить до реакції. Зазначена кінцева точка має назву точкою титрування, її значення визначають зі застосуванням спеціалізованих хімічних індикаторів або інструментальних

методів аналізу [2 – 4]. Серед хімічних методів об'ємний аналіз має найбільшу розповсюдженість.

У теперішній час хімічні методи аналізу є базовими, які застосовуються в лабораторних умовах. Проте хімічні методи у переважній більшості випадків не можуть відповідати таким показникам, як оперативність, високе значення чутливості, селективність та автоматизація проведення вимірювального контролю. Також, зі застосуванням хімічних методів, які мають доволі велику трудомісткість, можна виконувати тільки вибірковий вимірювальний контроль якості руди, що досліджується. Зазначені недоліки відсутні в фізичних методах аналізу, серед яких широкого розповсюдження отримав індукційний метод.

1.3 Аналіз принципу дії індукційного методу визначення вмісту заліза в руді

Індукційний метод базується на пропорційної залежності намагніченості насичення матеріалу, що досліджується, від масового вмісту компонентів, що мають магнітні властивості. Розроблені електронні пристрої, які застосовуються під час аналізу, базуються на таких принципах: магнітовагові пристрої, за допомогою яких визначається величина сили втягування зразка, що досліджується, до неоднорідного магнітного поля, а також індукційні пристрої, зі застосуванням яких визначається величина намагніченості насичення речовини, що досліджується, під час намагнічування або постійним, або змінним імпульсним електромагнітним полем [5 – 6].

Вміст заліза в руді визначається магнетитом. Одним з матеріалів для визначення вмісту заліза в руді зі застосуванням індукційного методом дрібна проба цієї руди, яку отримано зі свердловин, що пробурені [7]. Для цього застосовують ферометричні електронні пристрої, схему якого наведено на рис. 1.1, де позначено: 1 – котушки генератора; 2 – вимірювальні котушки; 3 – вимірювальна ємність, дяку заповнено дрібною рудою.

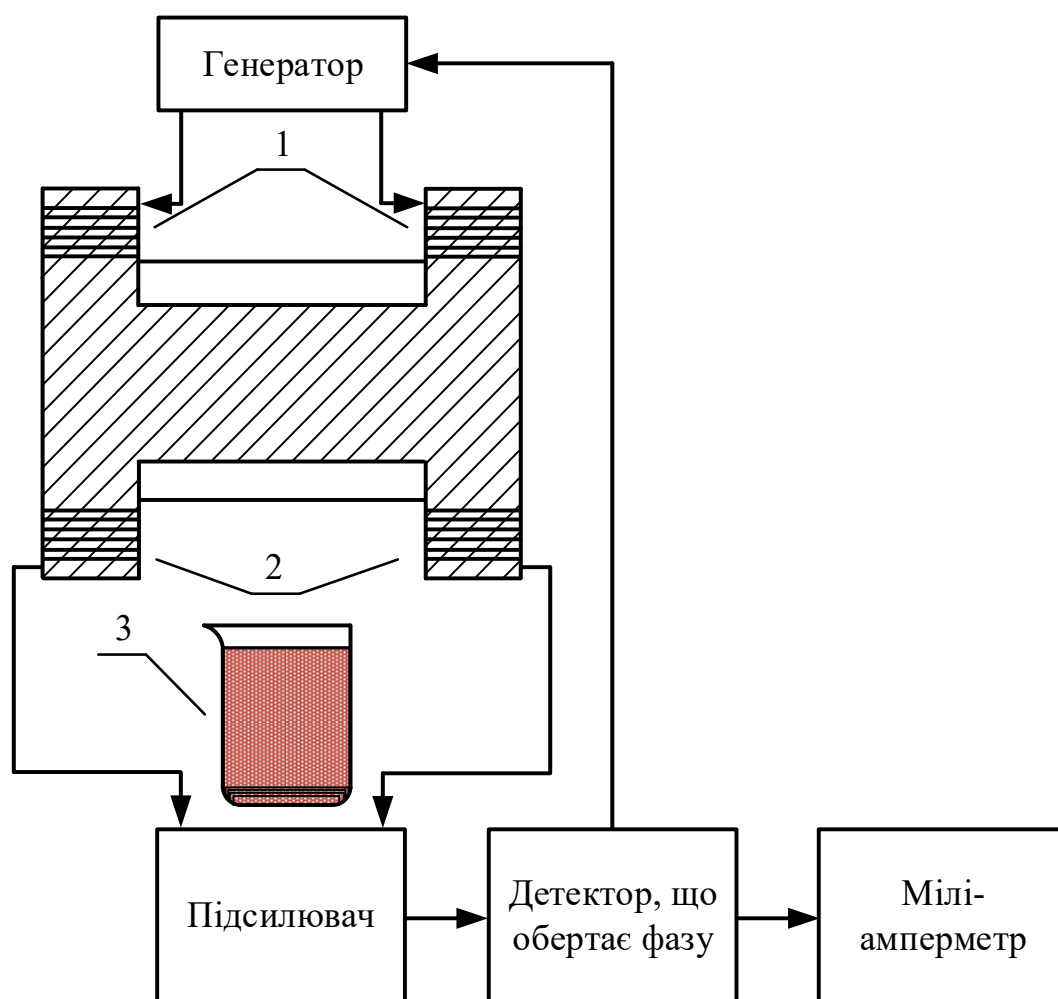


Рисунок 1.1 – Структурна схема ферометричного електронного вимірювального пристрою

У цьому пристрої застосовано Н-подібне осердя, на яке намотано генераторні та вимірювальні індуктивні котушки. Вихідний сигнал генератора, частота якого складає 200 Гц, передається до індукційних котушок. Балансування електромагнітного поля, що утворюється в сенсорі без руди, здійснюється другою парою індуктивних котушок, які розміщено знизу Н-подібного осердя. Без зразка, що досліджується, руди вихідні сигнали генератора та підсилювача, передаються до детектора, що обертає фазу. Величини цих сигналів складаються та без зразка на міліамперметрі виводиться нульове значення струму.

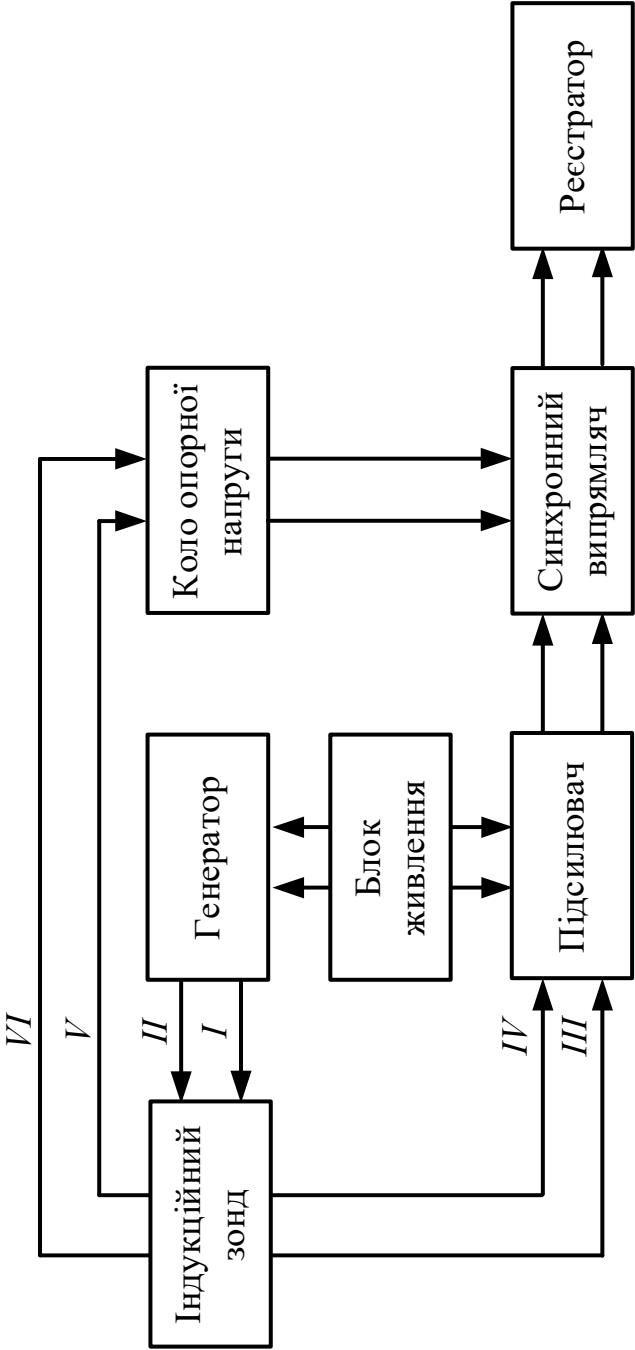
Вимірювальна ємність, у якій знаходиться подрібнений зразок руди, розташовується в сенсорі електронного пристрою. Якщо внесеться до

електромагнітного поля сенсора проба залізної руди баланс змінюється. Від сенсора до електронного підсилювача подається сигнал, значення якого є пропорційною від кількості магнітного матеріалу, що визначається як відхилення від нульового значення. Калібрування електронного вимірювального пристрою здійснюється зі застосуванням еталонних проб у вигляді порошку. Вміст заліза у цих еталонних пробах заздалегідь вимірюється прецизійними хімічними методами. Після розташування проби залізної руди в сенсорів виконується відлік на дисплеї, а зі застосуванням спеціалізованих графіком визначається кількість заліза в пробі. Для визначення істинного значення вмісту заліза потрібно виконувати облік поправок на щільність та вологість. Значення цих поправок зазвичай розміщено на цих графіках.

Під час експериментальних досліджень реалізації цього методу виявлено доволі високий рівень збіжності результатів вимірювань зі значеннями, що отримано під час хімічного аналізу проб руди. Відносне значення похибки для руди з вмістом заліза в діапазоні від 5 до 30 % складало не більше 1 % [7].

