

АНОТАЦІЯ

Євченко М.М. Дослідження та розробка пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 153 - Мікро- та наносистемна техніка, науковий керівник М.В. Світанько. Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра мікроелектронних інформаційних систем, 2020.

Розроблено та досліджено структурну схему магнітометра. Проведено дослідження по вдосконаленню мікроконтролерного блоку магнітометра. Проведено моделювання роботи пристрою.

Ключові слова: МАГНІТОМЕТРИЧНА РОЗВІДКА, ПРОТОННИЙ МАГНІТОМЕТР, МІКРОКОНТРОЛЕР, СХЕМА ПОЛЯРИЗАЦІЇ, РЕДАКТОР PROTEUS.

ABSTRACT

Yevchenko M.M. Research and development device for exposure of the content manganese ores in the earth's crust prisurface layers.

Qualifying work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 153 Micro- and nano-system technology, scientific supervisor M.V. Svitanko Zaporizhzhia National University. Engineering Institute. Department of Microelectronic Information Systems, 2020.

The structure scheme of magnetometer is developed and investigated. The research on perfection a microcontroller block of magnetometer is conducted. The modeling work of device is conducted.

Keywords: MAGNETOMETER INVESTIGATION SERVICE, PROTON MAGNETOMETER, MICROCONTROLLER, POLARIZATION SCHEME, EDITOR PROTEUS.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра мікроелектронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка пристрою
для виявлення вмісту органічного руд
у приповерхневих шарах земної кори

Виконав: студент II курсу, групи МН-18-102
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні
системи

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Евченко М. М.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к. ф.-м. н., Світланько М. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент наст. вчитель ТОВ, доцент, Прохорюк С. С., Соколов М. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

Факультет енергетики електроніки та інформаційних технологій
Кафедра мікроелектронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»
(код і назва)
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. Завідувач кафедри Світланко М.В.
"26" 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Світланко Марині Миколаївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження та розробка пристрою для вивчення властивостей марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

керівник роботи Світланко Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "10" вересня 2019 року № 1537-С

2 Строк подання студентом роботи 26 грудня 2019 року

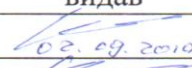
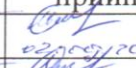
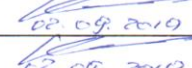
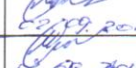
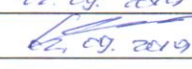
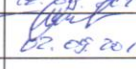


3 Вихідні дані до роботи MnO₂, протонний магнітометр, пелетизація сигналу, мікроконтролер, напруга живлення 12 В, моделювання в Proteus

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Апаратне забезпечення магнітометричної розвідки (магніторозвідки). 2. Розробка пристрою для вивчення властивостей марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори. 3. Техніко-економічне обґрунтування розробки. 4. Оцінка ризику та техногенна безпека при розробці електричної схеми пристрою.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Крива залежності магнітної стрімкості м.вості від глибини

завдання похід у марганцевому розв'язку з одноканальною
 промисловою магнітометром. 3. Структурно схема промислового
 магнітометра. 4. Схема поєднання промислового магнітометра
 з подвійною перехідною трубкою. 5. Блок-схема модуля мікроконтролера
 промислового магнітометра. 6. Експлуатаційна схема функціонування
 мікроконтролера. 7. Ресурсна таблиця модуля мікроконтролера, приклад

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Світланько М.В., доцент	 02.09.2019	 02.09.2019
II	Світланько М.В., доцент	 02.09.2019	 02.09.2019
III	Світланько М.В., доцент	 02.09.2019	 02.09.2019
IV	Світланько М.В., доцент	 02.09.2019	 02.09.2019

7 Дата видачі завдання 02.09.2019р

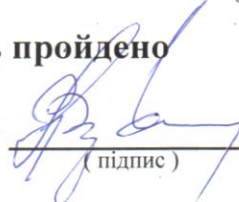
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Літературний огляд	08.11.19	
2.	Розробка частини	02.12.19	
3.	Техніка аналізу абстрактних розробок	02.12.19	
4.	Розробка частини з описом праці та пояснювальної частини	09.12.19	
5.	Розробка графічної частини роботи	23.12.19	
6.	Сформулювання пояснювальної частини	23.12.19	
7.	Нормоконтроль	26.12.19	
8.	Попередній захист роботи	26.12.19	

Студент  Евченко М.М.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  Світланько М.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Верховнін І.І.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 85 сторінок, 28 рисунків, 12 таблиць, 46 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – інформаційні системи обробки даних геофізичних досліджень.

Мета роботи – дослідження та розробка пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори.

Задачі роботи – дослідити та розробити схеми пристрою, призначеного для проведення магнітометричних досліджень корисних копалин.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмного забезпечення Proteus та програми ZondGM2d.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено та досліджено структурну схему магнітометра, проведено дослідження по вдосконаленню мікроконтролерного блоку магнітометра та можливості його здешевлення, проведено моделювання роботи пристрою.

Результати впровадження – модель електронного приладу пройшла випробування на кафедрі МЕІС.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для проведення лабораторних досліджень та польових випробувань

МАГНІТОМЕТРИЧНА РОЗВІДКА, ПРОТОННИЙ МАГНІТОМЕТР, МІКРОКОНТРОЛЕР, СХЕМА ПОЛЯРИЗАЦІЇ, РЕДАКТОР PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних інформаційних систем Інженерного інституту ЗНУ, з 02.09.2019 р. по 26.12.2019 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	6
1. Апаратурне забезпечення магнітометричної розвідки (магніторозвідки).....	8
1.1 Загальна характеристика електромагнітних властивостей гірських порід.....	8
1.2 Основні засоби магнітометричної розвідки (магніторозвідки).....	11
1.3 Датчики для вимірювання магнітних полів	14
1.3.1 Датчики магнітометрів.....	14
1.3.2 Магниторезистивні датчики.....	15
1.3.3 Спін-тунельні магніторезистивні датчики (СТМР).....	20
2. Розробка пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори.....	25
2.1 Аналіз об'єкту досліджень та вибір вимірювальних характеристик ...	25
2.2 Структурна схема пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори.....	26
2.2.1 Структурна схема прототипу.....	26
2.2.2 Спостереження сигналу вільної прецесії	28
2.2.3 Структурна схема розроблюваного пристрою.....	34
2.2.4 Функціонування магнітометра.....	37
2.2.5 Схеми поляризації.....	39
2.3 Параметри мікроконтролера пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори.....	43
2.4 Моделювання роботи мікроконтролера пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори в редакторі Proteus	52
2.5 Моделювання роботи пристрою в програмі ZondGM2D.....	57

3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори.....	62
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори	62
3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори	66
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори	68
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	68
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	71
4.3 Виробнича санітарія.....	73
4.4 Електробезпека.....	74
4.5 Пожежна та техногенна безпека.....	75
4.6 Розрахунок освітлення робочого місця	76
Висновки та рекомендації.....	79
Перелік посилань.....	81

ВСТУП

Сучасний статус України як незалежної держави потребує подальшого розвитку промислової діяльності [1,2]. Її економіка орієнтована на видобуток сировини, зростання обсягу виробництва, а також на зростання валового національного продукту. Але значення валового національного продукту не враховує такі геоекологічні показники, як забруднення середовища, деградація природних систем, погіршення стану природних ресурсів тощо. Тому економічне зростання з екстенсивним характером промисловості, який переважно склався за попередні періоди, призводить до деградації природних ресурсів та потребує все більшої кількості мінерально-сировинних та енергетичних ресурсів, водоспоживання, що разом з природними процесами (ендогенними, екзогенними) спричинює зміну фізичних властивостей компонентів геологічного середовища [3], зокрема в Криворізькому залізорудному басейні, Нікопольському марганцеворудному басейні, Донецькому вугільному басейні та інших регіонах.

Тому актуальним є питання детального дослідження корисних копалин із подальшим їх раціональним використанням без негативного впливу на стан навколишнього середовища.

Одним із напрямків таких досліджень є геофізика (або геофізичні методи розвідки) - методи дослідження земної кори і розвідки корисних копалин, засновані на вивченні різних фізичних полів Землі, природних або створених штучно. Одним із найбільш універсальним методом є магнітометрична розвідка (магніторозвідка). Магніторозвідка - це методи дослідження земної кори і розвідки корисних копалин, засновані на вивченні магнітних полів існуючих в Землі через ті або інші природні процеси або створених штучно.

Відмітною особливістю магніторозвідки є різноманіття методів і

способів дослідження. Різноманіття модифікацій магніторозвідки визначається широким діапазоном частот електромагнітних полів, що використовуються. При цьому можуть бути використані як природні поля, що виникають в землі через фізико-хімічні, космічні і інших процесів, так і штучні. До того ж, у постійному розвитку є апаратне забезпечення методів магніторозвідки.

Тому, актуальним є питання створення нових автоматизованих інформаційних систем, які здатні до більш ефективного аналізу проблем раціонального використання природних ресурсів.

1. Апаратурне забезпечення магнітометричної розвідки (магніторозвідки)

Магніторозвідка є найефектнішим методом пошуків і розвідки залізняку. Вона широко застосовується і при геологічному картуванні, структурних дослідженнях і пошуках інших корисних копалин.

1.1 Загальна характеристика електромагнітних властивостей гірських порід

До електромагнітних властивостей гірських порід відносяться питомий електричний опір, діелектрична і магнітна проникність, електрохімічна активність і поляризуємість.

Основним електричним параметром гірських порід є питомий електричний опір порід або величина зворотна електропровідності. Питомий опір вимірюється в омметрах (Ом×м) [4]. У різних гірських порід міняється в дуже широких межах від тисячних часток омметрів у самородних металів до багатьох мільярдів омметрів у таких ізоляторів, як слюда, кварц, польові шпати. Гірські породи розділяються на електронні провідники (провідники 1 роду), у яких електричні заряди переносяться вільними електронами, і іонні (провідники 2 роду), в яких електричні заряди переносяться іонами, що знаходяться у розчинах, заповнюючи пори гірських порід. До першої групи відноситься невелика кількість порід таких, як самородні метали, сульфід, графіт, антрацит. До другої групи відносяться всі інші, тобто величезна більшість порід.

Питомий електричний опір порід визначається [5]:

1. Питомий опір порід залежить від опору мінералів, що складають дану породу. У більшості мінералів воно дуже велике, лише сульфід, графіт і антрацит мають низький опір. Опір породи зменшується із збільшенням

процентного змісту добре провідних мінералів.

2. Опір порід визначається в першу чергу опором води, насичуючої породи. Чим більше концентрація різних мінеральних солей, розчинених у воді, тим менше її опір.) Сильно мінералізовані води (з мінералізацією близько 10 г/л) мають опір близько 1 Ом×м. Поширені у природних умовах підземні води з мінералізацією в декілька міліграмів/літрів і мають опір 10-150 Ом×м. Якщо пори в породі заповнені нафтою, що є практично ізолятором, то опір порід значно зростає.

3. Пористість, текстура і структура порід також впливають на їх електропровідність. Чим більше пористість, тим краще порода проводить електричний струм.

4. Водонасиченість порід. Так, суха глина, хоча і має велику пористість, має великий опір (понад 1000 Ом×м). Та ж глина, насичена водою, має одиниці і десятки омметрів.

Не дивлячись на широкий, діапазон зміни питомих електричних опорів у різних порід, основні закономірності встановлені достатньо чітко. Вивержені породи частіше за все характеризуються високими опорами (від 500 до 10000 Ом×м). Серед осадових порід високі опори у кам'яної солі, гіпсу, вапняку, пісковиків і деяких інших. Уламкові осадові породи, як правило, мають тим більший опір, чим більше розмір зерен, що становлять породу. При переході від глин до суглинків, супіски і піски питомий опір зраджується від часток і перших одиниць омметрів до перших десятків і сотень омметрів [4-6].

Метаморфічні породи займають по значеннях опору проміжне положення. У глинястих сланців опір низький. Чим більше ступінь метаморфізму і зцементованість порід, тим опір їх вище. Породи, відмінні шаруватістю (глини, глинисті сланці, графіт і деякі ін.), анізотропні, тобто їх питомий опір уздовж шаруватості і вкріст шаруватості різне. Ступінь цієї відмінності визначається коефіцієнтом анізотропії який завжди більше одиниці, але не перевищує 2 [6].

Діелектрична і магнітна проникності грають значну роль лише при електророзвідці на високих частотах. Відносна діелектрична проникність показує, у скільки разів збільшується місткість конденсатора якщо замість повітря в нього помістити дану породу. Величина змінюється від декількох одиниць (у сухих осадових порід) до 80 (у води) і залежить в основному від процентного змісту води і від мінералогічного складу породи. У вивержених порід міняється від 5 до 12 одиниць, у осадових від 2 - 3 (у сухої) до 16 - 25 (у повністю насиченої водою породи). Магнітна проникність більшості порід рівна магнітній проникності повітря. Лише у феромагнетиків відносна магнітна проникність, може зростати до 10 одиниць [4,6].

Під електрохімічною активністю розуміється властивість порід створювати природні електричні поля. Ці поля можуть виникнути через окислювально-відновні реакції, фільтраційних і дифузійно-адсорбційних явищ пов'язаних з наявністю і рухом в породах розчинів різної концентрації і хімічного складу. Одиниці електрохімічної активності поки що строго не встановлені [5].

Здатність порід поляризуватися, тобто накопичувати заряд при пропусканні струму, а потім розряджатися після відключення струму оцінюється коефіцієнтом поляризації. Величина обчислюється у відсотках як відношення напруги яке залишається у вимірювальній лінії після закінчення певного часу (звичайно 0,5 - 1 с) після розмикання струмкового ланцюга до напруги в тій же лінії при пропусканні струму. Найбільшою поляризацією відрізняються руди з електронною провідністю (сульфіди, сульфосоли, деякі самородні метали і окремі оксиди). Виникнення викликаних потенціалів в цій групі порід пояснюється так званою електродної поляризації руд у присутності підземних вод [7].

Потенціали викликаної поляризації спостерігаються над обводнюючи ми рихлими осадовими породами, в яких є глинисті частинки. У цих породах при пропусканні струму відбувається перерозподіл і дифузія зарядів адсорбованих на глинястих частинках. Повернення середовища в стан

рівноваги після відключення струму супроводжується ефектом викликаної поляризації. Більшість вивержених і метаморфічних порід, як правило, не поляризується. Також слабо поляризуються осадкові породи, насичені мінеральною водою [5,6].

1.2 Основні засоби магнітометричної розвідки (магніторозвідки)

Вимірювання магнітного поля Землі і його варіацій проводяться на магнітних обсерваторіях (їх на Землі близько 150) і шляхом регулярних магнітних зйомок на опорних пунктах. При абсолютних визначеннях повного вектора напруженості магнітного поля вимірюються принаймні три елементи магнітного поля (наприклад T , D , H). Для цього застосовуються складні, трьохкомпонентні магнітні прилади які називаються магнітними теодолітами і варіаційними станціями. Останні ведуть запис автоматично. Абсолютні вимірювання магнітного поля Землі проводяться на суші, на морі, в повітрі і космосі [7].

У наземній магніторозвідці вимірюються відносні прирощення вертикальній складовій геомагнітного поля, рідко горизонтальній. Прилади для магнітної розвідки різноманітні за принципами пристрою. Розрізняють оптико-механічні, кварцові, ферорезонансні і ядерно-прецесійні магнітометри.

Магнітометр М-2 довгі роки широко застосовувався в практиці магніторозвідки [7,8]. Це оптико-механічний магнітометр, призначений для вимірювань приростів вертикальної складової геомагнітного поля при наземній розвідці. Магнітна система магнітометра складається з двох магнітних пластин, сполучених сталевим кубічним каркасом, з маленьким дзеркальцем вгорі. На ній закріплена кварцова призма, яка служить віссю обертання системи. Для вимірювання вертикальної складової вісь обертання встановлюється уздовж магнітного меридіана, а магнітна система перпендикулярно магнітному меридіану. Під дією вертикальної складової

система нахилиється. Вимірювання нахилу магнітної системи проводиться з допомогою особливої оптичної системи. Промінь світла, проходячи через прозору шкалу, потрапляє на дзеркальце магнітної системи, відображається від нього і потрапляє в окуляр. Спостерігач в окулярі бачить нерухому шкалу і рухому. Узявши відлік (різниця розподілів рухомої і нерухомої шкали) у будь-якому пункті спостереження і на початковому пункті, можна визначити приріст вертикальної складової. Для визначення ціни розподілу магнітометру додаються еталонні магніти, встановлювані на штативі під магнітометром на відомій відстані від центру системи [8].

Магнітометр М-14-ф застосовується для вимірювання магнітних властивостей зразків, а магнітометр М-18 для польових вимірювань. Чутливим елементом в них служить постійний магніт з дзеркалом, укріплений на горизонтальній кварцовій нитці. Тому ці магнітометри називаються кварцовими. Під дією магнітного поля магніт відхиляється на кут, пропорційний вертикальній складовій. В магнітометрі М-14-ф відлік кута відхилення магніту візуальний за допомогою оптичної системи, як і в магнітометрі М-2. В комплект магнітометра М-14-ф входить стіл для розміщення зразків на певній відстані від магнітної системи. У магнітометрі М-18 відлік проводиться компенсаційним методом. Для цього в приладі є компенсаційний магніт, жорстко пов'язаний з відліковою шкалою. Плавна компенсація здійснюється обертанням цього магніту доти, поки постійний магніт не встановиться горизонтально. Момент компенсації фіксується за допомогою особливої оптичної системи, шляхом суміщення відображеного від дзеркала на магніті і нерухомого горизонтального індексів. Для розширення меж вимірювання існує другий, діапазонний магніт східчастої компенсації. Прилад не вимагає точного орієнтування по магнітному меридіану, оскільки у момент компенсації вісь магніту знаходиться у горизонтальному положенні. Це збільшує продуктивність роботи [9].

Магнітометр М-17 - ферозондовий магнітометр, призначений для наземної зйомки. Вимірювачем поля в цьому приладі є ферозонд (або

магніто-модуляційний датчик), з котушкою з феромагнітним сердечником. Первинна обмотка сердечника збуджується від допоміжного звукового генератора частотою 2000 Гц, зібраного на двох транзисторах. Під дією збуджуючого змінного струму міняється магнітна проникність матеріалу сердечника, а унаслідок законів індукції, призводить до того, що у вторинній обмотці котушки виникає ЕРС, пропорційна вектору, напруженості магнітного поля землі, направленому уздовж осі ферозонда. Для вимірювання вертикальної становить ферозонд орієнтується по вертикалі особливим маятником, поміщеним у підвісі. Останній забезпечений демпфуючим пристроєм для швидкого загасання коливань маятника. Таким чином магнітометр є тим, що самоорієнтується, що скорочує час вимірювання і дозволяє працювати без нівелювання [7].

Вимірювання поля магнітометром М-17 проводиться по принципу різницевої оцінки, при якому постійним магнітом компенсуються вертикальна складова на початковій крапці, а вимірюванню підлягають її прирости на всіх точках спостереження [7-9].

На принципі, схожому з пристроєм магнітометра М-17, побудованій ряд сучасних аеромагнітометрів - АЕМ-49, АМ-13, АММ-13, АСТ-46 і ін. В аеромагнітометрах вимірювальний ферозонд за допомогою особливих карданних пристроїв і двох додаткових взаємно перпендикулярних ферозондів встановлюється уздовж повного вектора напруженості магнітного поля Землі. Вимірювальний блок поміщається в спеціальній гондолі і буксирується за літаком на кабелі завдовжки 40 - 50 м. Електричний сигнал з цього блоку по кабелю потрапляє на пульт магнітометра, встановлений на літаку де посилюється електронним підсилювачем, випрямляється і подається на автоматичний компенсаційний пристрій і особливий самописець [10].

