

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

Перший (Бакалаврський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Магнітодетектор підвищеної чутливості

КПТР 2017005.01.05ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група ТР-17-1

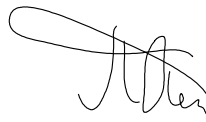


підпис

М.В. Гнатюк

Ініціали, прізвище

Керівник: к-т техн. наук, доц.



підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф. _____



підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

___10___ червня _____ 2021 р.

Хмельницький, 2021

Хмельницький національний університет
Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ___ ТМІТ ___

С.К. Підченко

«_5_»_02_2021_р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

Гнатюку Михайлу Віталійовичу

1 Тема роботи: Магнітодетектор підвищеної чутливості

Керівник роботи Пивовар Олег Сергійович, к.т.н, доцент.

Затверджено наказом по університету від «_5_»_02_2021р. № 11

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 20.05.2021р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Ескіз схеми електричної принципової метало детектора для виявлення предметів під шаром ґрунту із можливістю адаптації до умов наковлишнього середовища із регульованою чутливістю та звуковою індикацією. Забезпечити мінімізацію вартості та габаритних розмірів за умови збереження високого рівня чутливості та дискретизації по типу матеріалу об'єкта.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. Техніко-економічне обґрунтування способів та методів вимірювання магнітних величин. 2. Аналіз принципів роботи та структур метало детекторів, обґрунтування вибору принципу роботи. 3. Розробка та аналіз структурної та принципової схем виробу. 4. Оформлення частини конструкторської документації згідно діючим стандартам.

Завдання отримав ___  ___ М.В. Гнатюк

Керівник проекту ___  ___ О.С. Пивовар

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	<i>Вибір тематики</i>	<i>до 5.02.21</i>	<i>обрано</i>
2	<i>Аналіз початкових даних</i>	<i>до 25.02.21</i>	<i>проаналізовано</i>
3	<i>Написання вступу та 1 розділу (ТЕО)</i>	<i>до 15.03.21</i>	<i>виконано</i>
4	<i>Написання 2 розділу (структурна схема)</i>	<i>до 15.04.21</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Оформлення креслення структурної схеми</i>	<i>до 15.04.21</i>	<i>виконано</i>
6	<i>Написання 3 розділу (схема електрична принципова, розрахунки)</i>	<i>до 1.05.21</i>	<i>виконано</i>
7	<i>Оформлення текстової частини</i>	<i>до 10.05.21</i>	<i>виконано</i>
8	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>до 15.05.21</i>	<i>виконано</i>
9	<i>Корекція зауважень наукового керівника</i>	<i>до 17.05.21</i>	<i>виконано</i>
10	<i>Підготовка доповіді , оформлення документів супровіду</i>	<i>до 18.05.21</i>	<i>виконано</i>
11	<i>Подання готової роботи на попередній захист</i>	<i>20.05.21</i>	<i>виконано</i>
12	<i>Корекція зауважень під час попереднього захисту</i>	<i>до 01.06.21</i>	<i>виконано</i>
12	<i>Рецензування, анти плагіат, підписи</i>	<i>до 06.06.21</i>	<i>виконано</i>

Студент

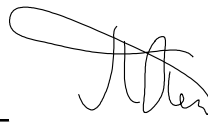


Підпис

М.В. Гнатюк

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційний проект бакалавра на тему «Магнітодетектор підвищеної чутливості» виконав студент 4-го курсу гр. ТР-17-1 Гнатюк Михайло Віталійович на кафедрі «Телекомунікації, медійних та інтелектуальних технологій» Хмельницького національного університету у 2021р. Керівник проекту доц.каф. Пивовар Олег Сергійович.

Робота складається із вступу, 3 розділів, висновків з виконання проекту, списку використаних джерел (16 бібліографічних посилань, 2 сторінки) та матеріалів у кінці звіту (6 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 68 сторінок і містить 15 рисунків на 15 сторінках по тексту та 1 таблицю, що займає 0,5 сторінки по тексту. Повний обсяг роботи - 87 сторінок.

Кваліфікаційний проект присвячений розгляду питань вимірювання локального магнітного поля об'єктів що приховано у немагнітному або слабо магнітному середовищі. Для підтвердження актуальності розгляду питань магнітодетектування проведено історичний аналіз вимірювання поля та пристроїв для таких завдань. На основі розгляду принципів та структур метало детекторів обрано спосіб детектування на основі індуктивного балансу. Розроблена структурна та принципова схем виробу із урахуванням мінімальної вартості із збереженням можливостей застосування на рівні професійних аналогів. Проведено конструкторські розрахунки котушок індуктивності змінних пошукових головок та оціночні розрахунки для майбутнього виробництва печатних плат виробу.

Ключові слова: магнітне поле, магнітодетектор, дискримінатор металів, фазовий детектор.

ABSTRACT

Bachelor's thesis proposal "A high sensitivity magnetic detector" written by Hnatyuk Mykhailo Vitalyiovich, a 4th year student of group TR-17-1 at the Department of Telecommunications, Media and Intellectual Technologies of Khmelnytsky National University, in 2021. Academic advisor - Pyvovar Oleg Serhiyovych, Associate Professor.

The thesis proposal consists of an introduction, 3 sections, main scientific findings, a list of works cited (16 bibliographic references on 2 pages) and additional materials at the end of the report (6 pages). The total volume of the thesis in which the main content is stated is 68 pages; it contains 15 figures on 15 pages of text and 1 table, which occupies 0.5 of the page of text. The full volume of the thesis is 87 pages.

The thesis proposal is centered on issues of measuring the local magnetic field of objects hidden in a non-magnetic or weakly magnetic environment. To confirm the relevance of the magnetic detection, a historical analysis of field measurements and devices for such tasks was performed. Based on the consideration of the principles and structures of metal detectors, the method of detection based on inductive balance is chosen. The structural and basic schemes of a product are developed with taking into account the minimum cost with preservation of possibilities of application at the level of professional alternatives. Design calculations of inductors of replaceable search heads and estimation calculations for the future production of printed circuit boards of the product are carried out.

Keywords: magnetic field, magnetic detector, metal discriminator, phase detector.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	11
1.1 Магнітне поле та його детектування	11
1.1.1 Історичні аспекти появи детекторів магнітного поля	11
1.1.2 Параметри матеріалів, що пов’язані із магнетизмом	13
1.1.3 Вимірювання магнітних величин	15
1.2 Вимірювання локального магнітного поля об’єктів	17
1.2.1 Компенсаційні методи вимірювання	17
1.2.2 Комплементарні сигнали у балансних методах	19
1.3 Металодетектори для виявлення об’єктів	21
1.3.1 Класифікація та принципи роботи металодетекторів	21
1.3.2 Особливості металодетекторів	23
1.3.3 Метод індуктивного балансу під час металодетектування ..	24
2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	27
2.1 Пристрої металодетектування та їх характеристики	27
2.1.1 Технічні параметри металодетекторів	27
2.1.2 Аналогічні промислові професійні вироби	29
2.2 Порівняльний аналіз структур металодетекторів	32

					КПТР2017005.01.05ПЗ						
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Магнітодетектор підвищеної чутливості Пояснювальна записка			Літера	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Гнатюк .									6	72
Перевірив	Пивовар										
Н. контр.	Стецюк										
Затв.	Підченко										
					ХНУ, ТР-17-1						

2.2.1	Металодетектування на основі вимірювання різниці частот	33
2.2.2	Металодетектування за допомогою індуктивного балансу.. ..	34
2.2.3	Радіолокаційні металодетектори	36
2.3	Структурна схема виробу, що розробляється	37
2.3.1	Укрупнена структурна схема виробу	37
2.3.2	Модуль передавача розроблювального пристрою	40
2.3.3	Приймальний модуль розроблювального пристрою	41
2.3.4	Модуль індикації та живлення	44
3	АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ	46
3.1	Аналіз схеми електричної принципової	46
3.1.1	Модуль передавача	46
3.1.2	Модуль приймача	48
3.1.3	Допоміжні електричні кола	51
3.2	Конструкторські розрахунки	53
3.2.1	Пошукові головки металодетекторів	53
3.2.2	Розрахунок котушок індуктивності пошукових головок..	57
3.2.3	Параметри електричних з'єднань печатної плати	64
	ВИСНОВКИ	70
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД – амплітудний детектор
АКБ – акумуляторна батарея
АФД – амплітудно-фазовий детектор
ВІС – велика інтегральна схема
ВКІ – виносна котушка індуктивності
ВП – вимірювальний прилад
ЕВ – електрична величина
ЕМП – електромагнітне поле
ІНБ - індуктивний баланс
КІ – котушка індуктивності
ККД – коефіцієнт корисної дії
МВ – магнітна величина
МД – магнітний детектор
ММД - металодетектор
МЕМС - мікроелектромеханічні прилади та системи
ММ – магнітометрія
МПР – магнітна проникність
МП – магнітне поле
ПГ – пошукова головка магнітодетектора
МШ – міношукач
ФВ – фізична величина
ФД – фазовий детектор
ФЗ – фазовий зсув

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Відомості про стан магнітного поля (МП) об'єктів є дуже важливою для великої кількості галузей науки та техніки. Наприклад, під час вивчення МП Землі вирішуються такі завдання: локальна та глобальна навігація, пошук корисних копалин, сейсмічна активність, дослідження внутрішньої будови Землі [1], контроль підводного та наземного простору, геологічні дослідження, магнітна локація археологічних споруд, та інші. Ці завдання активно сприяють процесу розвитку методів магнітометрії (ММ).

Ще задовго до Нашої Ери допитливим людям вдалось встановити властивість намагнічування. Магнітна стрілка, що закріплювалась на тонкому обертовому підвісі, який розташований вздовж поточного Земного меридіану довгим боком став прообразом усіх компасів та започаткував фактично вимірювання магнітного поля. Бік намагніченої стрілки, що завжди повертався на північ, отримав назву північного магнітного полюса, а інший бік – південного. Таким чином і була підмічена властивість взаємодії магнітних полюсів, а саме те що вони під час силової взаємодії один від одного відштовхуються та наближаються різнойменними.

Одними з найбільш чутливих та використовуваних серед різноманітних детекторів фізичних величин (ФВ), які вимірюють також і їх незначні зміни є магнітні детектори (МД). Ще й до того ж вони є одними з самих надійних вимірювальних приладів (ВП), прямий доказ тому є функціонування одного із таких детекторів на космічних зондах «Вояджер 1» та «Вояджер-2» і там вони безупинно працюють вже протягом 40 років в умовах глибокого міжзоряного вакууму.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

-

В Німеччині, професором Н. W. Dove, у сорокових роках позаминулого сторіччя були запропоновані перші пропозиції щодо методів вимірювання слабких магнітних полів від об'єктів. Такі методи продовжують розвиватись і до сьогодні через дуже велику кількість магнітних матеріалів, що застосовує людина під час роботи, відпочинку, і навіть сну, тобто в рамках її технократичної цивілізації [2].

Інтенсивний розвиток схемотехніки та мікроелектроніки дозволив створити різні конструкції та запропонувати різноманітні принципи роботи вимірювачів магнітного поля та змін магнітного поля із перспективним застосуванням у різних напрямках.

Сьогодні застосування металодетекторів охоплює як військові потреби так і потреби цивільної промисловості. У військовому напрямку найбільш використовуються ручні металошукачі, магнітні міни, засоби розмагнічування, тощо. В цивільній галузі металодетекторами зацікавлені підприємці харчової промисловості, для виявлення попадання у продукти сторонніх металевих предметів від технологічних ліній , наприклад, пакування; археологія для пошуку цінних стародавніх знахідок; охоронні системи для забезпечення виявлення несанкціонованого вторгнення озброєних осіб; геодезисти, для пошуку корисних копалин, тощо [1-3].

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1 Магнітне поле та його детектування

1.1.1 Історичні аспекти появи детекторів магнітного поля

Початком великої ери точних магнітних вимірювань було відкриття єдиної природи магнітних та електричних явищ. У 1831р. вперше опублікована (М. Фарадей) та продемонстрована (Д. Генрі) у застосуванні первинна теорія електромагнітних явищ. Після прем'єри, Генрі розробив ряд експериментів, для підтвердження фундаментальних явищ індукції і самоіндукції. Ці відкриття та їх теоретичне обґрунтування сприяли не тільки появі приладів для вимірювання магнітного поля, але і розробці довгих телеграфних каналів зв'язку, а пізніше і телефонних каналів, тощо[2].

Перше практичне застосування магнітодетекторів відбулося у 1881р. 24 жовтня у в Парижі, де О. Белом було представлено спосіб, що безболісно виявляв магнітні об'єкти в людському тілі, а саме для локалізації невеликої металевої кулі, яка знаходилась у тілі пацієнта. Через рік О.Бел експериментально виявляв заглиблені у ґрунті кабелі телеграфних сигналів. Виявлення відбувалось завдяки котушки індуктивності (КІ) та магнітним властивостям металів – магнітній проникності (МПР).

Під час подальшого розвитку ідей металодетектування було створено перший підводний ММД С.А. McEvoy. Цей прилад (рис.1.1) був досить портативний і суттєво мав герметичний корпус. Всередині

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

корпусу містилися дві підлаштовувальні КІ, батарея та інші елементи схеми. Звуковий сигнал застосовувався як індикаторний.

Принцип дії цього ММД простий. КІ металодетектора під час сканування опускалася під поверхню води, безперервний слабкий сигнал постійно лунав у головних телефонах оператора. Якщо в межах КІ з'являвся металевий об'єкт, внутрішній баланс котушок індуктивності порушувався і звук у навушниках ставав гучнішим, та виразним, що і було індикацією знахідки. Цей пристрій збиралися використовувати і для виявлення торпед, але він ще був недосконалим.

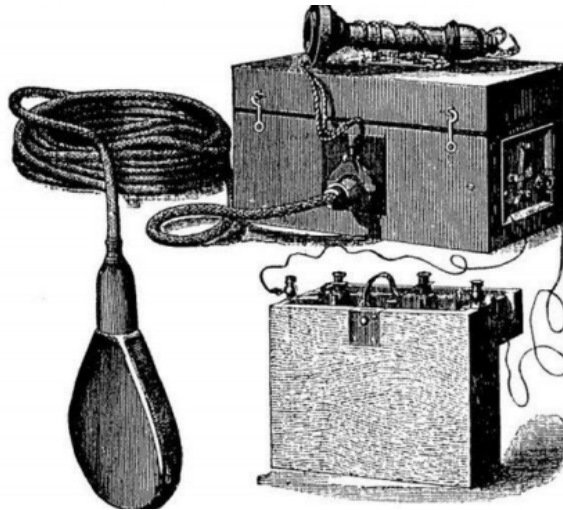


Рисунок 1.1 – Перший підводний металодетектор

Перші більш досконалі конструкції ММД в першу чергу використовували у військовій промисловості. У 1882 році видано патент на металодетектор торпед US269439 «Apparatus for Finding Torpedoes».