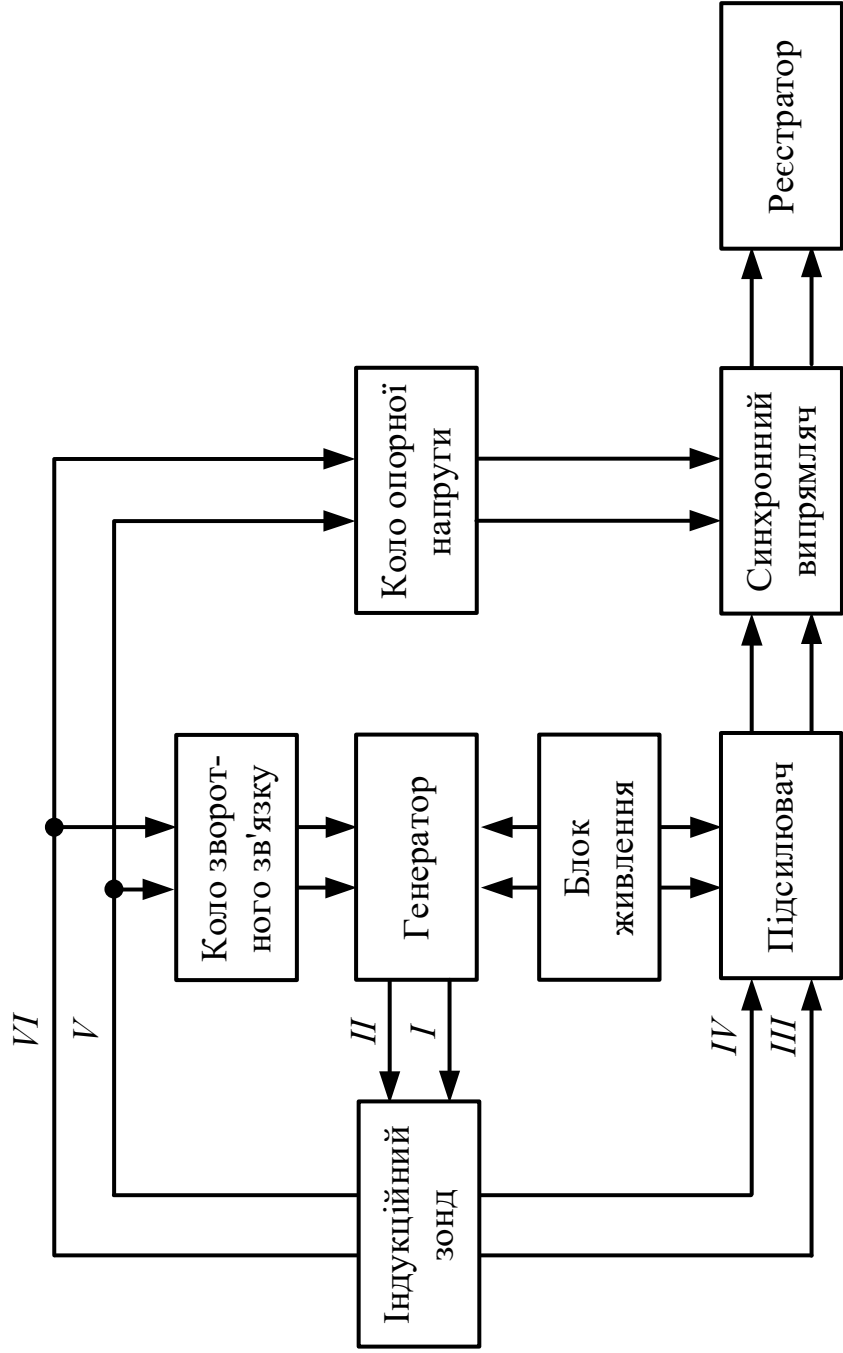
На кар'єрах України, де здійснюється видобуток залізної руди, у теперішній час використовуються ферометри, що призначено для магнітного каротажу свердловин. Після отримання свердловини до неї спускають ферометр, який виконує автоматичне фіксування вмісту заліза за глибиною свердловини. Застосування цих електронних пристроїв дозволяє істотно зменшити проміжок час аналізу бурового шламу, завдяки застосуванню індукційних вимірювальних пристроїв [7].

Структурну схему електронних індуктивних пристроїв вимірювання величини магнітної сприйнятливості наведено на рис 1.2, а. Для перетворення зміни величини магнітної сприйнятливості середовища, що досліджується, в електричний сигнал застосовується індукційний зонд. Живлення котушки генератора здійснюється низькочастотним струмом, блок живлення якого підключається зі застосуванням дротів I та II. У схемах цих пристроїв вихідні сигнали вимірювального зонда за дротами III та IV передаються до підсилювача, а потім на синхронний випрямляч і реєстратор.



а) без негативного зворотного зв'язку

Рисунок 1.2, а – Структурна схема вимірювального індукційного пристрою визначення магнітної сприйнятливості



б) з негативним зворотнім зв'язком

Рисунок 1.2, б – Структурна схема вимірювального індукційного пристрою визначення магнітної сприйнятливості

До іншого виходу вимірювального зонда зі застосуванням дротів V та VI підключена опорна напруга. Е.р.с первинного поля, а також магнітного моменту від котушки генератора, забезпечує живлення синхронного випрямляча. Застосування цього підходу дозволяє узгодити за фазами сигнали опорної напруги під час впливу зовнішнього середовища на вимірювальний зонд та вихідної напруги, що підвищує точність результатів вимірювання. До складу вимірювальної схеми входить блок живлення.

Для забезпечення стабілізації величини магнітного моменту вихідної напруги на котушці генератора значення шпаруватості кола генератора вибирають так, щоб одержати мінімальне відношення зміни магнітного моменту, що обумовлено його опором. Цей спосіб можна ефективно застосовувати, якщо має місце сильномагнітне середовище. Якщо руда має доволі добрі провідні властивості, то точність стабілізації істотно зменшується. Вплив зазначеного явища мінімізовано у способі стабілізації магнітного моменту вихідної напруги на котушці генератора, схему реалізації якого наведено на рис. 1.2, б. У цій схемі використовується коло негативного зворотного зв'язку, що забезпечує стабілізації величини напруги, яка подається з іншого виходу вимірювального зонда до входу генератора. Під час реалізації цієї схеми здійснюється стабілізація величини падіння напруга між дротами V та VI, значення якої є пропорційною від зміни магнітному моменту, тому виконується стабілізація амплітудного значення магнітного моменту.

Доволі високі метрологічні характеристики зі застосуванням індукційного методу можна досягти під час здійснення калібрування пристрою. Калібрування повинно виконуватися з обліком усіх факторів, зміни яких впливають на результати вимірювання, а також під час стабілізації роботи пристроїв за еталонами та перевіркою робочих засобів вимірювання.

До переваг розглянутого методу можна віднести оперативність отримання вимірювальної інформації щодо вмісту заліза та низьку вартість. До недоліків відносять відносно низьку точність результату вимірювання порівняно з хімічними методами аналізу.

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗОНДА З РІЗНИМ РОЗТАШУВАННЯМ ГЕНЕРАТОРА ТА ПРИЙМАЧА

Для підвищення величини вимірюваної е.р.с. у середовищах з сильними магнітними властивостями необхідно застосовувати зонди, які мають пік екстремуму на характеристиці перетворення. У цих зондах котушки індуктивності підключено паралельно між собою та їх розташовують ортогональні щодо поверхні досліджуваної руди. Облік нелінійної залежності, яка має місце під час зміни зазору між поверхнею досліджуваної руди та зондом, здійснюють під час градування електронного вимірювального пристрою зі застосуванням поправочних коефіцієнтів.

Під час проведення досліджень щодо підвищення чутливості вимірювального зонда, який має різне розташування приймальної та генераторної котушок застосовують котушки індуктивності, що мають квадратну площу поперечного перетину обмоток, які можна легко намотувати під час виробництва.

Величина впливу електромагнітного поля від котушки генератора на приймальну визначається з обліком величини взаємної індуктивності, а також геометрії приймальної щодо генераторної котушок.

У котушці індуктивності з квадратною площею перетину обмоток має місце максимальне значення L , а під час виконання умови, що відношення середнього значення діаметра обмотки d до її довжини, складає $d \approx 3 \cdot a$. Під час співвісного розташування у вимірювальному зонді приймальної та генераторної котушок, що мають однаковий діаметр та однакову кількість витків обмоток w , що розташовано на відстані один від іншої (див. рис. 2.1, а), то величину взаємної індуктивності можна розрахувати за формулою [8]:

$$M = k \cdot L = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot 8,497 \cdot w^2 \cdot k \cdot d,$$

де k – коефіцієнт магнітного зв'язку генераторної та приймальної котушок індуктивності, величина якого залежить від відношення відстані між ними, а також геометричних розмірів $\frac{y}{a} = \frac{3 \cdot y}{d}$;

μ_0 – магнітна постійна;

L – індуктивність котушки;

d – середнє значення діаметра котушки.

Величина взаємної індуктивності котушок, що віддалені між собою на значну відстань ($y > 2 \cdot a$), визначається зі застосуванням способу еквівалентних кругових контурів [8]. У відповідності з цим способом, для кожної з котушок величину індуктивності замінюють на одиночний контур, у якого значення еквівалентного діаметру буде дорівнювати:

$$d_1 = d \cdot \left(1 + \frac{a^2}{6 \cdot d^2}\right) = d \cdot \left(1 + \frac{1}{54}\right) = 1,01852 \cdot d.$$

Величину взаємної індуктивності M_1 для двох контурів, що розміщено на одній осі на відстані $x = y + a$ між собою, можна визначити за формулою [8]:

$$M_1 = w^2 \cdot M_1.$$

Величину взаємної індуктивності M_1 еквівалентних контурів, які розміщено далеко між собою, можна визначити зі застосування більш складного співвідношення:

$$M_1 = \frac{\mu_0 \cdot \pi \cdot R}{16} \cdot \gamma^3 \cdot \left(1 - \frac{3}{4} \cdot \gamma^2 + \frac{75}{128} \cdot \gamma^4 - \frac{245}{512} \cdot \gamma^6 + \frac{6615}{16384} \cdot \gamma^8 - \dots\right),$$