Аеромагнітометри встановлюються на літаках типу АН-2, МУЛ-12 і ін., а також на вертольотах. Окрім ферозондових в даний час широко застосовуються ядерно-прецесійні аеромагнітометри [9,10].

В кожному магнітометрі є термометр для вимірювання температури. По відомому температурному коефіцієнту приладу і заміряній температурі вводиться поправка за температуру [8].

У практиці магніторозвідки застосовуються ядерно-прецесійні, або протонні, магнітометри. Протонні магнітометри засновані на вимірюванні частоти прецесії протонів (ядер водню) у магнітному полі Землі. Принцип пристрою протонних магнітометрів зводиться до наступного. Чутливим елементом будь-якого протонного магнітометру є рідина, багата протонами (вода, спирт). Судина з цією рідиною поміщається усередині живлячої (поляризаційна) котушки, в якій створюється могутнє магнітне поле, направлене перпендикулярно повному вектору магнітного поля Землі в даній крапці (T). Рідина «намагнічується» приблизно дві секунди, і всі протони які можна вважати елементарними магнітиками, встановлюються уздовж поля. Потім поле, що намагнічує, швидко відключається. Протони, прагнучи встановитися уздовж вектора T , коливаються (прецесують) навкруги нього і індукують у вимірювальній котушці дуже слабу ЕДС, частота якої пропорційна напруженості поля T . Процес вимірювання з ядерно-прецесійним магнітометром зводиться до визначення частоти прецесії протонів за допомогою особливих електронних схем [8,10].

1.3 Датчики для вимірювання магнітних полів

1.3.1 Датчики магнітометрів

Силовою характеристикою магнітного поля є вектор магнітної індукції. Засобом вимірювань модуля вектора магнітної індукції або його складових відповідно ДСТУ 24284 називається магнітометром [11].

У таких сферах, як мікромагнітне сканування або неруйнівний контроль єдиним критерієм вибору часто є розмір датчика. При пошуку і виявленні магнітних аномалій на великих відстанях важливішим параметром

є шум і роздільна здатність [12]. При вирішенні завдань навігації, орієнтації і стабілізації на перший план виходять лінійність, температурні коефіцієнти і чутливість до поперечного поля [13]. При вимірюванні магнітного поля квантового чіпа особливого значення набуває тепловиділення і працездатність датчика при наднизьких температурах.

Основними характеристиками датчиків магнітного поля є: діапазон вимірювань; лінійність; гістерезис; похибка перетворення магнітної індукції (в тому числі залежність від температури); зміщення; довготривала стабільність; шум; діаграма спрямованості; чутливість до поперечного поля; частотний діапазон вимірювань; геометричні розміри датчика; споживана потужність; тепловиділення; діапазон робочих температур.

Залежно від використовуваного ефекту датчики магнітного поля поділяються на типи, показані на рисунку 1.1.

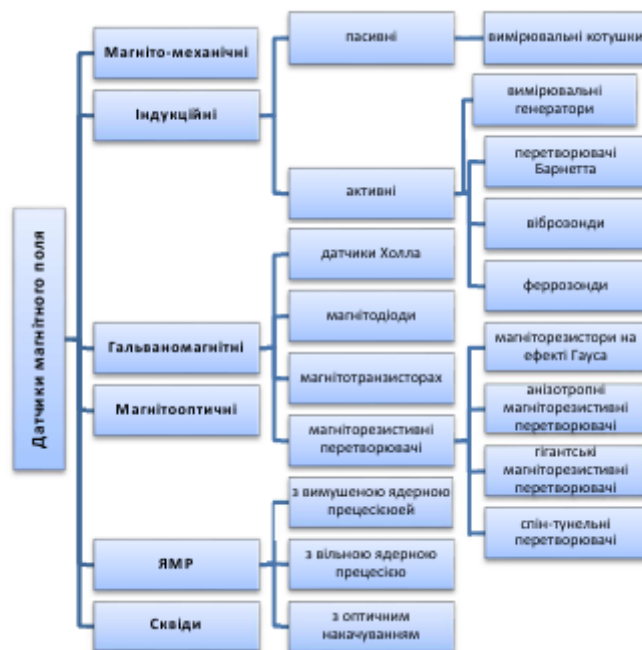


Рисунок 1.1 – Види датчиків магнітного поля

1.3.2 Магніторезистивні датчики

Магніторезистори мають низькі шуми, які не схильні до дії поверхневих ефектів і характеризуються дуже малим старінням.

Залежно від фізичного ефекту і матеріалу розрізняють такі магніторезистивні датчики:

- магніторезистори на ефекті Гауса;
- анізотропні магніторезистивні датчики (АМР);
- гігантські магніторезистивні датчики (ГМР);
- спин-тунельні магніторезистивні датчики (СТМР).

Магніторезистори на ефекті Гауса. Ефект Гауса полягає в зміні електричного опору магніточутливого матеріалу внаслідок викривлення траєкторії руху носіїв заряду під дією зовнішнього магнітного поля. При приміщенні магніточутливого матеріалу в магнітне поле його опір збільшиться.

Більшість магніторезисторів на ефекті Гауса дозволяють вимірювати постійні і змінні магнітні поля до 1 МГц в діапазоні від 1 мТл до 1 Тл при розсіюється до 1 Вт в діапазоні робочих температур від -40°C до $+110^{\circ}\text{C}$. Температурний коефіцієнт чутливості типового датчика на ефекті Гауса варіюється в межах $2\% / ^{\circ}\text{C} - 0,02\% / ^{\circ}\text{C}$ [14].

Перевагами магніторезисторів на ефекті Гауса є малі габарити і низька вартість.

Недоліками магніторезисторів на ефекті Гауса є низька чутливість, нелінійність характеристики перетворення, висока залежність від температури, зміна чутливості магніторезистивного елемента при зміні кута між вектором магнітної індукції і площиною елемента, досить велика розсіювальна потужність.

Анізотропні магніторезистивні датчики (АМР). АМР датчики основані на анізотропному магніторезистивному ефекті, який є прямим наслідком спин-орбітальної взаємодії в феромагнітних провідниках і полягає в зміні електричного опору феромагнітного провідника залежно від зміни кута α між струмом, що протікає I і вектором намагніченості M . Принцип анізотропного магніторезистивного ефекту показаний на рисунку 1.2.

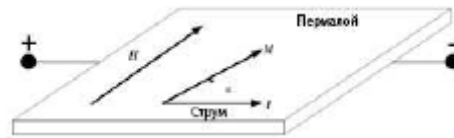


Рисунок 1.2 – Принцип анізотропного магніторезистивного ефекту

Зовнішнє магнітне поле H повертає вектор намагніченості M на кут α і змінює електричний опір відповідно до вираження (виразу):

$$R_0 = R + \Delta R \cos^2 \alpha, \quad (1.1)$$

де R_0 – базовий опір АМР-датчика, Ом;

R – максимальна зміна опору, Ом.

З формули (1) випливає, що кутку $\alpha = 90^\circ$ відповідає мінімальний опір, а кутку $\alpha = 0^\circ$ (за відсутністю магнітного поля) – максимальне значення опору, що дорівнює базовому опору R_0 , до якого додається максимальний опір R , що становить від 2% до 3% від базового.

З формули (1) випливає також, що залежність опору від величини вимірюваного магнітного поля носить нелінійний характер. Для вирішення цієї проблеми в АМР-датчиках використовують структуру, в якій алюмінієві смуги напилюють на пермалой під кутом 45° , тим самим змінюючи напрямок струму на 45° і наближаючи функцію перетворення до лінійної.

Більшість АМР-датчиків дозволяють вимірювати постійні і змінні магнітні поля до частот близько 10 МГц в діапазоні від 10 нТл до 1 мТл, рівень власних шумів на рівні $10 \text{ нТл}/\sqrt{\text{Гц}}$, споживана потужність від 0,1 до 0,5 мВт, нелінійність функції перетворення на рівні 0,1%. АМР можуть працювати в діапазоні температур від -55°C до $+200^\circ\text{C}$.

Температурний коефіцієнт чутливості типового АМР-датчика складає від $0,25\%/^\circ\text{C}$ до $0,01\%/^\circ\text{C}$. Температурний коефіцієнт зміщення становить близько $10 \text{ нТл}/^\circ\text{C}$, і варіюється навіть між екземплярами датчиків однієї партії [13].

Для підвищення точності вимірювання магнітного поля АМР-датчик включають по мостовій схемі і застосовують зворотний зв'язок для

компенсації вимірюваного магнітного поля. Для цього в АМР-датчики вбудовують плоску котушку зворотного зв'язку. Такий підхід дозволяє підвищити поріг чутливості і лінійність, але при цьому значно звужується частотний діапазон.

Вихідна напруга U в АМР-датчиках залежить не тільки від вимірюваної компоненти вектора магнітної індукції B_x , але і від компоненти B_y , перпендикулярної напрямку вимірювання. Для компенсації похибки від поперечного поля застосовують різні способи, наприклад, магнітну зворотний зв'язок, одночасне вимірювання двох або трьох компонент вектора магнітної індукції з подальшою цифровою обробкою та ін. Проте, для реалізації прецизійних способів компенсації необхідні складні аналого-цифрові схеми, які мають як високе енергоспоживання, так і тепловиділення. Прості схемні рішення знижують чутливість датчиків і збільшити рівень шумів [13].

Розвитку АМР-датчиків сприяла необхідність замінити індуктивні головки зчитування інформації у жорстких дисках. У цій якості пізніше вони були замінені ГМР- і СТМР-датчиками, оскільки ті володіють більш високою щільністю зберігання інформації завдяки меншим розмірам.

Перевагами АМР-датчиків є наявність осі чутливості, довгий термін служби і незалежність від магнітного дрейфу. Вони володіють (мають) невеликими розмірами, наприклад датчик компанії Honeywell HMC1021S має розміри $5 \times 4 \times 2$ мм, можуть працювати в широкому діапазоні температур, мають низьке енергоспоживання і відносно дешеві.

До недоліків АМР-датчиків слід віднести низьку порогову чутливість і високий рівень шуму. Крім того, магніторезистивні датчики володіють великим виділенням тепла, пов'язаним з розсіюванням енергії в резистивному елементі.

Гігантські магніторезистивні датчики (ГМР). ГМР-датчики засновані на гігантському магніторезистивному ефекті (квантово-механічний ефект), що спостерігається в тонких металевих плівках та складаються із феромагнітних

і провідних немагнітних шарів. Ефект полягає в істотній зміні електричного опору такої структури при зміні взаємного напрямку намагніченості сусідніх магнітних шарів, як показано на рисунку 1.3.

Основним механізмом виникнення ГМР-ефекту є спін-залежне розсіювання електронів провідності. У ферромагнетиці електрони з одним напрямком спина розсіюються набагато сильніше, ніж електрони з протилежним напрямком (виділений напрям задає намагніченість зразка). Виходячи з одного ферромагнітного шару, електрони потрапляють в інший, зберігаючи свою поляризацію. Таким чином, в разі паралельної намагніченості шарів опору, які розсіюються менше, проходять усю структуру без розсіювання; а носії протилежної поляризації відчують сильне розсіювання в кожному з магнітних шарів. У разі ж антипаралельної намагніченості шарів, носії обох поляризацій відчують сильне розсіювання в одних шарах і слабке в інших. Отже, при паралельній намагніченості шарів опір, як правило, низький, а при антипаралельній – високий. В якості елемента на основі ефекту ГМР як правило використовується структура, що отримала назву спіновий клапан (spinvalve). У ній один з магнітних шарів нанесений на шар антиферромагнетика. Завдяки обмінній взаємодії між електронами ферромагнетика і антиферромагнетика спини в цих двох шарах стають жорстко пов'язаними між собою.

ГМР-датчики характеризуються малими розмірами і великою зміною опору під впливом магнітної індукції, ніж АМР-датчики. У той час як зміна опору АМР-датчика не перевищує 3%, ГМР-матеріали забезпечують зміну від 10% до 20%. Крім цього, ГМР-датчики виготовляються за технологією, розробленою для виробництва напівпровідників, що зменшує собівартість датчиків. Сьогодні кращі ГМР-датчики здатні вимірювати поля від 10 нТл до 0,1 Тл.

Фірма Hitachi розробила ГМР-датчики з поліпшеною температурною стабільністю. У цих датчиків в діапазоні температур від -40°C до $+120^{\circ}\text{C}$

чутливість змінюється всього на 20%, крім того, вони здатні працювати при температурі 250°C протягом 30 хвилин [13].

Перевагами ГМР-датчиків є велика щільність інтеграції, внаслідок чого досягається висока роздільна здатність при розпізнаванні близько розташованих один до одного магнітних мікрооб'єктів (зокрема, бітів на магнітних носіях), висока швидкодія і низьке енергоспоживання.

До недоліків можна віднести те, що діаграма спрямованості має деформацію, при цьому сильні магнітні поля, особливо при високих температурах, здатні зруйнувати спину клапан через зміни в намагніченості з'єднувального шару. Така небезпека не загрожує АМР-датчикам [13].

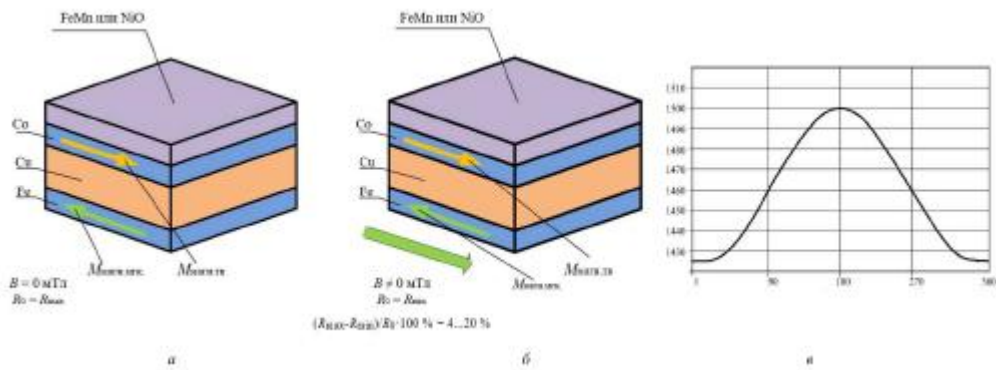


Рисунок 1.3 – Принцип гігантського магніторезистивного ефекту: а – антипаралельними напрямком векторів намагніченості приколоти і регульованого шарів (кут $\alpha \geq 180^\circ$) – стан з максимальним опором; б – паралельне стан шарів (кут $\alpha \geq 0$) – стан з мінімальним опором; в – графік залежності опору від напрямку прикладеного поля (кута α між рухомим і рухомим шарами)

1.3.3 Спін-тунельні магніторезистивні датчики (СТМР)

Спін-тунельні магніторезистивні датчики (СТМР). СТМР-датчики засновані на спінтунельному магніторезистивному ефекті, який аналогічний гігантському магніторезистивному ефекту, де замість немагнітного металу ферромагнітні шари розділені шаром діелектрика. Якщо шар діелектрика

досить тонкий, проявляється тунельний ефект. Імовірність тунелювання електрона через потенційний бар'єр сильно залежить від взаємної орієнтації намагніченостей шарів, тому в англомовній літературі цей ефект називається «spindendent tunneling» (SDT).

Вимірний опір обернено пропорційний ймовірності тунелювання через тонкий ізолюючий бар'єр [14]. Для аморфного ізолюючого шару Al_2O_3 відносна зміна опору досягає 70% при кімнатній температурі. Ще більш перспективним є бар'єр у вигляді монокристалічного шару MgO , який дозволяє досягти значень зміни опір до 600% при кімнатній температурі. Завдяки високому опору СТМР-датчики мають менше енергоспоживання, ніж ГМР-датчики. Однак, проблемою СТМР-датчиків залишається висока коерцитивна сила і нелінійність. Так цифровий магнітометр з СТМР-датчиком, має розширення 1 мкТл і лінійний діапазон вище 1 мТл [13].

Перевагами СТМР-датчиків є малі габарити і, отже, висока просторова роздільна здатність, низьке енергоспоживання, можливість роботи в широкому діапазоні температур, довговічність, низька вартість [13].

До недоліків СТМР-датчиків відносяться невисока чутливість, нелінійність в широкому діапазоні вимірювань, високий рівень шуму і тепловиділення.

Конструкція MEMS-перемикача MS1. Магнітоуправляемий мікроперемикач, виготовлений на основі MEMS-технології, має всі переваги MEMS-пристроїв: мініатюрність, простота виготовлення, можливість інтеграції в мікроелектронні схеми і невисока вартість при великосерійному виробництві.

Мікроперемикач MS1 складається з виконавчого механізму і електричних контактів, укладених в герметичний кремнієвий корпус (рисунок 1.4). Кремнієвий корпус приладу включає в себе кремнієву підкладку, на якій розташований виконавчий механізм і кремнієвий ковпачок. Виконавчий механізм складається з рухомої феромагнітної пластини (якоря) з магнітомягкого гальванічного сплаву FeNi (Ni 80%, Fe

20%) товщиною 8 мікрон, прикріпленою за допомогою гнучких торсіонних важелів до кремнієвої підкладки, попередньо вкритої ізолюючим шаром. Феромагнітна пластина містить рухливий електричний контакт 1, покритий шаром рутенію, який має товщину близько 100 нм. Використання нанорозмірного рутенієвого покриття дозволяє істотно збільшити ресурс роботи комутатора (за критерієм залипання контактів) в порівнянні з золотими контактами без покриття. На ізоляційній підкладці також розташовані нерухомий електричний контакт 2 з аналогічним рутенієвим нанопокриттям і провідники із золота товщиною 1 мкм. Підкладка і ковпачок з'єднані герметизуючим кільцем. У кремнієвому SMD-корпусі (для поверхневого монтажу) виконані наскрізні струмопровідні канали (TSV), що з'єднуються з контактними майданчиками для поверхневого монтажу (SMT), виконаними з евтектичного сплаву AuSnCu.

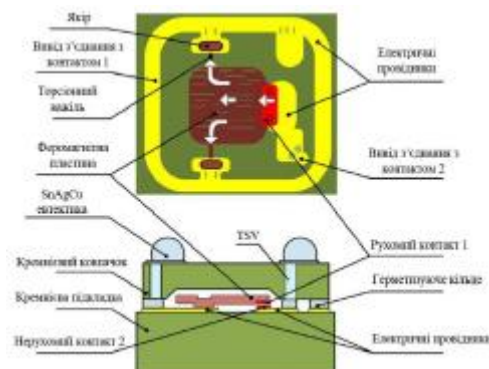


Рисунок 1.4 – Конструкція MEMS-перемикача MS1

Принцип роботи MEMS-перемикача MS1 істотно відрізняється від принципу роботи герконів і датчиків Холла. Замикання і розмикання контактів MS1 відбувається за рахунок переорієнтації феромагнітної пластини датчика уздовж ліній зовнішнього магнітного поля. Отже, стан перемикача визначається лінією орієнтації магнітного поля, а не тільки його силою, як у випадку з герконом або датчиком Холла. Тому для стабільної роботи перемикач повинен завжди перебувати під впливом магнітного поля. На рисунку 1.5 представлена схематична ілюстрація роботи приладу.

