МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший бакалаврський
(рівень вищої освіти)

на тему *Розробка датчика слабкого магнітного поля*

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1531
спеціальності *G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка»*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Мікро- та наносистемна техніка
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Т.Л. Дранго
(ініціали та прізвище)

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

Рецензент завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, професор, д.т.н., Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Факультет _____ _____
Кафедра __*електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти _*перший бакалаврський*_____
Спеціальність *G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка»* (код і назва)

Освітня програма __*Мікро- та наносистемна техніка* _____
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _*ЕІСПЗ*____
_____*Критська Т.В.*_____
"___30_" травня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

_____*Дранго Тимофію Леонідовичу*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) ___*Розробка датчика слабкого магнітного поля* _____
_____
керівник роботи *Світанько Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент*_____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "*20" березня 2025 року № 429-с*_____

2 Строк подання студентом роботи ___*30 травня 2025 року*_____

3 Вихідні дані до роботи _*анізотропний магніторезестивний датчик (АМР), 1Гц – 10 МГц, 10^{-9}–10^{-5} Тл, 220 В, 0-32 В, ОП, АЦП, Electronics Workbench, Proteus*_____
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)*1. Вимірювання параметрів магнтних полів слабкої інтенсивностіі 2. Розробка датчика слабкого магнітного поля 3. Охорона праці та техногенна безпека при розробці датчика слабкого магнітного поля* _____
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*1. Вимірювання магнітних полів малої інтенсивності 2. Електрична схема реєстратора слабкого магнітного поля 3. Моделювання функціональних блоків пристрою*_____

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	*Світанько М.В., доцент*	*21.03.2025*	*21.03.2025*
II	*Світанько М.В., доцент*	*21.03.2025*	*21.03.2025*
III	*Світанько М.В., доцент*	*21.03.2025*	*21.03.2025*

7 Дата видачі завдання _____*21 березня 2025 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Літературний огляд*	*29.03.2025*	
2	*Розрахункова частина*	*26.04.2025*	
3	*Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки*	*30.05.2025*	
4	*Розробка графічної частини роботи*	*30.05.2025*	
5	*Оформлення пояснювальної записки*	*30.05.2025*	
6	*Нормоконтроль*	*30.05.2025*	
7	*Попередній захист роботи*	*30.05.2025*	

Студент _____ _____*Дранго Т.Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ ____*Світанько М.В.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____*Верьовкін Л.Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 60 сторінок, 18 рисунків, 3 таблиці, 35 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – слабкі магнітні поля.

Мета роботи – розробка датчика слабкого магнітного поля.

Завдання роботи – розробити структурну схему датчика сабкого магнітного поля; розробити електричні схеми основних апаратурних блоків пристрою; провести моделювання роботи електричних схем пристрою.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus, Arduino.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено розроблено модель датчика слабкого магнітного поля на основі магніто-резистивного ефекту.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – подальше вдосконалення каналу реєстрації пристрою передбачає використання програмованих мікроконтролерів на платформі Raspberry Pi.

МАГНІТНЕ ПОЛЕ, МАГНІТО-РЕЗИСТИВНИЙ ДАТЧИК, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, МІКРОКОНТРОЛЕР, PROTEUS, ARDUINO.

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 28.12.2024 р. по 30.05.2025 р.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ ……. 6

1. Датчики вимірювання слабких манітних полів…… 8

1.1 Матеріали для магнітометрів …… 8

1.2 Характеристики магнітних матеріалів..... 10

1.3 Особливості використання магнітних матеріалів ……. 11

1.4 Основні властивості, схеми практичного використання магнітометрів…… 12

1.5 Застосуваня магнітометрів (детекторів магнітного поля)……. 13

1.6 Магниторезистивні датчики ……. 14

1.7 Сучасні реєстратори магнітних полів ……. 18

2. Розробка датчика слабкого магнітного поля……. 23

2.1 Структурна схема датчика слабкого магнітного поля…….. 23

2.2 Мережевий перетворювач …… 24

2.3 Понижуючий перетворювач …… 24

2.4 Магніторезистивний датчик …… 26

2.5 Блок реєстрації та обробки сигналу …….. 27

2.6 Моделювання роботи каналу реєстрації та обробки сигналів датчика слабкого магнітного поля ……. 41

3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричих схем датчика слабкого магнітного поля ……. 44