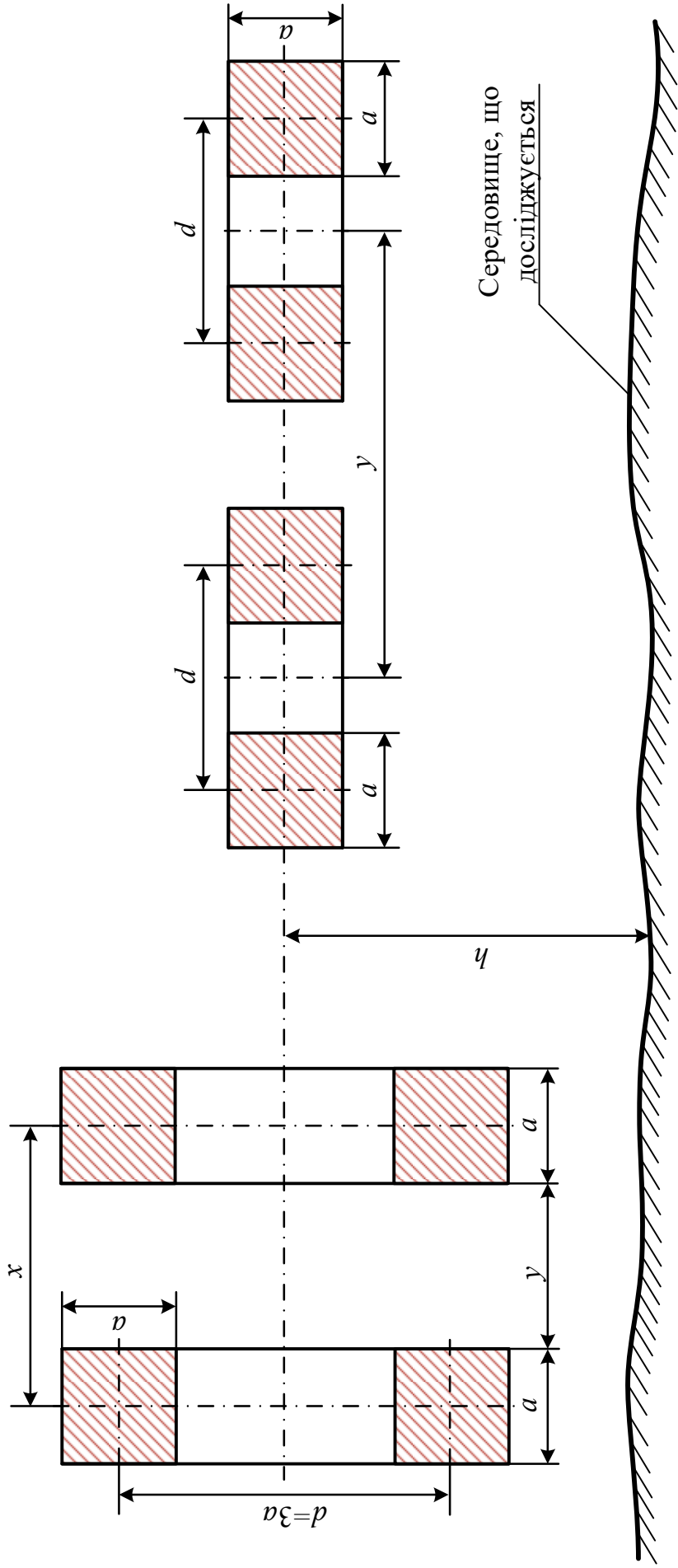


Рисунок 2.1 – Розташування котушок індуктивності, що має квадратний перетин: a – на одній осі; b – паралельно

де $\gamma = \frac{2 \cdot R}{x}$ – параметр еквівалентного контуру;

$R = \frac{d_1}{2}$ – радіус еквівалентного контуру.

Величину взаємної індуктивності котушок, що мають прямокутну площу перетину обмоток з паралельними осями, можна розрахувати за таким співвідношенням:

$$M_2 = \frac{\pi}{32} \cdot \mu_0 \cdot w^2 \cdot \frac{d^4}{a^4} \cdot \left(\frac{Z_1}{b_1} - \frac{Z_2}{y} \right),$$

де d та a – середній діаметр і довжина котушок, м;

y – відстань між осями котушок індуктивності, м;

$$b_1 = \sqrt{a^2 + y^2};$$

$$Z_1 = \rho_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \alpha_1^2 \cdot \rho_2 \cdot \rho_4 \cdot P_2(\gamma_1) + \frac{1}{8} \cdot \alpha_1^4 \cdot (2 \cdot \rho_6 \cdot \rho_2 + 3 \cdot \rho_4^2) \cdot P_2(\gamma_1) - \\ - \frac{5}{32} \cdot \alpha_1^6 \cdot (\rho_8 \cdot \rho_2 + 6 \cdot \rho_6 \cdot \rho_4) \cdot P_6(\gamma_1) + \dots,$$

$$\rho_n = 1 + \frac{n \cdot (n-1)}{3!} \cdot \rho^2 + \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3)}{5!} \cdot \rho^4 + \dots$$

де

$$+ \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot 2 \cdot 1}{(n+1)!} \cdot \rho^n;$$

$$\alpha_1 = \frac{d}{2 \cdot b_1};$$

n – ціле число;

$$P_n(\gamma) = \frac{1}{2^n (n)!} \frac{d^n}{d\gamma^n} (\gamma^2 - 1)^n - \text{функція Лежандру, що має } n \text{ порядок};$$

$\gamma_1 = \frac{a}{b_1}$; параметр Z_2 аналогічний Z_1 під час заміни γ_1 на $\gamma_2 = 0$, а під час

зміни α_1 на отримано:

$$\alpha_2 = \frac{d}{2 \cdot b_2} = \frac{d}{2 \cdot y}.$$

Під час виконання досліджень зі застосуванням пакету прикладних програм MathCad розраховано значення взаємної індуктивності для двох котушок, у яких однакова кількість витків:

$$w_1 = 1000; \quad w_2 = 2000; \quad w_3 = 3000$$

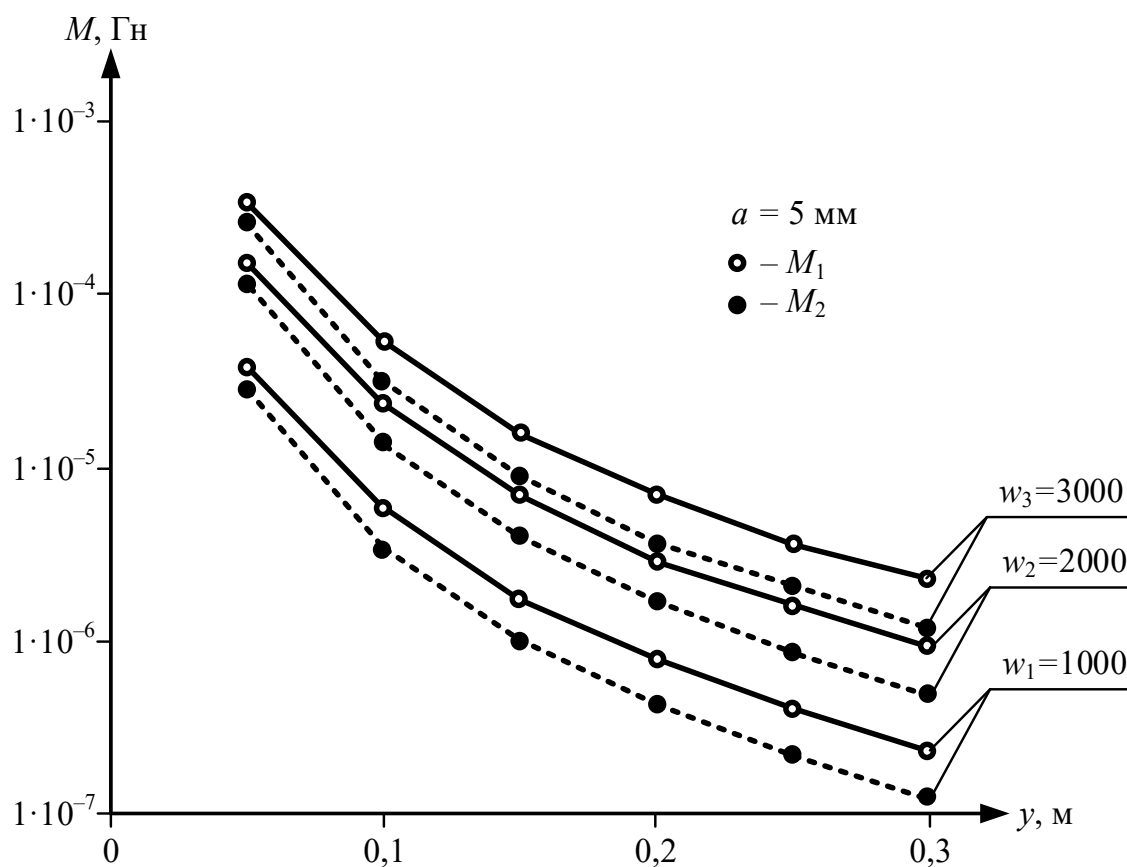
та різні геометричні розміри:

$$a_1 = 0,005 \text{ м}; \quad a_2 = 0,01 \text{ м}; \quad a_3 = 0,02 \text{ м}$$

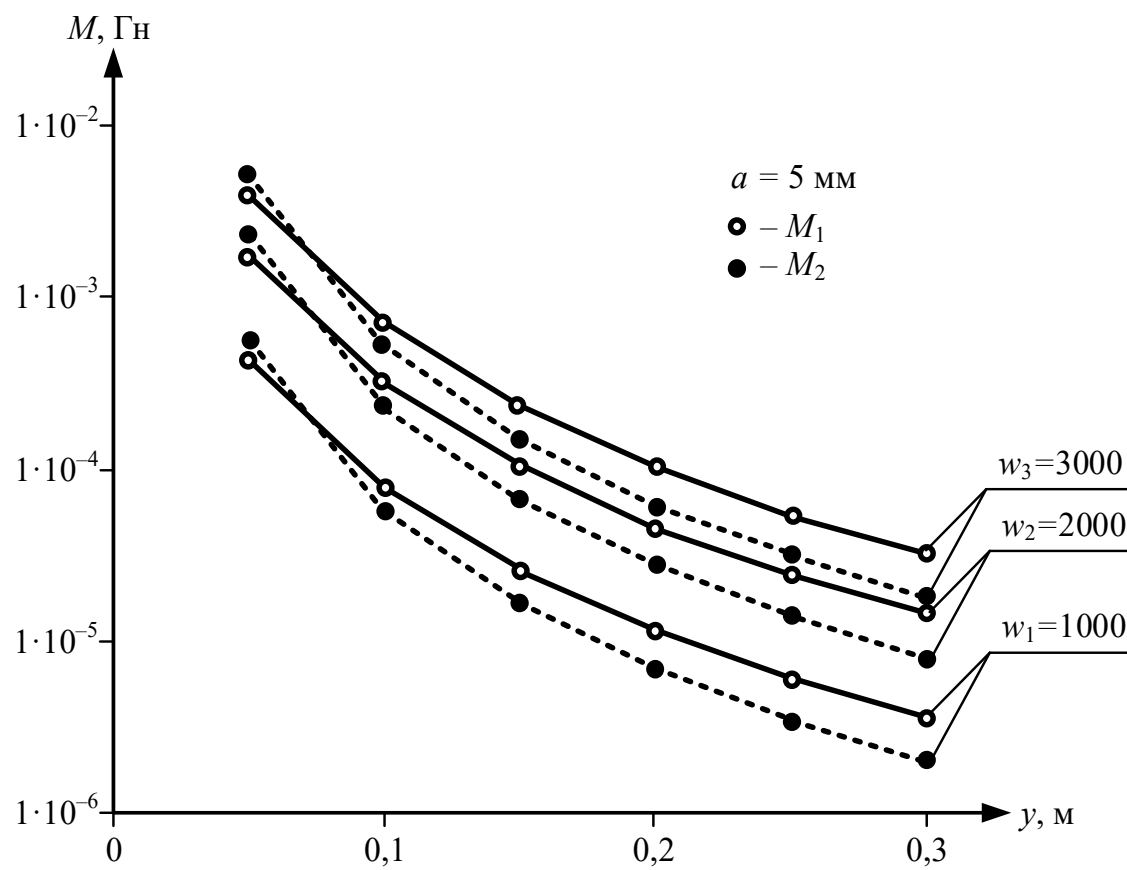
під час зміни відстані між ними у межах:

$$y = (0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3) \text{ м}.$$

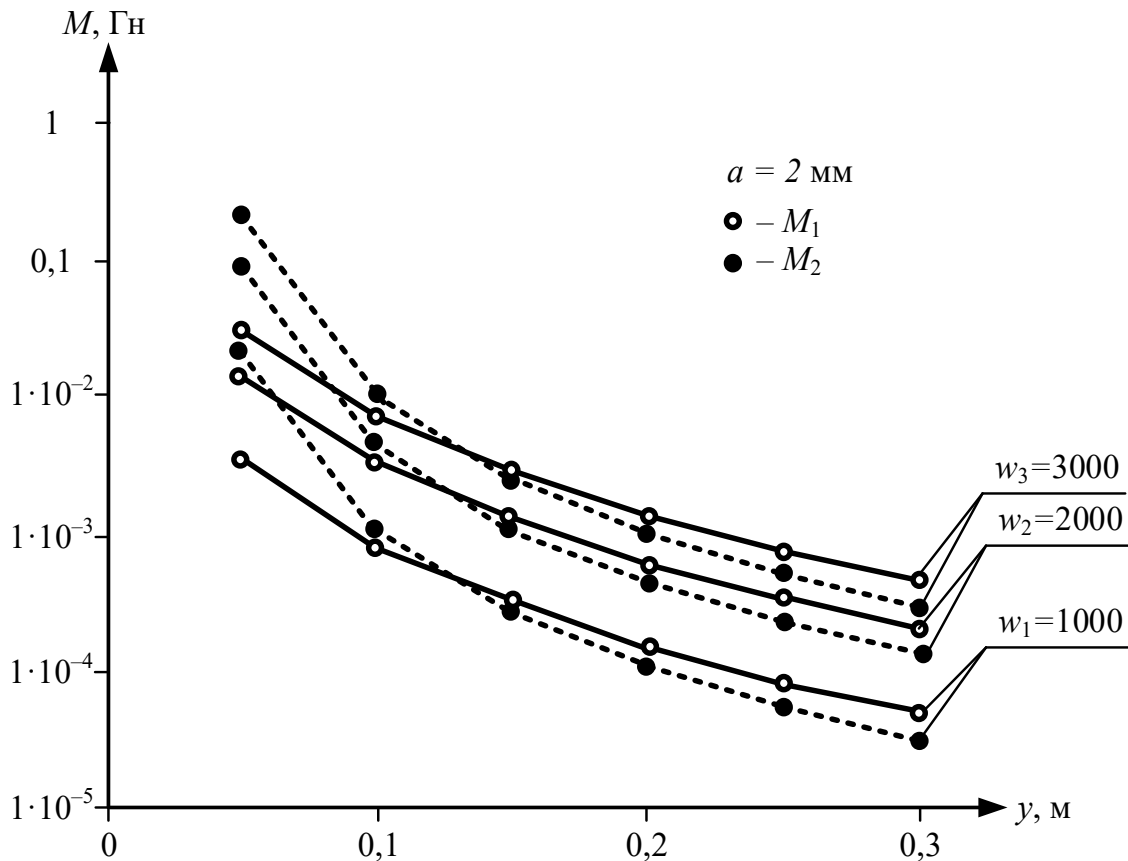
Під час проведення досліджень визначено розрахункові залежності зміни величини взаємної індуктивності котушок від відстані між ними на одній осі, а також паралельного розташування одна відносно іншої. З аналізу результатів досліджень встановлено, що збільшення у шість разів відстані між приймальною та генераторною котушками у конструкції вимірювального зонда призводить до зниження за експоненціальним законом величини взаємної індуктивності між ними, що складає приблизно до двох десяткових порядків (див. рис. 2.2). Під час паралельного розташування котушок у конструкції зонда удвічі зменшується величина взаємної індуктивності порівняно зі співвісним включенням. Також, з підвищенням кількості витків у котушках в діапазоні від $w_1 = 1000$ до $w_3 = 3000$ дозволить на порядок збільшити абсолютне значення взаємної індуктивності для двох типів розташування котушок між собою.



a)



б)



в)

Рисунок 2.2 – Залежності зміни значення індуктивності котушок, що мають різну відстань між собою під час співвісного (M_1) та паралельного (M_2) їх розташування

Під час виконання досліджень встановлено, що зі збільшення геометричних розмірів обмоток від $a_1 = 0,005$ м до $a_3 = 0,02$ м величина взаємної індуктивності підвищується в 40 разів зі збереженням нелінійної експоненціальної залежності зі збільшенням відстані y між котушками індуктивності.

Під час аналізу результатів математичного моделювання зміни взаємної індуктивності від відстані між котушками (див. рис. 2.2) встановлено, що електромагнітне поле, яке утворюється генераторною котушкою під час співвісного включення з приймальною котушкою впливає на останню під час вимірювання значення магнітної сприйнятливості. Геометрія та кількість витків котушок індуктивності також суттєво впливає на абсолютну величину взаємної

індуктивності. Залежність взаємної індуктивності від зміни відстані між котушками індуктивності має експоненціальний вигляд.

Під час дослідження зміни взаємної індуктивності приймальної та генераторної котушок встановлено основні залежності впливу кількості витків w , розмірів a та відстані між котушками u на величину чутливості вихідного сигналу вимірювального зонда. Зміна відстані між досліджуваною поверхнею руди та вимірювальним зондом призводить до погіршення метрологічних характеристик індукційного методу вимірювального контролю. На точність результатів вимірювання суттєво впливає величина методичної похибки, яку обумовлено нелінійною залежністю зміни чутливості електронного пристрою від величини зазору між поверхнею руди та вимірювальним зондом (див. рис. 2.3). Зазначену залежність отримано на базі моделювання зонда з двома котушками. Вимірювальний зонд має лінійні геометричні розміри $l_{\text{гп}}$, котушки індуктивності розташовано паралельно між собою та ортогонально на відстані h від досліджуваній поверхні руди.

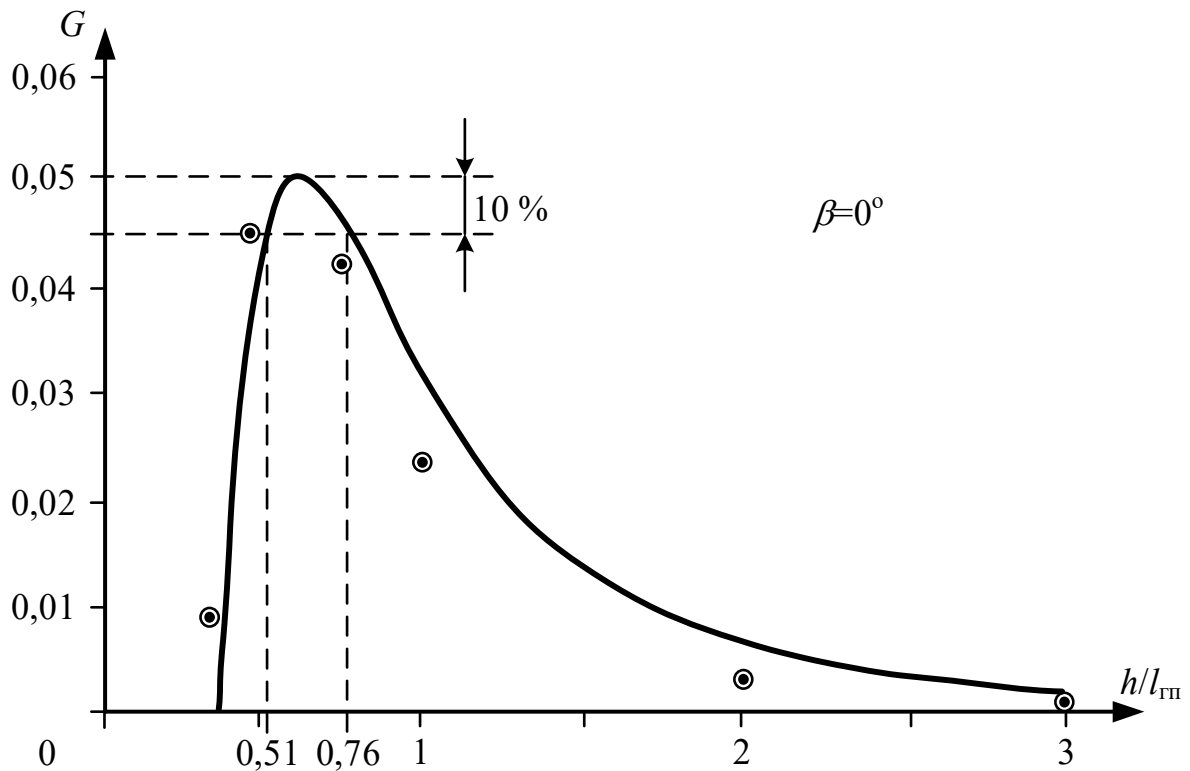


Рисунок 2.3 – Залежність зміни геометричних розмірів від зміни $l_{\text{гп}}$, h та β вимірювального зонда з двома котушками

Максимальне величина коефіцієнта чутливості вимірювального зонда G залежить від зміни відстані $l_{\text{гп}}$ між приймальною та генераторною котушками індуктивності. Ця значення досягає максимальної величини на висоті приблизно $0,6 \cdot l_{\text{гп}}$ над досліджуваною поверхнею залізної руди. Рівниця значень е.р.с. вимірювального зонда під час дії фіксованої відстані між приймальною та генераторною котушками має максимуму, якщо величина зазору між зондом та досліджуваною поверхнею руди має $0,6 \cdot l_{\text{гп}}$. Приближення вимірювального зонда до досліджуваного середовища, яке має нерівність своєї поверхні, зменшують величину чутливості вимірювального пристрою та підвищує значення похибки результату вимірювання.