Але металодетектори застосовувались не тільки у військовій галузі, але і для суто цивільної промисловості. Наприклад, у 60 роках. ХХст. ММД стали застосовувати у гірськорудній промисловості для локалізації розташування руд цінних металів для подальшого видобутку[3].

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.1.2 Параметри матеріалів, що пов'язані із магнетизмом

У стародавніх китайських документах, приблизно двісті років до нашої ери, згадується про арку із цікавими магнітними властивостями, яка знаходилась у палаці китайських імператорів. Наразі вона використовувалась як елемент охоронної системи - детектор металевих предметів. Вищезгадана арка інтегрувалась в одвірок входу в імператорські покої. Арка була виготовлена майстрами із магнітотвердого магнетиту і своєю формою нагадувала велику підкову.

Для підсилення магнітних властивостей, під час виготовлення подібних арок, магнетит сильно нагрівали і довго обробляли ковкою. Така арка була здатна сильно притягувати до себе тогочасну холодну зброю та металеві предмети - шаблі, ножі, мечі, піки, тощо.

Вимірювання параметрів матеріалів започаткувало відкриття у 1820 році Г.Ернестедом явища взаємодії постійних магнітів та електричних струмів, а наразі потім Ампером була теоретично обгрунтована магнітна взаємодія між паралельними провідниками по яких протікав електричний струм. Тобто було реалізовано обгрунтування природи МП, що однакова для провідника із струмом та постійного магніту[1].

Щодо властивостей магнітних матеріалів Ампером було висунуто припущення про існування мікрострумів у речовинах, що і обумовлювали намагнічування постійних магнітів. Це фундаментальне припущення було монументально підтверджено відкриттям руху електронів у атомах і започаткувало цілому напрямку щодо магнітних властивостей речовин. Таким чином, сучасний погляд на МП полягає в

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

-
тому, що воно виникає або через макроструми або мікроструми в речовинах.

Основними вимірювальними параметрами магнітного поля вважають:

- 1) магнітна індукція;
- 2) напруженість магнітного поля;
- 3) магнітний потік;
- 4) магнітна напруга;
- 5) магніторушійна сила.

У МП є своя інтенсивність та напрямок, це означає, що параметри МП - векторні ФВ. За теорією магнітних явищ вектор МП у певній точці визначається його магнітною індукцією, а напрямок руху - за правилом правого гвинта (свердлика).

Магнітна індукція є векторною ФВ і основною силовою характеристикою МП. Векторну ФВ «магнітна індукція» зазвичай позначають латинською літерою B і для поодинокого провідника довжиною l та силою струму I вона буде дорівнювати:

$$B = \frac{F}{I \cdot l}, \quad (1.1)$$

Для визначення МП широко застосовують властивість ЕМП - принцип суперпозиції, що полягає в тому, що у випадку якщо індукція МП генерується кількома різними джерелами, то їх дія дорівнює векторному доданку магнітних індукцій, незалежно від природи джерел (мікроструми або макроструми).

Різні середовища мають різні можливості щодо протікання мікрострумів та мікрострумів, тобто вони не однаково взаємодіють із МП саме через наявність мікрострумів. Отже значення та напрямок дії мікрострумів обумовлюють різні властивості щодо МП різних

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

-
середовищ і характеризують магнітну проникність (МПР) матеріалів та різних речовин.

Магнітна проникність [3] пов'язує напруженість МП, та його індукцію. Коли у ми маємо МПР речовини, то напруженість МП визначається відношення магнітної індукції до абсолютної та відносної магнітної проникності:

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0} \quad (1.2)$$

Напруженістю магнітного поля є точкова характеристика поля, яка як і магнітна індукція векторна величина. Таким чином, всі методи та способи металодетектування ґрунтуються на магнітних властивостях речовин, а саме магнітній проникності, що носить комплексний характер як в математичній моделі, так і під час практичного аналізу та вимірювань.

1.1.3 Вимірювання магнітних величин

Процес вимірювання та обробки магнітних величин (МВ) напряму залежить від електричних сигналів [2]. У більшості випадків під час вимірювання певних МВ насправді вимірюється якась електрична величина (ЕВ), яка функціонально пов'язана з МВ. Раніше для вимірювання МВ застосовували електромеханічні пристрої (компас), але сьогодні у масове використання широко впроваджено мікроелектромеханічні прилади та системи (МЕМС).

Магнітометричні прилади поділяють на магнітометри(МГМ), які призначаються для дослідження Мп Землі та металодетектори (МД) (металошукачі, металодетектори), які призначені для вимірювання

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

-
локальних магнітних полів об'єктів, що мають розміри близько розмірів людини.

МД називають прилади виявлення присутності та зон розташування об'єктів із високою магнітною проникністю у немагнітному середовищі.

Перші професійні МД було розроблено у США на великих металообробних заводах для забезпечення запобігання виносу персоналом цінних металевих деталей та інструментів. Надалі військові взяли це до уваги та почали застосовувати МД для власних завдань: виявлення мін, а отже сформувався поширена назва – міношукачі(МШ).

У 1945р велика кількість військових МШ якимось чином опинилась в руках цивільного населення, але такі міношукачі були важкими, габаритними та щей і ламповими, а також споживали надто багато енергії від джерела живлення під час недовгої автономної роботи.

На сьогоднішній день МД дуже широко використовують у будівельній промисловості, в технологічних етапах контролю магнітних вкраплень, у переробці вторинних речовин, пошуку прихованої електропроводки, контролю міцності труб, та інше. Ці зони застосування потребують постійного вдосконалення методів , що вимірюють магнітні величини, а також розробки нових способів функціональних перетворювачів для точнішого детектування та діагностики і покращення тактичних характеристик металодетекторів [2].

Розвиток електроніки і, особливо, мікропроцесорної техніки різко зменшив масу, габарити і споживання МШ і, таким чином, розширив галузі їх застосування. ММД стали застосовувати навіть люди без досвіду та ненавчані, наприклад, під час автоматизованого пошуку і

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

-
сортування органічних побутових відходів, виявленню металів на технологічних лініях продуктів живлення, тощо.

Одним з головних параметрів усіх МД є чутливість до змін МП, а особливістю умов застосування - великий рівень оточуючих завад та спотворень. Це в першу чергу обумовлюється наявністю магнітного поля Землі, що тривалий час намагнічує усі предмети в зоні його дії, а також велика кількість електромагнітних сигналів, які штучно створенні людиною ненавмисно або навмисно. В кінцевому рахунку такі завади та спотворення призводять до сторонніх паразитних магнітних впливів, що зменшують відношення сигнал часто до рівня від'ємних відношень у децибелах.

Класичні методи обробки сигналів для високого рівня завад частот не дозволяють швидко та точно реалізувати необхідні локації об'єктів, а також очевидно що, не забезпечують високий рівень чутливості пристроїв. Саме тому за основу дипломної роботи було взято ММД, робота якого будується на балансі двох котушок індуктивності – індуктивному балансі (ІНБ). В цьому методу максимальна чутливість досягається конструктивними засобами балансу між передавальною і приймальною КІ та комплексною фазо-частотно-імпульсною обробкою сигналів та звуковою візуалізацією сигналів пошуку [4].

1.2 Вимірювання локального магнітного поля об'єктів

1.2.1 Компенсаційні методи вимірювання

Велика кількість практичних досліджень різних авторів, та їх поточна праця створили можливості докладного вивчення впливу металевих предметів, на явище індукції та самоіндукції, що покладено в

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

основу магнітних властивостей речовин та магнітних вимірювань (рис1.2) за допомогою металодетекторів. Якщо узагальнити підходи то всі різновиди методів, що застосовують металодетектори відносяться до компенсаційних, де компенсація передбачає саме компенсацію впливу навколишнього середовища. Це і дозволило вимірювати найслабкіші МП та їх міни відносно деякого сталого і набагато більшого значення .

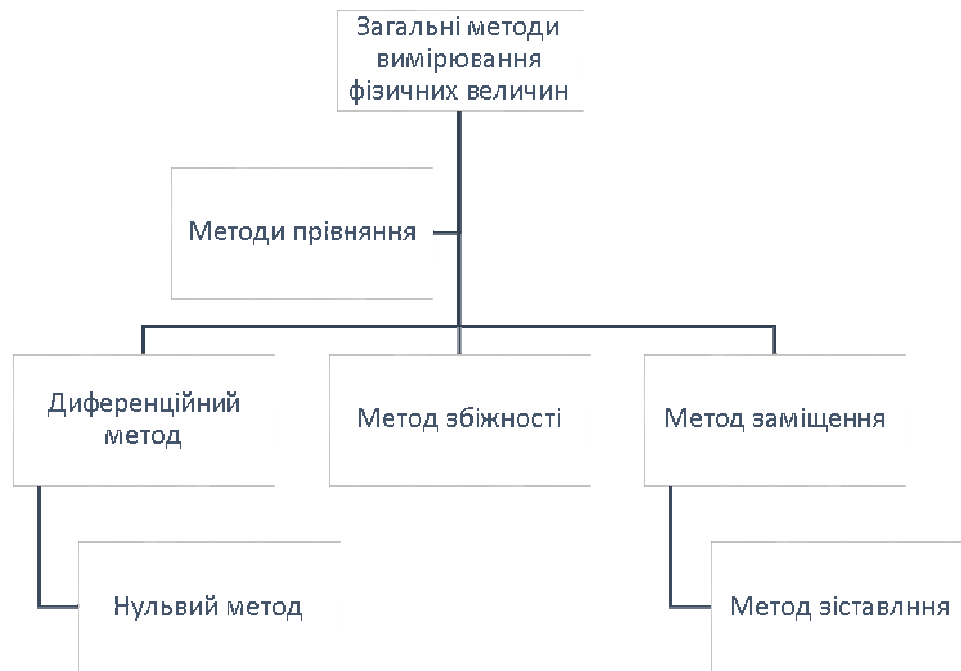


Рисунок 1.2 – Загальні методи вимірювання, для визначення слабких магнітних полів

Для вимірювання МП Землі, що є потребою сучасного людства більш за все, і використовують методи, які відносяться групи методів порівняння, тобто компенсації (рис.1.2). Це обумовлюється наявністю відносно потужного власного магнітного поля Землі, і потребою вимірювання локальних відхилень в умовах такого впливу МП Землі [3].

Саме такі умови потреб сприяли появі методів, які урівноважують вплив потужної ФВ на частину вимірювального кола рівними і

-
протилежними ефектами на іншу частину, тобто штучно створюється баланс і компенсується потужний вплив.

1.2.2 Комплементарні сигнали у балансних методах

Був певний період часу під час демонстрації можливостей металодетектування, коли про реалізацію та способи ММД майже забули, але у 1876 О.Грехем, що працював на фірму “Bell” розглянув досить потужні впливи ліній енергопостачання змінного струму на слабкоструміві телеграфні лінії [4]. Такий вплив створював значні спотворення телеграфних сигналів через потужні наведення в телеграфних дротах які були розташовані поруч.

Задумавшись над методом компенсації впливу енергетичних завад, автор запропонував застосування двох близько розташованих дротів замість одного, де зовнішній вплив компенсується через компенсацію у диференційному приймачі. Тобто має місце застосовування диференційного методу передачі на основі симетричних ліній із двох суміжних дротів, замість однопровідних ліній із загальною землею. Цей метод ефективно застосовується і досі, навіть під час створення конструкції ліній передач високошвидкісних інтерфейсів.

Під час роботи диференційної схеми передачі в одному провіднику передавальної структури (рис1.3) струм точно дорівнює та протилежний іншому провіднику. Це фактично означає, що штучно утворювався попередній баланс, тому на виході такої схеми компенсації спотворень дія зовнішніх факторів суттєво зменшувалась і навіть з'являлась можливість роботи із завадам, що перевищують значення сигналу.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Чим точнішого балансу між лініями та сигналами в диференційній схемі вдавалось досягнути, тим менший вплив завад і шумів, які одночасно діють на обидва дроти такої лінії передачі. Надалі подібні завади дістали назву синфазної завади (СФЗ).

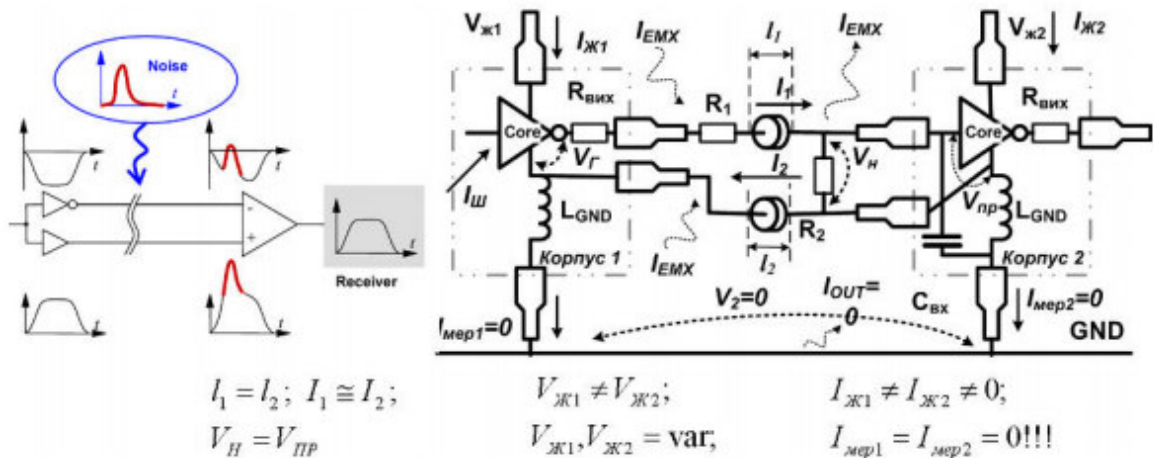


Рисунок 1.3 – Схема компенсації синфазних завад(ліворуч) та функціональна схема компенсації зовнішніх впливів швидкісних інтерфейсів (праворуч)

Описаний метод компенсації набув назви диференційна передача сигналів (ДПР) , що представляється як спосіб передачі інформації за допомогою електричних сигналів із коливаннями із протилежними фазами відносно загального (земляного), по прокладених максимально поруч (спарених) провідниках. Такі провідники називають диференційною парою дротів [4].

Вважається, що зовнішні завади розташовані досить далеко відносно провідників диференційної пари, і впливають на провідники диференційної пари однаково, крім того диференційна пара і випромінює слабо, що покращую ситуацію із електромагнітною сумісністю загалом.

В кінцевому рахунку компенсаційна обробка [6] на основі диференційної передачі сигналів є різновидом методів порівняння під час вимірювання магнітних величин і вона суттєво поліпшує монументальне відношення сигнал-завада, що впливає на всі тактичні характеристики під час магнітометрії та магнітного детектування.