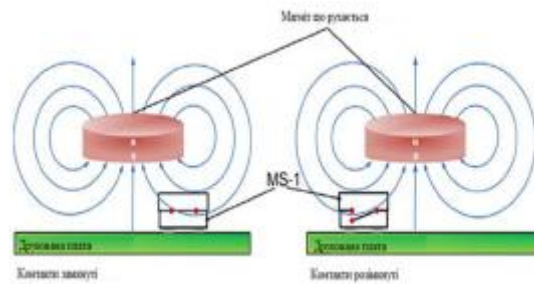


Рисунок 1.5 – Схематична ілюстрація роботи мікроперемикача

Видно, що при переміщенні постійного магніту щодо перемикача змінюється напрямок ліній магнітного поля всередині датчика, і контактна феромагнітна пластина, закріплена на гнучких торсійних важелях, повертається, замикаючи або розмикаючи контакти. Комутація контактів відбувається в точці перетину медіаною магніта центру перемикача.

Нанорозмірне покриття контактів MEMS-комутатора MS-1. Ресурс роботи і експлуатаційні характеристики (перш за все, опір в замкнутому стані) будь-яких комутаційних приладів, включаючи MEMS-комутатори, в основі конструкції яких лежить «сухий контакт», визначаються властивостями контактного покриття. З метою підвищення ресурсу роботи і зниження контактного опору в MEMS комутаторах MS-1, в якості контактного покриття використовується шар рутеніютовщиною 100 нм, що формується з використанням PVD-технології, що дозволяє отримати високу ступінь хімічної чистоти і гладкості покриття. Обрана товщина рутенієвого покриття рівна 100 нанометрів, виходячи з вимог досягнення балансу між ерозійною стійкістю (зростає зі збільшенням товщини) і напругою покриття (чим тонше, тим менше внутрішньої напруги, велика товщина контактного покриття може стати причиною виходу MEMS-комутатора з ладу через відшаровування покриття при комутації великих струмів).

Перед початком випробувань всі MEMS комутатори мали електричний опір в замкнутому стані менше 1 Ом. Використовувався режим гарячої комутації (напруга, що комутується 3 В, струм 10 μ А, резистивне навантаження, частота комутації 100 Гц). Випробування завершувалися після 100 млн циклів комутацій. Всі випробувані MEMS-комутатори (20 штук) в

ланцюг включалися однаковим чином, при якому на рухливий контакт підводився позитивний потенціал, а на нерухомий – негативний.

Отже, класичні методи магніторозвідки мають ряд суттєвих недоліків. А саме: надто громіздке та складне обладнання, необхідність застосовувати складні польові випробування із залученням значних затрат як технічного плану, так і людських ресурсів.

Тому, метою роботи є розробка та дослідження простого у використанні та економічного пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

- 1) провести аналіз існуючих методів магніторозвідки марганцевих порід та вибрати для вдосконалення найбільш оптимальний із технічних та економічних міркувань;

- 2) розробити структурну схему пристрою;

- 3) розробити електричні схеми основних апаратних блоків пристрою;

- 4) провести моделювання роботи електричних схем пристрою за допомогою сучасних САПР;

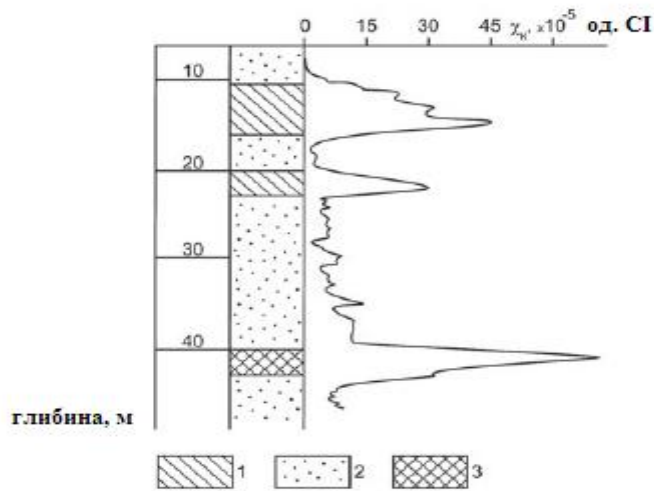
- 5) виконати розрахунки по техніко-економічному обґрунтуванні розробки пристрою та розробити заходи по умовам дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

2. Розробка пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

2.1 Аналіз об'єкту досліджень та вибір вимірювальних характеристик

Об'єктом досліджень було обрано марганцеві породи Нікопольського марганцеворудного басейну, як найбільш доступні для дослідження та унікальні за своїми властивостями.

Для родовищ марганцю, в цілому, характерна досить чітка диференціація розрізів по питомій електричній провідності: перевищення провідності руд над провідністю домішкових порід досягає 5–25 разів в рихлих руд і 2 разів в щільних їх різниць. Крім того, марганцевоносні відкладення відрізняють підвищені природна і наведена електрична поляризуємість та магнітна сприйнятливість [15]. Багаточисельні виміри магнітної сприйнятливості порід і руд родовищ марганцю свідчать, що в більшості випадків їх магнітні властивості істотно відрізняються (рисунок 2.1). Крім того, спостерігаються відмінності в магнітній сприйнятливості руд марганцю різного складу. Зокрема карбонатні руди Нікопольського родовища мають магнітну сприйнятливість в 2–3 рази більшу, ніж окисні.



- 1 – суглинки, збагачені оксидами заліза;
 2- пісок;
 3 – марганцева руда

Рисунок 2.1 – Крива магнітної сприйнятливості Нікопольського марганцевого родовища

Отже, як видно із рисунка 2.1 основною вимірюваною величиною, яка дасть якісну та кількісну оцінку для марганцевої руди є магнітна сприйнятливість. Звідси робимо висновок, що для досягнення поставленої мети потрібно використовувати пристрої магнітоелектричної розвідки (магніторозвідки).

2.2 Структурна схема пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

2.2.1 Структурна схема прототипу

У якості прототипу було обрано одноканальний магнітометр, представлений в роботі [16] (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Одноканальний протонний магнітометр

Структурна схема магнітометра-прототипу представлена на рисунку 2.3



Рисунок 2.3 – Структурна схема протонного магнітометра-прототипу

Частота спіну прецесії лінійно залежить від вимірюваного магнітного поля ($f=yB$, де $y= 42,57$ МГц/Тл – гіромагнітне відношення протона), тому,

визначаючи частоту індукованої в датчику вільної прецесії, можна виміряти величину магнітної індукції з високою точністю [16]. Однак, існує ряд проблем, що обмежують використання протонних магнітометрів. Мала величина напруги сигналу вільної прецесії протонів вимагає створювати датчики як можна більшого об'єму, але чим більше розмір датчика, тим більше неоднорідність магнітного поля в його об'ємі і тим менше час загасання і амплітуда сигналу [16]. Тому усі сучасні протонні магнітометри використовуються подалі від об'єктів, що спотворюють геомагнітне поле (металоконструкцій, ліній електропередач і ін.). Також для проведення вимірів необхідно заздалегідь знати напрям магнітної індукції, оскільки датчики більшості сучасних протонних магнітометрів чутливі до нього. У літературі часто можна зустріти твердження, що сигнал вільної ядерної прецесії практично не вдається спостерігати в звичайній лабораторії із-за високої неоднорідності поля поблизу феромагнітних об'єктів. Проте використання завадостійкого тороїдального датчика [17], надчутливої приймальної апаратури і цифрових методів обробки дозволяє здолати ці проблеми.

2.2.2 Спостереження сигналу вільної прецесії

Експерименти по спостереженню сигналу вільної прецесії протонів в лабораторних умовах проводилися в будівлі із залізобетонним каркасом. Неоднорідність геомагнітного поля в лабораторії, виміряна холловським магнітометром, складала 8 мкТл/м [18]. Приведений до вході підсилювача сигнал вільної прецесії, отриманий в ході вимірів, показаний на рисунку 2.4.

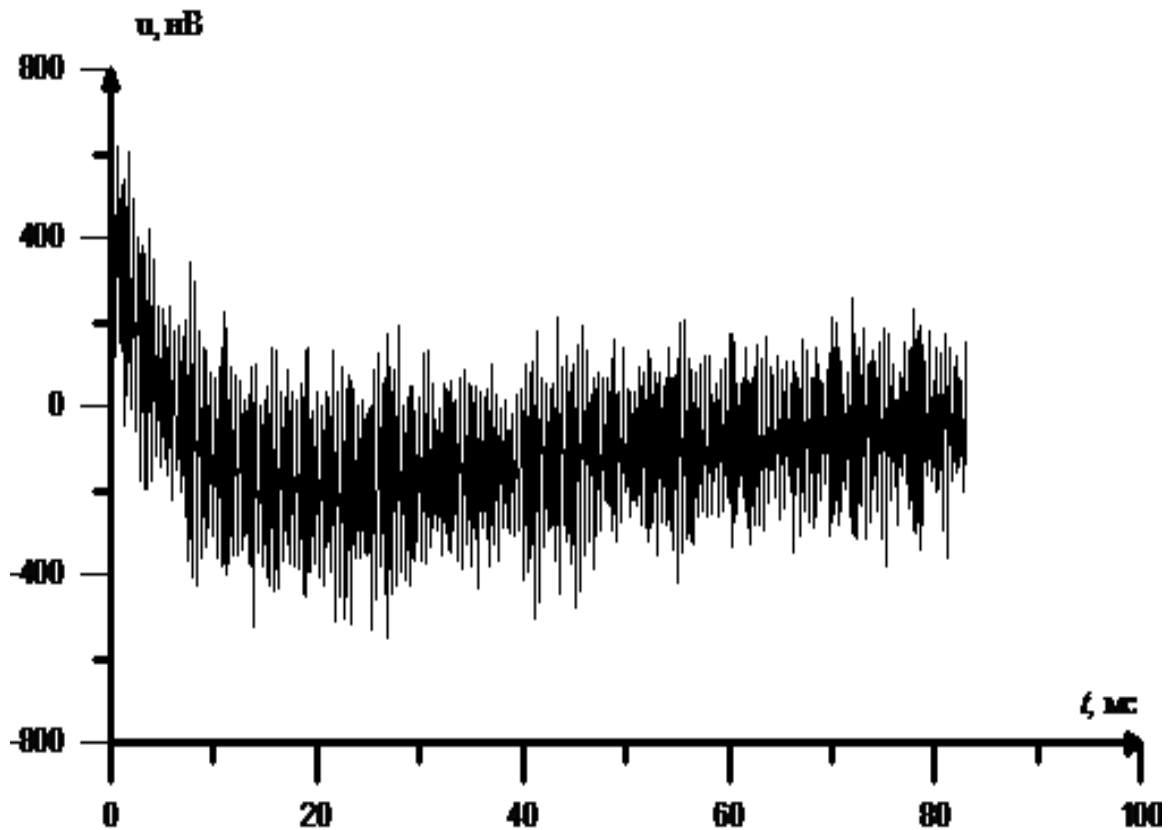


Рисунок 2.4 – Форма сигналу вільної прецесії

На рисунку 2.5 показана спектрограма сигналу вільної прецесії, отримана за допомогою програми audacity 2.0.3 [19] відразу після виключення поляризації при розташуванні датчика на відстані 1,5 м від всіх феромагнітних об'єктів, що знаходяться в лабораторії. Пік на частоті 2018 Гц відповідає магнітному полю 47,4 мкТл. Час загасання сигналу визначався по спектрах вибірок, узятих в різний час після виключення поляризації, і склав приблизно 200 мс.

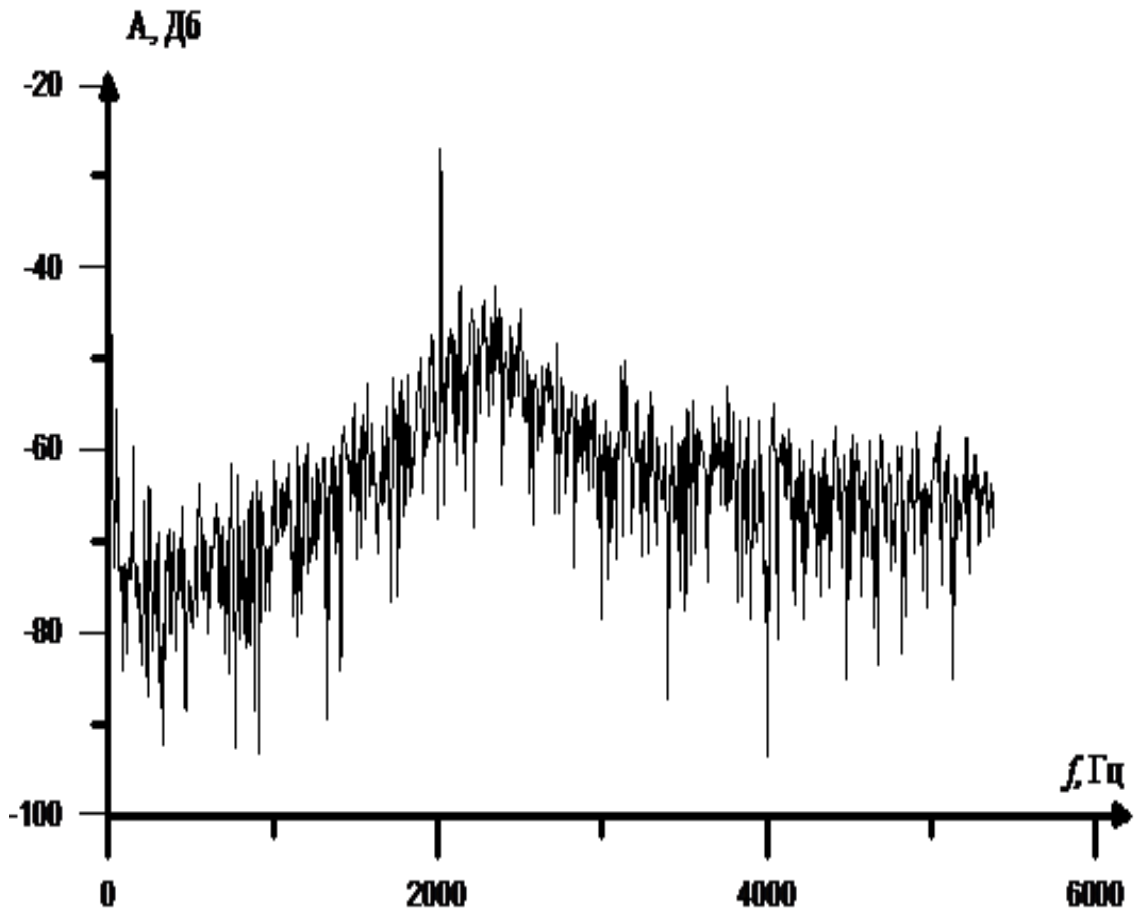


Рисунок 2.5 — Спектрограма сигналу при розташуванні датчика на відстані 1,5 м від всіх феромагнітних об'єктів

На рисунку 2.6 приведена спектрограма сигналу вільної прецесії при розташуванні датчика на відстані 20 см від феромагнітного лабораторного приладу. Пік на частоті 1894 Гц відповідає полю 44,49 мкТл, час загасання сигналу вільної прецесії при цьому складає приблизно 50 мс.

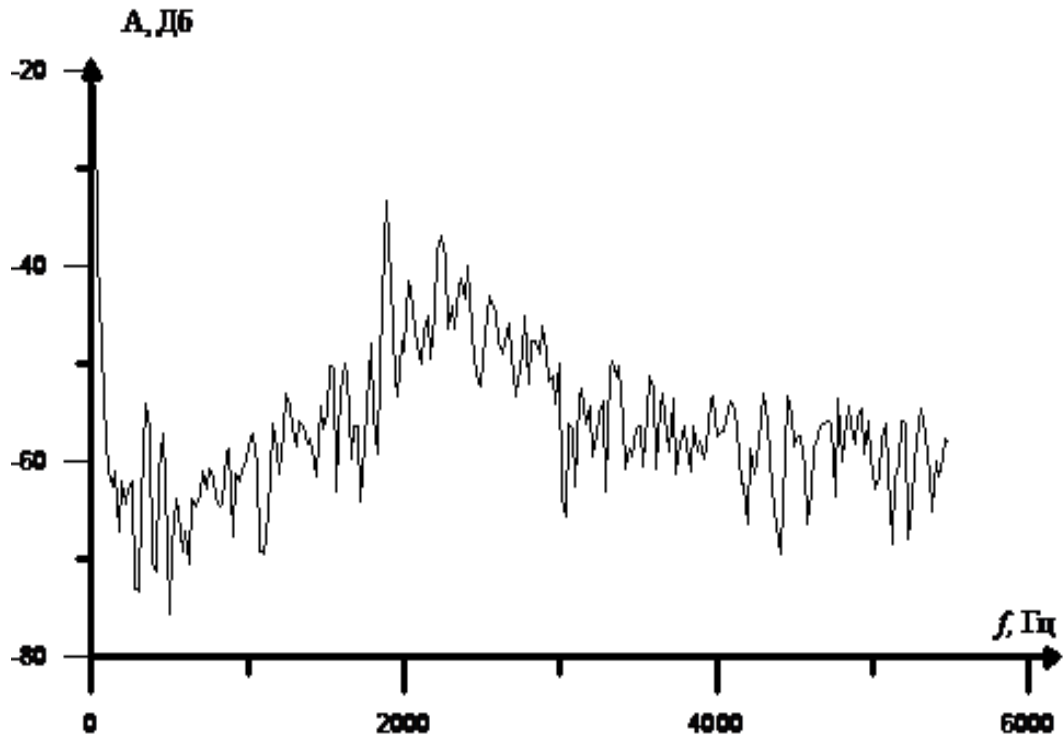


Рисунок 2.6 — Спектрограма сигналу при розташуванні датчика на відстані 20 см від феромагнітного лабораторного устаткування

Аналіз приведеного на рисунку 2.4 сигналу вільної прецесії, показує, що в сигналі, отриманому в лабораторних умовах, періодична складова не виділяється на рівні шуму. Тому не можливо виміряти частоту вільної прецесії протонів в геомагнітному полі електронно-рахунковим частотоміром. Саме ця обставина зазвичай береться за причину неможливості спостереження ЯМР в геомагнітному полі в лабораторних умовах [20]. На спектрограмах на рисунку 2.5 та 2.6 максимум, що відповідає вільній ядерній прецесії, може бути виділений методами теорії розпізнавання образів, проте при цьому велика вірогідність помилки із-за сусідніх піків, обумовлених шумовою складовою сигналу. Відзначимо, що час загасання сигналу вільної прецесії в лабораторних умовах дуже мале (десятки мілісекунд замість декількох секунд в однорідному полі [17]). Підвищити

точність виміру частоти сигналу вільної прецесії дозволяє цифрова фільтрація і параметричне спектральне оцінювання [18]. На рисунку 2.7 приведена невелика вибірка сигналу вільної прецесії після фільтрації рекурсивним цифровим фільтром із смугою 100 Гц.