Якщо величина відносної похибки від зміни висоти h , а також нерівності поверхні, складає 10 %, то допустима межа зміни висоти під час дії номінального геометричного фактору $G = 0,045$ може змінюватися від $0,51 \cdot l_{\text{гп}}$ до $0,76 \cdot l_{\text{гп}}$.

Визначення зміни взаємної індуктивності приймальної та генераторної котушок зі застосуванням розробленої математичної моделі дозволяє визначити базові закономірності впливу кількості витків w , геометрію вимірювальної схеми a , а також відстанню між вимірювальним зондом та досліджуваною поверхнею залізної руди.

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ РЕЗОНАНСНОГО ІНДУКЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВМІСТУ ЗАЛІЗА В РУДІ

3.1 Розробка структури електронного пристрою визначення вмісту заліза в руді

Електронний пристрій визначення вмісту заліза в руді базується на резонансному індуктивному методі вимірювального контролю [9]. У приймальній та компенсаційній котушці індуктивності застосовується феромагнітне осердя, яке має високу величину відносної магнітної проникливості, значення якої становить більше 1000. Паралельно котушкам індуктивності L_1 , L_2 та $L_{\text{п}}$ підключено конденсатори C_1 , C_2 та C_3 , що утворює три паралельні коливальні резонансні контури (див. рис. 3.1).

Для забезпечення виникнення резонансного явища значення центральної частоти резонансу всіх трьох контурів повинно дорівнювати резонансній частоті електромагнітного поля котушки генератора [10 – 13].

$$f_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_2}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{\text{п}} \cdot C_3}},$$

де L_1 – індуктивність першої компенсаційної котушки індуктивності;

C_1 – ємність першого конденсатора;

L_2 – індуктивність другої компенсаційної котушки індуктивності;

C_2 – ємність першого конденсатора;

$L_{\text{п}}$ – індуктивність приймальної котушки;

C_3 – ємність першого конденсатора.

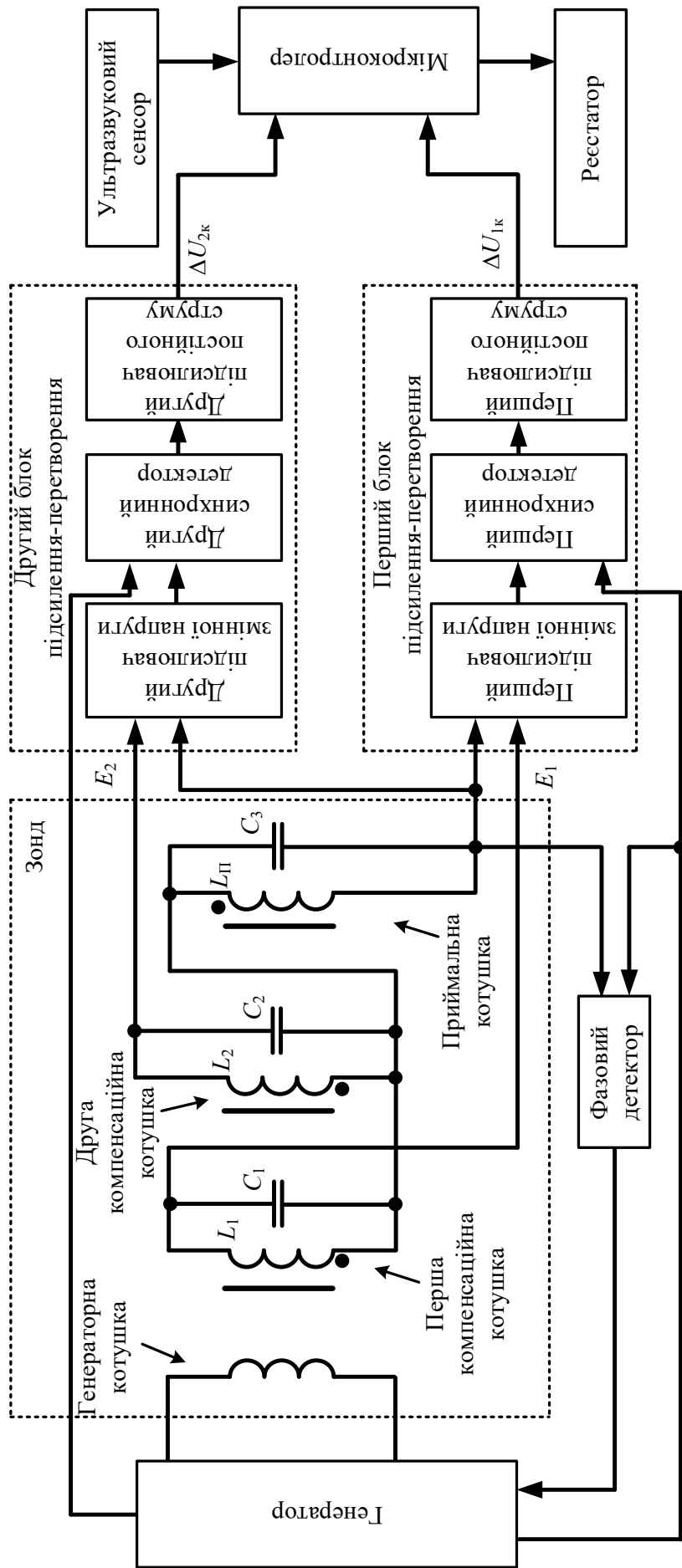


Рисунок 3.1 – Структурна схема електронного пристрою резонансного індукційного контролю вмісту заліза в руді

Для того, що забезпечити мінімальну величину необхідної глибини проникнення електромагнітного поля до проби залізної руди необхідно:

$$H_E = \frac{0,208}{\sqrt{f_p \cdot \sigma \cdot 10^{-7}}},$$

та з обліком провідності магнетиту ($\sigma_M \approx 1500 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$) [14] визначено значення резонансної частоти коливального контуру $f_p = 1140 \text{ Гц}$.

Величина опору приймального та обох компенсаційних резонансних коливальних контурів, які наведено на рис. 3.1, на резонансній частоті істотно перевищують величини індуктивного опір приймальної котушки [10 – 13]. Це відносно просте рішення дозволить практично в 8 разів збільшити амплітудне значення вихідного сигналу приймальної котушки, а також зменшити величину відносної похибки вимірювання завдяки зменшенню впливу перешкод та електромагнітних наведень результат вимірювального перетворення.

Розроблено електронний пристрій, який реалізує резонансний метод вимірювального контролю величини індукційної магнітної сприйнятливості залізної руди.

Під час протіканні змінного струму від гармонійного генератора напруги за витками котушки генератора до навколишнього простору утворюється змінне електромагнітне поле. Приймальну котушка індуктивності розміщено в зонді на відстані $l_{гн}$ від котушки генератора. Перша компенсаційна котушка індуктивності розташовується на відстані відривом $0,2 \cdot l_{гн}$, а інша компенсаційна індуктивності на відстані $0,8 \cdot l_{гн}$ від котушки генератора.

Якщо немає магнітного середовища, то електромагнітне поле виконує індукцію до кожної компенсаційних індуктивних котушок, які включено зустрічно, однакове за амплітудним значенням та протилежне за фазою е.р.с. E_1 та E_2 (див. рис. 3.1).

Рівність значень е.р.с. E_1 та E_2 забезпечується завдяки зміни кількості витків у двох компенсаційних індуктивних котушках. У вимірювальному зонді друга компенсаційна індуктивна котушка має в:

$$\frac{0,8 \cdot l_{\text{гп}}}{0,2 \cdot l_{\text{гп}}} = 4 \text{ рази}$$

більшу кількість витків, ніж перша компенсаційна котушка [15].

Під час розташування вимірювального зонда над досліджуваною поверхнею руди має місце її намагнічування електромагнітним змінним полем від котушки генератора. Електромагнітний потік, який утворюється під час цього, наводить е.р.с. до вимірювальної приймальної та компенсаційної котушок, які мають різні значення амплітуди.

На вході першого підсилювача утворюється е.р.с. E_1 , яка є результатом віднімання значень вихідних сигналів від приймальної та першої компенсаційної котушок індуктивності. На другому вході підсилювача має місце різниця е.р.с. двох вихідних сигналів від приймальної та другої компенсаційної котушок індуктивності. Після підсилення різниці двох е.р.с. E_1 та E_2 , вихідний сигнал передається до входу синхронного детектора, який здійснює випрямлення його, та отримано значення, що повільно змінюється. Вихідний сигнал синхронного детектора передається до підсилювача постійного струму. Вихідний сигнал цього підсилювача надходить до мультиплексора аналогових сигналів та аналого-цифрового перетворювача, що входять до складу мікроконтролера, які застосовуються для перетворення та обробки вимірювальних сигналів у цифровій формі. До третього входу мікроконтролера передаються імпульси від ультразвукового сенсора. За вихідним імпульсним сигналом цього сенсора визначається відстань h між вимірювальним зондом і досліджуваною поверхнею руди, що застосовується для коректування вимірювальних результатів, які передаються до цифрового дисплею. За результатами вимірювання визначається значення магнітної

сприйнятливості досліджуваного середовища.

Під час розташування вимірювального зонда над досліджуваною поверхнею руди величина різницевого е.р.с.:

$$\Delta E_1 = E_0 \cdot G_1 \cdot \chi$$

та

$$\Delta E_2 = E_0 \cdot G_2 \cdot \chi$$

залежать від добутку е.р.с. E_0 , величина якої наводиться в навколишньому середовищі, на значення геометричних розмірів вимірювального зонда G_1 та G_2 , а також магнітної сприйнятливості вимірювального середовища:

$$\chi = \frac{J}{H},$$

величина якої є прямо пропорційною від зміни намагніченості J та зворотно пропорційною від напруженості H магнітного поля.