3.1 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів…… 45

3.2 Виробнича санітарія……... 46

3.3 Електробезпека……... 49

3.4 Пожежна безпека та техногенна безпека …….. 50

Висновки та рекомендації……... 55
Перелік посилань…….…… 57

Вступ

Магнітне поле – це силове поле, що діє на рухомі електричні заряди і тіла. Ми постійно знаходимося під впливом магнітного поля. Людське тіло також має власне магнітне поле, яке різниться для різних органів і важливим моментом є підтримка відносного балансу між зовнішніми і внутрішніми магнітними полями. Лікарі та вчені звертають особливу увагу на вплив магнітного поля на кровоносно-судинну систему людини, ефективність переносу кисню кров`ю, транспортування поживних речовин, але найбільш чутливою до магнітного поля є нервова система. На магнітні поля реагує і багато інших систем організму: ендокринна, серцево-судинна, дихальна, кістково-м`язова й травна системи, органи чуття та кров. У природних умовах людина піддається лише природним електромагнітним полям, коли ж у цей процес взаємодії втручаються штучні джерела магнітних, електричних та електромагнітних полів, то відбувається порушення синхронізації. За даними вимірювання артеріального тиску протягом року було достовірно показано, що добові зміни діастолічного артеріального тиску і вмісту лейкоцитів збігаються з щоденними змінами магнітного поля Землі [1-4].

Також впливає і зміна самого магнітного поля, частота, амплітуда і модуляція якого змінюється в міру проходження і спаду магнітної бурі і навіть у здорових людей під час магнітних бур відбуваються деякі зміни в складі крові. Зниження рівня зовнішнього магнітного поля також веде до порушення магнітного поля в організмі людини. Наприклад, така зміна в кровоносній системі порушує кровообіг, транспортування кисню і поживних речовин до органів і тканин, що може в результаті призвести до розвитку хвороби. Таким чином, недостатній чи збільшений рівень зовнішнього магнітного впливу за ступенем шкоди, що завдається їм організму, може цілком змагатися з дефіцитом мінералів і вітамінів. Важливо підготувати

організм людини до впливу на нього сильних магнітних бур, щоб людина відчувала себе при цьому комфортно [1-4].

Як правло, такі магнітні поля відносяться до так званих слабких, тобто з індукцією поля в діапазоні від 10-7 Тл до 10-5 Тл. В природі існують і менші за інтенсивністю поля (10-12 Тл – 10-7 Тл), але вони вже єполями на рівні квантових явищ.Реєстрація таких полів супроводжується низькими температурами і здатністю магнітних датчиків проявляти надпровідні вдастивості. Для реєстрації слабких полів, подібних до поля, яке впливає на організм людини, можна використати звичайні нармальні умови [5,6].

Тому, актуальним питанням є вимірювання слабкогих магнітних полів.

1. Датчики вимірювання слабких манітних полів

1.1 Матеріали для магнітометрів

Магнітні матеріали широко використовують у сучасній промисловості. Більшу їхню частину за величиною коерцитивної сили поділяють на дві великі групи: магнітно-тверді (понад 1кА/м) та магнітно-м'які та входять вони до переважно групи прецизійних сплавів (високолеговані сплави з точним хімічним складом).

Магнітно-твердим матеріалам властиві мала магнітна проникність та великі гістерезисні втрати. Магнітно-твердими є магнітна сталь, сплави на основі систем Fe-Co-Mo-W, Fe-Ni-Al-Co, Fe-Ni-Al, Co-Fe-V, сплав Pt-Co, барієві, стронцієві та кобальтові ферити, сплави кобальту з рідкісноземельними елементами та магнітно-тверді магнітодіелектрики. Вони відзначаються значними коерцитивною силою ($5\cdot10^3…7\cdot10^5$ А/м), залишковою магнітною індукцією (0,2…1,2 Тл) і магнітною енергією ($10^3…10^5$ Тл·А/м). З магнітно-твердих матеріалів виготовляють переважно постійні магніти[4].

Магнітно-м'які матеріали мають малу коерцитивну силу, велику магнітну проникність та малі гістерезисні втрати. До магнітно-м'яких матеріалів належать: електротехнічна сталь; залізо; залізонікелеві сплави, леговані молібденом; залізо-кобальтові сплави з добавкою ванадію; залізонікелькобальтові сплави; нікельцинкові і марганецьцинкові ферити та матеріали спеціального призначення — магнітно-м'які магнітодіелектрики, магнітострикційні матеріали, термомагнітні сплави тощо. У таких магнітних досить високі початкова ($50…10^5$) і максимальна ($10^3…10^6$) магнітна проникність, магнітна індукція насичення (0,2…2,4 Тл), температура Кюрі (450…1250 К), незначні коерцитивна сила (0,5…10 А/м), питомий електричний опір ($10^{-7}…10^{-8}$ Ом·м за винятком феритів); великі магнітні

втрати ($1…10^3$ Дж/м^3). Їх використовують як провідники та перетворювачі магнітного поля у магнітних колах[4].