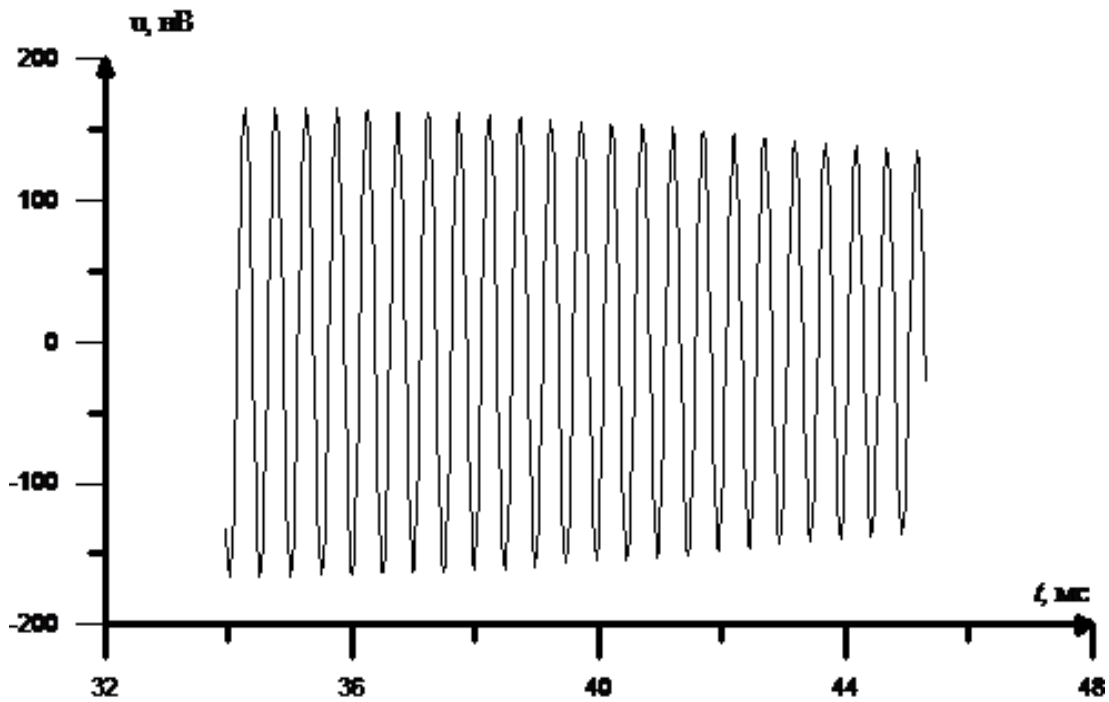


Рисунок 2.7 – Сигнал вільної прецесії

Крива, що огинає сигнал, приведена на рисунку 2.8. Як видно із графіка, сигнал вільної прецесії має амплітудну модуляцію з частотою 50 Гц, яка викликана магнітним наведенням, створеного побутовою мережею на вимірюване геомагнітне поле.

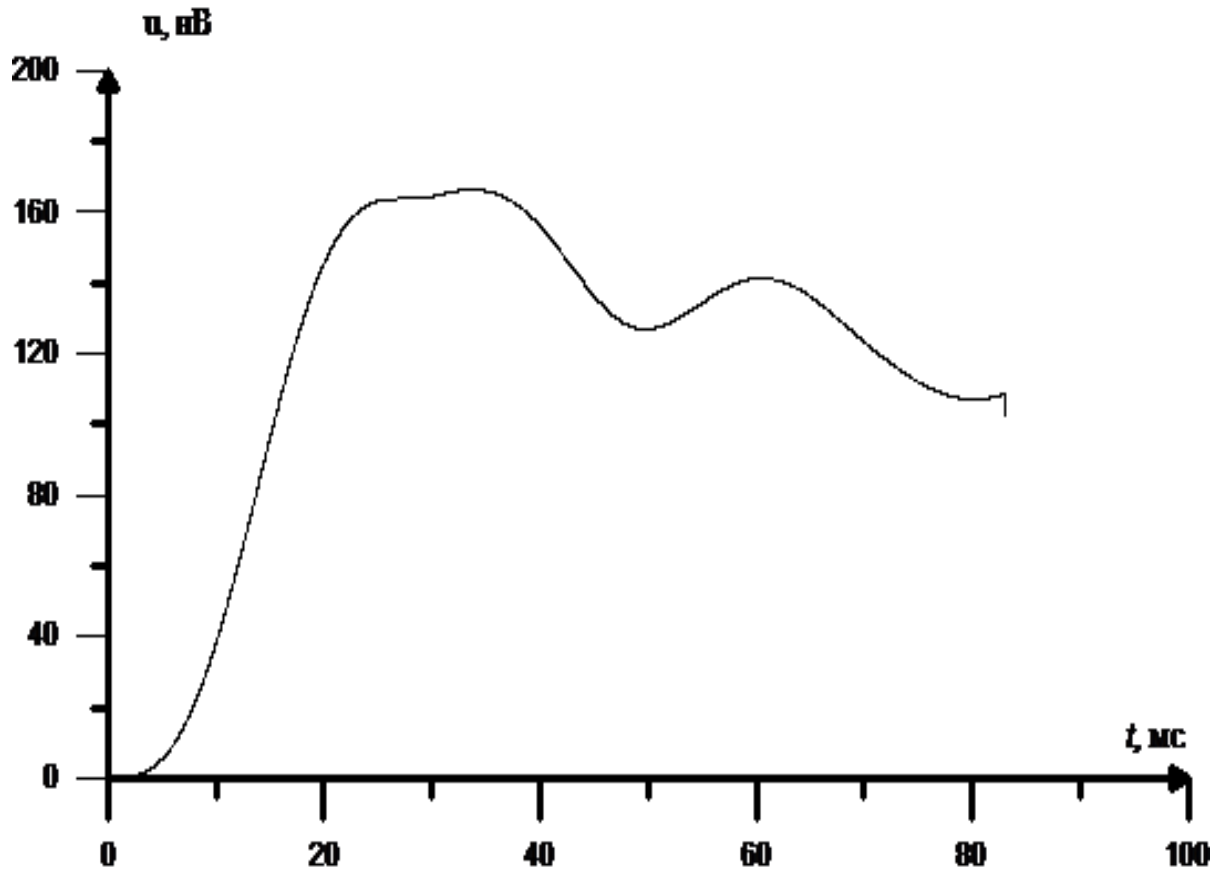


Рисунок 2.8 – Форма огинаючої сигналу, приведенного до входу

Обчислення частоти квазігармонійного сигналу після цифрової фільтрації проводилося методом Проні [21], який дозволяє по вибірці 100 мс обчислювати частоту сигналу з точністю 10-3 Гц, що відповідає погрішності виміру магнітної індукції в 0,5 нТ. Експерименти підтвердили, що розроблений магнітометр дозволяє виробляти виміри геомагнітного поля з точністю до 0,5 нТ в при неоднорідності до 8 мкТ/м. Рівень сигналу при цьому, досить високий, що дозволяє зменшити розмір датчика і проводити виміри в ще неоднорідніших полях, а використання методу визначення миттєвої частоти і використання методу динамічної компенсації погрішності АЦП [21] дозволить збільшити точність вимірів.

Запропонований в роботі прилад не дозволяє досягти принципової межі в чутливості вимірників магнітного поля [21], але він не вимагає спеціальних умов експлуатації і позбавлений недоліків більшості сучасних протонних магнітометрів. Він може використовуватися в магнітних вимірах навіть в полях високої неоднорідності, що розширює сферу його застосування в порівнянні з його сучасними аналогами. Сучасний магнітометр GSM-19T, що має найбільший допустимий градієнт магнітного поля, здатний працювати при неоднорідності до 7 мкТл/м, володіє точністю вимірів до 0,01 нТ і коштує 10500 \$ [22], тоді як собівартість розроблюваного магнітометра не перевищує 3700 гривень. При використанні двох паралельних каналів виміру спільно з вимірником малих переміщень на основі магнітометра можна створити надчутливий прилад, який може бути включений в комплекси дистанційного обстеження геологічних об'єктів і безпосередньо - для визначення вмісту марганцевих порід, що залягають на глибині, не більше 50 метрів. Також пристрій має перспективу у сфері обстеження металоконструкцій, трубопроводів та ін. із застосуванням методу тензорної мікротопології [23].

2.2.3 Структурна схема розроблюваного пристрою

Враховуючи розглянуті зауваження попереднього пункту спостереження прецесії, пропонується наступна структурна схема протонного магнітометра (рисунок 2.9).

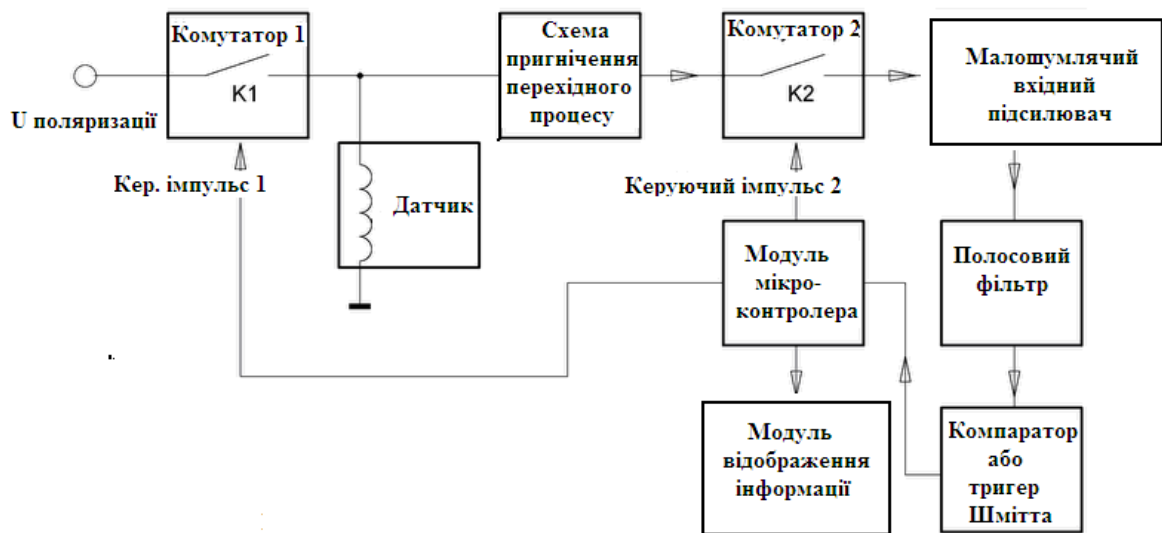


Рисунок 2.9 – Структурна схема протонного магнітометра для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

Конфігурація датчика – багатовитковий соленоїд, що містить усередині речовину, багату протонами, – вода, що дистилює, гас, бензин, дизельне паливо, органічні спирти.

Датчик є пластмасовим тороїдальним каркасом зовнішнім діаметром 80 мм і діаметром перетину 15 мм, що містить активну речовину (дистильовану воду), на який дротом ПЕЛ - 0,6 мм рівномірно намотана котушка з 1700 витків, її опір 10 Ом. Для того, щоб в датчику виникала вільна спін прецесія, необхідно поляризувати активну речовину сильним магнітним полем протягом декількох секунд, а потім швидко вимкнути це поле. Для цього системою силових ключів, виконаною на твердотілих оптичних реле PVG613PBF (порівняно із прототипом LCA710 – напруга ізоляції на 250 В більше (4000 В)) [24] до котушки підключається джерело поляризації, –

батарея з двох акумуляторів по 3,7 В. При цьому струм в котушці визначається її опором і складає 0,74 А, що відповідає поляризуючому полю 2 мТл. Управління режимами роботи ключів здійснюється мікроконтролером STM32F100C8T6В замість STM32F100C4T6 прототипу (вдвічі більший об'єм програмної пам'яті – 64 кБайт та менша вартість) [25].

Доки котушка датчика підключена до джерела поляризації, комутатор, виконаний на ключі ADG884 [26], замикає вхід підсилювача, аби він не входив в режим насичення. Відразу після виключення поляризації можна детектувати сигнал вільної прецесії. Для цього через декілька мілісекунд після закінчення імпульсу поляризації комутатор підключає підсилювач до датчика. Схема підсилювача складається з двох неінвертуючих каскадів, зібраних на зведеному малошумливому операційному підсилювачі OPA2211 [27], загальний коефіцієнт посилення складає 5000. Амплітуда сигналу вільної прецесії на вході підсилювача складає декілька долей мікрвольта, тому для точного виміру частоти сигналу необхідно збільшити відношення сигнал-шум. Для цього використовується смуговий активний фільтр другого порядку, виконаний на операційному підсилювачі OPA2211, з коефіцієнтом посилення 7 на центральній частоті 2100 Гц і із смугою пропускання 500 Гц. Як пристрій прийому і обробки даних використовується звукова карта персонального комп'ютера VIA Tremor 7.1 [28]. Живлення магнітометра здійснюється від двох акумуляторів напругою 3,7 В, для живлення контролера і ключа ADG884 використовується лінійний стабілізатор напруги на 3,3 В MAX8860EUA33, у якого порівняно із прототипом ADP3330 значно менший рівень шумів (55-65 мкВ проти 95 мкВ для ADP3330) [29,30].

Протонний магнітометр працює в двох основних режимах:

- перший з них - режим поляризації, при якому робоча речовина піддається дії сильного магнітного поля для намагнічення протонів.
- другий режим - фактичний вимір частоти прецесії для визначення величини магнітного поля.

У обох режимах використовується та ж сама обмотка, як для поляризації електромагніту, так і для датчика напруги прецесії. Основна величина, яка буде виміряна, - частота прецесії протонів. Це змінна напруга діапазону звукових частот на виході датчика. Ця напруга складає від доль до одиниць мікрвольт і повинна бути посилена. Тому, підсилювач повинен мати низькошумовий чинник.

Частота прецесії має бути виміряна настільки точно - наскільки можливо. Чем точніше виміряна частота прецесії, тим точніше буде визначена величина магнітного поля.

Оскільки сигнал розпадається по експоненті з часом - період виміру обмежений.

При зменшенні амплітуди сигналу відношення сигнал-шум погіршується. При конструюванні магнітометра необхідно враховувати всі ці чинники.

В магнітометрі необхідно виміряти абсолютну величину магнітного поля. При використанні сучасних мікроконтролерів перетворення частоти прецесії протонів у величину індукції магнітного поля легко вирішується.

Розглянемо більш детально принцип роботи магнітометра.

2.2.4 Функціонування магнітометра

Із Модуля мікроконтролера формується Керуючий імпульс 1 і наводить до замикання Комутатора К1 (далі просто К1), при цьому Комутатор К2 (далі К2) знаходиться в розімкненому стані. Через Датчик починає протікати постійний струм поляризації. Величина цього струму залежить від активного опору датчика і складає зазвичай від декількох сотень мА до декількох А. Под дією створеного цим струмом електромагнітного поля в робочій речовині Датчика вільні протони вишиковуються згідно лініям напруженості поля.

Придушення перехідного процесу: К1 розмикається, К2, як і раніше знаходиться в розімкненому стані. Цей етап при ряді умов можна було б і не виділяти окремо, але індуктивність Датчика може бути достатня високою (від декількох десятків до декількох сотень мГн) і момент розмикання К1 може представляти небезпеку для високочутливого Малошумливого вхідного підсилювача.

Посилення сигналу: з Датчика за допомогою блоку фільтрації, сигнал перетворюється в форму, необхідну для мікроконтролера, вимір частоти і переведення в нанотесли з подальшим відображенням на дисплеї. К1 розімкнений, К2 замкнений. При відключенні поляризаційного струму вільні протони починають перебудовуватися під впливом магнітного поля Землі і при цьому здійснюють коливальні рухи, викликаючи появу на датчику напруги з частотою, прямо пропорційної напруженості магнітного поля. Коефіцієнт пропорційності рівний 23,4872 нТл/Гц, тобто при виникненні на Датчику напруги з частотою 2000 Гц напруженість магнітного поля рівна $2000 * 23,4872 = 46974$ нТл.

Складність полягає в тому, що величина напруги лежить в діапазоні 0,5-2 мкВ і нестримно падає по експоненціальному закону до нуля за дуже невеликий проміжок часу (приблизно 0,7с для гасу, 2,5-3с для дисцилірованої води). Для отримання прийняттого співвідношення сигнал/шум необхідно за час біля 0,3-0,4с виміряти частоту напруги з точністю до сотих долей Гц (дозільна роздільність приладу при цьому складе приблизно 1 нТл).

Фільтр потрібний для придушення шумових складових сигналу, які знаходяться поза робочим діапазоном.

Компаратор або тригер Шмітта - для збільшення крутості фронтів сигналу і перетворення його в форму, необхідну для зчитування мікроконтролером.

2.2.5 Схеми поляризації

Спрощений варіант схеми поляризації може мати наступний вигляд (Рисунок 2.10):

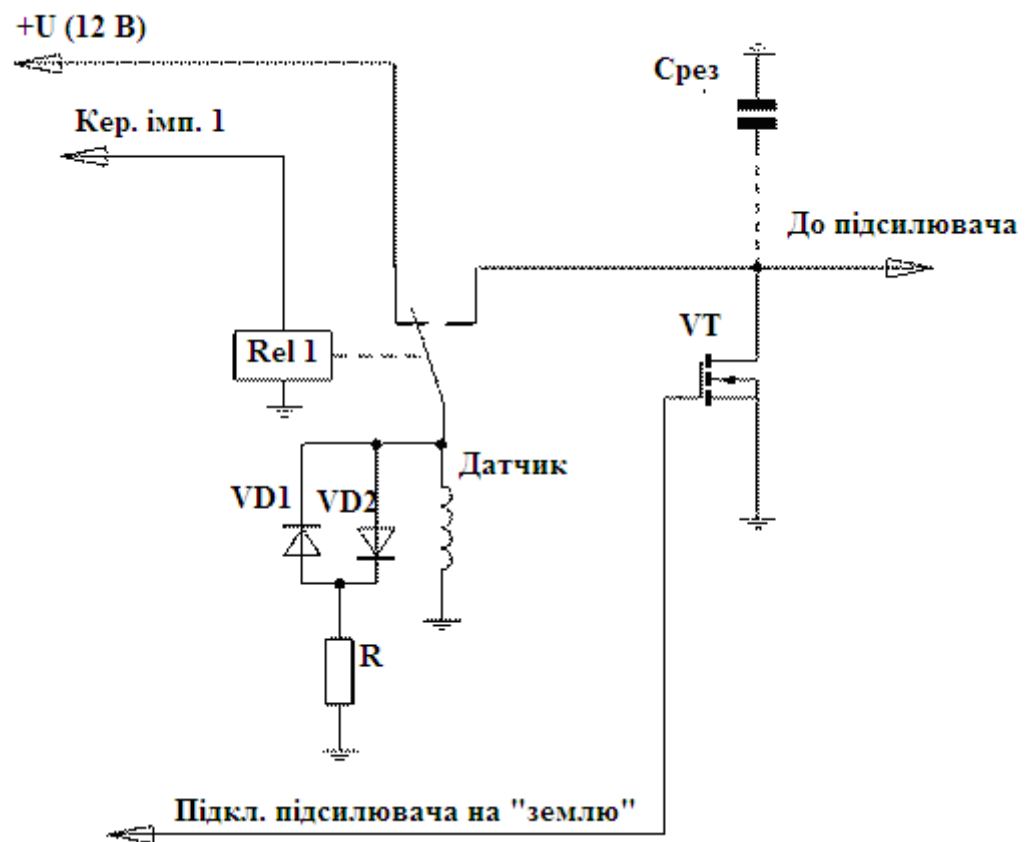


Рисунок 2.10 – Спрощена схема поляризації магнітометра

У даному варіанті подача напруги поляризації і підключення датчика до підсилювача відбувається за допомогою реле, діоди VD1 і VD2 служать для гасіння імпульсу самоіндукції, транзистор VT для "заземлення" входу високочутливого підсилювача і закривається лише на якийсь час, необхідний вимірювальній схемі для виміру частоти сигналу з датчика. Конденсатор Срез тут і в подальших схемах ставиться лише у випадках використання резонансного включення датчика. Використання подібного рішення

небажане зважаючи на низьку швидкодію релейної комутаційної схеми і підгорання контактів.