Величини геометричних параметрів вимірювального зонда G_1 та G_2 залежать від розміщення обох компенсаційних котушок відносно котушки генератора. Зазначені параметри можна змінюватися в доволі широкому діапазоні, що залежить від відношення відстані між досліджуваним середовищем та вимірювальним зондом до його довжини $h / l_{\text{гп}}$.

Значення різницевого е.р.с. ΔE_1 та ΔE_2 підсилюється та здійснюється їх детектування першим і другим блоком підсилення та перетворення, які є однаковими та мають постійні значення коефіцієнтів K_1 та K_2 , тому величина напруги на двох входах мікроконтролера складає:

$$\Delta U_{\text{ік}} = K_1 \cdot E_0 \cdot G_1 \cdot \chi;$$

$$\Delta U_{2к} = K_2 \cdot E_0 \cdot G_2 \cdot \chi,$$

тому для отримання однакових значень максимальної напруги $\Delta U_{1\max}$ та $\Delta U_{2\max}$ необхід виконати такі умови:

$$K_1 \cdot G_{1\max} = K_2 \cdot G_{2\max}.$$

Для виконання цієї рівності під час застосування блоків підсилення та перетворення необхідно забезпечити однакові значення коефіцієнтів:

$$K_1 = K_2,$$

а також необхідно забезпечити практично однакові значення максимальних геометричних розмірів вимірювального зонда:

$$G_{1\max} = G_{2\max}.$$

Виконання цієї умови можна забезпечити підбиранням кількості витків у першій компенсаційної котушки, якщо порівнювати це значення з кількістю витків другої компенсаційної індуктивної котушки з обліком просторового розташування обох компенсаційних котушок відносно котушки генератора.

Застосування ультразвукового сенсора забезпечить інваріантність способу резонансного індукційного вимірювального контролю вмісту заліза в руді щодо зміни зазору між вимірювальним зондом і досліджуваною поверхнею залізної руди. Зі застосуванням цього сенсора визначається величина зазору h між вимірювальним зондом і досліджуваною поверхнею залізної руди. З виходу ультразвукового сенсора формуються імпульси, які мають різну тривалість, ці імпульси подаються до третього входу мікроконтролера (див. рис. 3.1). Мікроконтролер виконує автоматичну зміну

величин коефіцієнтів перетворення $U_{1к}$ та $U_{2к}$, які мають місце на виході підсилювачів постійного струму. Також мікроконтролер здійснює порівняння та визначає найбільше значення з цих сигналів, за якою розраховується величина магнітної сприйнятливості зразка залізної руди, що досліджується.

Розрахунок кількості заліза W здійснюється з обліком значення коефіцієнта перерахунку k_{md} . Результат цього розрахунку виводиться до цифрового дисплею та заноситься до оперативно-запам'ятовуючого пристрою, де його значення порівнюється з допустимою граничною величиною результату вимірювального контролю. Під час застосування фазового детектора у колі зворотного зв'язку генератора можна забезпечувати підстроювання резонансної частоти коливального контуру вимірювального зонда під час здійснення калібрування електронного пристрою.

Для визначення ефективності розроблених технічних засобів електронного пристрою виконано моделювання їх роботи в пакеті прикладних програм NI Multisim [15, 16], під час якого встановлено:

1) під час подачі до котушки генератора гармонійного сигналу напруги, що має амплітудне значення $U_r = 10$ В та частоту $f_r = 1140$ Гц, має місце зміна величини індуктивності однієї з компенсаційної котушок на 10 % відносно початкової величини $L_1 = 0,1$ Гн, що призводить до виникнення значення різниці напруги $\Delta U_1 = 2,2$ мВ;

2) під час підключення конденсаторів, що мають однакове значення ємності, яке складає $C = 200$ нФ, паралельно щодо приймальної та компенсаційної котушок індуктивності, так зміна значення цієї ємності на ± 10 % призводить до зміни величини різниці напруги на $\Delta U_{1к} \approx 10$ мВ під час дії резонансної частоти контурів $f_r = 1100$ Гц. Це призводить до підвищення амплітудного значення вихідного вимірюваного сигналу в

$$K = \frac{\Delta U_{1к}}{\Delta U_1} = \frac{80}{2,28} \approx 35 \text{ разів.}$$

Підвищене значення амплітуди вихідних сигналів приймальної та обох компенсаційних котушок дозволяє у вимірювальному зонді застосовувати підсилювачі змінної напруги, які мають невеликі значення коефіцієнтів підсилення, ще дозволяє формувати на вході першого та другого синхронних детекторів величину напруги більше ніж одиниці вольт. Застосування такої величини сигналів дозволяє істотно зменшити величину інструментальної похибки кожного з синхронних детекторів, наявність яких обумовлено імпульсами комутації ключових елементів. Також доволі високий рівень вхідної напруги синхронних детекторів дозволяє практично не виконувати облік величини початкового зсуву перетворювача, а також дрейфу вихідного сигналу операційних підсилювачів постійного струму, що обумовлено зміною температури, на точність результату вимірювання. Під час цього має місце зменшення впливу величини похибки квантування аналого-цифрового перетворювача на результат вимірювання кількості заліза в руді.

Завдяки збільшенню амплітудного значення вихідних сигналів приймальної та компенсаційних резонансних контурів зменшується послаблення впливу зовнішніх перешкод і наведень, що дозволяє практично зменшити величину випадкової похибки вимірювального перетворення.

Зі застосування наведеного резонансного методу вимірювального контролю в електронних пристроях для визначення кількості заліза в руді під час її збагачення на фабриці необхідно зменшити величину перешкоди від промислової мережі на частоті (50 ± 1) Гц завдяки застосуванню аналого-цифрового перетворювача, що інтегрує. Під час перетворення вимірювального значення напруги здійснюється інтегрування протягом трьох тактів. Тривалість цих тактів складає 10 мс, 20 мс та 30 мс, проміжок часу між цими тактами дорівнює 10 мс. Після цього здійснюється вимірювання проміжку часу, в якому має місце розряд інтегратора за лінійним законом до величини вихідної напруги. Використання цього методу кодування напруги забезпечує зменшення впливу перешкоди від промислової мережі не менше ніж у 1000 радів, що складає 60 дБ без застосування екранування вимірювальної частини

електронного пристрою [17].

Використання наведеного методу дозволить істотно підвищити чутливість та точність вимірювального контролю вмісту заліза в руді завдяки підвищенню амплітудного значення вихідних вимірювальних сигналів і зменшенню впливу перешкод на промислових частотах.

3.2 Розробка алгоритму функціонування електронного пристрою визначення вмісту залізу в руді

На основі виконаних досліджень щодо реалізації методу резонансного вимірювального контролю кількість заліза в руді розроблений алгоритм функціонування пристрою, блок-схему якого наведено на рис. 3.2.

Цей алгоритм вимірювального контролю кількості заліза в руді виконується в такій послідовності:

1. Вихідні дані для роботи алгоритм:

– результат вимірювання напруги в середовищі без досліджуваної проби руди U_0 ;

– значення зазору між зондом досліджуваною поверхнею руди h_i ;

– результати вимірювання величини вихідної напруги першого та другого блоків підсилення та перетворення під час дії фіксованої величини зазору між вимірювальним зондом і поверхнею руди, що досліджується, $U_{1к}$ та $U_{2к}$.

Вихідні початкові данні передаються до мікроконтролера на 2, 4 та 6 кроках за командами від мікроконтролера.

2. Розташування зонда далеко від поверхні середовища, що досліджується, та здійснення вимірювання величини напруги U_0 .

3. Перетворення вимірювального значення аналогової напруги U_0 до цифрового формату.

$$N_0 = F(U_0).$$

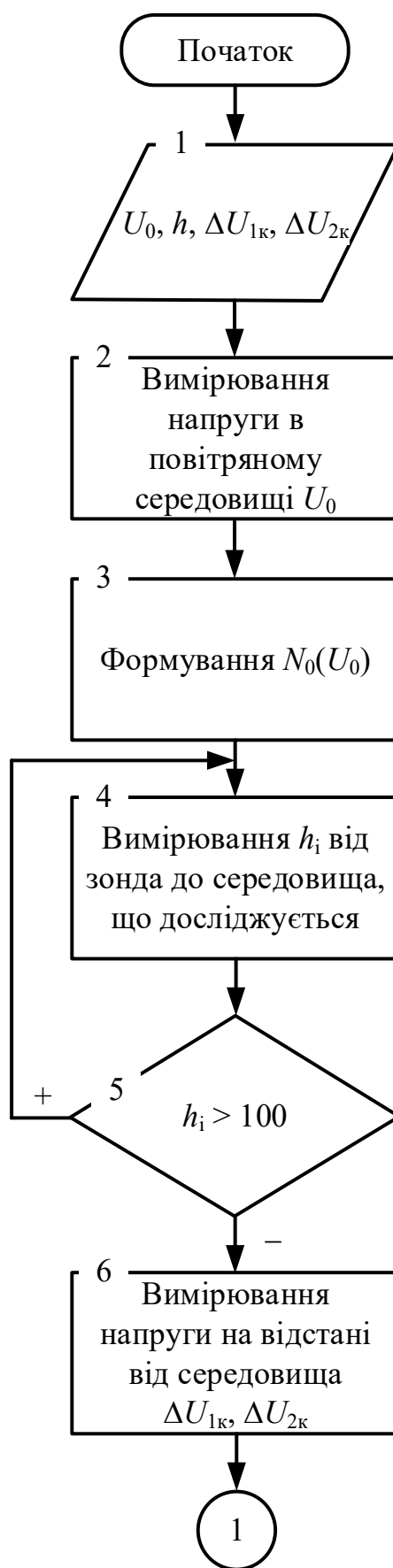


Рисунок 3.2, а – Блок-схема алгоритму роботи електронного пристрою визначення вмісту залізу в руді