Хоча до магнітно-м'яких і магнітно-твердих матеріалів належить переважна більшість магнітних матеріалів, в окремі групи інколи виділяють:

- термомагнітні сплави — феромагнітні сплави, що мають різко виражену температурну залежність намагніченості в заданому магнітному полі, використовуються у різноманітних реле;
- магнітострикційні матеріали — магнітно-м'які матеріали, в яких досить великий ефект магнетострикції;
- магнітодіелектрики — магнітні матеріали, що є зв'язаною в єдиний конгломерат сумішшю феромагнітного порошку і зв'язки-діелектрика (наприклад, бакеліту, полістиролу, гуми) та ін.

Крім того, виділяють:

- Магніти Alnico виготовлені зі сплаву алюмінію, нікелю та кобальту. Вони мають високу коерцитивну силу та хорошу стійкість до високих температур.
- Самарієво-кобальтові магніти. Вони подібні до неодимових за своєю магнітною силою і стійкістю до високих температур. Виготовлені зі сплаву самарію та кобальту вони ідеально підходять для застосування в двигунах і системах hi-fi.

Відомі також магнітні рідини, у яких завдяки поверхневому натягненню перебувають у зваженому стані дрібні порошки (нанопорошки) магнітно-твердих матеріалів і поводяться як суцільне середовище з несучою рідиною (розчинником). Проте такі рідини є складними та дорогими у виробництві та зберігають свої магнітні властивості значно менше, ніж справжні магнітні матеріали. Водночас, використовуючи магнітні рідини, можна вдосконалити низку приладів і пристроїв.

1.2 Характеристики магнітних матеріалів

Важливою характеристикою магнітних матеріалів є петля гістерезису. Для магнітно-м'яких матеріалів вона надає інформацію про індукцію насичення[6] матеріалу, його магнітну проникність та коерцитивну силу. Ці величини є вихідними даними для розрахунків магнітних кіл. Для магнітно-твердих матеріалів за другим квадрантом петлі гістерезису знаходять залишкову індукцію, коерцитивну силу за намагніченістю та індукцією, а також розраховують робочу точку постійного магніту. Ці дані дають можливість оцінити, який з матеріалів є найбільше придатним для використання у конкретному випадку.

Важливою характеристикою магнітного матеріалу є температура Кюрі. Якщо матеріал нагрівається вище від цієї температури, то він втрачає феромагнітні властивості, тобто стає немагнітним. При досягненні цієї температури втрачається магнітне впорядкування. Будь-який магнітний матеріал можна розмагнітити нагрівши його вище температури Кюрі.

Максимальна температура, при якій планують використовувати магнітно-твердий матеріал, є одним із основних критеріїв вибору класу матеріалу. Її називають робочою температурою, інколи — температурою 5 % незворотних втрат. Постійний магніт при кімнатній температурі може мати високі силові характеристики, великі зворотні втрати залишкової індукції та коерцитивної сили і бути взагалі непридатним при температурах вищих за його робочу температуру. Робоча температура магнітно-твердих матеріалів також суттєво залежить від форми та геометричних розмірів постійних магнітів. У таблицях робочих температур зазвичай наводять температуру для циліндрів намагнічених уздовж осі симетрії з відношенням довжини до діаметра, що дорівнює 0,7. Магніти у вигляді прямокутних призм мають робочу температуру на 10…20° вищу (при однакових відстанях між полюсами магнітів), ніж у циліндрів. Робоча температура постійного магніту також може бути підвищена збільшенням відстані між полюсами магніту

іноді до 70 °С (при тих же поперечних розмірах). Робоча температура двох постійних магнітів зі злиплими торцями вища на 30…50 °С за робочу температуру окремого магніту. Найбільшу робочу температуру (до 550 °С) та найменші коефіцієнти температурних втрат мають магнітно-тверді матеріали на основі сплавів алніко. Проте їхня коерцитивна сила є відносно малою, що є їхнім суттєвим недоліком. Магнітні кола з використанням цих магнітів намагнічуються після складання магнітної системи для використання всіх потенціальних можливостей матеріалу. Якщо ці сплави намагнічуються окремо від магнітної системи, то при вилученні з пристрою, що намагнічує, вони втрачають частину залишкової індукції внаслідок невисокої коерцитивної сили (частково розмагнічуються). Матеріали з такими властивостями називають докритичними. На відміну від них, сплави на основі рідкісноземельних елементів (самарій-кобальтові, неодимові магніти) є закритичними. Для них немає значення намагнічувалися вони в магнітній системі або окремо від неї — вони зберігають свої високі магнітні властивості незалежно від способу намагнічування.