Недоліків можна позбутися, якщо використати схема, представлену на рисунку 2.11, де функції реле виконують транзистори VT1 і VT2, за допомогою VT2 також здійснюється затримка підключення підсилювача на якийсь час, необхідне для повного придушення перехідного процесу в датчику. Але і ця схема непридатна через те, що транзистори є хоч і досить якісними ключами, але не ідеальними - в закритому стані через VT1 і датчик протікає струм витіку стік-витік порядку декілька мкА, що в даному випадку досить багато (оскільки амплітуда вимірюваного сигналу з датчика знаходиться в діапазоні від десятих долей мкВ до 1-2 мкВ при нерезонансному підключенні датчика).



Рисунок 2.11 - Схема поляризації магнітометра із затримкою підключення підсилювача

Схема, представлена на рисунку 2.12 є комбінації перших двох схем і позбавлена властивих ним недоліків. Механізм її роботи: до початку поляризації транзистор VT1 закритий, VT2 відкритий, контакти реле знаходяться в показаному на схемі положенні; при поляризації VT1 відкривається і через датчик протікає струм; після закінчення поляризації VT1 закривається і через декілька мс (час, достатній для завершення перехідного процесу) реле підключає датчик до підсилювача і закривається VT2; після проведення виміру контакти реле повертаються у вихідне положення і відмикається VT2. Подібна реалізація запобігає протіканню струму витоків стік-витік VT1 через датчик у момент виміру, виключає комутацію великих струмів за допомогою реле і може бути використана на практиці.

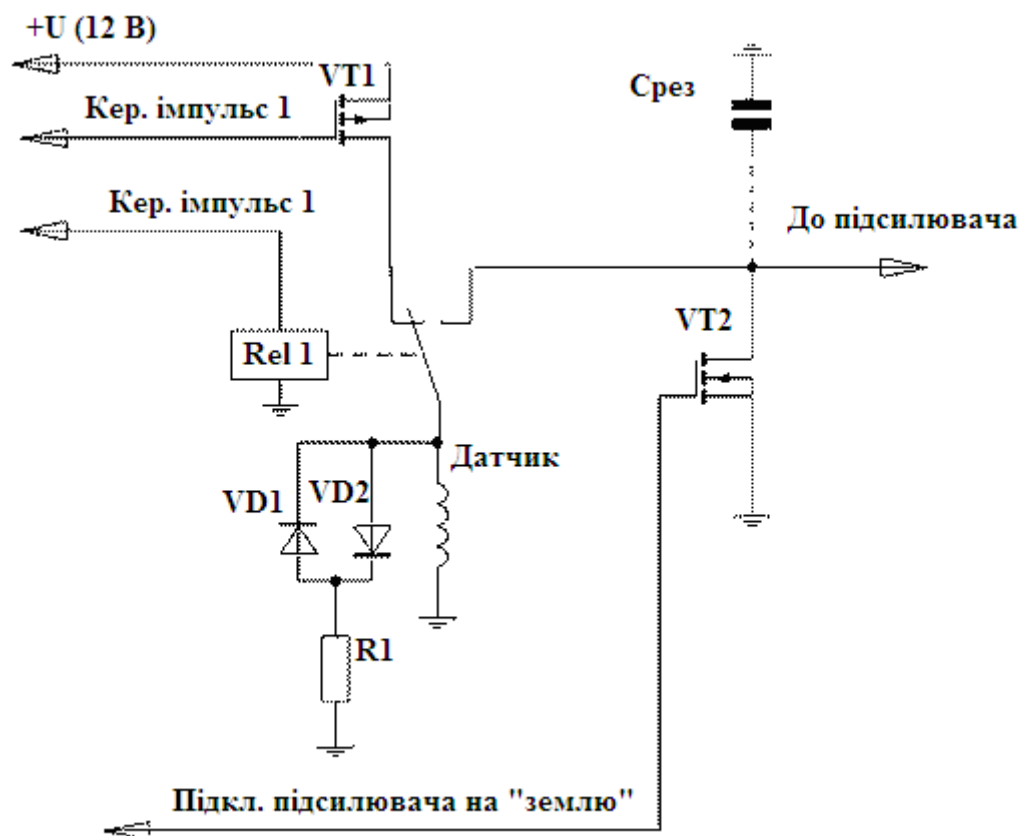


Рисунок 2.12 – Комбінована схема поляризації магнітометра

На рисунку 2.13 представлена схема, що не використовує реле у якості комутуючого елементу. Цього досягається шляхом додавання декількох транзисторів і деяким ускладненням схеми керування.

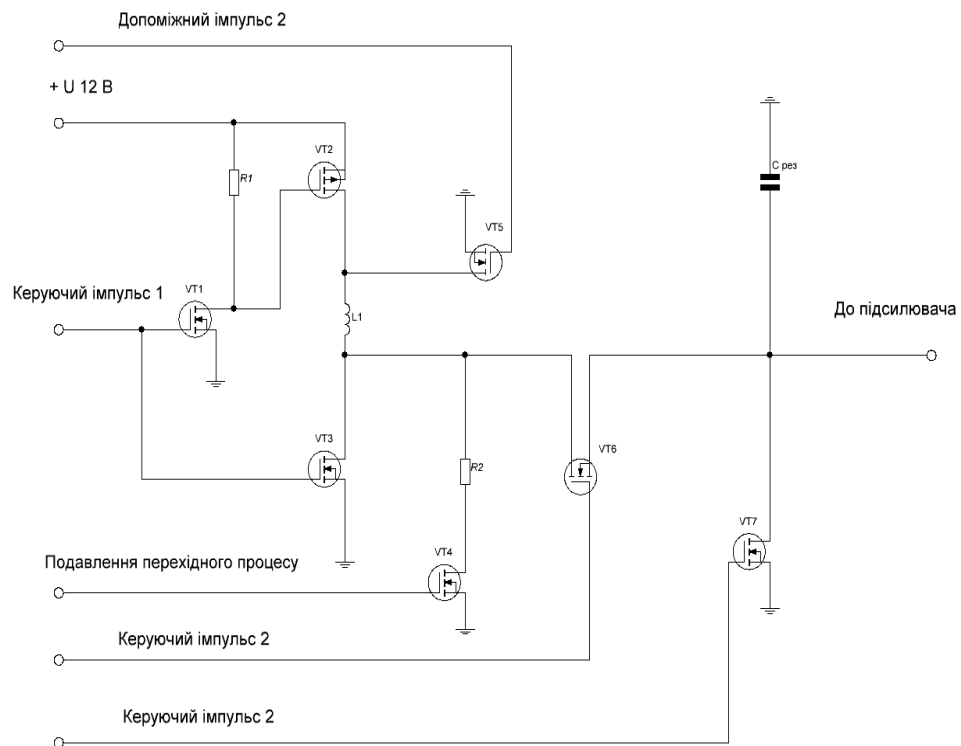


Рисунок 2.13 - Схема поляризації магнітометра з подавленням перехідного процесу

До початку поляризації всі транзистори, окрім VT7, закриті. VT7 відкритий - вхід підсилювача підключений до "землі". Для початку поляризації схемою, що керує, формуються Кер. імпульс 1 (приблизно 0,7 с для гасу) і Допом. імпульс 1, що призводить до відмикання VT1, VT2, VT3 і VT4, Через датчик протікає струм поляризації і підключається схема придушення перехідного процесу на VT4 R2. VT7, як і раніше, відкритий, останні закриті. Кер. імпульс 1 і Допом. імпульс 1 починають формуватися одночасно, але Допом. імпульс 1 має велику тривалість (як правило, на 10-20 мс, залежно від струму поляризації і індуктивності датчика) і за цей додатковий час відбувається придушення імпульсу самоіндукції (на R2 і

захисних діодах транзисторів). Відразу ж після закінчення Допом. імпульс 1 формується Допом. імпульс 2 і відмикається VT5, VT1-VT4 і VT6 закриті, VT7, як і раніше, відкритий. Особливість цієї схеми у використанні VT5: якщо при поляризації нижній, за схемою виведення, датчик був підключений до корпусу, то в процесі виміру частоти прецесії на "корпус" підключається верхній вивід. На сигнал, що знімається з датчика, це не впливає, але значна частка струму витоку СВ VT2 протікає по ланцюгу +U - СВ VT2 - СІ VT5 - "корпус", минувши датчик. Через 5-10 мс після початку Допом. імпульс 2 формується Кер. імпульс 2, відкривається VT6 і закривається VT7. Сигнал з датчика поступає на вхід підсилювача. Після закінчення Допом. імпульс 2 закінчується і Кер. імпульс 2 і схема повертається у вихідний стан.

2.3 Параметри мікроконтролера пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

Блок-схема модуля мікроконтролера представлена на Рисунку 2.14.

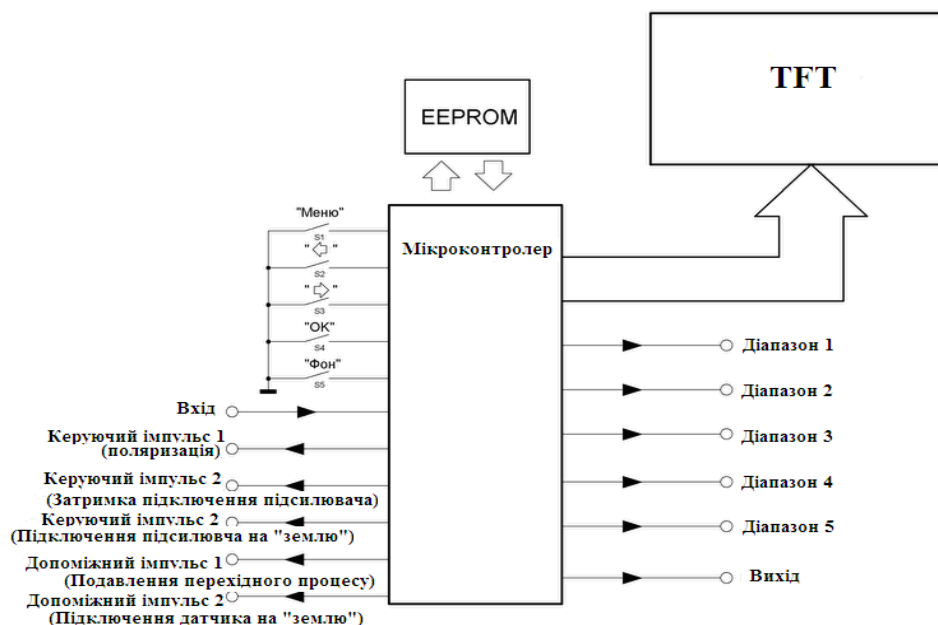


Рисунок 2.14 – Блок-схема модуля мікроконтролера

Основними функціями цього модуля є формування імпульсів, що управляють і допоміжних, обробка вхідного сигналу і виведення отриманих результатів на дисплей. Для отримання потрібних нам результатів сформуємо умовний часовий інтервал, тривалість якого буде рівна ста періодам частоти вхідного сигналу. Для частоти 1000 Гц тривалість цього інтервалу буде рівна $(1/1000)*100=0,1$ с. Далі передбачимо, що на один з двох входів логічного елемента "Г" подається умовний часовий інтервал (залежний від частоти вхідного сигналу), а на іншій - сигнал з високостабільного кварцевого генератора з фіксованою частотою, скажімо, $F_{ген} = 1\text{МГц}$. Тоді по кількості імпульсів на виході логічного елемента можна судити про частоту вхідного сигналу: $F_{вх} = 1 / ((K\text{-ть імпл.} / F_{ген}) / 100)$. Чим вище частота $F_{ген}$, тим вище точність виміру частоти. Для здобуття результату виміру в нТл необхідно значення вхідної частоти в Гц помножити на коефіцієнт 23,4872.

Як видно з блок-схеми, управління роботою і налаштування здійснюються за допомогою п'яти кнопок. Всі функції модуля мікроконтролера можна звести в два основні режими: режим роботи і режим налаштувань. По натисненню кнопки "Меню" прилад переходить з робочого режиму в режим налаштувань, повторне натиснення повертає його в робочий режим. Кнопками "Вліво" і "Вправо" здійснюється навігація по функціях в режимі налаштувань, а також перегляд результатів вимірів в робочому режимі. Кнопка "ОК" служить для запису змінених налаштовувальних параметрів в EEPROM контролера, входу в підменю і виходу з нього, а також для проведення одиночного виміру магнітного поля в режимі роботи (при вибраному ручному режимі) при її короткочасному натисненні. Кнопка "Фон" призначена для запису результатів тільки що зробленого виміру магнітного поля в спеціальний елемент пам'яті, відносно якої можуть проводитися подальші виміри. Налаштовувальне меню (викликається натисненням кнопки "Меню" з робочого режиму) складається з двох основних:

1. Робочі налаштування.

2. Апаратні налаштування.

У робочих налаштуваннях містяться параметри, призначені для зміни користувачем в процесі польових робіт, а в апаратних налаштуваннях - параметри, встановлені розробником приладу і залежні від типів датчика і робочої речовини, методів поляризації і виміру. Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - вхід в підменю, "Меню" - вихід в режим роботи. Розглянемо кожне з підменю:

А. Робочі налаштування. Включають наступні функції:

1. Метод роботи.
2. Метод вимірів.
3. Інтервал.
4. Діапазон.
5. Звукове сповіщення.
6. Контроль живлення.
7. Підсвічування дисплея.

Кнопками "Вліво" і "вправо" здійснюється вибір пункту, "ОК" - вхід в підменю вибраного пункту, "Меню" - вихід в режим налаштувань. Розглянемо кожен з пунктів:

1. Метод роботи підменю:

- а) Типовий (за умовчанням) (тут і далі параметри за умовчанням заносяться в EEPROM при прошивці мікроконтроллера).
- б) Відносний.

Ці пункти задають вигляд екрану і деякі специфічні функції в режимі роботи.

Для типового методу екран має наступний вид: збільшений напис в нижній половині екрану - величина тільки що зробленого виміру магнітного поля (тобто "останнього"). У стовпцях з індексами "-1", "-2" і так далі значення передостаннього, передпередостаннього і так далі виміри відповідно. Відмінності цих методів полягає в тому, що для типового просто робиться ряд вимірів і контролюється зміна поля між тільки що зробленим

виміром і виміром у відповідному стовпці (ця різниця і є цифри в стовпцях із знаками "+" і "-"). Для відносного процедура декілька інша. Оператор виходить на місцевість і робить ряд пробних вимірів з метою визначити зразковий магнітний фон. Коли, на його думку, після чергового виміру свідчення внизу екрану найбільш відповідають фону, він натискає кнопку "Фон" і це свідчення переноситься в стовпець "ФОН". Далі все як в першому варіанті, з тією лише відмінністю, що цифри з плюсами і мінусами в стовпцях "-1", "-2" відповідають різниці між фоном і зробленим передостаннім і передпередостаннім виміром відповідно, а в стовпці "ФОН" показана різниця між фоном і лише що зробленим виміром. Для роботи при відносному методі вимірів необхідно вибрати його в меню "Метод роботи", вийти з режиму налаштувань в режим роботи (при цьому у верхній половині екрану не буде жодних даних), зробити декілька вимірів магнітного поля (результат кожного зробленого виміру відбивається в нижній частині екрану, а при проведенні подальшого виміру стирається і замінюється на новий), при відповідності виміру, що відображається, середній величині магнітного поля натискувати кнопку "Фон" - це значення переноситься в стовпець "ФОН", вигляд екрану міняється на показаний вище для відносного методу і прилад готовий до роботи. Під зберіганням даних вимірів (приблизно 50-100 значень) бажано використовувати незалежну пам'ять EEPROM. Перегляд результатів вимірів здійснюється в режимі роботи за допомогою кнопок "Вліво" і "Вправо", при одночасному натисненні цих кнопок протягом декількох секунд всі збережені дані стираються. Це дає можливість на місцевості робити виміри, а потім аналізувати дані і складати магнітометричні карти. Вибір типового або відносного методу здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню робочих налаштувань, "Меню" - вихід в меню робочих налаштувань без збереження змін.

2. Метод вимірів підміну:

а) ручний (за умовчанням).

б) автоматичний.

При ручному методі кожен вимір в режимі роботи виробляється лише при короткочасному натисненні кнопки "ОК". При автоматичному прилад безперервно робить виміри з інтервалом часу між ними, меню, що задається в наступному пункті. Кнопка "ОК" в режимі роботи заблокована. Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню робочих налаштувань, "Меню" - вихід в меню робочих налаштувань без збереження змін.

3. Інтервал.

Задає значення тимчасового інтервалу між циклами вимірів для автоматичного методу. Набуває значень від 0,5 з до 5 із з кроком 0,5 с. (за умовчанням 3 з). Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню робочих налаштувань, "Меню" - вихід в меню робочих налаштувань без збереження змін.

4. Діапазон.

Служить для перемикання діапазонів виміру при використанні резонансного включення датчика (фактично для підключення різних значень ємностей між точкою з'єднання К2 з малошумливим вхідним підсилювачем і корпусом). Набуває значень від 1 до 5 з кроком 1 (за умовчанням 1) і наводить до появи активного логічного рівня на відповідному виведенні мікроконтролера. При дефіциті вільних портів можна використовувати, наприклад, десятковий лічильник - тоді буде потрібно всього два порти (один на скидання лічильника, а інший для завантаження в нього послідовності з певної кількості імпульсів). Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню робочих налаштувань, "Меню" - вихід в меню робочих налаштувань без збереження змін.

5. Звукове сповіщення.

Бажано для сповіщення оператора про відносно великій зміні магнітного поля між тільки що зробленим виміром і попереднім (або фоновим, залежно від методу роботи). Формує короткочасний звуковий сигнал, якщо модуль різниці вищезгаданих значень перевищує встановлений поріг. Набуває значень від Викл. (сповіщення відключене) (за умовчанням) до 500 нТл (установка модуля порогу) з кроком 50 нТл. Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і вихід в меню робочих налаштувань, "Меню" - вихід в меню робочих налаштувань без збереження змін.

6. Контроль живлення.

Відображає поточну напругу живлення. "ОК" або "Меню" - вихід в меню робочих налаштувань.

7. Підсвічування.

Включає і вимикає підсвічування дисплея. Приймає значення Вкл. і Викл. (за умовчанням). Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і вихід в меню робочих налаштувань, "Меню" - вихід в меню робочих налаштувань без збереження змін.

Б. Апаратні налаштування. Включають наступні функції:

1. Час поляризації.
2. Час придушення перехідного процесу.
3. Затримка підключення підсилювача.
4. Вхідна затримка.
5. Поріг розряду акумулятора.

Кнопками "Вліво" і "Вправо" здійснюється вибір пункту, "ОК" - вхід в підміню вибраного пункту, "Меню" - вихід в режим налаштувань.

Розглянемо кожен з пунктів:

1. Час поляризації.

Задає значення тривалості імпульсу поляризації (див. приведені вище графіки). Зміна цього параметра необхідна для забезпечення працездатності

приладу з різними типами робочої речовини в датчику (наприклад, для гасу це значення складає 0,6-0,7 з, а для дисцилірованої води - 2,5-2,8 з). Набуває значень від 0,2 з до 3 із з кроком 0,2 с. (за умовчанням 0,7 з). Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню апаратних налаштувань, "Меню" - вихід в меню апаратних налаштувань без збереження змін.