1.3 Металодетектори для виявлення об'єктів

1.3.1 Класифікація та принципи роботи металодетекторів

За основними призначенням МШ і ММД класифікуються як:

- 1) прилади для виявлення переважно чорних металів у ґрунті, наприклад, пошук зон прокладання підземних трубопроводів;
- 2) військові засоби МД, це переважно ручні та пересувні МШ ;
- 3) охоронні засоби виявлення вогнепальної та холодної зброї (оглядові ММД);
- 4) глибинні МШ призначені для пошуку металевих об'єктів під значним шаром ґрунту або води глибиною декілька метрів, такі ММД переважно застосовуються в археології;
- 5) ММД Землі, це переважно глобальні ММД, що призначені для вимірювання вторинного впливу МП для корисної мети, наприклад, пошук родовищ руд чорних металів.

За принципом вимірювання параметрів магнітного поля та супутніх перетворень всі ММД поділяють на п'ять основних різновидів [7]:

- 1) Випромінюючі ММД, що функціонують за принципом локатора зондування. Вони мають дві рознесені КІ. Сигнал створений передавальною КІ відбивається від об'єкта, що приховано у деякому

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

-
середовищі, а потім відбиті сигнали приходять на приймальну КІ та порівнюються із зондуємим за різними параметрами, в першу чергу за часом затримки та амплітудою;

2) Індукційні випромінюючі ММД, основою яких є приймально-передавальна КІ, що одночасно застосовується і для передачі, і для прийому відлуння від прихованого магнітного об'єкту в діелектричному оточенні. Тут гострим чином постає питання розділення зондуємим та відбитим сигналів, що потребує складних додаткових перетворень. Така методика пошуку застосовується переважно для мобільних об'єктів з метою контролю периметрів зон охорони;

3) Резонансні ММД із частотною обробкою, що реагують на зміну розподіленої МПР в рамках зони охоплення електромагнітного поля КІ через вплив магнітного об'єкту як осердя. Такі ММД як правило мають надто слабку чутливість хоча за конструкцією та застосуванням прості і надійні;

4) Резонансні ММД із амплітудною обробкою, принцип роботи яких полягає у зміні добротності КІ через наявність в її зоні ЕМП металевих об'єктів, що призводить до зміни амплітуди через вплив втрат в осерді, бо кожне осердя вносить додаткові втрати в купі із оточуючим середовищем;

5) Імпульсні ММД на даний час найбільш складні та досконалі. В них сигнал передавальної КІ імпульсний, він викликає вихрові струми в магнітних об'єктах, які створюють власне вторинне МП навіть після закінчення дії первинного імпульсу. Аналізуючи характер зменшення вторинного МП можливо не тільки виявити тип об'єкту, але і орієнтовно визначити його хімічний склад.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.2 Особливості металодетекторів

Металодетектори користуються великим попитом як з боку підприємців, так і з боку цивільного населення. Через значний попит на ММД велика кількість фірм виробляють складні та коштовні професійні динамічні ММД, що мають ряд наступних особливостей [7]:

1) наявність процесорів та складного програмного забезпечення під час обробки магнітовимірювальних сигналів, що суттєво збільшує точність та правильність виявлення об'єкту та його хімічного складу за умови складних діелектричних оточень, і крім того, покращує сервісні можливості візуалізації та звукової індикації;

2) значний обсяг наперед завантаженої пам'яті параметрів об'єктів різних типів та навколишніх зон пошуку (оточень) із можливістю динамічної автоматичної адаптації до умов;

3) суттєво збільшена точність та чутливість виявлення об'єктів та розрізнявальна спроможність щодо їх хімічного складу і характеру розподілу металевої речовини на основі високої технологічної культури виробництва та застосуванню секретних технологій та матеріалів;

4) ергономічність застосування та зручність керування режимами, також для професійних ММД характерна велика кількість вже уніфікованих режимів роботи;

5) можливість докладної класифікації розмірів магнітного об'єкту за умови складного та швидкозмінного навколишнього оточення, що важливо в охоронних системах та системах захисту від терористичної загрози;

6) також серед особливостей слід відмітити значну ціну реалізації, до 10000 доларів США, що обумовлено витратами на захист авторських

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

-
прав, забезпеченням високої точності та надійності експлуатації в складних метеоумовах;

Крім того, експлуатація професійних металошукачів вимагає попереднього навчання для опанування певних навичок процесу сканування простору складними рухами та прискіпливого відокремлення об'єктів пошуку один від одного, наприклад, коли їх багато зосереджено одному місці.

1.3.3 Метод індуктивного балансу під час металодетектування

Суттєвий прорив у збільшенні чутливості та розрізняювальної спроможності металодетекторів відбувся у 80-х рр. ХХ ст. коли видатний американський інженер Дж. Пейн запропонував комплексний метод суміжного металодетектування і дискримінації металевих речовин під час одного циклу пошуку та вимірювання, крім того, застосування принципів диференційної обробки та балансування, що розглядалися вище призвело до можливості ефективного відстроювання від характеру магнітних властивостей навколишнього оточення під час активного (динамічного) пошуку [8].

Розроблений Дж.Пейном метод передбачав під час пошуку об'єктів активний рух робочого органа для досягнення точності виявлення та максимальної чутливості. Такий динамічний одноманітний процес надто втомлював операторів ММД. Подальші і набагато складніші моделі дозволили в значній мірі перебороти цей недолік.

Натепер практично всі всесвітньо відомі виробники ММД виробляють саме прилади на основі принципу Пейна. Великі обсяги виробництва та потужна конкуренція за ринок збуту залишила «на плаву» близько десятка відомих фірм, що виробляють саме професійні

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

-
ММД і МШ, що дістали узагальнену назву «VLF-TR». Всі вони використовують метод ІНБ в діапазоні випромінювання сигналів дуже низьких частот VLF (3..30кГц).

Основна перевага ММД типу VLF-TR – відносно висока відстань та можливість дискримінації об'єктів типу «металеве сміття». Головний недолік полягає в тому, що технологія виготовлення таких пристроїв через вимоги до конструкції вимагає точних дій, особливо для виготовлення спряжених приймальної та передавальної КІ.

Метод ІНБ, що застосовується в детекторах VLF-TR базується на паралельному аналізі значень амплітуди та фази сигналу в приймальній котушці індуктивності пошукової головки (ПГ) відносно передавальної котушки, які максимально збалансовані одна з одною. У випадку об'єктів, що деформують баланс поблизу ПГ виносних КІ немає, індуктивний баланс між передавальною та приймальною котушкою не порушується і амплітуда сигналу на виході приймальної КІ мінімальна і в ідеалі дорівнює нулю, а фазовий зсув між передавальною та приймальною КІ незмінний стабільний і часто вибирається так що дорівнює 0 або 90 градусів. Це режим відсутності об'єкту для детектування магнітних властивостей, середовище вражається однорідним.

Як що під час переміщення ПГ проходить в зоні об'єкту із градієнтом магнітних властивостей то індуктивний баланс тимчасово порушується, що приводить до короткочасного збільшення амплітуди сигналу приймальної КІ і одночасної зміни фазового зсуву вже залежно від значення МПР, а також і електричної провідності металу.

Імпульси зміни амплітуди та порушення стабільного фазового зсуву формують характерні сигнали залежно від взаємної конфігурації приймальної та передавальної КІ та алгоритму обробки для отримання

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

-
чіткого результату у подальших колах. Треновані оператори спроможні результати виявляти на слух. В автоматизованих системах металодетектування застосовується складна процесорна обробка на базі статистичних та завадостійких алгоритмів.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Пристрої металодетектування та їх характеристики

2.1.1 Технічні параметри металодетекторів

Розглянутий вище метод динамічного ІНБ виявлення металевих предметів дозволяє працювати в умовах діелектричного та в середовищі, що має помірні властивості провідності, що багато в чому недоступно для інших методів [7,9]. Такий метод себе добре зарекомендував і для застосування під водою, припустима робота методу ІНБ і для біологічного середовища: організму людини, продуктах харчування, одягу, деревини, пластиках тощо. Отже, галузі застосування подібних ММД все розширюються та зростають із кожним роком.

Основні характеристики, за якими проводиться порівняння балансних промислових професійних динамічних індукційних металодетекторів фахівці визначають як [12]:

- 1) частота випромінюваного передавальною КІ сигналу 10кГц плюс – мінус 4 кГц, що сприяє найбільшому заглибленню у ґрунті ;
- 2) максимальна дальність виявлення металевих об'єктів (залежить від об'єкту, та може сягати до 2 м і більше, якщо металевий об'єкт вагою до 1 кг);
- 3) дискримінація металевих предметів хоча б по декільком типам металевих сплавів, щонайменше сталь, алюміній, мідь, благородні метали;
- 4) можливість відлаштовування від негативного впливу оточуючого середовища автоматично, або за обраною програмою.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

5) можливість автоматичного або автоматизованого балансування КІ та авто калібрування паралельних каналів обробки вимірювальної інформації, особливо фазових каналів;

5) точність забезпечення виявлення місця розміщення металевго об'єкту – складає у найкращих приладах до 1 см;

6) масо-габаритні характеристики та параметри надійності під час експлуатації для ручних варіантів, наприклад, маса ПГ і, в першу чергу, штанги з блоком до 1 кг;

7) декларування наявності ряду сервісних функцій щодо автоматизації та забезпечення різних типів чіткої індикації об'єктів.

Підкреслимо, що реальна чутливість ММД виявлення металевих об'єктів - базовий показчик процесу металодетектування, саме він визначає відстань розташування металевго об'єкту. Така чутливість має реалізовуватись за умови, що габаритних розмірів об'єкту, що не менш як на порядок не перевищують габарити ПГ металодетектора. Також реальна чутливість суттєво визначається умовами експлуатації, наприклад мікрокліматом в зоні пошуку.

Дискримінація об'єктів в методі ІНБ за типом речовини дозволяє таким приладам реагувати виключно на конкретний метал або сплав і бути слабо чутливим до об'єктів із інших металів або сплавів. Така властивість дозволяє оператору ММД зосередитися тільки на пошуках об'єктів із заданими параметрами, часто із об'єктів із благородних металів – золота, срібла.

Зазвичай професійні прилади типу VLF-TR відрізняються наявністю до десятка спеціалізованих програм, що підтримують дискримінацію речовин об'єктів. Вважається, що чим більша кількість програм дискримінації закладена алгоритм роботи ММД, тим швидше і

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

-
простіше працювати з таким глибоко автоматизованим і комп'ютеризованим приладом.

2.1.2 Аналогічні промислові професійні вироби

Існує ряд приладів, що розроблено вітчизняними та закордонними фірмами для здійснення методу індуктивного балансу. Наведемо деякі із них для виявлення особливостей конструкції тактико-технічних характеристик [11].

Металодетектор КВАЗАР ARM (Quasar ARM) являє собою металодетектор із прямою амплітудно-фазовою обробкою сигналів, перехресну вальною котушкою індуктивності. Він розроблений на сучасній базі із застосуванням ARM сигнального процесора для забезпечення автоматизованих та автоматичних функцій пошуку.



Рисунок 2.1 – Металодетектор КВАЗАР ARM (Quasar ARM)

Основні характеристики приладу КВАЗАР ARM:

- б) чутливість на рівні 2 копійки 1817р. = 30 см (в землі);
- 7) чутливість на рівні пошуку монети 1 рубль 1817р = 45 см (в ґрунті);

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- 8) дальність виявлення монет у повітрі – 30...55 см
- 9) дальність виявлення великих металевих предметів - до 150 см;
- 10)максимальна глибина виявлення об'єкту типу автомобіль - 2 метри із можливістю відсікання супутніх малих металевих предметів типу цвяхи, тощо;
- 11)габарити пошукового датчика 30x32 см;
- 12)діапазон робочих частот виконання програм 6-11 кГц;
- 13)можливість регулювання багаторівневого підсвічування монітору;
- 14)багатотональний індикатор пошуку та умов пошуку;
- 15)вибір варіантів звукового супровіду умов пошуку;
- 16)функція пінпоінтер (вказівка на ціль);
- 17)секторна дискримінація металів за матеріалами (групується в 16 секторів доступу, три сектори відповідають чорному металу, інші відводяться на кольорові метали та благородні);
- 18)автоматичне маскування окремого із 16 секторів доступу;
- 19)можливість маскування непотрібних металів та сплавів;
- 20)автоматичний баланс ґрунту, із опціональною можливістю ручного коригування;
- 21)тип процесора - STM32 (швидка обробка сигналу);
- 22)вага приладу: не більше 1.3 кг в робочому положенні.

Відображення вимірювальної інформації здійснюється на рідкокристалічному дисплеї і містить різноманітні дані про напругу живлення, заряд батареї, шкала дискримінації (верхня), "бігунок-шкала" відстані до об'єкту, маска типу металу, тощо. Прилад устаткований легкою алюмінієвою штангою.

Також присутня можливість перепрошивки програмного забезпечення мікропроцесора, передбачено також користувацьке

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

-
програмування такого ММД, але його має реалізувати спеціально навчена досвідчена людина. .

Другий приклад ММД це Фортуна М2 (рис.2.2) - це селективний ІНБ металодетектор з дискримінацією матеріалів, і забезпечує глибину виявлення на монети не більше 35-50 см. Дискримінація металів на основі числових даних та стовпчикових діаграм подібних до запропонованих у фірмах MINELAB, FISHER, XP Metal Detectors, GARRETT. Фортуна М2 - мультичастотний прилад, його можна використовувати із різними виносними пошуковими давачами. Присутня можливість маскуванню об'єктів із певних матеріалів.



Рисунок 2.2– Металодетектор Фортуна М2

Технічні характеристики приладу металодетектування Фортуна М2 (рис.2.2) мають такий перелік:

- 1) система індикації: звукова, 2 або 4 тони.
- 1) наявність озвучування перевантаження - присутнє.
- 2) маскуванню – присутнє, по одному металу;
- 3) додаткова фільтрація - фільтр потужних імпульсних завад;

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- 4) вбудовані профілі для змінного устаткування - три профілі для різних пошукових сенсорів;
- 5) наявність системи компенсації та налаштування типу ґрунту – присутня;
- 6) швидкість обробки вимірювального сигналу: fast / normal;
- 7) особливий режим - режим: Gold (пошуку благородних металів);
- 8) функціональне перетворення: АЦП: 12 біт;
- 9) підсвітка дисплея: регульована автоматична або ручна;
- 10) індикація де балансування пошукового сенсора – присутня;
- 11) контроль батареї живлення - установка порогу і сигналізатор розряду АКБ;
- 12) регулювання чутливості - установка порогу чутливості.
- 13) наявність вказівника цілі – присутнє;
- 14) підстроювання частоти - налаштування приладу під частоту наявного датчика;
- 15) Габарити пошукової КІ 30x32 см.:

Також металодетектор Фортуна забезпечує автоматичне відлаштування від феритових матеріалів та можливість підключення іншого пошукового датчика в діапазоні частот: 5-20 кГц.