1.3 Особливості використання магнітних матеріалів

Найкращі магнітні властивості нині мають сплави на основі системи Nd–Fe–B. Залишкова індукція деяких з них досягає майже 1,5 Тл, коерцитивна сила 800 кА/м, енергетичний здобуток 420 кДж/м^3. У агресивних середовищах доцільно використовувати самарій-кобальтові магніти. Вони хоч і мають залишкову індукцію 1,2 Тл та енергетичний здобуток 260 кДж/м^3, проте їм властиві кращі температурні коефіцієнти (0,03 % / °С).

Зазвичай магніти на основі рідкісноземельних елементів з високими магнітними властивостями, які є анізотропними, виготовляють методами

порошкової металургії. Залишкова індукція ізотропних рідкісноземельних магнітів складає лише приблизно половину від індукції анізотропних магнітів, і, як наслідок, їх енергетичний здобуток у 4 рази менший порівняно з анізотропними магнітами. Недоліком анізотропних магнітів є неможливість їх намагнічування у напрямках перпендикулярних до осі легкого намагнічування. Індукція насичення магнітно-м'яких сплавів може досягати 2,45 Тл для деяких пермендюрів (49 КФ) та 2,2 Тл (електротехнічні сталі), що значно більше ніж у найкращих магнітно-твердих сплавів (1,5 Тл). Тому їх використовують для концентраторів і магнітопроводів у магнітних колах.

1.4 Основні властивості, схеми практичного використання магнітометрів

Магнітометр - прилад, який визначає характеристики магнітного поля і магнітні властивості речовини. Основними параметрами, що визначають ці характеристики, є напруженість магнітного поля, а також магнітна індукція. Остання є векторною величиною, тому важливе значення має її напрямок. Саме магнітна індукція визначає силовий вплив магнітного поля в кожній точці простору.Магнітне поле має свої особливості. На відміну від електричних, магнітних зарядів в природі не існує, а елементарною частинкою, яка може створювати магнітне поле, є магнітний диполь. Магнітне поле утворюється навколо провідника зі струмом, також його утворює змінне електричне поле, воно є складовою частиною електромагнітного поля.У сучасному світі, за умови широкого використання магнітних носіїв, накопичувачів, вимірювання параметрів магнітного поля набуває стратегічного значення для контролю стабільності роботи всіх електронних пристроїв. Важко переоцінити також його вплив на природу в цілому, а також на людину та її самопочуття зокрема.Магнітометри і датчики магнітного поля знайшли найрізноманітніше застосування: в навігації, для

пошукових задач геофізики, археології, на виробництві для контролю роботи обладнання, продукції, а також для побутових задач. Тому, перш ніж купити магнітометр, визначтеся з колом завдань.

1.5 Застосуваня магнітометрів (детекторів магнітного поля)

Залежно від того, який параметр магнітного поля вимірює прилад, розрізняють магнітометри: для вимірювання напруженості поля, градієнта поля, спрямованості поля, магнітного потоку, магнітного моменту, магнітної індукції, і т.д. Найбільш широке застосування мають прилади, що вимірюють:

- Магнітну індукцію (тесламіри), одиниці вимірювання Тесла (Т), нТ, мкТ, мТ. Гаусс, Гс, мГс. 1 Гс = 100 мкТ.
- Напруженість магнітного поля (ерстедметри), одиниці вимірювання А/м. Ерстед (Е), внесистемна одиниця - гамма (1 гамма = 10^{-5} Е).

За допомогою таких магнітометрів (датчиків магнітних полів) можна:

- Проконтролювати технічний стан обладнання;
- Параметри індукційних полів, магнітних полів;
- Рівень залишкової намагніченості;
- Рівень індустріальних шумів;
- На побутовому рівні контролювати індукцію магнітного поля ліній електропередач, електрообладнання (холодильників, кондиціонерів, моніторів комп'ютерів відео і аудиоустройств, силових блоків живлення і т.д.).