2. Час придушення перехідного процесу.

Задає величину тимчасового інтервалу, на яку Допоміжний імпульс 1 більше Керуючого імпульсу 1. Служить для адаптації пристрою під датчики різних топологій, індуктивностей і з різними активними опорами. Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню апаратних налаштувань, "Меню" - вихід в меню апаратних налаштувань без збереження змін.

3. Затримка підключення підсилювача.

Задає величину, на яку Керуючий імпульс 2 відстає від Допоміжного імпульсу 2. Може знадобитися при використанні різних методів поляризації. Набуває значень від 3 мс до 30 мс з кроком 3 мс (за умовчанням 9 мс). Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню апаратних налаштувань, "Меню" - вихід в меню апаратних налаштувань без збереження змін.

4. Вхідна затримка.

Задає величину тимчасового інтервалу між початком Керуючого імпульсу 2 і переходом входу мікроконтролера в режим рахунку вхідних імпульсів (на яку вхід мікроконтролера "запізнюється", взагалі ж мікроконтролер виходить з режиму підрахунку вхідних імпульсів одночасно із закінченням Допоміжного імпульсу 2 і Керуючого імпульсу 2 і знаходиться в режимі рахунку як мінімум $0,3 \text{ з} - 30 \text{ мс} - 50 \text{ мс} = 0,22 \text{ с}$, що відповідає нижньому діапазону виміру (при підрахунку тривалості ста вхідних імпульсів $(1/(0,22/100)) * 23,4872 = \sim 10600 \text{ нТл}$). Це потрібно для встановлення схеми підсилювального фільтра в лінійний стан, особливо при

використанні резонансного методу включення датчика. Набуває значень від 0 мс до 50 мс з кроком 5 мс (за умовчанням 20 мс). Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню апаратних налаштувань, "Меню" - вихід в меню апаратних налаштувань без збереження змін.

5. Поріг розряду акумулятора.

Встановлює значення порогу розряду елементів живлення, по досягненню якого прилад оповіщає про це оператора в довільній формі. Набуває значень від 8 В до 18 В з кроком 0,5 В (за умовчанням 11 В). Вибір значення здійснюється кнопками "Вліво" і "Вправо", "ОК" - збереження вибраного значення в EEPROM і виході в меню апаратних налаштувань, "Меню" - вихід в меню апаратних налаштувань без збереження змін.

У режимі роботи бажано передбачити деяку сервісну індикацію:

- "Немає сигналу" - за відсутності підраховуваних імпульсів на вході мікроконтролера за інтервал виміру.
- "Перевищення верхньої межі" - при розрахунковому значенні напруженості більше 99999 нТл.
- "Перевищення нижньої межі" - при кількості рахункових імпульсів за інтервал виміру менше 100.

Подібний спосіб відображення інформації і велика кількість налаштувань викликані бажанням отримати не лише високофункціональне універсальне цифрове ядро протонного магнітометра, але і інструмент для проведення експериментів з різними типами датчиків і робочої речовини. При виникненні труднощів з реалізацією всього цього завдання можна серйозно спростити:

- повністю виключити систему меню
- прибрати функцію зберігання в пам'яті результатів вимірів
- використовувати будь-який відповідний знаковинтезуючий РКІ з відображенням єдиного значення останнього зробленого виміру.

Бажано зберегти:

- можливість роботи в ручному або автоматичному режимах (інтервал між вимірами 2-3 с, перемикання режимів за допомогою тумблера).
- тимчасові константи - ті, які "за умовчанням", з можливістю корегування при перешивці контролера.

При нерезонансному включенні ми маємо широку смугу пропускання (тобто великий діапазон вимірюваних значень напруженості магнітного поля), але нижчий рівень сигналу на вході підсилювача. При резонансному ж включенні навпаки - рівень сигналу вищий, але діапазон визначається добротністю LC контура, що складається з датчика і Срез . Практично при використанні резонансного методу датчик може мати менші габарити і вагу, але для забезпечення широкого робочого діапазону буде потрібно декілька перемиканих резонансних ємностей. При використанні мікроконтролера можна зробити таким чином: після поляризації і придушення перехідного процесу в датчику до нього почерзі підключаються на короткий час декілька конденсаторів різною ємністю, яка повинна бути заздалегідь розрахованою з умови перекривання всього необхідного діапазону частот. Для кожної підключеної ємності мікроконтролер робить вимір рівня сигналу на виході підсилювача, запам'ятовує, при підключенні якої ємності цей рівень був максимальним, а потім робить основний вимір частоти при використанні цієї ємності.

Електрична схема функціонування блоку мікроконтролера представлена на рисунку 2.15.

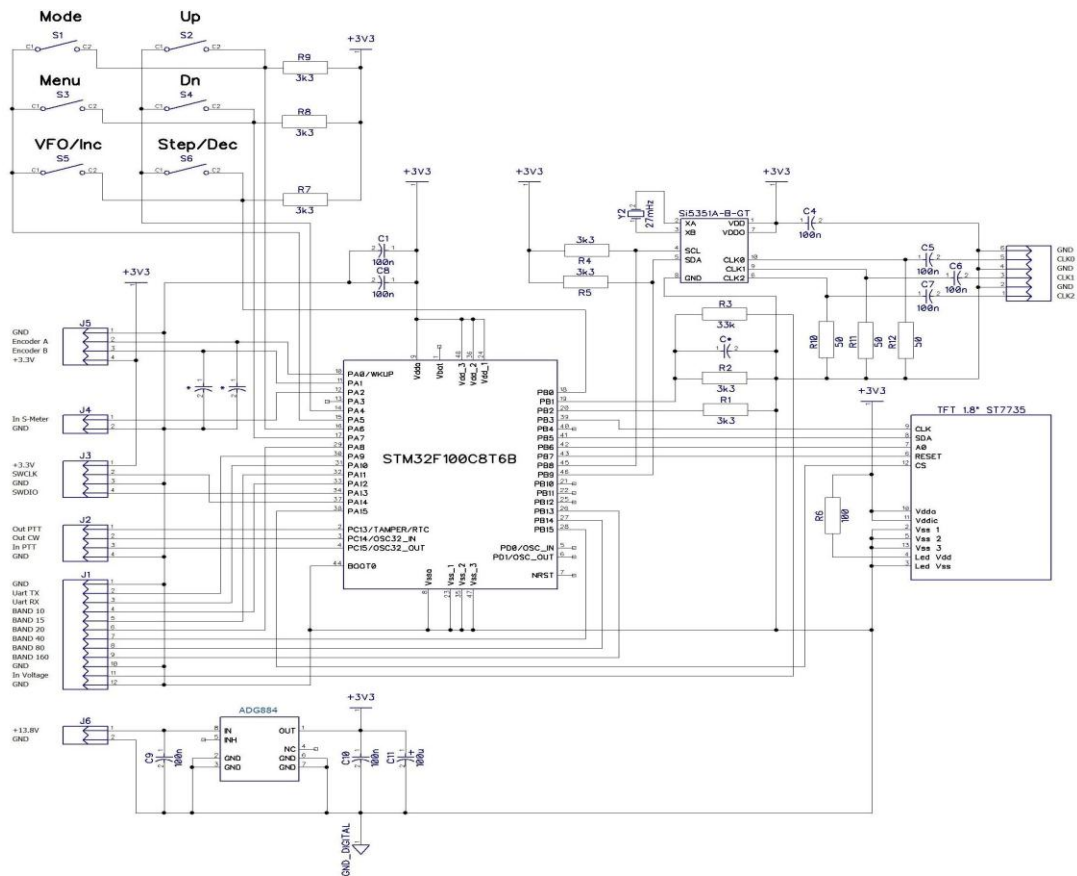


Рисунок 2.15 – Електрична схема функціонування блоку мікроконтролера протонного магнітометра

2.4 Моделювання роботи мікроконтролера пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори в редакторі Proteus

Будь-яка цифрова система, разом з центральною частиною, що виконує цифрову обробку і перетворення інформації, додатково містить засоби введення і виведення інформації. Як пристрій введення для формування сигналів управління та кодових сигналів, можуть використовуватися кнопкові перемикачі і контактні клавіатури. Сигнал за допомогою кнопкових перемикачів формується шляхом замикання – розмикання ними електричного ланцюгу. Сигнали, що формуються контактною парою, супроводяться брязкотом. Для усунення брязкоту в отриманому сигналі на виході контакту встановлюють спеціальні формувачі [31].

Формування кодових сигналів виконується в кодуючих пристроях. Додатковими функціями кодуючого пристрою є: формування сигналу готовності «Готовий» для управління перезаписом сформованого коду; блокування роботи при одночасному натисненні декількох клавіш; захист від брязкоту.

Кодуючий пристрій (рисунок 2.16) містить: клавіатуру введення КЛ; кодуючий блок КБ; вузол захисту і формування вихідних сигналів ФС. Найбільшого поширення набули комбінаційні кодуючі пристрої і пристрої із сканованою клавіатурою [32].

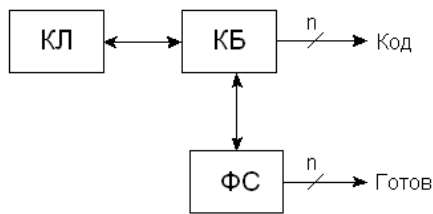


Рисунок 2.16 – Кодуючий пристрій

Комбінаційний кодуючий пристрій (рисунок. 2.17) формує 16 чотирирозрядних кодів [33].

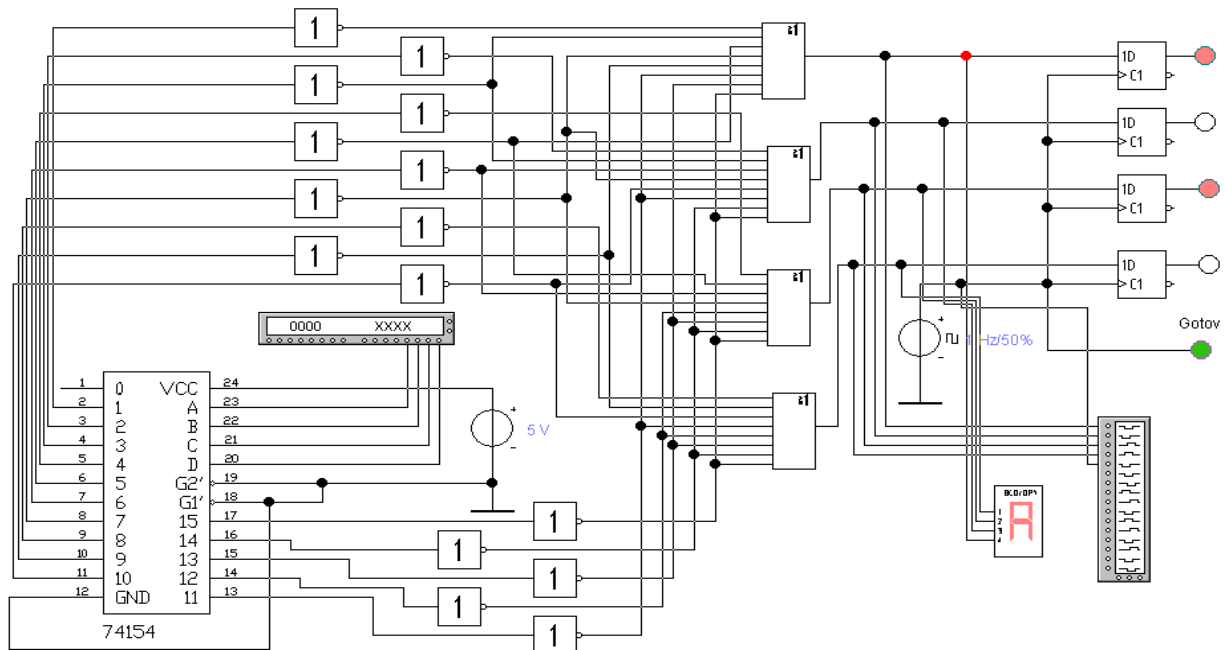


Рисунок 2.17 – Типова принципова схема блоку кодування комбінаційного типу

Клавіатура введення імітується дешифратором з 4 в 16. Кодуючий блок в пристрої утворюють чотири елементи АБО. Вузол ФС пристрою включає чотири D-тригера, такт яких задається генератором. З «натисненням» будь-якої з клавіш клавіатури введення вихідні сигнали з елементів АБО утворюють відповідний чотирирозрядний код. Інформація записується в буферний регістр на D-тригерах і формується сигнал «Готовий».

Кодуючий пристрій на основі сканованої клавіатури (рисунок 2.18) також формує чотирирозрядний двійковий код і містить: блок сканування на лічильнику і мультиплексорі, формувач сигналу «Готовий» на D-тригері. Термін «сканування клавіатури» означає послідовне опитування всіх її елементів [33].

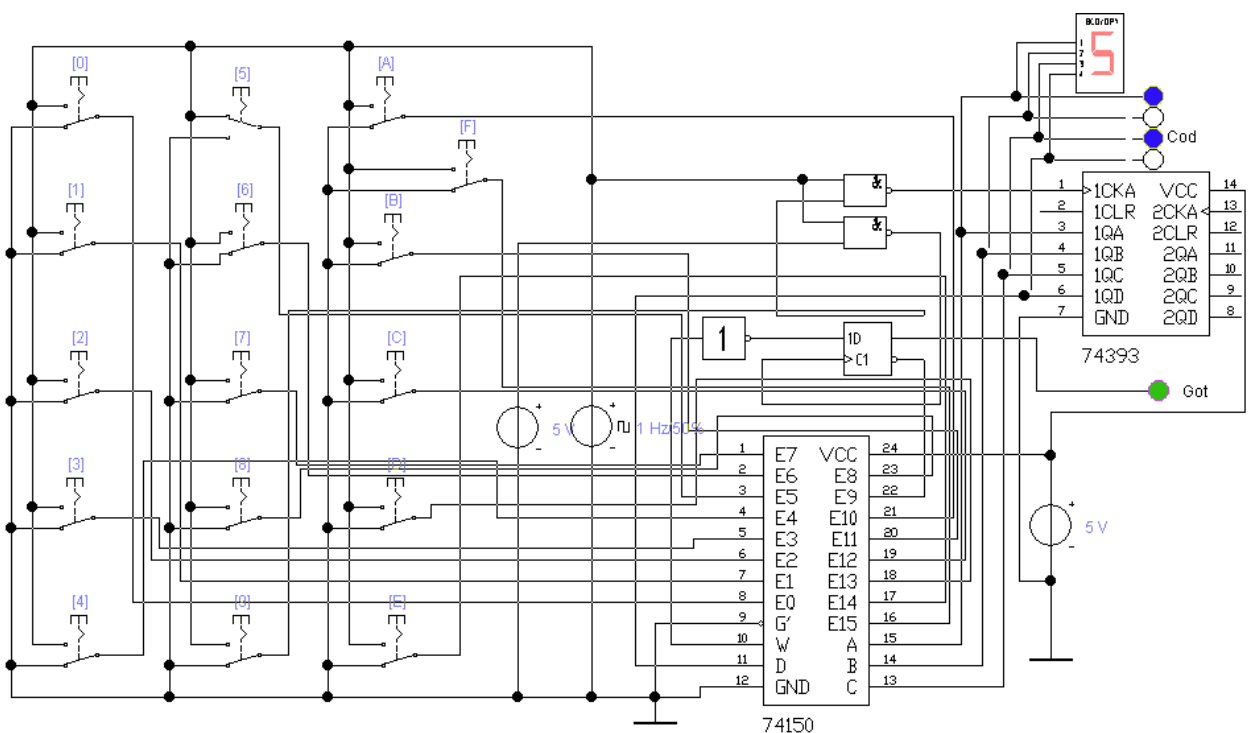


Рисунок 2.18 – Типова принципова схема блоку кодування скануючого типу

Кодуючий пристрій на основі сканованої матриці (рисунок 2.19) формує до 256 восьмирозрядних двійкових кодів від клавіатури введення, що має відповідне число перемикачів. Особливість пристрою – матричне,

наприклад в 16 рядків на 16 стовпців, включення перемикачів в блоці клавіатури і відповідна організація блоку сканування цієї матриці.

Блок сканування утворюють дешифратор і мультиплексор. Їх адресні входи підключені до відповідних розрядних виходів лічильника. Сканування забезпечується послідовним опитуванням чотирьох рядків матриці вихідними сигналами з дешифратора і пошуком мультиплексором клавіші натискання у всіх чотирьох місцях для кожного з цих рядків [33].