Дальність виявлення Фортуна М2 по повітрю: DD 320x300 мм 7 кГц / за умови струму споживання 86мА / розносу за частотою 1,8 кГц / sens 10: 5 коп СРСР 1981 рік: 38 см; 2 коп. 1910 рік: 35 см. Великі металеві предмети виявляються на відстані до 150 см , авто до 2м.

2.2 Порівняльний аналіз структур металодетекторів

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.2.1 Металодетектування на основі вимірювання різниці частот

Історично першим ММД був пристрій, що працює на основі так званого методу биття [7-12]. Його структура (рис.2.1) складається із двох генераторів: опорного та вимірювального. Частота опорного генератора жорстко стабілізована, а частота вимірювального генератора визначається КІ пошукової головки та елементами коливального LC-контур у в якій вона включена.

ЕМП від КІ вимірювального генератору LC- контуру поширюється в зоні апертури виносної ПГ. Внесення в зону впливу МП металевих об'єктів, особливо феромагнетиків приводить до зміни значення індуктивності котушки вимірювального генератора, а отже і змінюється частота вимірювального генератора (рис.2.3).

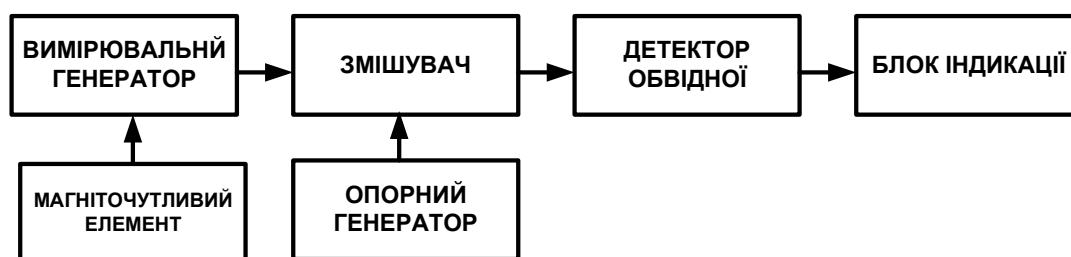


Рисунок 2.3 – Структурна схема пристрою магнітного детектування на основі методу биття частот

Різницю частот між генераторам в складі структури рис.2.3 визначають через амплітудне детектування обвідної, від пульсацій якої і набув назви метод. Частота пульсацій має бути щонайменше на порядок нижче опорних частот генераторів тому як індикатор в такому вимірювачі зручно застосовувати головні телефони. Частоти обох генераторів зазвичай розташовані в діапазоні декілька сотен кілогерц та

-
вибрані таким чином, щоб враховувати параметри навколишнього середовища під час виявлення металів.

Метод биття дозволяє проводити примітивну дискримінацію за матеріалами: діамагнетики викликають зростання частоти биття відносно деякої наперед встановленої опорної частоти, що обирається відповідно чутливості вуха (3кГц) людини. Парамагнетики та феромагнетики, в свою чергу, зменшують значення частоти биття. Отже прилад на базі методу биття може речовини за МПР [].

Розрізнявальна здатність методу биття визначається спроможністю різнити частоти кінцевим індикатором, але реальна чутливість таких ММД надто низька. Перевагою методу биття над іншими є простота у виробництві, застосуванні та ремонті. Останнім для визначення різниці частот застосовують фазочастотні методу запропоновані Троцишином І.В. (метод коінциденції), що різко збільшує розрізнявальну здатність подібних приладів, але слабка чутливість все ж залишається.

2.2.2 Металодетектування за допомогою індуктивного балансу

Попердій метод биття передбачає аналіз частотної різниці, а найбільш поширений метод ІНБ проводить обробку і амплітуди і фази і частоти, тобто є багатопараметричним щодо встановлення властивостей об'єктів аналізу. Багатопараметричність обробки дозволяє реалізувати чітке відокремлення об'єктів за складом речовин. Чутливість ІНБ пристроїв металодетектування повністю визначається якістю балансу КІ в виносній ПГ (рис.2.4) [].

Суттєвою особливістю методу ІНБ є те, що частота опорного генератора обирається в зоні дуже низьких частот радіодіапазону, що із

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

мінімальними втратами поширюються в типових ґрунтах і навіть під водою.

Процес пошуку об'єктів ІНБ металодетектором здійснюється у два послідовних етапи. На першому етапі проводимо балансування КІ та відлаштування від впливу середовища (ґрунту) за мінімальною амплітудою сигналу на виході фазового детектора (ФД) приймача.

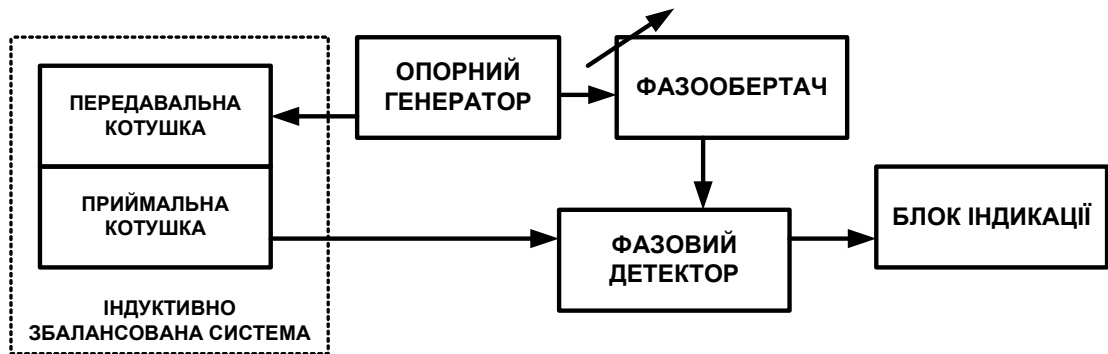


Рисунок 2.4 – Укрупнена структурна схема металодетектора на основі індуктивного балансу

На другому етапі пошуку проводиться переміщення ПГ над передбачуваною зоною розташування об'єктів. У випадку мінімізації відстані від ПГ до предмету індуктивний баланс приймальної та передавальної КІ на короткий час порушується, атже об'єкт спочатку впливає більше на індуктивність однієї котушки, а потім на іншу. Короткочасна різниця миттєвих частот викликає різницю фаз, що пропорційна характеру металу об'єкту.

Одночасно в момент «проходу» ПГ над об'єктом сигнал на виході ФД зростає, його характер визначається параметрами переміщення ПГ та її конструкцією. Фазовий зсув (ФЗ) в момент дебалансування КІ відповідає характеру МПР об'єкту (чорний, кольоровий метал), чим і реалізується вибіркова і точне визначення типу речовин.

Незважаючи на всі переваги методу ІНБ, у подібних пристроїв є суттєвий недолік – точність виготовлення та стабільність параметрів вже збалансованих КІ в пошуковій головці, а також необхідність обробляти сигнали на досить малих інтервалах часу, зазвичай декілька мілісекунд.

2.2.3 Радіолокаційні металодетектори

У всіх приладах (рис.2.3) на основі радіолокаційного методу виявлення об'єктів передавальна КІ випромінює зондуючі імпульси із частотою слідування 50... 400 Гц, що визначається оперативним діапазоном часу. Характеристикою для визначення присутності та складу об'єкту є інтервал часу до закінчення перехідного процесу в приймально-передавальній котушці ПГ після закінчення дії зондуючого імпульсу.

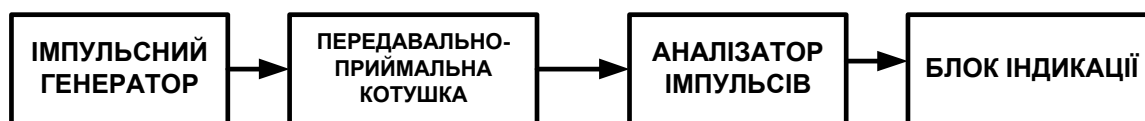


Рисунок 2.5 – Структурна металодетектора на основі принципу радіолокації

Перевагою радіолокаційного детектора є простота виготовлення ПГ із єдиною КІ та відсутністю необхідності періодичного її пере налаштування. Однак всі радіолокатори характеризується високим споживанням електричної енергії живлення та низькою розрізнявальною спроможністю по типу речовини об'єкта.

Велика потужність зондуючих імпульсів радіолокаційного ММД дає в результаті більші відстані виявлення за інші методи, до того ж робота такого магнітного радіолокатора надто слабо залежить від

-
характеру оточуючого матеріалу, тому подібні пристрої переважно застосовують для підводного металодетектування [7].

Слід зазначити, що крім описаних методів існують ще ряд способів ММД, наприклад, на основі зриву резонансу під зовнішнім впливом МП, або, навпаки, появу резонансу. Такі прилади прості, але базуються лише на амплітудних перетвореннях вимірювальних сигналів, що не забезпечує високих тактико-технічних характеристик ТТХ.

Проведений розгляд методів металодетектування свідчить, що розвиток металодетекторів переважно ґрунтується методах комп'ютерної обробки сигналів на базі швидких сигнальних процесорів, а власне в методах та методиках нічого нового не запропоновано, тому слід вважати, що метод ІНБ є найбільш перспективним для застосування в кваліфікаційному проекті.

2.3 Структурна схема виробу, що розробляється

2.3.1 Укрупнена структурна схема виробу

Укрупнена структурна схема металодетекторів, що реалізовані на методі ІНБ може бути представлена у вигляді 5 базових модулів, що підлягають подальшому розукрупненню. Модулі можуть бути об'єднано або розділено конструктивно у друкованому модулі 1-го структурного рівня. Сама конструкція виробу передбачається за 1-м структурним модульним рівнем і представлена у вигляді блоку без типових елементів заміни.

Укрупнена структурна схема (рис.2.6) відображає загальний склад виробу та зв'язки між ними.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

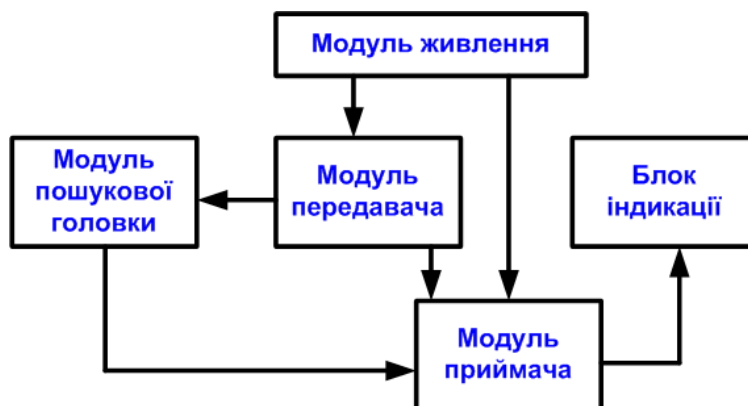


Рисунок 2.6 – Укрупнена структурна схема металодетектора

Схема (рис.2.6) складається із таких модулів в кожному із яких присутні активні елементи:

1. модуль пошукової головки;
2. модуль передавача;
3. модуль приймача;
4. модуль приймача;
5. модуль або блок індикації.

Модуль пошукової головки складається із двох або більше котушок індуктивності. Котушки рознесено у просторі таким чином, що б по чергово потрапляти в зону розташування об'єкту, наприклад, частково перекриватись одна із одною, або одна може розташовуватись всередині другої. Конструкція котушок пласка перпендикулярно напрямку на пошукуваний об'єкт. Габарити котушки зазвичай близько 30 на 30 см, відповідно аналогам. Особливістю модуля пошукової головки є те, що її КІ мають бути збалансовані, крім того слід передбачили елементи підстроювання балансу, під час зміни умов експлуатації, старіння, тощо.

Модуль передавача забезпечує генерацію зондуючого сигналу ІНБ достатньої потужності (до 100мВт) для забезпечення дальності виявлення об'єкт у заданому середовищі. Велика точність підтримання

- частоти для методу ІНБ не вимагається, тому достатньо реалізувати генератор на простих схемах, найчастіше із диференційними парафазними сигналами, а отже і передавальна котушка індуктивності має складатись із двох секцій.

Найбільш складним і відповідальним є модуль приймача, що фактично являє собою імпульсний амплітудно-фазовий детектор із попереднім підсиленням сигналів із приймальної КІ. Якщо в модулі приймача опорний генератор виконано за диференційною схемою, то обробку сигналів у модулі приймача слід виконувати на базі двох каналів обробки, які мають мати ідентичні характеристики, чим і реалізується розглянута в першому розділі диференційна схема передачі сигналів.

Блок індикації (рис.2.6) має забезпечувати щонайменше два різновиди сповіщувачів – світловий та звуковий. Якщо в пристрої застосовується мікропроцесорна обробка, то процесор і розташовується в модулі індикації, а керування елементами пристрою металодетектування здійснюється на основі цифро-аналогових (ЦАП) та аналогов-цифрових (АЦП) перетворювачів. Слід зазначити, що застосування швидкісних процесорів збільшує потужність споживання, що зазвичай не більше 1Вт до десятків Ватт, що різко зменшує мобільність пристрою.

Блок живлення в подібних пристроях представлений акумуляторною батареєю (АКБ), але в методі ІНБ застосовуються точні АФД імпульсної дії, що потребує додаткової стабілізації живлення. Тому блок живлення виконано на основі дворівневої стабілізації, чим забезпечується висока точність детектування, або не втрачається висока точність детектування. Крім того блок живлення має мати індикатор розряду АКБ.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.3.2 Модуль передавача розроблювального пристрою

Основою модуля передавача (рис.2.7) розроблювального пристрою є парафазний опорний синусоїдальний генератор, який побудований за схемою резонансного збудження на базі ємнісної триточки. Така схема дозволяє просто отримати фазові зсуви в каналах в широкому діапазоні значень, а це необхідно для забезпечення якісної диференціації металів у методі ІНБ.

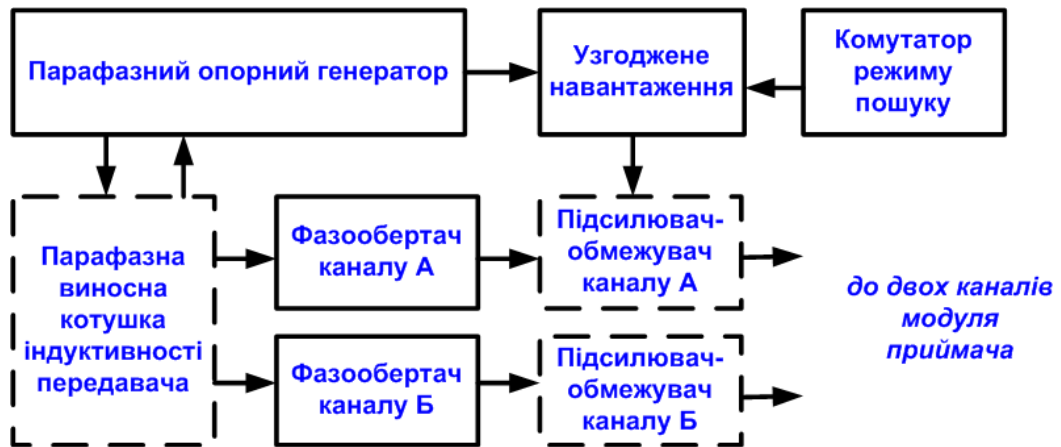


Рисунок 2.7 – Фрагмент структурної схеми із модулем передавача

Парафазність означає наявність ФЗ із значеннями 0 та 180 градусів для синусоїдальних сигналів на протилежних виходах диференційної котушки індуктивності. Ці сигнали подаються на фазообертачі каналу А та каналу Б. Фазообертачі для синусоїдального сигналу можливо просто зробити на основі резистивно-ємнісних ланок, особливо коли є потреба у зміні значень фазового зсуву. Зазвичай RC-фазообертачі повертають фазу не більше як на 60 градусів, хоча теоретично можливо і більше.