1.6 Магниторезистивні датчики

Існує багато типів датчиків (детекторів) магнітного поля, які використовуються в найрізноманітніших галузях господарства, науки та побуту. Зупинимося на деяких з них.

Магніторезистивні датчики (детектори) магнітного поля. Вони працюють на фізичному явищі, пов'язаному зі зміною омічного опору напівпровідникового елемента під дією магнітного поля. Якщо в напівпровідниковому елементі протікає струм, то зовнішнє магнітне поле буде відхиляти траєкторії руху електронів. Відповідно, зросте опір елемента, який залежить від кута між напрямом вектора напруженості електричного поля і намагніченості. Висока точність, робота в широкому діапазоні температур, незалежність від відстані між джерелом і датчиком, а тільки від його напряму - переваги таких магнітометрів. Купити детектори магнітного поля з датчиком магніторезистивного типу, одновісні і тривісні, Ви зможете в нашому маркеті.Використання эфекту Холла в датчиках магнітного поля.Принцип роботи такого датчика теж ґрунтується на взаємодії електричного струму з магнітним полем. Елемент зі струмом розміщають перпендикулярно до напрямку силових ліній магнітного поля і вимірюють різницю потенціалів, яка виникає внаслідок відхилення електронів від прямолінійного руху. Цю різницю потенціалів називають напругою Холла, вона пропорційна силі струму і індукції магнітного поля. Лінійність вихідного сигналу і висока чутливість - особливості таких магнітометрів. Купити детектори магнітного поля з датчиком Холла Ви також зможете в нашому маркеті.Датчики магнітного поля індукційного типу.Принцип роботи індукційного датчика заснований на явищі електромагнітної індукції - здатності змінного магнітного поля генерувати індукційний струм в замкнутому контурі. Такі датчики можна використовувати для контролю параметрів постійних і змінних магнітних полів.

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

Залежно від фізичного ефекту і матеріалу розрізняють такі магніторезистивні датчики:

− магніторезистори на ефекті Гауса;

− анізотропні магніторезистивні датчики (АМР);

− гігантські магніторезистивні датчики (ГМР);

− спін-тунельні магніторезистивні датчики (СТМР).

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

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

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

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

Анізотропні магніторезистивні датчики (АМР). АМР датчики основані на анізотропному магніторезистивному ефекті, який є прямим наслідком спін-орбітальної взаємодії в феромагнітних провідниках і полягає в зміні електричного опору феромагнітного провідника залежно від зміни кута α між

струмом, що протікає I і вектором намагніченості M. Принцип анізотропного магніторезистивного ефекту показаний на рисунку 1.1.

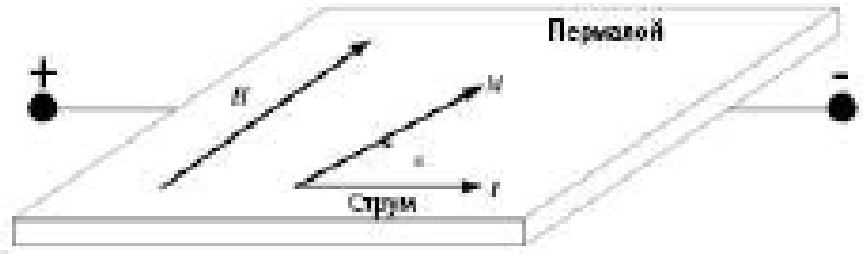


Рисунок 1.1 – Принцип анізотропного магніторизестивного ефекту

Зовнішнє магнітне поле H повертає вектор намагніченості M на кут α і змінює електричний опір відповідно до вираження (виразу) [10]:

$$R_0 = R + \Delta R \cos 2, \qquad (1.1)$$

де R_0 – базовий опір АМР-датчика, Ом;

R – максимальна зміна опору, Ом.

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

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

Більшість АМР-датчиків дозволяють вимірювати постійні і змінні магнітні поля до частот близько 10 МГц в діапазоні від 10 нТл до 1 мТл, рівень власних шумів на рівні 10 нТл/√Гц, споживана потужність від 0,1 до 0,5 мВт, нелінійність функції перетворення на рівні 0,1%. АМР можуть працювати в діапазоні температур від -55ºС до +200ºС [10].

Температурний коефіцієнт чутливості типового АМР-датчика складає від 0,25%/°С до 0,01%/°С. Температурний коефіцієнт зміщення становить близько 10 нТл/°С, і варіюється навіть між екземплярами датчиків однієї партії [13].