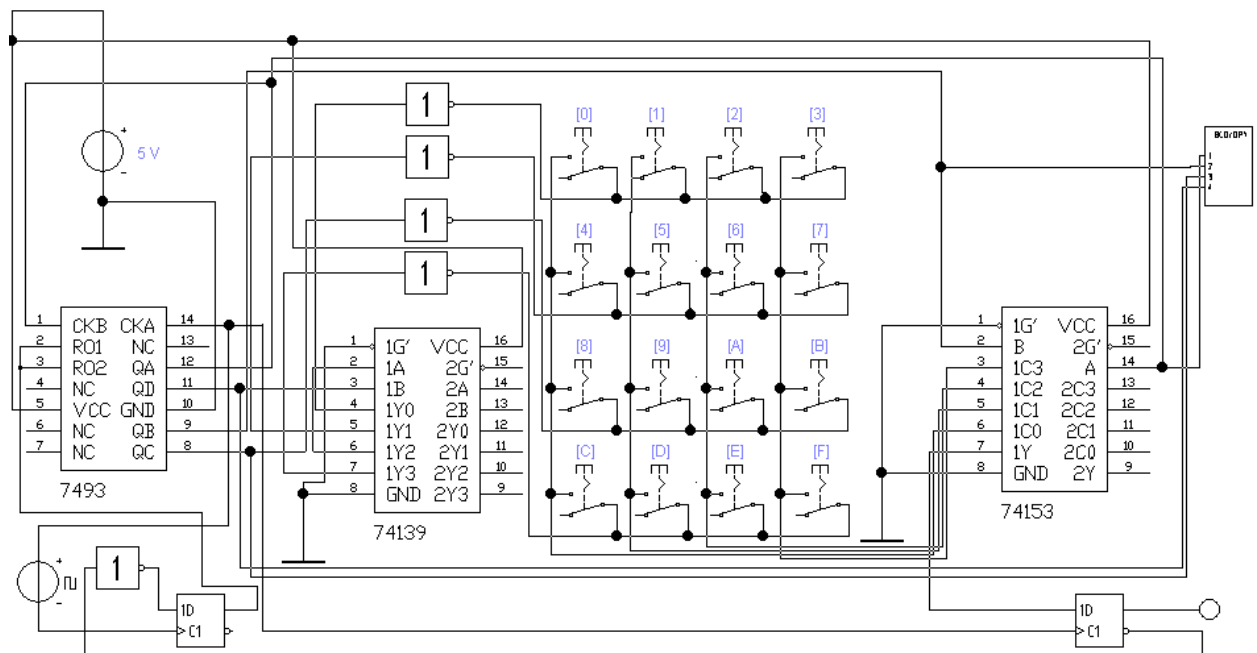
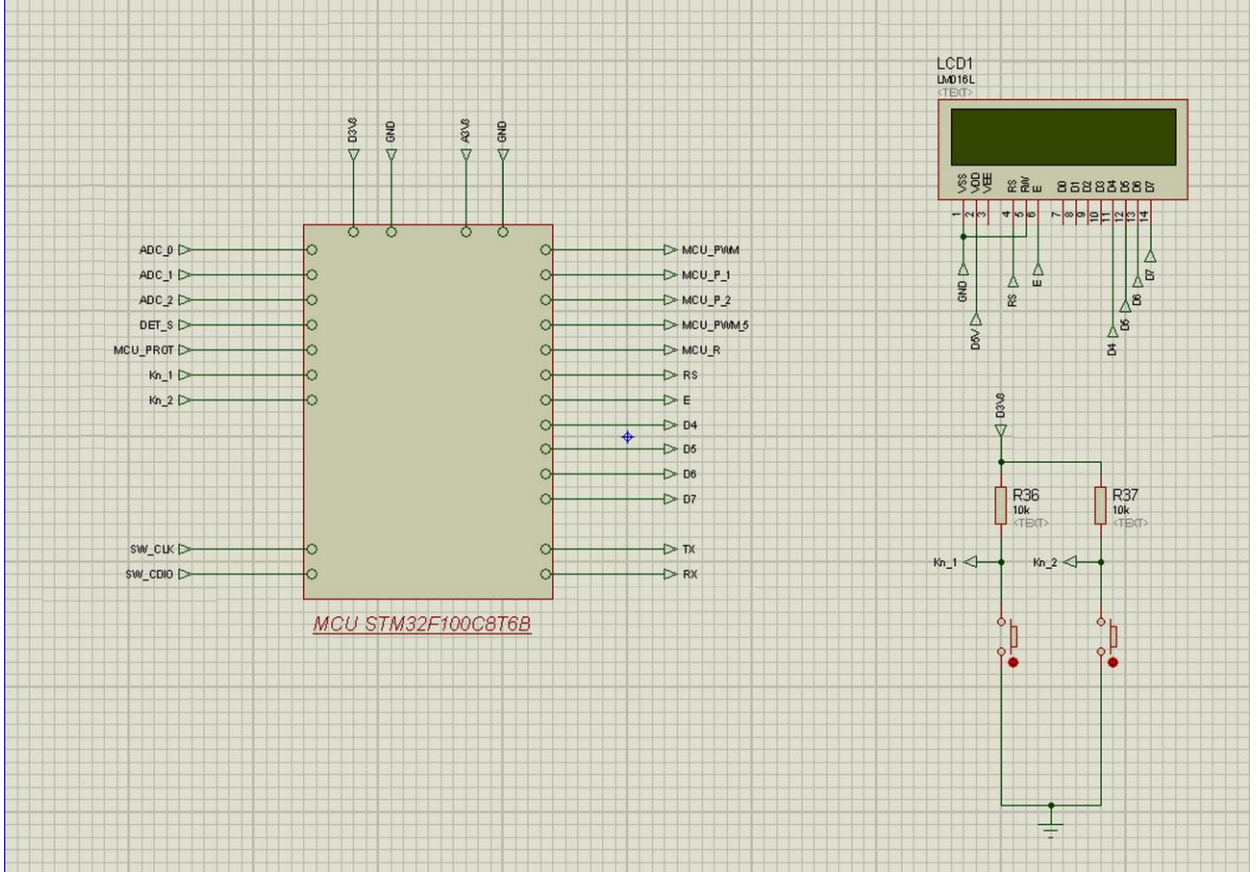


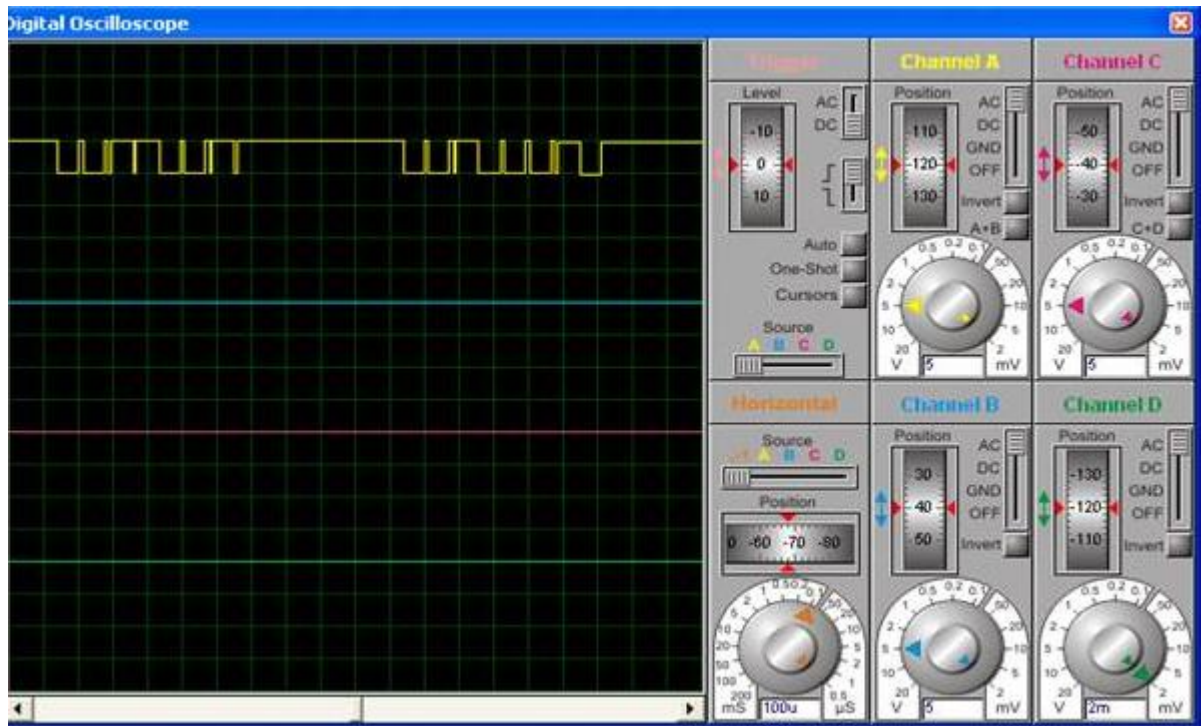
Рисунок 2.19 – Типова принципова схема кодуючого пристрою на основі сканованої матриці перемикачів

Враховуючи обмеженість широковідомих САПР при моделюванні програмованих мікроконтролерів, для моделювання роботи оберемо блок керування ключами за допомогою STM32F100C8T6B в редакторі Proteus [34, 35].

На рисунку 2.20 представлено результати моделювання мікроконтролера STM32F100C8T6B, як вузлового елемента управління ключами комутації магнітометра [36].



a)



б)

Рисунок 2.20 – Результати моделювання блоку мікроконтролера пристрою: а) схема, зібрана в редакторі Proteus; б) осцилограма інформаційного сигналу приймального пристрою.

На рисунку 2.20 б показано, що на виході мікроконтролер має достатньо чіткий сигнал, без спотворень.

2.5 Моделювання роботи пристрою в програмі ZondGM2D

Програма ZondGM2D призначена для двовимірної мультипрофільної інтерпретації даних магніторозвідки і гравсрїзвсдки в наземному, свердловинному і аеро — варіантах [37].

ZondGM2d представляє вирішує широкий спектр завдань від математичного моделювання до інтерпретації польових даних. Зручний

інтерфейс і широкі можливості представлення даних дозволяють максимально ефективно вирішити поставлене геологічне завдання [37].

Всі обчислення здійснюються з врахуванням параметрів вміщаючого середовища і геомагнітної обстановки в районі де зроблена зйомка, таких як нахил вектора магнітної індукції, рівень нормального поля, магнітна сприйнятливість вміщаючих порід, рельєф місцевості. Програма дозволяє працювати з будь-якими компонентами полів або їх градієнтами [37].

У програмі доступні основні типи трансформацій потенційних полів, засновані на теорії еквівалентного шару [37].

Результати інтерпретації можуть бути експортовані в такі графічні системи, як Surfer або Autocad [37].

В роботі було використано тимчасову free бета- версію програми ZondGM2d. Спираючись на дані моделювання роботи пристрою, отримані в пункті 2.4, до програми було внесено покази інтенсивності магнітного поля, геометричні розміри та геоструктуру ділянки із можливим вмістом об'єктів магнітних аномалій малого розміру.

Результати, отримані в процесі моделювання представлені на рисунку 2.21.

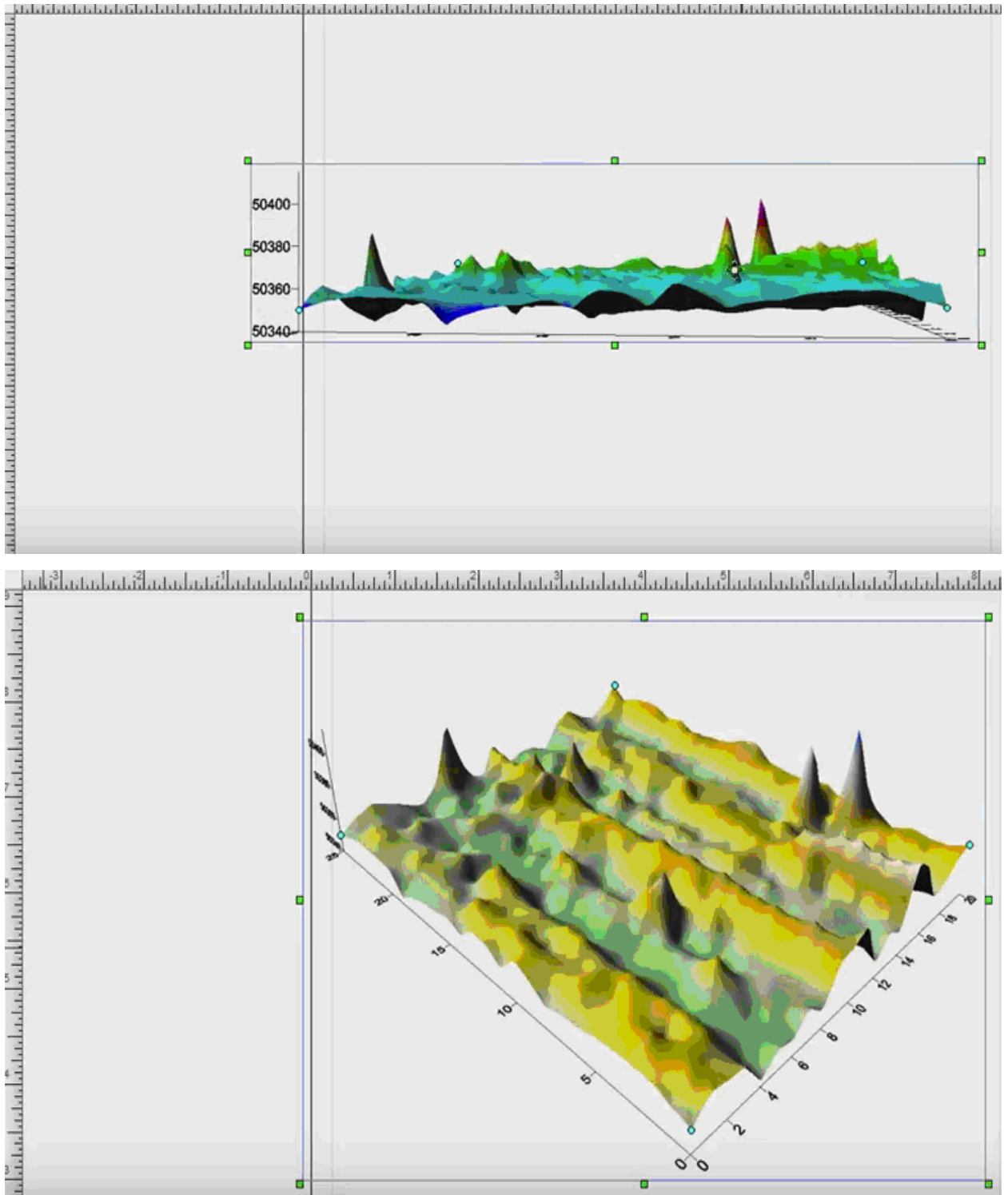


Рисунок 2.21 – Результати моделювання роботи магнітометра в програмі ZondGM2d

Як видно із рисунка 2.21, модель магнітометра дозволяє зафіксувати окремі локальні ділянки із магнітними аномаліями, що дає підстави для подальшого проведення досліджень у польових умовах.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) основною вимірюваною величиною, яка дає якісну та кількісну оцінку для марганцевої руди є магнітна сприйнятливість, отже, для досягнення поставленої мети пропонується використовувати пристрій магнітоелектричної розвідки - протонний магнітометр;

2) пристрій має перспективу у сфері обстеження металоконструкцій, трубопроводів та ін.;

3) в магнітометрі необхідно виміряти абсолютну величину магнітного поля, що вирішується шляхом використання сучасних мікроконтролерів перетворення частоти прецесії протонів у величину індукції магнітного поля;

4) у роботі блоку поляризації запропоновано використати схему придушення імпульсу самоіндукції (подавлення перехідного процесу), що збільшує завадостійкість датчика магнітометра;

5) використання системи силових ключів, виконанах на твердотілих оптичних реле PVG613PBF (порівняно із прототипом LCA710 – напруга ізоляції на 250 В більше (4000 В)) збільшило ізоляційну стійкість пристрою;

6) використання мікроконтролера STM32F100C8T6В замість STM32F100C4T6 прототипу вдвічі збільшило об'єм програмної пам'яті (64 кБайт);

7) використання лінійного стабілізатора напруги на 3,3 В MAX8860EUA33, зменшило рівень шумів, порівняно із прототипом ADP3330 (55-65 мкВ проти 95 мкВ для ADP3330);

8) у результаті моделювання роботи мікроконтролера в редакторі Proteus було показано, що на виході мікроконтролера сигнал є достатньо чітким, без спотворень;

9) результати моделювання магнітометра у програмі ZondGM2d показали, що пристрій дозволяє зафіксувати окремі локальні ділянки із магнітними аномаліями, що дає підстави для подальшого проведення досліджень у польових умовах.

3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікроборок. Але у відмінності від стандартної технології у гібридного виконання всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення електронної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [1].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Напівпровідникових інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані на поверхні та в об'ємі загального кристала напівпровідника
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких

	інтегральних схем	плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [1].

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
	Σ						9,033	1,00

У матриці прийняті наступні позначення: i – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії:

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то $i = 1, 2, 3, 4$.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де \sum - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	1/5	3	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
Σ					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
Σ					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
Σ					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
------------	---	---	---	---	------------------------------------	-------

A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
Σ					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
Σ					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [1].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта виготовлення електронної схеми пристрою з використанням технології тонкоплівкових гібридних мікроборок.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Напівпровідникових інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів технологій виготовлення електронної схеми пристрою за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології напівпровідникових інтегральних схем. Проте найбільший глобальний пріоритет має технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок. Саме вона й буде використовуватися для виготовлення електронної схеми блоку газорозрядної іонізації ексимерного лазера.

3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

Витрати на матеріали і напівфабрикати, вказані в таблиці 3.11, склали 1901,20 грн.

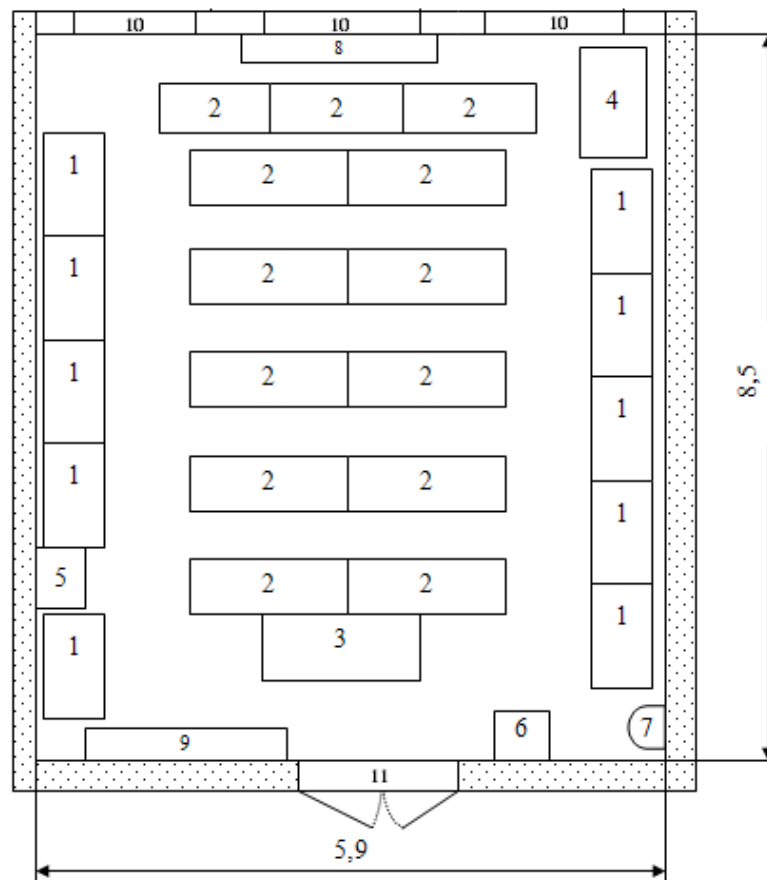
Таблиця 3.11 - Розрахунок вартості основних покупних виробів

Матеріали і напівфабрикати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів і напівфабрикатів, грн.
Фольгований склотекстоліт	м ²	0,2	10	2
Хлорне залізо	кг	0,5	10	10
Конденсатор	шт.	11	20	210
П'єзокерамічний конденсатор	шт.	1	20,5	20,5
Роз'єми комутації	шт	7	18	126
Резистор	шт.	12	1,1	13,2
Реле PVG613PBF	шт	1	43,7	43,7
Мікроконтролер STM32F100C8T6B	шт.	1	86,6	86,6
ОП ОРА2211	шт.	1	81,5	81,5
Ключ ADG884	шт.	1	40,2	40,2
Стабілізатор напруги MAX8860EUA33	шт.	1	83,8	83,8
VIA Tremor 7.1	шт.	1	739,7	739,7
TFT екран	шт.	1	215	215
Гас	л.	1	90	90
Папір писальний	уп.	1	89	89
Транспортно-заготівельні витрати				50
Разом				1901,2

4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричної схеми пристрою для виявлення вмісту марганцевих руд у приповерхневих шарах земної кори

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В даному розділі як об'єкт дослідження розглянуто приміщення в якому проводяться лабораторні роботи та роботи з відео термінальними пристроями. План приміщення наведено на рисунку 4.1.



1 - стіл комп'ютерний, 2 - стіл аудиторний, 3 - стіл викладача, 4 - установка Холла, 5 - шафа силова, 6 - сейф, 7 - умивальник, 8 - спліт система, 9 - дошка аудиторна, 10 - вікно, 11 - двері

Рисунок 4.1 – План розташування робочих місць

Приміщення, в якому знаходяться відео термінальні пристрої, має такі характеристики:

- довжина приміщення 8,5 м;

- ширина приміщення 5,9 м;
- висота 4 м;
- число вікон 3;
- кількість робочих місць 28;
- забарвлення інтер'єру: біла стеля, блідо-бежеві стіни, підлога бетонна, обтягнута лінолеумом коричневого кольору.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника представлені в таблиці 4.1 [1].