Узгоджене навантаження для пара фазного опорного генератора необхідне для забезпечення мінімізації гармонік та встановлення

режимів за змінним струмом, а також для додаткового балансування під час роботи. Елементи фазо обертання та комутатор режимів пошуку і дискримінації матеріалів розташовані в модулі передавача, але винесені для регулювання для вільного доступу оператора.

Парафазна котушка індуктивності найбільш доцільно включається в контур диференційного каскаду на транзисторах або інтегральної спеціалізованої схеми. котушка індуктивності являє собою декілька десятків витків мідного дроту закритих захисним кожухом у складі ПГ.

2.3.3 Приймальний модуль розроблювального пристрою

Приймальний модуль є найбільш відповідальною частиною всієї структурної схеми і від якості його функціонування залежать всі кінцеві параметри та характеристики виробу.

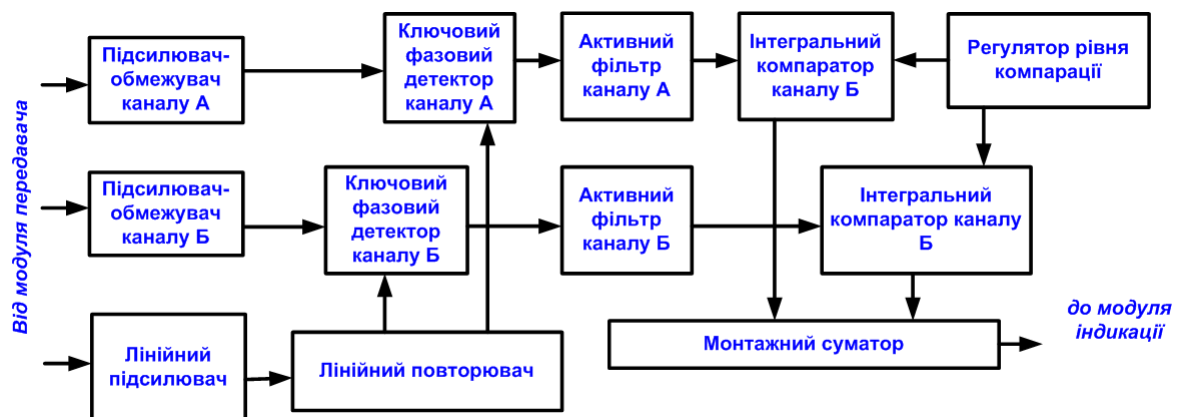


Рисунок 2.8 – Фрагмент схеми виробу – модуль приймача

Модуль приймача складається із наступних елементів:

- 1) двох підсилювачів обмежувачів сигналів передавальної КІ;
- 2) двох ключових фазових детекторів;
- 3) двох активних фільтрів для виділення миттєвої різницевої частоти;

- 4) двох інтегральних компараторів із прецизійним встановленням рівня компарації;
- 5) лінійного підсилювача сигналу приймальної КІ;
- 6) лінійного повторювача;
- 7) суматора виходів компаратора;
- 8) регулятора рівня компарації.

Фактично приймач складається із двох каналів різницевої обробки (канал А та канал Б). Кожний канал являє собою розподілений АФД. На один вхід каналу подається сигнал від приймальної котушки, що попередньо підсилюється в лінійному підсилювачі та лінійному повторювачі. А на другі входи каналів надходять сигнали від опорного генератора із встановленим певним фазовим зсувом.

Якщо впродовж дії імпульсу об'єкту фазовий зсув в якомусь каналі збігається із встановленим фазовим зсувом між диференційними сигналами опорного генератора, то сигнал підсилюється та обробляється до рівня спрацьовування інтегрального компаратора, що говорить про наявність об'єкту із певного металу або сплаву. Важлива також послідовність і кількість імпульсів, що з'являються під час пошуку за допомогою руху ПГ.

Підсилювачі обмежувачі каналів призначені для формування сигналів прямокутної форми із гармонічних зондуючих сигналів опорного генератора, в принциповій схемі подібні підсилювачі обмежувачі реалізовано на декількох паралельно ввімкнених логічних інверторах із від'ємним зворотним зв'язком. Разом із суматорами із регульованим рівнем додавання підсилювачі обмежувачі виконують функцію ключового ФД.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Сигнал із виходу ключового фазового детектора обробляється трикасдним активним фільтром низьких частот, разом каскади фазового детектування забезпечують підсилення близько 1000, що достатньо для збільшення рівня сигналу до одиниць вольт його надійної фіксації за допомогою інтегральних компараторів. Елементи активної фільтрації розподілено вздовж каскадів фільтру, також RC фільтр встановлено на виходах кожного активного фільтру.

Поява сигналу на виході інтегрального компаратора першого або другого каналу обробки приймача є індикатором наявності об'єкту у зоні. Об'єднання вихідних сигналів для подання до індикаторного блоку реалізується на основі резистивних кіл і виходів із відкритим колектором – монтажного суматора.

Приймальна КІ підключається до квазірезонансного лінійного підсилювача із коефіцієнтом підсилення близько 30, що також виконано на логічних елементах із негативними зворотними частото залежними зв'язками. Для запобігання виходу з ладу логічних елементів в нетрадиційному активному включенні, кількість елементів у подібного підсилювача може бути до 3, але розташовуватись вони мають на одному кристалі, для рівномірного розподілу струмів між ними.

Регулятор рівня компарації живиться від останнього каскаду блоку живлення, чим забезпечується сталість та точність встановлення рівня обмеження сигналів на виході каналу АФД.

Така будова не відноситься до професійної, але дозволяє під час складання ММД забезпечити мінімальну ціну, доступність деталей та можливість складання за допомогою простих технологічних процесів на супутніх виробництвах для задоволення, наприклад, потреб основного виробництва.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

2.3.4 Модуль індикації та живлення

Модуль індикації та модуль живлення (рис.2.9) вважають другорядними блоками, але у таких відповідальних пристроях як ММД це зовсім не так завдяки тому, що пристрій має забезпечувати сталі характеристики на основі живлення від акумуляторної батареї, при цьому вважається, що зарядка АКБ реалізується сторонніми пристроями, які не входять в модуль живлення.

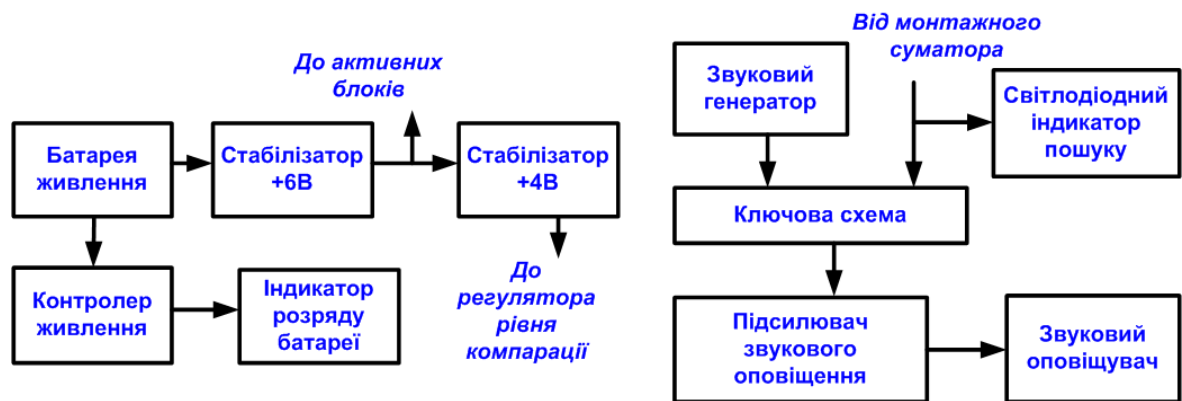


Рисунок 2.9 – Структури модуля живлення (ліворуч) та модуля індикації (праворуч)

Батарея живлення має номінальне значення напруги 9В, але під час розряду, напруга на батареї може зменшуватись до 7В, для компенсації такого зменшення та незмінності напруги живлення активних елементів використовується стабілізатор +6В. Під час розряду також контролюється рівень мінімально припустимої напруги на зажимах АКБ за допомогою контролера живлення і у випадку його спрацьовування індидується стан розряду АКБ за допомогою індикатора розряду батареї.

-
Додатковий стабілізатор +4В необхідний для подачі опорної напруги на регулятори рівня компарації для прецизійної роботи амплітудно-фазового детектора у складі приймального модуля.

Блок індикації налаштований для звукової та візуальної індикації об'єктів в зоні пошуку. Звукова індикація відбувається у вигляді одного або серії звукових імпульсних сигналів, світлова – через одночасне спалахування світлодіодів.

Сигнал на запуск індикаторів надходить від компараторів та являє собою короткі прямокутні імпульси, для більш чіткого їх розпізнавання звуковий генератор модуля індикації заповнює їх сигналами із частотою близькою до 3 кГц, що розташовано в зоні максимальної спектральної чутливості людського вуха.

Керує підключенням звукового генератора до підсилювача звукового оповіщення ключова схема, що перемикається виходами компараторів приймального модуля. Звуковий сигнал виводиться на головні телефони, або динамічну головку із малим вихідним опором. Світлодіодний індикатор пошуку навантажений безпосередньо на виходи компараторів, та керується відео імпульсами із них.

Дискримінація матеріалів в блоці індикації проходить наступним чином. Попередньо оператор встановлює необхідний фазовий зсув, що відповідає типу речовини, надалі сигнали АФД спрацьовують тільки коли на вході приймальної КІ буде сигнал із заданим ФЗ, що і контролюється модулем індикації.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

3 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

3.1 Аналіз схеми електричної принципової

3.1.1 Модуль передавача

Модуль передавача (рис.3.1) забезпечує формування зондуючого сигналу із частотою близько 10кГц та стабільністю на рівні RC-генераторів. Встановлювати стабільність на рівні кварцового резонатора немає потреби завдяки синхронній обробці в системи приймач-передавач, головне забезпечити діапазон для проходження ЕМХ в середовище металодетектування.

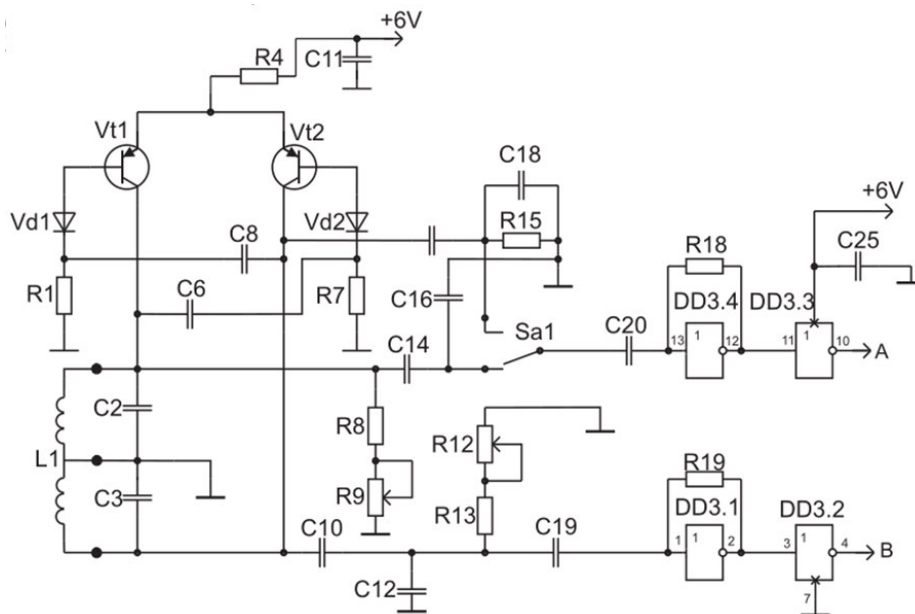


Рисунок 3.1- Фрагмент принципової схеми виробу (модуль передавача)

Основою модуля передавача є диференційний транзисторний каскад (VT1,2), в колекторне коло якого включена передавальна котушка індуктивності L1, що складається із двох однакових секцій із відводом від середньої точки. Застосування такого включення

-
транзисторів забезпечує просте формування комплементарного сигналу для подальших потреб АФД.

Генератор зібраний за схемою LC контуру (L1C2C3) із зворотними зв'язками (C8,C6). Емітерний струмовий режим генератора встановлюється на базі резистора R4, режим роботи за постійним базовим струмом (робоча точка) встановлюється резисторами R1 та R7 для класу А, а діоди VD1,2, що включено послідовно із струмозадаючими базовими резисторами забезпечують температурну компенсацію та зменшення зворотного струму бази. Транзистори мають бути вибрані із близькими коефіцієнтами підсилення.

Колекторними корисними навантаженнями транзисторного каскаду є регульовані фазообертачі першого каналу (C14,R8,R9,C16) та другого (протифазного) каналу (C10, C12, C19, R12,R13), а також опорне навантаження першого каналу (R15,C18). Перемикач SA1 забезпечує перемикання із регульованого режиму налаштування на матеріал, на широкий режим.

Вихідні сигнали фазообертачів підлягають жорсткому обмеженню у елементах DD3.1..4, що забезпечує керування ключовим фазовим детектором у модулі приймача. Зворотний зв'язок в обмежувачах двох каналів реалізується за допомогою резисторів R18,R19, що охоплюють логічні елементи на польових транзисторах DD3.4 та DD3.1 відповідно, елементи DD3.3 та DD3.2 використовуються як буферні елементи.