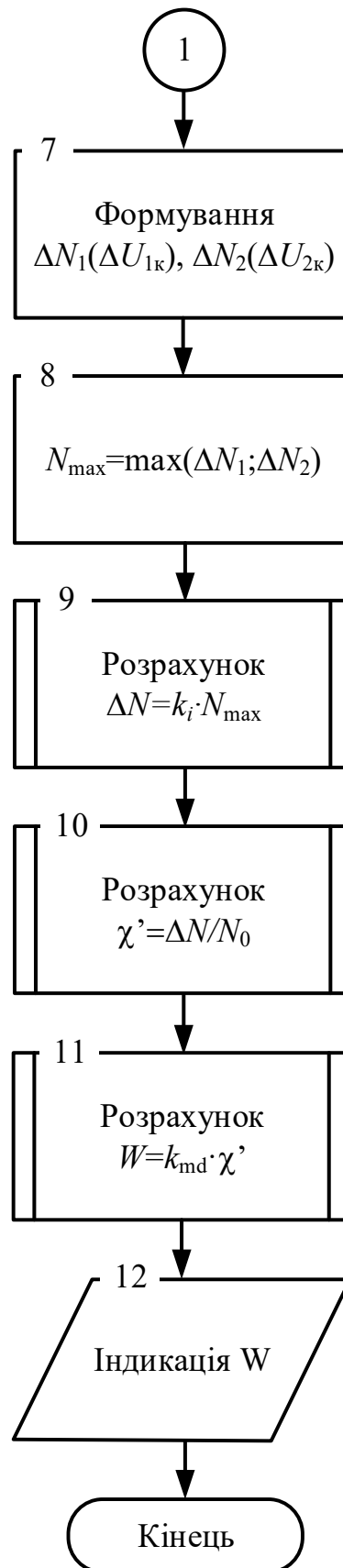


Рисунок 3.2, б – Блок-схема алгоритму роботи електронного пристрою визначення вмісту залізу в руді

4. Розташування вимірювального зонда над поверхнею руди та здійснення вимірювання значення зазору h_1 між ними. Максимальне значення висоти розташування вимірювального зонда визначається під час проведення калібрування електронного пристрою. Під час проведення розробки електронного пристрою встановлено, що зазначена величина не повинна перевищувати максимального значення 100 см.

5. Моніторинг розташування вимірювального зонда, який повинен бути розміщено паралельно щодо поверхні досліджуваної руди, а якщо не виконується умова $h_1 > 0$, то здійснюється перехід до 4 кроку.

6. Вимірювання значень напруги $\Delta U_{1к}$ та $\Delta U_{2к}$ під час незмінної величини зазору між вимірювальним зондом та поверхнею руди, що досліджується h_1 .

7. Аналого-цифрове перетворення величини напруги, що вимірюється $\Delta U_{1к}$ та $\Delta U_{2к}$, до відповідних кодів $\Delta N_1(\Delta U_{1к})$ та $\Delta N_2(\Delta U_{2к})$.

8. Порівняння отриманих значень кодових комбінацій та визначення максимального для застосування під час наступних розрахунків. Максимальне значення коду з двох вихідних сигналів $N_{\max}(\Delta N_1, \Delta N_2)$ відповідає максимальному амплітудному значенню напруги та кількості заліза в пробі руди, до досліджується.

9. Визначення значення вимірювальної напруги, що одержано під час виконання процедури вимірювального контролю, за результатами віднімання вихідного цифрового коду $N_0 = F(U_0)$ та N_{\max} , що одержано під час виконання досліджень середовища:

$$\Delta N = k_i \cdot N_{\max}.$$

Корекція значення ΔN здійснюється завдяки застосуванню коефіцієнта k_i , який наведено на блок-схемі алгоритму калібрування електронного пристрою вимірювання вмісту заліза в руді, що наведено на рис. 3.3.

10. Розрахунок величини магнітної сприйнятливості середовища, що досліджується:

$$\chi' = \frac{\Delta N}{N_0}.$$

11. Розрахунок ваги заліза в руді:

$$W = k_{md} \cdot \chi'$$

з обліком величини коефіцієнта k_{md} .

12. Відображення визначеного значення ваги заліза W у руді на цифровому дисплеї та запис до оперативно-запам'ятовуючого пристрою мікроконтролера, а також порівняння з граничними значеннями вимірювальної величини.

Розрахунок значення вмісту заліза в руді здійснюється з обліком результатів вимірювання ультразвукового сенсора, який генерує імпульси з різною тривалістю, що залежить від відстані між зондом і поверхнею руди, що досліджується.

Для визначення значень масштабних коефіцієнтів та їх нормування розроблено алгоритм калібрування електронного пристрою вимірювання вмісту заліза в руді, блок-схему якого наведено на рис. 3.3.

За цим алгоритмом вимірювальний контроль кількості заліза в руді здійснюється за такою послідовністю:.

1. Вихідною інформацією для функціонування алгоритму є:

- відстань між зондом та еталонним середовищем h_1 ;
- вимірювальні значення вихідної напруги першого та другого блоків підсилювачів і перетворювачів під час дії відомої величини зазору між вимірювальним зондом та еталонним середовищем $U_{1к}$ та $U_{2к}$.

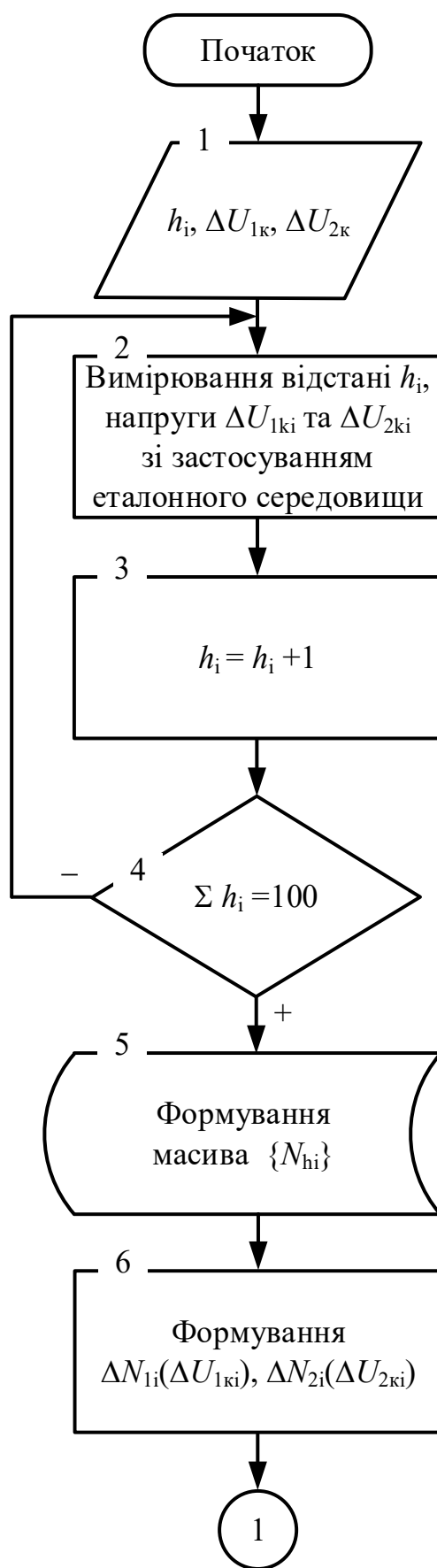


Рисунок 3.3, а – Блок-схема алгоритму калібрування електронного пристрою визначення вмісту залізу в руді

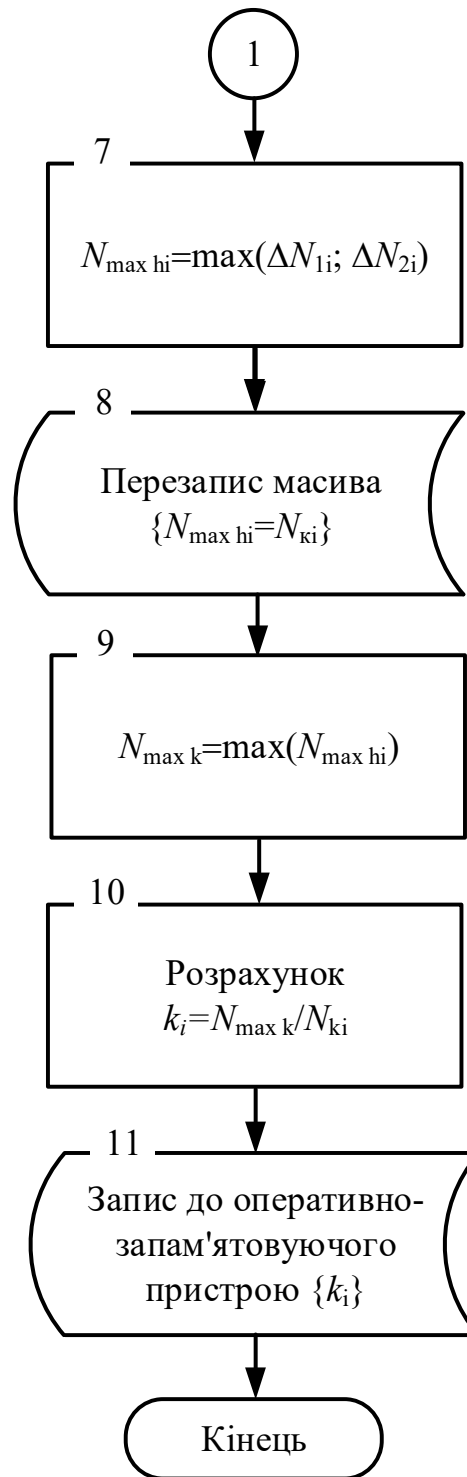


Рисунок 3.3, б – Блок-схема алгоритму калібрування електронного пристрою визначення вмісту залізу в руді

Геометричні розміри еталонного середовища повинні бути більше ніж розміри вимірювального зонда. Як зразок еталонного середовища для здійснення калібрування електронного пристрою можна застосувати металеву пластину або лист з геометричними розмірами 1,2 x 1,2 x 0,03 м.

Вихідна інформація вводяться до пам'ять мікроконтролера на 2 та 6 кроках.

2. Зонд розташовується в горизонтальній площині над еталоном і здійснюється вимірювання значення h_i між ним та поверхнею еталона, також вимірюються величин вихідної напруги $U_{1к}$ та $U_{2к}$ першого та другого блоків підсилювача та перетворювача. Перше вимірювання повинно бути здійснено під час розташування зонда впритул до еталона, тобто зонд повинен мати фізичний контакт з еталонним середовищем, а друге вимірювання здійснюється на відомій відстані між вимірювальним зондом та еталонним середовищем.