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника телекомунікаційної лабораторії

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас безпеки _____ II клас безпеки _____ III-IV клас безпеки _____						
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³						
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ						
4	Шум, дБА						
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
7	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²						

8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	21 – 25 не більше 0,2 не більше 75 100	22 0,1 60				100 100 100
9	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці - легка, категорія напруженості праці - мало напружена					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основними заходами запобігання ураження електричним струмом в лабораторії є захист від дотику до частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, застосування малих напруг, захисного заземлення і відключення, а також організаційні заходи.

Захист від дотику до струмоведучих частин електричної установки досягається ізоляцією, огорожею, недоступним розташуванням струмоведучих частин, використанням дистанційного управління, блокування і попереджувальної сигналізації.

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій відповідно до виконуваної роботи [1].

У зв'язку з тим, що природне освітлення лабораторії здійснюється через віконні отвори і є недостатнім в осінній та зимовий період, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення

створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

При організації робочих місць лабораторії потрібно також враховувати колірне оформлення. Малонасичені (основні) кольори застосовуються для забарвлення великих полів (стеля, стіни, робочі поверхні і тому подібне), середньо насичені (допоміжні) – для невеликих поверхонь або ділянок, які рідко потрапляють у поле зору працівників, а також для створення контрастів; насичені (акцентні) – для маленьких за площею поверхонь як функціональне забарвлення [2].

Використовують також гармонійні колірні поєднання в колірній композиції інтер'єру приміщення. При цьому кольори для обробних матеріалів і виробів слід обрати з врахуванням їх фактури; поверхні в приміщенні повинні мати матову і напівматову фактуру для виключення попадання відбитих відблисків в очі працівника.

У приміщеннях повинні забезпечуватися наступні величини коефіцієнтів віддзеркалення: для стелі 60-70%; для стін 40-50%; для підлоги – 30%; для інших відзеркалювальних поверхонь робочих меблів 30-40% [3,4].

Працівники лабораторії повинні строго дотримуватися визначеного нормативними документами режиму праці і відпочинку з чітко регламентованими перервами. Основною перервою є перерва на обід. Для працівників, що виконують операторські функції, вводяться додаткові перерви: 2 перерви по 10 хвилин кожен при 8 годинному робочому дні, через 3 години роботи і за 2 години до її закінчення.

Режим праці і відпочинку залежить від характеру виконуваної роботи: при введенні даних, редагуванні програм, читанні інформації з екрану безперервна тривалість роботи не повинна перевищувати 4 годин, а кількість оброблених символів 30000 при 8 годинному робочому дні. Також рекомендується через кожну годину роботи за комп'ютером робити 5-10 хвилинних перерв, а через 2 години – 15 хвилинна перерва. Для зниження

напруженості праці необхідно рівномірно розподіляти навантаження і раціонально чергувати характер діяльності прийом – видачу результатів з роботою на клавіатурі комп'ютера. Вночі не повинні виконуються роботи або завдання, що вимагають складних рішень або відповідальних дій [1].

Для устаткування робочого місця краще використовувати спеціальні столи і стільці, що дають можливість регулювати положення всіх вузлів, - висоти столу, полички для клавіатури, крісла користувача;

- висоту клавіатури слід відрегулювати так, щоб кисть розташовувалася прямо;

- спина має бути пряма, кут між стегнами і хребтом теж прямий, для чого слід підібрати таке крісло, спинка якого здатна підтримувати спину користувача.

- монітор слід розташувати так, щоб нижній рівень екрану знаходився на 20...25 см нижче за рівень очей, а рівень верхньої кромки розташовувався на висоті лоба, від екрану монітора до очей має бути не менше 75...120 см.

- відстань між столами з комп'ютерами - не менше 1,5 метрів, між моніторами - не менше 2,2 метрів.

- екран комп'ютера краще розташувати під прямим кутом по відношенню до вікон, які необхідно завісити або закрити жалюзі.

4.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [4].

Для нашого приміщення температура підтримується завдяки вентиляції (природної і штучної) в теплу пору року, та за допомогою опалення та герметизації приміщення в холодну пору року. Оптимальні норми температури для холодної пори року 21-23°C, для теплої складає 22-24°C.

Наше приміщення відповідає цим температурним нормам.

В даному приміщенні є два види вентиляції:

- природна (аерація через вікна і двері);
- примусова (приточно-витяжна).

Функціонально близьким, але відмінним від вентиляції за способом повітрообміну є кондиціонування. В даному приміщенні є наявність кондиціонера, який підтримує в приміщенні комфортні умови незалежно від зовнішніх умов (визначеної температури, вологості, чистоти повітря і швидкості повітряних потоків).

Вологість повітря в даному приміщенні не 40-60%, що відповідає оптимальним нормам. Це реалізується за допомогою вентиляції і кондиціонування приміщення, а також за рахунок проведення вологих збирань.

У приміщенні є наявність відео термінальних пристроїв та учбових стендів для проведення лабораторних робіт. Всі ці устаткування мають низький рівень шуму, що в свою чергу не перевищує допустиму норму рівня шуму в 65 дБ.

В нашому приміщенні, де знаходяться відео термінальні пристрої, використовується змішане освітлення, тобто поєднання природного і штучного освітлення.

В якості природного - бокове освітлення через вікна. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку з урахуванням потоку, відбитого від стін і стелі [5].

Нормами для даних робіт в даному приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_n = 300\text{лк}$ (середня точність роботи по розрізненню деталей розміром від 1 до 10 мм).

4.4 Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПУЕ і ГОСТу 12.1.013-78 являється приміщенням без підвищеної небезпеки [24].

Приміщення сухе, добре опалюване з струмонепровідною підлогою, з температурою 18-24 °С, з вологістю 40-50%. З електроустаткувань в ньому знаходяться відео термінальні пристрої та учбові стенди, які знаходяться під напругою.

Причини ураження електричним струмом [4-6].

1. Пошкодження устаткування.
2. Пошкодження ізоляції.
3. Коротке замикання на землю або на корпус.
4. Порушення правил техніки безпеки и роботи с електроустаткуванням.

Для забезпечення електробезпеки в даному приміщенні використовуються такі технічні засоби:

- захисне заземлення;
- мала напруга;
- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- знаки безпеки.

Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою.

Учбові стенди, які знаходяться в приміщенні, працюють на мінімально можливих напругах, що забезпечує додаткову безпеку.

Усі електроустаткування можна у разі потреби вимкнути через електронний щит управління, який миттєво знеструмлює усі стенди та відео термінальні пристрої. Скрізь, де встановлені розетки є попереджувальні знаки.

4.5 Пожежна та техногенна безпека об'єкту

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “Б” [5-7].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е” [4]. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою. Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщенні є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщенні вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустаткування. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі. Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, дверей - не менше 0.8 м. При дверях, що відкриваються з приміщень в загальні коридори, за ширину евакуаційного шляху коридором слід приймати ширину коридору, зменшену:

- на половину ширини дверного полотна - при одnobічному розташуванні дверей,
- на ширину дверного полотна - при двосторонньому розташуванні дверей.

Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. У підлозі на шляхах евакуації не допускаються перепади висот менше 45 см і виступи, винятком порогів в дверних отворах. Висота дверей у просвіті на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

4.6 Розрахунок освітлення робочого місця

Загальний світловий потік визначається за формулою [8]:

$$F_{зсн} = \frac{E_n \cdot S \cdot z1 \cdot z2}{V} \quad (4.1)$$

де E_n - нормована освітленість ($E_n = 300$ лк), S - площа приміщення; $z1$ - коефіцієнт, що враховує старіння ламп і забруднення світильників ($z1=1,5$); $z2$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення приміщення ($z2 = 1,1$); V - коефіцієнт використання світлового потоку, визначається в залежності від коефіцієнтів відбиття від стін, стелі, робочих поверхонь, типів світильників і геометрії приміщення.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 8,5 \cdot 5,9 = 50,12 \text{ м}^2 \quad (4.2)$$

Виберемо з таблиці коефіцієнт використання світлового потоку за наступними даними:

- коефіцієнт відбиття білої стелі $R_{п}=70\%$;
- коефіцієнт відбиття від стін, забарвлених в світлу фарбу $R_{ст}=50\%$;
- коефіцієнт відбиття від підлоги, покритої лінолеумом темного кольору $R_{р}=10\%$;
- індекс приміщення

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8,5 \cdot 5,9}{4 \cdot (8,5 + 5,9)} = 0,87 \quad (4.3)$$

Знайдений коефіцієнт [3]: $V = 0,62$.

За формулою (1.1) визначаємо загальний світловий потік:

$$F_{зсн} = \frac{300 \cdot 50,15 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{0,62} = 40039 \text{ лк.}$$

Для організації загального штучного освітлення виберемо лампи типу ЛБ65.

Люмінесцентні лампи мають ряд переваг перед лампами розжарювання: їх спектр ближче до природного; вони мають велику економічність (більше світловіддача) і термін служби у 10-12 раз більше. Поряд з цим є й недоліки: їх робота супроводжується іноді шумом; гірше працюють при низьких температурах; їх не можна застосовувати у вибухонебезпечних приміщеннях; мають малу інерційність. Для нашого приміщення люмінесцентні лампи підходять.

Світловий потік однієї лампи ЛБ65 становить не менш $F_{л} = 4600$ лм. Число N ламп, необхідних для організації загального освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{F_{зсп}}{F_{л}} = \frac{40039}{4600} = 12 \quad (4.4)$$

В якості світильників вибираємо ПВЛ-1, 2×65 Вт. Електрична потужність однієї лампи ЛБ65 $W_{л} = 65$ Вт.

Потужність всієї освітлювальної системи:

$$W_{oc} = W_{л} \cdot N = 65 \cdot 12 = 780 \text{ Вт} \quad (4.5)$$

Розміщення світильників ПВЛ-1, 2×65 Вт представлено на рисунку 4.2.

Таким чином, щоб забезпечити світловий потік $F_{зсп} = 40039$ лм в даному приміщенні використовується 6 світильників по 2 лампи ЛБ65 в кожному. Згідно розрахунків освітленість приміщення відповідає встановленим нормам.

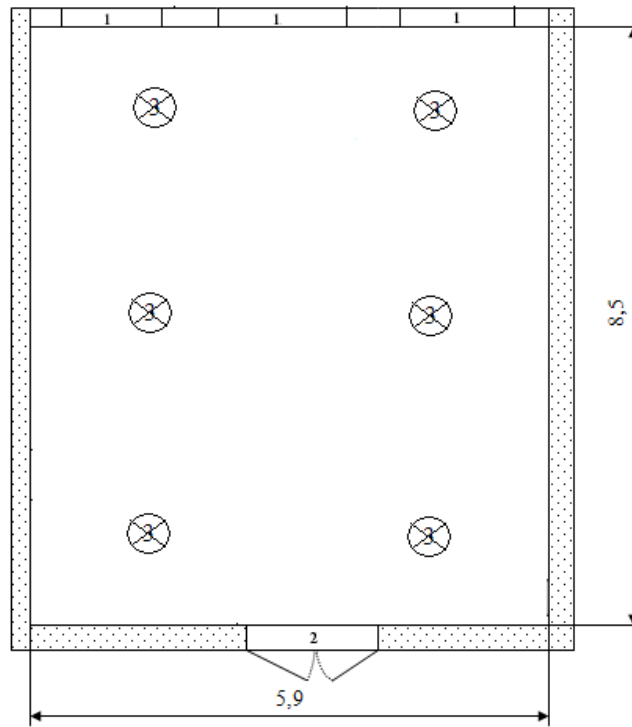


Рисунок 4.2 – План розташування світильників

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) основною вимірюваною величиною, яка дає якісну та кількісну оцінку для марганцевої руди є магнітна сприйнятливість, отже, для досягнення поставленої мети пропонується використовувати пристрій магнітоелектричної розвідки - протонний магнітометр;

2) в магнітометрі необхідно виміряти абсолютну величину магнітного поля, що вирішується шляхом використання сучасних мікроконтролерів перетворення частоти прецесії протонів у величину індукції магнітного поля;

3) у роботі блоку поляризації запропоновано використати схему придушення імпульсу самоіндукції (подавлення перехідного процесу), що збільшує завадостійкість датчика магнітометра;

4) використання системи силових ключів, виконаних на твердотілих оптичних реле PVG613PBF (порівняно із прототипом LCA710 – напруга ізоляції на 250 В більше (4000 В)) збільшило ізоляційну стійкість пристрою;

5) використання мікроконтролера STM32F100C8T6В замість STM32F100C4T6 прототипу вдвічі збільшило об'єм програмної пам'яті (64 кБайт);

6) використання лінійного стабілізатора напруги на 3,3 В MAX8860EUA33, зменшило рівень шумів, порівняно із прототипом ADP3330 (55-65 мкВ проти 95 мкВ для ADP3330);

8) у результаті моделювання роботи мікроконтролера в редакторі Proteus було показано, що на виході мікроконтролера сигнал є достатньо чітким, без спотворень;

9) розрахунки за техніко-економічними показниками визначили можливість макетної реалізації магнітометра з меншими витратами, порівняно із зарубіжними аналогами;

10) розроблено заходи за умовами дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) пристрій має перспективу у сфері обстеження металоконструкцій, трубопроводів та ін.;

2) результати моделювання магнітометра у програмі ZondGM2d показали, що пристрій дозволяє зафіксувати окремі локальні ділянки із магнітними аномаліями, що дає підстави для подальшого проведення досліджень у польових умовах а також для лабораторних досліджень.

Перелік посилань

1. Калашник А. А. Оценка перспектив развития промышленного потенциала минерально-сырьевой базы урана на территории Украинского щита / А. А. Калашник // Мінеральні ресурси України. – 2014. – № 3. – С. 14–26.
2. Комплексна економічна оцінка природних ресурсів : монографія / [за заг. ред. М. А. Хвесика]. – Київ : ДУ ІЕПСР НАН України, 2013. – 206 с.
3. Кузьменко Е. Д. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Ч. 2. Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів. Геоінформаційна система прогнозування екзогенних геологічних процесів [Електронний ресурс] / Е. Д. Кузьменко, О. М. Журавель, Т. Б. Чепурна [та ін.] // Геоінформатика. – 2011. – № 4. – С. 58–77. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/geoinf_2011_4_8.pdf (дата звернення: 08.10.2019).
4. Толстой М.І. та ін. Основи геофізики. К.: Обрії, 2007. – 446 с.
5. Хмелевской В.К. Краткий курс разведочной геофизики. М.: Недра, 1967. – 223 с.
6. Вижва С.А., Рева М.В., Онищук І.І., Онищук В.І. Електрометрія. Посібник із навчальної геофізичної практики. ВПЦ «Київський університет», 2014. – 303 с.
7. Якубовский Ю.В. Электроразведка. М. : Недра. – 1991. – 307 с.
8. Жданов М.С. Электроразведка. М. : Недра. – 1986. – 316 с.
9. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики: Підручник. – К. : „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.
10. Курганський В.М., Тішаєв І.В. Електричні та електромагнітні методи дослідження свердловин : Навчальний посібник - К.: ВПЦ "Київський університет", 2011. - 175 с.

11. ГОСТ 24284– 80 Гравиразведка и магниторазведка. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1980. – 18 с.
12. Щербаков Г. Н., Анцелевич М.А., Удинцев Д. Н. Пути повышения помехоустойчивости магнитометрических средств поиска и их практическая реализация // Специальная техника. – 2005. – № 3. – С.19-24.
13. Ripka P. Advances in Magnetic Field Sensors // IEEE Sensors journal. – 2010. – Vol. 10, N 6. – P.1108-1116.
14. Бараночников, М.Л. Микромагнитоэлектроника / М.Л. Бараночников. – М. : ДМК Пресс, 2002. – Т. 2. – 691 с.
15. Скважинная и шахтная рудная геофизика : справочник геофизика : в 2 кн. / под ред. В. В. Бродового. – М. : Недра, 1988. Кн. 1. – 320 с. ; Кн. 2. – 440 с.
16. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. – М.: Недра, 1999. – 437 с.
17. Померанцев Н.М. Физические основы квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972. – 448 с.
18. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. – М.: Вильямс, 2004г. – 992 с.
19. Опис программного продукта audacity 2.0.3 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://audacity.sourceforge.net> (дата звернения: 08.10.2019).
20. Бородин П.М., Мельников А.В. Ядерный магнитный резонанс в земном поле – М. : Наука, 1972. – 449 с.
21. Белодедов М.В., Игнатьев В.К., Никитин А.В. Точность аппроксимации сигналов по алгоритму Прони. Электронное моделирование. 1992. Т. 14. № 5. С. 43 – 48.
22. Технічний опис протонного магнітометра GSM-19T [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://geoget.ru/images/stories/GSM-19T.pdf>(дата звернення: 08.10.2019).
23. Жадан М.П. Разработка методики автоматизированного дистанционного обследования несущих строительных конструкций зданий и

сооружений [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2009, №2.
– Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2009/127>

24. Технический опис мікросхеми PVG613PBF[Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/clare/PVG613PBF.pdf> (дата звернення: 08.10.2019).

25. Технический опис мікросхеми STM32F100C8T6B [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://www.ic-on-line.cn> (дата звернення: 08.10.2019).

26. Технический опис мікросхеми ADG884[Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.analog.com/static/importedfiles/data_sheets/ADG884.pdf/ (дата звернення: 18.10.2019).

27. Технический опис мікросхеми OPA2211 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/sbos377g/sbos377g.pdf/> (дата звернення: 18.10.2019).

28. Технічний опис звукової карти VIA VT1802P[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.via.com.tw/en/products/audio/codecs/vt1802p/> (дата звернення: 18.10.2019).

29. Технічний опис мікросхеми ADP3330 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADP3330.pdf/ (дата звернення: 19.10.2019).

30. Технічний опис мікросхеми MAX8860EUA33 [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://radio-hobby.org/uploads/datasheet/347/max8/max8860.pdf>(дата звернення: 19.10.2019).

31. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. 7-е изд. М. : Мир, 2009.

32. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.

33. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В. Кісельов Є. М. Мікропроцесорна техніка // Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання контрольної роботи. – Запоріжжя : ЗДІА. – 2014. – С.15-29.

34. Antognetti, P.; Massobrio, G.: Semiconductor device Modeling with SPICE. New York: McGrawHill, 1988.
35. Calcutt D., Cowan F., Parchizadeh H. 8051 Microcontrollers: An Applications Based Introduction. Oxford: Newnes, 2004.
36. Mazidi M.A., McKinlay R. 8051 Microcontroller and Embedded Systems. NJ: Prentice Hall, 2005. 640 p.
37. Опис програми ZondGM2D [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://zond-geo.com/english/zond-software/gravity-magnetic-self-potential/zondgm2d/>(дата звернення: 02.11.2019).
38. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. - К: Вища шк., 1997. - 271с.
39. Бегун В.В., Науменко І.М. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. – К.: МОНУ, 2004. – 328 с.
40. СНИП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.
41. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – Л.: Энергия, 1976. – 391 с.
42. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В.Г. Рижков – Запоріжжя, 2005. – 43 с.
43. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Охрана окружающей среды» с использованием ЭВМ для студентов всех специальностей / Сост. Ю.П. Свириденко, С. П. Панасейко, В.М. Билюшов. – Запорожье, 1989. – 28 с.
44. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В.Г. Рижков. – Запоріжжя, 2005. – 24 с.
45. Охрана труда в отрасли. Методические указания к практическим занятиям для студентов ЗГИА специальности «Металлургия чёрных металлов» / Сост. В.Г. Рижков. – Запорожье, 2003. – 38 с.

46. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982. – 800 с.