Схема генератора живиться від стабілізованого джерела живлення з інтегральним стабілізатором, для забезпечення захисту від завад встановлено блокувальні конденсатори за змінним струмом (C11,C25). Амплітуда сигналу генератора близько 2,5В, що достатньо для реалізації дальності до 0,5м для виявлення об'єкту габаритами у декілька сантиметрів.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3.1.2 Модуль приймача

Модуль приймача можливо функціонально поділити на вхідні кола та вихідні кола. Вхідні кола (рис.3.1) складаються із вхідного коливального контуру (L2C4,C7), налаштовану на частоту контуру передавача (10кГц) із можливістю підстроювання за допомогою C15. Під час проходження ПГ над металевим об'єктом у вхідному коливальному контурі збуджується імпульсний сигнал, фаза якого залежить від матеріалу об'єкта. Цей сигнал через конденсатор C9 проходить на вхід двокаскадного підсилювача, що зібрано на логічних елементах мікросхеми DD2, включених паралельно. Таке включення забезпечує розподіл вихідного струму рівномірно по всім логічним елементам мікросхеми та усуває перенавантаження їх виходів в активному режимі.

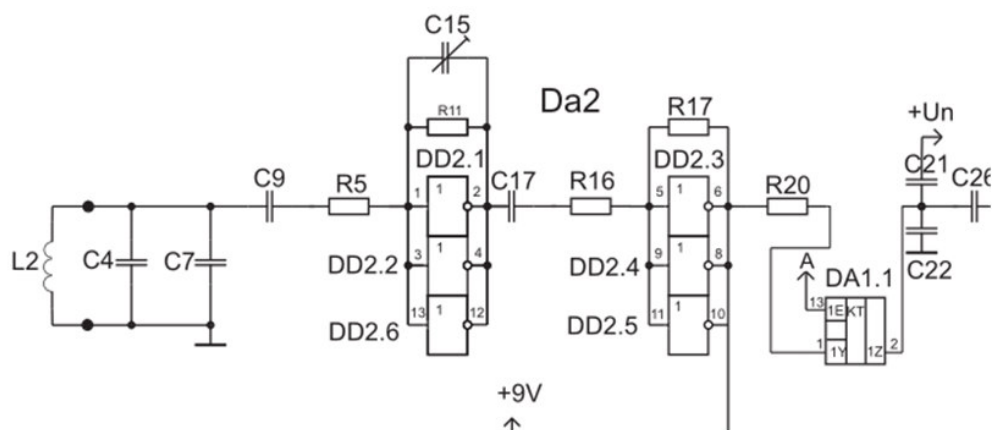


Рисунок 3.2- Фрагмент принципової схеми виробу (вхідні кола модуля приймача)

Коефіцієнт підсилення першого каскаду складає близько 30 і встановлюється за допомогою резисторів R5,R11, коефіцієнт підсилення другого каскаду близько 1, тобто підсилювач є фактично повторювачем і

-
інвертуючого інтегруючого підсилювача, наприклад, активні елементи-інвертори DD4.1,DD4.6,DD4.5 охоплені колом негативного зворотного зв'язку за допомогою резисторів R22,R24, а інтегруючі властивості забезпечуються конденсатором C28. Всього для побудови двох каналів необхідно 18 елементів логічного заперечення, зібрані у трьох мікросхемах.

Конденсатори C26, C27, C32, C 33 виконують функцію роздільних конденсаторів за змінним струмом для двокаскадного та одно каскадного підсилювачів каналів обробки. На виході підсилювача кожного каналу встановлено RC фільтри нижніх частот (R34C37 та R35C38), що забезпечують разом із інтегруючими підсилювачами фільтрацію низькочастотного сигналу ФД.

Для забезпечення високих ГТХ пристрою, канали обробки вихідних кіл приймача мають бути ідентичними за параметрами встановлювальних компонент.

Пристроєм, який приймає рішення про наявність або відсутність об'єкту в зоні пошуку є інтегральний здвоєний компаратора на мікросхемі DA1, із регулятором чутливості на основі резистивного подільника напруги R39,R40,R41. Регулятор R40 живиться від вторинного стабілізатора із напругою 4В і забезпечує точне встановлення чутливості та підтримання його значення під час роботи.

Виходи компаратора із відкритим емітером об'єднуються за схемою монтажного АБО та подаються на звуковий індикатор. В результаті роботи компаратора на його виході формується пакет відеоімпульсів, що відповідають наявності об'єкту в зоні пошуку, що виготовлений із заданого матеріалу (діамагнетик, парамагнетик, благородний метал, ферит, тощо).

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.3 Допоміжні електричні кола

Первинне живлення ММД, що розробляється реалізується на базі АКБ із сумарною напругою 9В (рис.3.4). Для запобігання впливу зменшення напруги під час розряду АКБ в схему введено перший стабілізатор, що виконано на мікросхемі DA3. Для запобігання впливу завад по колах живлення вхід та вихід стабілізатора заблоковано конденсаторами C36, C39, C40, що замикають коло проходження змінного струму від передавача та приймача. .

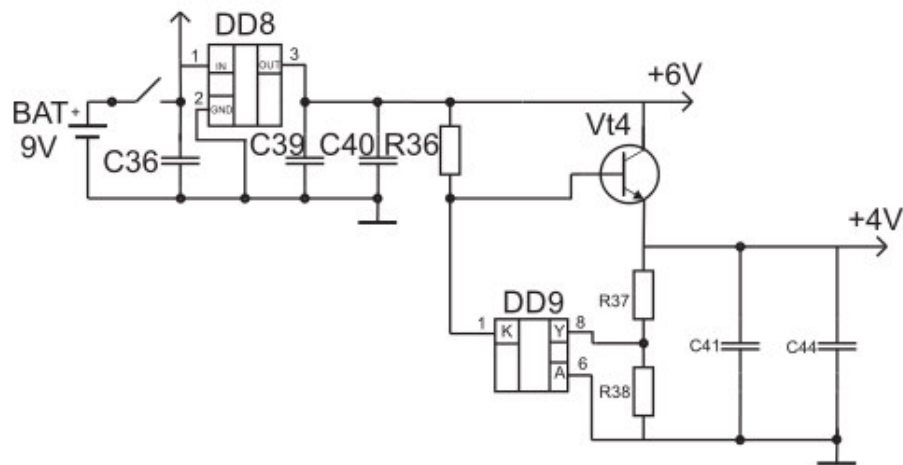


Рисунок 3.4 - Фрагмент принципової схеми виробу (кола живлення)

Напруга стабілізації первинного стабілізатора визначається внутрішніми параметрами мікросхеми та становить 6В, що забезпечує можливість створити АКБ із 5-6-ти елементів та використовувати їх до повного розряду.

Крім первинного у модуль живлення входить також вторинний стабілізатор, що живиться від первинного і забезпечує на виході напругу 4В, що необхідна для точного встановлення порогу компарації, що визначає результати роботи АФД у складі модуля приймача.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Вторинний стабілізатор зібрано по схемі генератора стабільної напруги із емітерним повторювачем на виході. Генератор стабільної напруги зібрано на інтегральній схемі DA6, що фактично є аналогом поодинокого стабілітрона із можливістю регулювання напруги за допомогою зовнішнього резистивного подільника R37,R38, а транзистор VT4 забезпечує підсилення струму такого аналога стабілітрона, що задається резистором R36.

Блокувальні конденсатори C41, C44, що встановлено на виході вторинного стабілізатора забезпечують розв'язку за змінним струмом та забезпечують захист від імпульсних зовнішніх завад.

Результати обробки сигналу у металодетекторі виводяться наззовні за допомогою модуля звукової індикації (рис.3.4). Модуль звукової індикації складається із опорного генератора із частотою близько 3 кГц, що зібрано на інтегральній схемі DD1 із три каскадним послідовним підсилювальним елементом та часозадаючими колами R2,R3,C5. Перші каскади звукового генератора охоплено зворотним негативним зв'язком, що переводить логічні елементи в активний режим роботи.

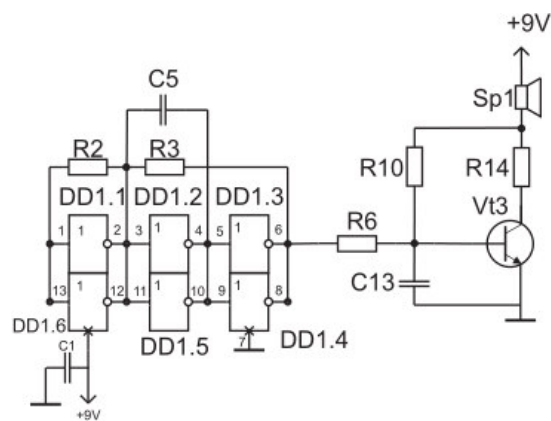


Рисунок 3.4 - Фрагмент принципової схеми виробу (кола індикації)

Для підсилення сигналів звукового генератора використовується одно каскадний транзисторний підсилювач постійного струму, що

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

-
виконано на транзисторі VT1. Обмеження струму бази реалізується на основі послідовного включення із виходом звукового генератора резистора R6, а обмеження колекторного струму та регулювання гучності на основі резистора R14.

Навантаженням підсилювача звукового сигналу є динамічна головка ВА1, або головні телефони, або пьезокерамічний випромінювач. Керування роботою звукового генератора здійснюється за допомогою подачі сигналу від виходів компараторів модуля приймача через резистор R10. Конденсатор С1 необхідний для забезпечення проходження сигналу змінного струму і встановлюється у безпосередній близькості до виводів живлення мікросхеми DD1, для запобігання впливу на чутливі кола модуля приймача.

3.2 Конструкторські розрахунки

3.2.1 Пошукові головки металодетекторів

Практично всі можливості по виявленню замаскованих середовищем предметів залежать від пошукової головки (рис.3.5). ПГ має ряд характеристик, що торкаються її форми, відносної конфігурації КІ, кількості витків, рівень балансу, електричні з'єднання, тощо. . Вона має свої характеристики, які впливають на пошук.

З точки зору класифікації ПГ в першу чергу поділяють за розмірами:

1) ПГ, що мають КІ значних розмірів, або великі. Великі ПГ призначені для точного вторинного пошуку та виявлення об'єктів, тобто там де вже процедура метало детектування була пройдена. Магнітодетектори із такими ПГ мають найбільшу дальність дії, однак

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

-
вони для переносних засобів є надто важкими та незручними, особливо якщо поверхня, де проводиться пошук має складний рельєф та поросла трава (наприклад).

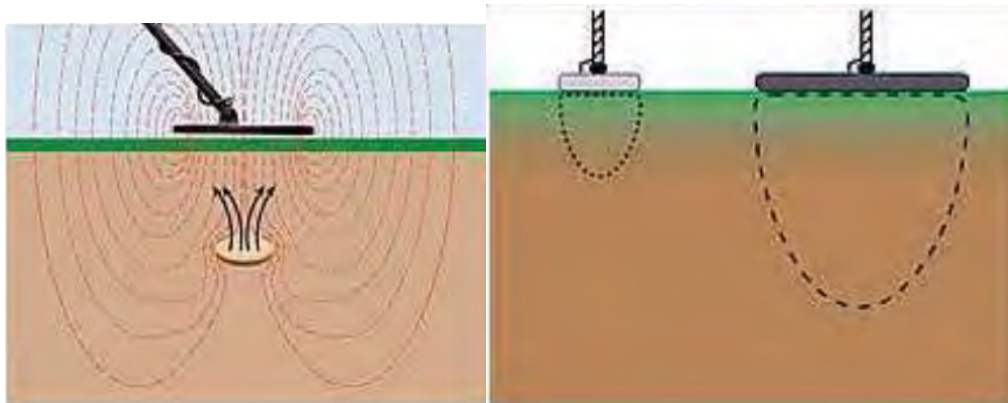


Рисунок 3.5 – Зона дії пошукової головки метало детекторів під шаром ґрунту

2) ПГ середніх розмірів. Такі ПГ є універсальними, на них існує найбільший попит як серед професійних компаній, так і серед ентузіастів, наприклад, археології. .

3) ПГ невеликих розмірів, або малі ПГ. Маленькі ПГ призначені для первинного пошуку на засміченій місцевості із складним рельєфом.. Вони мають найменшу дальність виявлення, так як поле поширюється в межах ґрунту не надто глибоко. Однак малі ПГ мають і малу вагу, і кращі можливості щодо дискримінації металів, і також, довший час автономної роботи, що важливо для роботи на відкритому повітрі.

Професійні металошукачі устатковуються, як правило, декількома ПГ, середньою, універсальною, малою та великою. Для стаціонарного застосування і сканування рухомих об'єктів, наприклад, рамок в аеропортах можлива також спеціальна форма котушок індуктивності, що в тих умовах забезпечує найкращі ТТХ.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Класифікувати ПГ можливо і за формою поодинокі котушки індуктивності. Найбільш вживаними формами КІ в рамках ПГ є еліпсоїдна і кругла.



Рисунок 3.6 – Еліпсоїдна та кругла котушки метало детекторів

1) КІ еліпсоїдної форми (рис.3.6) забезпечує для метало детектора більшу розрізнявальну спроможність по близьким предметам, також у еліпсоїдних КІ дещо вище точність режиму пошуку центру відбиття магнітного матеріалу, або точність залягання під ґрунтом для МШ. Крім того, еліпсоїдні КІ зазвичай мають меншу вагу.

2) Круглі КІ (рис.3.6) створюють сигнали, що проникають на більшу дальність, в порівнянні з КІ у формі еліпсу. Однак, цей факт перевірити важко - треба одну і ту ж КІ тестувати на різних моделях металошукачів та порівнювати результати із опосередкуванням їх. На практиці кругла КІ додає дальності виявлення об'єкту типа монета десь приблизно 1-2 сантиметри.

За взаємним розміщенням КІ в блоці ПГ. Існує дві основні конфігурації, що знайшли застосування для методу ІНБ: концентрична і так звана DD- конфігурація. Концентрична конфігурація котушок також поділяється на декілька різновидів, розглянемо властивості тих, що найчастіше застосовуються в методі ІНБ по черзі.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



Рисунок 3.7 – Конфігурації котушок індуктивності в пошуковій головці :
 концентрична (моно)-ліворуч, та подвійна D(DD) – центр та
 багатообмоточна котушка (праворуч)

1) Концентрична конфігурація (рис.3.7) КІ характеризується тим, що, передавальна КІ та приймальна КІ знаходяться в середньому далеко одна від одної і, крім того, симетрично далеко. Це сприяє створенню симетричного ЕМП в зоні пошуку і забезпечує однакову точність пінпоінта в круговому пласкому напрямку. Концентрична конфігурація котушок дає у вертикальному перетині форму пошукової зони у вигляді перевернутого куполу, конуса.

Також для концентричних котушок забезпечується вища розрізнявальна спроможність для близьких об'єктів, що розташовуються по горизонталі один коло одного. Концентричні КІ універсальні і призначені для об'єктів різних типів, однак ММД з ними сильно залежать від впливу мінералізації середовища, під час підвищення мінералізації такий ММД Забезпечує меншу дальність.