3. Здійснюється піднімання вимірювального зонда до максимальної висоти над еталонним середовищем. Під час піднімання з дискретністю в 1 см здійснюються вимірювання значення зазору між вимірювальним зондом і еталонним середовищем зі застосуванням ультразвукового сенсора. Максимальне значення висоти піднімання зонда вибирається з мінімальної величини напруги на приймальній індуктивній котушці та під час практичного використання електронного пристрою, так у розробленому електронному пристрої ця величина дорівнює $h_{i\max} = 100$ см.

4. Розрахунок кількості вимірювань h_i здійснюється до того моменту, поки не виконається умова:

$$\sum h_i = 100.$$

5. Формується в цифровому форматі масив ширини кожного імпульсу, який формується ультразвуковим сенсором $\{N_{h_i}\}$. Цей масив застосовується як адреси осередків для оперативно-запам'ятовуючого пристрою мікроконтролера, який відповідає висотам підйому вимірювального зонда над еталонним середовищем.

6. Здійснення аналого-цифрового перетворення вимірних значень

аналогової напруги на 2 кроці ΔU_{1ki} та ΔU_{2ki} до цифрових кодів $\Delta N_{1i}(\Delta U_{1ki})$ та $\Delta N_{2i}(\Delta U_{2ki})$.

7. У подальших результатах розрахунків застосовується лише одне значення напруги на кожному з кроків, тому виконується вибір максимальної величини коду:

$$N_{\max h_i} = \max(\Delta N_{1i}, \Delta N_{2i}).$$

8. Здійснюється перезапис масиву значень $\{N_{\max h_i}\}$ під іншою назвою $\{N_{k_i}\}$. Ця функція застосовується для забезпечення процедури розрахунку масштабних коефіцієнтів відносного максимального значення $\{N_{\max h_i}\}$ коду (крок 9), що прийнятий за зразок.

9. Вибір максимального значення коду:

$$N_{\max k} = \max(N_{\max h_i}),$$

що відповідає різниці значень напруги на приймальній та одній з компенсаційних котушок індуктивності. Це значення одержано на оптимальній висоті розташування вимірювального зонда над еталоном.

10. Виконується розрахунок масштабних коефіцієнтів для кожної висоти у діапазоні від 0 до 100 см для максимального значення цифрового коду:

$$k_i = \frac{N_{\max k}}{N_{k_i}}.$$

11. Запис розрахованих величин масштабних коефіцієнтів k_i виконується до оперативно-запам'ятовуючого пристрою мікроконтролера за адресою N_{h_i} ,

що визначає тривалість дії вихідних імпульсів ультразвукового сенсора.

Під час виконання функцій за алгоритмом, блок-схему якого наведено на рис. 3.2 та 3.3, у мікроконтролері розраховується величина магнітної сприйнятливості руди, з обліком масштабних коефіцієнтів k_i щодо геометричних розмірів вимірювального зонда та нерівності поверхні зразка руди, що досліджується. Завдяки цьому величину суб'єктивної похибки, яку обумовлено вибором величин довідникових коефіцієнтів з експлуатації таких засобів вимірювального контролю, буде істотно зменшено.

Під час реалізації розроблених алгоритмів і запису коефіцієнтів до постійної пам'яті мікроконтролера практично усувається методична похибка, що обумовлено необхідністю точного розташування вимірювального зонда над поверхнею руди на обраній висоті. Це дозволяє істотно спростити вимірювальний електронний пристрій, у якому реалізовано резонансний метод вимірювального контролю вмісту заліза в руді, а також здійснювати облік та керування величинами параметрів технологічного процесу під час збагачення руди у промислових умовах експлуатації.

Застосування розроблених алгоритмів дозволить здійснювати калібрування з подальшою лінеаризацією характеристики перетворення вимірювального електронного пристрою зі застосуванням еталону. Під час здійснення контролю якості залізної руди, яка має невідомий мінералогічний склад, вводяться коефіцієнти перерахунку, зі застосуванням яких здійснюється налаштування електронного пристрою за такою наведеною послідовністю.

1. Розташовують зонд на середній відстані щодо поверхні руди та здійснюється вимірювання величини магнітної сприйнятливості χ' .

2. Визначається частка заліза за вагою W_{lab} у досліджуваній пробі руди у лабораторних умовах зі застосуванням вагового методу.

3. Розраховується значення коефіцієнту перерахунку для досліджуваного зразка руди:

$$k_{\text{md}} = \frac{W_{\text{lab}}}{\chi'}.$$

4. Вводиться коефіцієнт k_{md} , значення якого заноситься до постійної пам'яті мікроконтролера, та використовується в подальших розрахунках.

Під час технічної реалізації розробленого електронного пристрою використано для вимірювання відстані між зондом і поверхнею руди, що досліджується, ультразвуковий сенсор HC-SR04, який має діапазон вимірювання від 2 до 400 см, роздільна вимірювальна здатність цього сенсора становить 0,3 см. Як мікроконтролер застосовуються TMP90C840P.

ВИСНОВКИ

Магнетит є базовим мінералом, що входить до складу залізної руди. Під час підготовки та переробки залізної руди здійснюється оцінка її властивостей, а також вимірювальний контроль ваги магнетиту в руді. Кількість заліза та його з'єднань у руді може знаходитися в діапазоні від 19 до 72 %. Якщо відомий кількісний склад залізних руд, то можна вибрати ті, які придатні для застосування в промислових умовах.

Визначення ваги заліза в руді здійснюється зі застосуванням методів кількісного аналізу. Ці методи можна розділити на три групи: хімічні, фізичні та фізико-хімічні. Застосування хімічних методів здійснюється лише в лабораторіях, ці методи є еталонними. Хімічні методи не відповідають вимогам щодо автоматизації вимірювального процесу, а також оперативності процедури вимірювання, що властиво фізичним методам вимірювального контролю вмісту залізних руд.

Для здійснення кількісного вимірювального контролю наявності феромагнітних компонентів запропоновано застосовувати індукційний метод. До переваг зазначеного методу можна віднести оперативність вимірювального контролю кількості заліза, його реалізація має низьку вартість, а також невисокі вимоги щодо кваліфікації персоналу, який обслуговує зазначені електронні пристрою. До недоліку методу можна віднести відносно низьку точність результату вимірювання, що можна порівняти з результатами вимірювання під час здійснення хімічного аналізу.

На базі зазначеного методу розроблено структурну схему резонансного електронного пристрою вимірювального контролю кількості заліза в руді. Під час розробки пристрою запропоновано схему компенсації похибки результату вимірювання від зміни зазору між зондом і поверхнею руди, що досліджується. Використання ультразвукового сенсору дозволить розширити діапазон розташування зонда над поверхнею руди, що досліджується, в діапазоні від 2 до

100 см, що на порядок більше діапазону вимірювання в існуючих електронних пристроях, які використовуються для здійснення вимірювального контролю кількості заліза в руді.

Під час розробки електронного пристрою вимірювання вмісту залізу в руді необхідно вимірювальну та генераторну індуктивні котушки в зонді розташовувати паралельно між собою, а поверхню досліджуваної руди перпендикулярно щодо цих котушок. Реалізація такої конструкції зонда дозволить в 1,5 рази збільшити чутливість електронного пристрою контролю кількості заліза в руді. Використання осердя в котушці генератора є недоцільним тому, що значення напруженості поля залежить тільки від кількості витків та величини струму намагнічування. Під час дії постійного амплітудного значення напруги генератора величина струму намагнічування зменшується під час підвищення величини індуктивного опору обмотки, якщо використано осердя з феромагнітного матеріалу.

Розроблено алгоритм роботи електронного пристрою вимірювального контролю кількості заліза в руді. Алгоритм розроблено з обліком зміни геометричних параметрів зазору між вимірювальним зондом та поверхнею досліджуваної руди. У алгоритмі здійснюється інтегральна оцінка кількості заліза в руді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бакланова, К.А. Методы ускоренного анализа железных, никелевых марганцевых руд / К.А. Бакланова. – М.: Госгеолиздат, 1951. – 233 с.
2. Харитонов, Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика. Книга 1 / Ю.Я. Харитонов – М.: Высшая школа, 2001. – 615 с.
3. Кельнер, Ж.М. Аналитическая химия. Проблемы и подходы. Т.1. / Р. Кельнер, М.Ж. Мерме М. Отто и др.; перевод под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Мир, 2004. – 600 с.
4. Золотов, Ю.А. Основы аналитической химии. Кн. 2. Методы химического анализа: Учеб. для вузов / Ю.А. Золотов и др.; под ред. Ю.А. Золотова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 494 с.
5. Кудрявцев, Ю.И. Индукционные методы измерения магнитной восприимчивости горных пород в естественном залегании и на образцах / Ю.И. Кудрявцев. – СПб. СПб ун-т, 2009. – 211 с.
6. Кудрявцев, Ю.И. Индукционные методы измерения магнитной восприимчивости горных пород и руд в естественных условиях / Ю.И. Кудрявцев. – Л.: Недра, 1978. – 240 с.
7. Альбов, М.Н. Опробование месторождений полезных ископаемых / М.Н. Альбов. – М.: Недра, 1975. – 352 с.
8. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей: справочное пособие / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
9. Баженов, И.Н. Средства контроля магнетитовых руд методом оценки магнитной восприимчивости / И.Н. Баженов, К.В. Подмастерьев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2016. – № 2 (316). – С. 145 – 151.
10. Попов, В.П. Основы теории цепей: учебник для вузов / В.П. Попов. – М.: Высш. шк., 1998. – 575 с.

11. Изюмов, Н.М. Основы радиотехники / Н.М. Изюмов, Д.П. Линде. – 4-е издание. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
12. Сенько, В.Ф. Теорія електричних кіл: навч. посіб. / В.Ф. Сенько, О.В. Вовна, І.С. Лактіонов. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – 254 с.
13. Сенько, В.Ф. Теорія електричних кіл. Практикум: навч. посіб. / В.Ф. Сенько, О.В. Вовна, І.С. Лактіонов. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. – 214 с.
14. Разевич, Д.В. Техника высоких напряжений: учеб. для вузов / Д.В. Разевич и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 368 с.
15. Хернитер, М.Е. Multisim® 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств / Е.М. Хернитер; пер. с англ. А.И. Осипов. – М.: Издательский дом ДМК пресс, 2006. – 488 с.
16. Баженов, И.Н. Алгоритм реализации резонансного контроля массовой доли железа в магнетитовой руде / И.Н. Баженов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2017. – №3. – С. 400 – 408.
17. Гутников, В.С. Фильтрация измерительных сигналов / В.С. Гутников. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{уст}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{пер}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = E_m \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{HAД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати

(22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$