2) ПГ із КІ DD (див. рис.3.7) конфігурації сильно відрізняється від традиційної і найбільш вживаної котушки. Особливості застосування ММД із DD обмотками суттєві. Як правило, така конфігурація застосовується для пошуку благородних та кольорових металів, і має непогану реальну чутливість об'єктів сантиметрових розмірів.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

На відміну від концентричних КІ з полем пошуку у формі криволінійного конуса, DD КІ мають форму пошукового поля як «пласке відро», що забезпечує однакову чутливість для об'єктів на різних глибинах, але за рахунок цього погіршується точність режиму пінпоінта. Крім того DD КІ забезпечують для ММД трохи меншу залежність від впливу ґрунту із високою мінералізацією і не втрачають дальність виявлення об'єктів під час такого оточення.

3) Ще одним кандидатом для застосування в методі ІНБ є виконання котушки для ПГ типу «Imaging» (див.рис.3.7). Хоча це є також один із видів концентричної КІ для пошукової головки ММД, особливістю цього типу КІ є додаткова приймальна КІ. Таким чином різні розміри ПГ об'єднуються в одній конструкції. Це дає можливість ММД більш точно визначити параметри об'єкта, який ще не екстраговано з середовища.

3.2.2 Розрахунок котушок індуктивності пошукових головок

Для розрахунку котушок індуктивності скористаємося можливостями онлайн калькуляторів, широко представлених в мережі Інтернет. Вихідними даними для розрахунку є електричні параметри коливального контуру та допустима геометрія котушки індуктивності:

- 1) індуктивність приймальної котушки – 1,62 мГн;
- 2) середня ємність приймального коливального контура – 150нФ;
- 3) середня робоча частота ПГ ММД – 10кГц.

Під час розрахунку (див.рис.3.8) слід визначити параметри змінних ПГ із урахуванням трьох габаритних розмірів (діаметрів) концентричної котушки індуктивності 400мм, 200мм та 100мм без зміни

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

електричних параметрів зазначених вище. Причини застосування ПГ різних діаметрів зазначено вище.

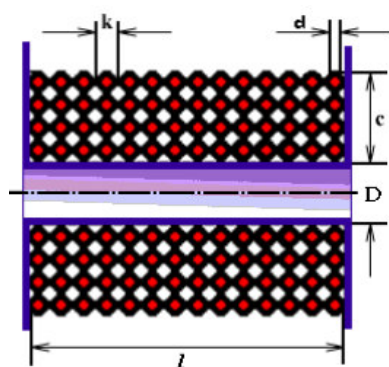


Рисунок 3.8 – Геометричні параметри для багат шарової котушки індуктивності

Додатковими умовами для розрахунку котушок індуктивності є:

- 1) відношення діаметра передавальної КІ до діаметра приймальної КІ – 2:1 (обрано відповідно аналогам);
- 2) відношення товщини КІ до ширини КІ для приймальної та передавальної котушок індуктивності має дорівнювати 1 плюс-мінус 0,2;
- 3) слід забезпечити індуктивність на основі цілої кількості витків із точністю не гірше 5%.
- 4) товщина і приймальної та передавальної КІ не більше 10мм;
- 5) діаметр мідного дроту для намотування котушок обрати в межах 0,25...0,45мм із урахуванням лакофарбового ізоляційного шару.

Порядок розрахунку наступний:

- 1) розраховуємо необхідну кількість витків приймальної КІ;
- 2) перевіряємо на виконання додаткових умов для приймальної КІ, якщо умова не виконується повторюємо розрахунок за п.1 змінивши ширину або товщину;
- 3) збільшуємо діаметр вдвічі;

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- 4) розраховуємо необхідну кількість витків передавальної котушки.
- 5) перевіряємо на виконання додаткових умов, якщо умова не виконується повторюємо розрахунок за п.1 змінивши ширину або товщину;

Рисунок 3.9 – Перевірочний розрахунок електричних параметрів котушок індуктивності металодетектора

Під час аналізу результатів розрахунку слід пам'ятати, що передавальна котушка індуктивності складається із двох секцій, а приймальна лише із одної. Результати перевірконого розрахунку електричних параметрів на базі онлайн калькулятора [16] наведено на рис.3.1, що говорить про те, що електричні параметри коректні.

Проведемо первинний розрахунок передавальної котушки для її діаметру 200мм (рис.3.10). Результати розрахунку співпадають із аналогічними виробами для професійних МШ.

Аналогічним чином проводимо розрахунок для інших котушок індуктивності, скріпи для яких наводити не будемо, а результати представимо в табл. 3.1.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

L	=	1.62	МГн	ω	=	55	
D	=	200	ММ	N	=	5	
l	=	5	ММ	c	=	2	ММ
d	=	0.35	ММ	L_w	=	34.87	М
k	=	0.39	ММ	Ω	=	6.34	ОМ

Рисунок 3.10 – Розрахунок приймальної котушки для діаметра 200 мм котушок індуктивності металодетектора

Вхідні параметри котушок таблиці 3.1 обирались таким чином, щоб забезпечити однакову товщину обмотки, а отже товщину пошукової головки у вертикальній площині, разом із додатковим просочуванням котушок та ізоляцією товщина блоку ПГ не має перевищувати 10мм, а товщина намотки не більше 5 мм.

Із урахуванням технологічних допусків на можливість застосування мідних дротів із різними типами ізоляції. Крім того, діаметр мідного дроту зменшується разом із зменшенням діаметру котушки і ПГ, отже вага та вартість котушки теж зменшується.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку котушок індуктивності для пошукових головок металодетекторів різного діаметру

Параметр	Пошукова головка 1		Пошукова головка 2		Пошукова головка 3	
	Прийм.	Передав.	Прийм.	Передав.	Прийм.	Передав.
Діаметр котушки, мм	200	400	100	200	50	100
Кількість витків, шт	56	2x18=36	86	2x28=56	133	2x42x=84
Діаметр дроту, мм	0,45	0,45	0,35	0,35	0,25	0,25

Довжина намотки, мм	5	5	5	5	5	5
Товщина, мм	3	2	3	2	3	3
Опір, Ом	4	5	5	6	8	9,5

Опір за постійним струмом для пошукових головок малого розміру зростає, отже чутливість ММД із такими котушками дещо падає, але подібні КІ, як вже вказувалось, застосовуються для первинного пошуку, тобто для оцінювання ситуації на складній рельєфній місцевості, і таке падіння чутливості для них припустимо.

3.4.1 Оцінювання параметрів конструкції печатної плати виробу

Застосування печатних плат для виробництва РЕЗ стало вже типовим і багато разів обґрунтованим, тому, чому обирається саме несівна конструкція на печатній платі обговорювати не будемо.

Із розгляду схеми електричної принципової можливо зробити висновок, що усі елементи варто розташувати на одній печатній платі, при чому габарити плати мають не перевищувати 150 на 150мм, як у аналогах. Якщо буде застосовуватись планарна компонентна база, то площу плати можливо зменшити вдвічі, але в такому випадку умови для виробництва та налагоджування під час мілко серійного та поодинокого виробництва погіршаться.

Як правило, вхідними даними для оціночних розрахунків печатної плати є:

- обраний метод виготовлення печатної плати: домінуючим методом для виготовлення плат подібної складності є комбінований (позитивний метод), його застосування обґрунтовується необхідністю

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

- металізації круглих перехідних та монтажних отворів для забезпечення надійності виробу під час переносного режиму експлуатації;

- метод отримання рисунка проводячи елементів на печатній платі: традиційний - фотохімічний, він є найбільш доступним способом та підтримується практично усіма виробниками;

- мінімальна відстань між монтажними отворами обумовлюється мінімальною відстанню між рядами виводів інтегральних компонент в корпусах DIP і складає 2,5мм;

- крок координатної сітки для розміщення монтажних та перехідних отворів на платі відповідно попередньому пункту має складати: 1,25 мм або 2,5 мм, або, можливо застосовувати навіть дві сітки трасування у сучасних САПР для печатних плат; найбільш популярним і достатнім для нашого виробу слід вважати крок трасування у 1,25 мм, що підтримується як вітчизняним, так і закордонним технологічним устаткуванням виготовлення печатних плат;

- форму контактного майданчика для монтажу усіх компонент, включаючи монтажних дротів для підключення виносних елементів індикації та регулювання, слід обрати круглою; кругла форма контактного майданчика - просте і гарно відпрацьоване технологічне рішення, воно підтримується вже наявною технологією маскування у комбінованому позитивному методі, а також кругла форма сприяє зменшенню механічних напружень під час пайки та має естетичний зовнішній вигляд, тощо;

- ширина провідника до 1 мм, відповідно кроку сітки трасування, та мінімальній відстані між виводами;

- максимальний струм через сигнальний або провідник живлення оцінюється у 0,1А , що пояснюється тим що живлення відбувається від

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

-
батареї із напругою 9В, а споживана потужність подібних приладів не перевищує 1Вт, тобто на платі по колами живлення та сигнальним колам струми із великим значенням відсутні.

Отже на основі технологічних параметрів загальний тип плати ММД можна охарактеризувати таким чином: двобічна печатна плата, але із розміщенням компонент та провідників тільки із одного боку, інший бік плати охоплюють пробільні ділянки та контактні майданчики металізованих монтажних та перехідних отворів. Подібний різновид печатних плат плати характеризується підвищеною міцністю утримання виводів дротів та штирових виводів компонент із провідним рисунком печатної плати та рекомендується для посиленних віброумов експлуатації.

Відповідно до чинного стандарту відношення довгого до коротшого боку печатної плати не може перевищувати 3:1, а лінійний розмір має бути кратним 1,25 мм, за умови, що довжина плати до 100мм і непрямокутність не більше 0,2мм, крім того лінійні розміри плати мають відповідати лінійним розмірам корпусу (близько 80 на 100 мм), в якому встановлюється 6 органів керування та індикації. Такі розміри друкованої плати виробу дозволяють для несівної конструкції плати в якості основи застосувати склотекстоліт товщиною 1..1,5мм, наприклад, СФ2–35-1,5 із товщиною мідного шару 35мкм (достатньо для пропускання слабких струмів).

Таким чином, параметри та матеріал друкованої плати ММД визначено із урахуванням мінімальної вартості за рахунок застосування типових конструкторських рішень та технологій.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.3 Параметри електричних з'єднань печатної плати

Виходячи із обраних конструкторських рішень і типових технологічних процесів виробництва печатних плат та їх складання, найбільш доцільно обрати комбінований негативний метод виготовлення за першим, максимум другим класом точності, це багато в чому забезпечує більш дешевий кінцевий виріб, а також заощаджує технологічні витрати на виробництво. В рамках розрахунків слід визначитись із параметрами елементів провідного рисунку із точки зору підтвердження або спростування прийнятих рішень.

Мінімально можлива ширина смужкової лінії передачі під час проходження максимального струму постійного струму визначається параметрами основи печатної плати як:

$$b_{min1} = \frac{I_{max}}{j_{oon} \cdot t}, \quad (3.1)$$

де I_{max} – це оцінка максимального струму сигнального або провідника живлення, А;

j_{oon} – максимально допустима щільність струму для фольги на платі із конкретного матеріалу, А/мм²;

t – це товщина провідника, що для комбінованого негативного методу дорівнює товщини мідного покриття печатної плати, мм;

За умови товщини мідного покриття печатної плати $t=35$ мкм, максимальна щільність струму становитиме не більше $j_{oon} = 48$ А/мм².

За умови значення струму $I_{max} = 0,1$ А, мінімально припустима ширина провідника дорівнює:

$$b_{min1} = \frac{0,1}{48 \cdot 0,035} \approx 0,05 \text{ (мм)}. \quad (3.2)$$

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Однак рішення за (3.2) ще не остаточне, також мінімальна ширина смужки на платі встановлюється відповідно примустимому падінню напруги на ньому за постійним та змінним струмом. Однак частота 10кГц в нас надто низька, щоб проявлялися скін-ефекти і розрахунок падіння за постійним та змінним струмом можливо вважати однаковим:

$$b_{min2} = \frac{p \cdot I_{max}}{l \cdot U_{дон}} \quad (3.3)$$

де p – це об'ємний опір мідного шару покриття склотекстоліту, Ом·мм²/м;

l –максимально можлива довжина провідячої смужки, м;

$U_{дон}$ – граничне падіння напруги, що не викликає негативних ефектів, зазвичай воно не має перевищувати 5% значення напруги живлення із точки зору мінімуму впливу на передавальні характеристики логічних елементів КМОН, що мають досить високий запас у 10%, В;

Для шару катаної фольги питомий опір складає $p=0,0175$ Ом·мм²/м, максимальна довжина провідника оцінюється у половину периметра $l=0,15$ м, а припустиме падіння напруги близько $U_{дон} = 0,1$ В:

$$b_{min2} = \frac{0,0175 \cdot 0,1}{0,15 \cdot 0,05} = 0,23(мм) . \quad (3.4)$$

Мінімальна ширина провідників для двобічних печатних плат за комбінованим негативним методом і фотохімічним методом отримання смужкових провідних ділянок із урахуванням максимальних технологічних допусків може бути попередньо оцінено як:

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$b_{min} = b_{min1} + 1,5 \cdot t + 0,03, \quad (3.5)$$

$$b_{min} = 0,05 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 \approx 0,15 \text{ (мм)}$$

За результатами розрахунків (3.5) під час виготовлення плати можливе застосування технологічного устаткування, що відповідає від 1 до 4 класу точності виготовлення плати з діючими стандартами точності. Таким чином, за результатами розрахунків підтверджена можливість застосування першого або, в крайньому випадку, другого класу точності виготовлення печатних плат.

Виходячи із (3.1-3.5) можливо із запасом обрати мінімальну ширину провідників $b = 0,45$ мм, що дозволяє під час виробництва використовувати також і другий клас точності, наприклад, для зменшення розмірів, або переходу на планарну елементу базу.

Після встановлення мінімальної ширини можливо розрахувати інші параметри печатної плати майбутнього металодетектора, наприклад, номінальний діаметр монтажних отворів для монтажу компонент із штировими выводами (передбачається що вони всі такі):

$$d = d_{\epsilon} + d_{н.в.} + r, \quad (3.6)$$

де d_{ϵ} – це діаметр штирового виводу, мм;

$d_{н.в.}$ – це нижній допуск на виготовлення отвору, мм;

r – зазор діаметрів для встановлення компонент, мм;

Для обраного найгіршого 1-го класу точності виготовлення плат змінні (3.6) становлять $d_{н.в.} = 0,05$ мм, $r = 0,2$ мм, а максимальний поперечний габарит выводів компонент не більше 0,6 мм. А отже, номінальний діаметр монтажних отворів складатиме:

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$d=0,6+0,05+0,2=0,85 \text{ (мм)}. \quad (3.7)$$

Розраховане значення за (3.7) має бути приведено до стандартизованого діаметра свердла, приймемо значення $d=0,9\text{мм}$ і це дозволяє вільно затікати припою між стінками отвору та виводами компоненту. Це має забезпечити надійний і довговічний контакт гальванічний контакт провідник – компонент.

Тепер слід оцінити мінімальні розміри контактних майданчиків. Цей параметр для двобічних печатних плат, що виготовлені запропонованим методом і фотохімічним способом реалізації провідників на платі, визначається як:

$$D_{min} = D_{lmin} + 1,5 \cdot t_{\phi} + 0,03, \quad (3.8)$$

де t_{ϕ} – це товщина мідного покриття заготовки склотекстоліту, мм;

D_{lmin} – ефективний мінімальний діаметр контактної майданчику круглої форми (рекомендується), що обмежується технологічними допусками визначається як:

$$D_{lmin} = 2 \left(b_m + \frac{d_{max}}{2} + \delta_d + \delta_p \right), \quad (3.7)$$

де b_m – це мінімальна відстань від краю не металізованого отвору до контактної зони площадки, мм,

δ_d та δ_p – технологічні допуски на виготовлення отворів та зон контактних площадок, що залежать від застосовуваної технологічної підтримки, мм;

d_{max} – це максимально припустимий габарит монтажного отвору, КОМПОНЕНТ:

$$d_{max} = d + d_{н.в.} + (0,1 \dots 0,15), \quad (3.8)$$

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

де d –максимальний діаметр монтажного отвору, мм;

Оскільки товщина покриття СФ-2-0,35 $t_{\phi}=0,035$ мм, а із [18] отримаємо, $b_m=0,035$ мм, $\delta_d=0,08$ мм, $\delta_p=0,02$ мм, то максимальний та мінімальний габарит монтажного отвору у платі ММД із металізацією всіх отворів і найгіршими допусками буде становити:

$$d_{\max 1} = 0,9 + 0,05 + 0,15 = 1,1 \text{ (мм)}. \quad (3.9)$$

А мінімальний діаметр контактного майданчика із таким отвором:

$$D_{1\min 1} = 2 \left(0,035 + \frac{1,1}{2} + 0,08 + 0,2 \right) \approx 1,6 \text{ (мм)}. \quad (3.10)$$

Тоді, максимальний діаметр утворених навколо металізованих отворів майданчиків визначиться як:

$$D_{\max 1} = 1,7 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,8 \text{ (мм)}. \quad (3.11)$$

Максимальний діаметр майданчиків навколо отворів також оцінюється на основі технології фотошаблонів під час процесу суміщення шаблонів та формування отворів:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06), \quad (3.12)$$

$$D_{\max 1} = 1,8 + 0,02 = 1,82 \text{ (мм)};$$

Із (3.12) можливо визначити важливий технологічний параметр, як зазори між елементами провідного рисунку, що також встановлено як первинний параметр класу точності. В першу чергу це треба зробити між контактними майданчиками, адже вони мають серед провідників найбільший габарит, і зробити це за виразом:

$$S_{\min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_p), \quad (3.13)$$

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

-
де L_0 – це відстань між центрами найближчих ділянок контактних майданчиків, мм.

За (3.13) та (3.12) такий зазор становить:

$$S_{\min} = 2,5 - (1,82 + 2 \cdot 0,2) = 0,28 \text{ (мм)}. \quad (3.14)$$

Зважаючи на вимоги до 1 го класу точності зазори між границями контактних майданчиків мають бути більшими (між виводам DIP 2,5мм), що вимагає застосування 2-го класу точності, для якого ця вимога буде заздалегідь виконана із умови розташування отворів на відстані не менше як два кроки координатної сітки розроблювальної печатної плати металодетектора 1,25 мм.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційного проекту "Металодетектор підвищеної чутливості" розроблена частина конструкторської документації для забезпечення виготовлення виробу в умовах мілко серійного виробництва із метою мінімізації вартості із збереженням високого рівня чутливості.

У вступі обгрунтована доцільність та актуальність розробки пристрою для складних умов із можливістю повсякденної терористичної загрози.

Перший розділ присвячено загальним питанням впливу, вимірювання та детектування магнітних полів, а також історичним особливостям застосування металодетекторів.

В другому розділі досліджувались принципи роботи металодетекторів на рівні принципових схем, обрана схема на базі індуктивного балансу із можливістю забезпечення високої чутливості із помірними витратами компонентної бази на основі індуктивного балансу котушок пошукової головки.

Третій розділ присвячений аналізу роботи принципової схеми виробу та проведенню електричних та конструкторських розрахунків для підтвердження працездатності виробу на заданій елементній базі.

Графічна частина проекту представлена кресленнями структурної та принципової схем виробу із переліком елементів на сучасній закордонній елементній базі.

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Элементы магнитного поля Земли. Мировой центр данных по физике твердой Земли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.wdcb.ru/sep/magnetic_measurements/magn_elements.ru.html.
2. Минлигареев В. Т. Обеспечение единства магнитных измерений на государственной наблюдательной сети / В. Т. Минлигареев, В. Н. Заболотнов, В. И. Денисова, В. Б. Лапшин, Е. А. Панышин, А. Ю. Штырков // Гелиогеофизические исследования. 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vestnik.geospace.ru>.
3. Хмелевской В. К. Геофизические методы исследования земной коры. Международный университет природы, общества и человека. Дубна. 1997. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1173309/page11.html#3>.
4. Джонсон Г.В. Высокоскоростная передача цифровых данных: высший курс черной магии. — Пер. с англ. под ред. Добродеева С.А. — М.: Издательский дом «Вильяме», 2005. — 1024 с.
5. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. Для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. Шк., 1988, - 432 с. ил.
6. Заболотнов В. Н. Средства измерений магнитных величин: аналитический обзор / В. Н. Заболотнов, В. Т. Минлигареев // Мир измерений. 2013. № 4. 63 с.
7. Березанский Д. П. Металлодетекторы – устройства досмотра. Вопросы нормирования требований //Специальная техника, №2,1998.
8. В. Candy, MINELAB, Metal Detector basics and theory. Веб-сайт. URL: https://www.minelab.com/_files/f/11043/KBA_METAL_DETECTOR_BASICS_&_THEORY.pdf

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

-
9. Металлоискатель по принципу частотомера. Веб-сайт.
URL: <https://www.qrz.ru/schemes/contribute/constr/metaldetector/>
 10. Металлоискатель забава М1. Веб-сайт. URL: <http://www.sdelai-sam.ru/zabava-m1.html>
 11. А.Ситчедрин, У.Колоколов, Frequency Meter Metal Detector, Circuit Cellar Magazine N130, May 2001.
 12. История создания металлоискателей: истоки. Веб-сайт.
URL: <https://www.mdregion.ru/o-kladoiskatelstve/27-nowosti-poiska/3452-istoria-sozdania-metalloiskatelei-chast-1.html>

					КПТР2017005.01.05ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Перв. примін.	КПТР.2017005.01.05.ПЕЗ	Поз. Познач.	НАЙМЕНУВАННЯ				Кіл.	Примітка
		Справ. №			Конденсатори X7R 12V-KN-3 CL			
C1	0,47мкФ							
C2,C3	330нФ							
C4	150нФ							
C5,C6	10нФ							
C7	15нФ							
C8	10нФ							
C9	1000пФ							
C10	560пФ							
C11	2,2мФ							
C12	360пФ							
C13	2,2нФ							
C14	120пФ							
C15	12пФ					змінний		
C16	38пФ							
C17	10нФ							
C18	330пФ							
C19,C20	1000пФ							
C21,C22	0.22мФ							
C23,C24	0.22мФ							
C25	0.47мФ							
C26,C27	0.47мФ							
C28,C29	47нФ							
C30,C31	4.7нФ							
C32,C33	0.47мФ							
Підп. та дата								
		3	Зам.	КПТР.2017005.05		####	КПТР2017005.01.05ПЕЗ	
Инів. № подл.		Розробив.	Гнатюк			Лит.	Лист	Листов
		Перевір.	Пивовар			0	0 ₁	0 ₂
							1	4
		Зат.	Підченко			Магнітодетектор підвищеної чутливості. Перелік елементів ХНУ, ТР17		

Поз. Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
R6	30кОм		
R7	100кОм		
R8	2.4кОм		
R9	100кОм		змінний
R10	1кОм		
R11	300кОм		
R12	100кОм		
R13	2.4кОм		
R14	100Ом		
R15,R1	100кОм		
R17	110кОм		
R18,R1	1.5Ом		
R20,R2	15кОм		
R22,R2	47кОм		
R24,R2	470кОм		
R26,R2	47кОм		
R28,R2	4.7кОм		
R30,R3	47кОм		
R32,R3	470кОм		
R34,R3	30кОм		
R36	1кОм		
R37	15кОм		
R38,R3	24кОм		
R40	10кОм		
R41	24кОм		
	Діоди KINGDRED	2	
VD1	1n4148		
VD2	1n4148		
	Транзистори	4	
VT1	BC327-40		
VT2	BC327-40		

Інв. № дубл.	Підп. та дата
	Взам. інв. №
Інв. № подл.	Підп. та дата
	Змі.

4	Все	КІТР.2017005.05	Гняук	08.08.12
Змі.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

КІТР.2017005.01.05.ПЕЗ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 9%

ID: 93130 Название: Магнітодетектор підвищеної чутливості Добавлено в БД: 2021-06-10 Авторы: Гнатюк Михайло Віталійович Руководители: Пиповар Олег Сергійович Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	71270	1152	946 (1%)	14 (1%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы



Ім'я користувача:
Kafedra TMIT KhNU

ID перевірки:
1008259085

Дата перевірки:
10.06.2021 15:06:31 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
10.06.2021 15:15:40 EEST

ID користувача:
100005657

Назва документа: Гнатюк_TP17-1

Кількість сторінок: 73 Кількість слів: 12597 Кількість символів: 96530 Розмір файлу: 1.20 MB ID файлу: 1008330381

610 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

1.56% Схожість

Найбільша схожість: 0.88% з Інтернет-джерелом (http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/9529/1/%21ALL_%D).

1.56% Джерела з Інтернету

22

Сторінка 75

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

4

РІШЕННЯ КАФЕДРИ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Магнітодетектор підвищеної чутливості

Автор: **Гнатюк Михайло Віталійович**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: **к.т.н., доц. Пивовар Олег Сергійович**

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<u>Відповідає</u>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 1,6%, виявлені в роботі відповідають частині тексту стандартних бланків та стандартних назв, що використовується в кваліфікаційних проектах, решта запозичень є випадковими і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.

10.06.2021р.

Науковий керівник роботи:



О.С. Пивовар

Зав. каф. ТМІТ



С.К.Підченко

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проект студента групи ТР-17-1

Гнатюка Михайло Віталійовича

«МАГНІТОДЕТЕКТОР ПІДВИЩЕНОЇ ЧУТЛИВОСТІ»

Кваліфікаційний проект присвячений розгляду питань вимірювання наведеного магнітного поля об'єктами, що приховано у немагнітному або слабкомагнітному середовищі. Актуальність теми підтверджується широкими можливостями використання в військовій та цивільній галузі подібних магнітних детекторів із можливістю дискримінації матеріалу об'єкту та відлаштування від параметрів середовища.

Проект складається із вступу, 3 розділів, висновків з виконання проекту, списку використаних джерел (16 бібліографічних посилань, 2 сторінки) та матеріалів у кінці звіту (6 сторінок). Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 68 сторінок і містить 15 рисунків на 15 сторінках по тексту та 1 таблицю. Повний обсяг роботи - 87 сторінок.

На основі розгляду принципів та структур метало детекторів автором обрано спосіб детектування на основі індуктивного балансу. Розроблена структурна та принципова схем виробу із урахуванням мінімальної вартості із збереженням можливостей застосування на рівні професійних аналогів. Проведено конструкторські розрахунки котушок індуктивності змінних пошукових головок та оціночні розрахунки для майбутнього виробництва печатних плат виробу. Проведено практичне втілення у вигляді лабораторного макету виробу.

В цілому кваліфікаційний проект Гнатюка М.В. "Магнітодетектор підвищеної чутливості" повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних проектів бакалаврів та заслуговує на оцінку "відмінно".

Рецензент:

к.т.н., доц. каф. ТР

Карпова Л.В.

Відгук керівника
на кваліфікаційний проект студента групи ТР-17-1
Гнатюка Михайло Віталійовича
«МАГНІТОДЕТЕКТОР ПІДВИЩЕНОЇ ЧУТЛИВОСТІ»

Студент Гнатюк М.В. під час виконання кваліфікаційного проекту провів розгляд питань вимірювання параметрів магнітного поля в глобальному та локальному сенсі. Особлива увага приділялася магнітному детектуванню об'єктів, що приховано у немагнітних та слабкомагнітних середовищах.

Провів аналіз методів та способів вимірювання магнітного поля та пристроїв для їх реалізації. Особлива увага приділялась розгляду принципів роботи детекторів магнітного поля на основі вимірювальних перетворень магнітних в електричні параметри. Розглянуто способи зменшення впливу синфазних завад під час диференційної обробки сигналів магнітного детектування, зроблено висновки про необхідність застосування методу індуктивного балансу для розробки простих і надійних пристроїв для магнітного детекторів локальних об'єктів під шаром ґрунту та можливостей їх застосування у цивільній та військовій галузі.

Під час виконання проекту студент прислуховувався до зауважень, вправно володіє технологіями текстової та комп'ютерної графіки, а також спеціалізованими програмами для підтримки проведення технічних розрахунків. Самостійно розробив конструкцію лабораторного макета та технологію виготовлення складових частин магнітних детекторів за методом індуктивного балансу на сучасній планарній елементній базі.

Вважаю, що кваліфікаційний проект заслуговує оцінки «Відмінно».

Керівник проекту:

к.т.н., доц. каф. ТМІТ



Пивовар О.С.

Завідувачу кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Підченко С.К.
здобувача вищої освіти
студента 4 курсу, гр. ТР-17-1
Гнатюк Михайло Віталійовича

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційного проекту до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомена. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщена та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10.06.21

дата



підпис

Гнатюк М.В.

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екземпляру	Примітка
1.		№ рядка				
2.	A4		Завдання на дипломний	1		
3.			проект			
4.	A4		Анотація (укр/англ)	2		
5.						
6.	A4		Пояснювальна записка	72		
7.						
8.	A2	ДПТР.2017005.01. 05 Е1	Схема електрична структурна	1		
9.						
10.	A2	ДПТР.2017005.01. 05 Е3	Схема електрична принципова	1		
11.						
12.	A4	ДПТР.2017005.01. 05 ПЕ3	Перелік елементів	1		
13.						
14.	A4		Копії креслень	2		
15.	A4		Копії довідок про антиплагіат	1		
16.	A4		Рішення кафедри про допуск			
17.			до захисту	1		
18.	A4		Копія відгуку рецензента	1		
19.	A4		Копія відгуку керівника	1		
20.	A4		Копія заяви про академічну			
21.			добросесність	1		
22.						
23.						
24.						
25.						
26.						
27.						

					КПТР.2017005.01.05ВП			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Гнатюк				Магнітодетектор підвищеної чутливості Відомість проекту	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Пивовар.						1	1
Н. Контр.	Стецюк					ХНУ, ТР-17-1		
Затверд.	Підченко							