Для підвищення точності вимірювання магнітного поля АМР-датчик включають по мостовій схемі і застосовують зворотний зв'язок для компенсації вимірюваного магнітного поля. Для цього в АМР-датчики вбудовують плоску котушку зворотного зв'язку. Такий підхід дозволяє підвищити поріг чутливості і лінійність, але при цьому значно звужується частотний діапазон.

Вихідна напруга U в АМР-датчиках залежить не тільки від вимірюваної компоненти вектора магнітної індукції Bx, але і від компоненти By, перпендикулярної напряму вимірювання. Для компенсації похибки від поперечного поля застосовують різні способи, наприклад, магнітну зворотний зв'язок, одночасне вимірювання двох або трьох компонент вектора магнітної індукції з подальшою цифровою обробкою та ін. Проте, для реалізації прецизійних способів компенсації необхідні складні аналого-цифрові схеми, які мають як високе енергоспоживання, так і тепловиділення. Прості схемні рішення знижують чутливість датчиків і збільшити рівень шумів [13- 15].

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

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

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

1.7 Сучасні реєстратори магнітних полів [17, 18]

Реєстратор магнітного поля ВЕГА-Р2 призначений для ідентифікації спроби впливу магнітом на промислові лічильники газу. Інформація з реєстратора зчитується на переносний комп'ютер через з'єднувач за допомогою комплекту для зв’язку з комп’ютером.

При перевищенні порога спрацьовування реєстратора, здатного вплинути на метрологічні характеристики лічильника газу (до лічильника піднесений потужний магніт), на реєстраторі фіксується час початку і завершення дії магніту.

Реєстратор ВЕГА-Р2 забезпечує архівування погодинної інформації:

- стан реєстратора;
- зміни стану датчиків магнітного поля за годину;
- час впливу магнітного поля за годину;
- час аварійних ситуацій за годину;
- дати та часу запису даних.

Кількість записів становить 2048 (85 діб).

Таблиця 1.1 Умови експлуатації реєстратора магнітного поля ВЕГА-Р2

- температура навколишнього середовища, °С	від - 30 до + 50
- відносна вологість повітря за температури до 25 °С без конденсації вологи, до %	від 40 до 98
Середній термін служби, років, не менше	12
Час зберігання інформації, років, не менше	40



Рисунок 1.2 - Реєстратор магнітного поля ВЕГА-Р2

Датчик магнітного поля NUL-214 — це високочутливий пристрій, який дозволяє вимірювати навіть дуже слабкі магнітні поля, такі як магнітне поле

Землі. Він забезпечує точне вимірювання у діапазоні ±10 мТ, що робить його незамінним у дослідженнях фізики, механіки та природничих наук.

Цей цифровий датчик працює з високим роздільним здатністю 16 біт, забезпечуючи максимально точні результати. Він попередньо відкалібрований на заводі, що дозволяє використовувати його відразу після придбання. Тривалість експериментів варіюється від 50 мілісекунд до 31 дня, що надає гнучкість у дослідницьких завданнях.

Пристрій застосовується у вивченні магнітного поля Землі, аналізі механічних явищ, а також у навчальних і наукових кабінетах. Його універсальність та простота у використанні роблять його популярним серед дослідників і педагогів.

Для отримання точних результатів у вимірюванні магнітних полів рекомендуємо купити датчик магнітного поля NUL-214. Це надійний вибір для наукових і освітніх проєктів.



Рисунок 1.3 - Датчик магнітного поля NUL-214

Мілітесламетр універсальний МТУ-1

Призначення МТУ-1: зміна магнітної індукції постійних, змінних та імпульсних магнітних полів.

Також Мілітесламетр універсальний МТУ-1 вимірює:- Амплітудне значення індукції постійного магнітного магнітного поля;- Амплітудні значення магнітної індукції імпульсного магнітного поля з тривалістю фронту не менше 1 мс.- Середньоквадратичне значення магнітної індукції змінного магнітного поля промислових частот.



Рисунок 1.4 - Мілітесламетр універсальний МТУ-1

Отже, метою роботи є розробка датчика слабкого магнітного поля

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

1) провести аналіз існуючих методів реєстрації сабких магнітних полів;

2) розробити структурну схему датчика слабкого магнітного поля;

3) розробити електричні схеми датчика слабкого магнітного поля;

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

5) розробити заходи по умовам дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

2 Розробка датчика слабкого магнітного поля

2.1 Структурна схема датчика слабкого магнітного поля

На рисунку 2.1 представлена структурна схема датчика слабкого магнітного поля.

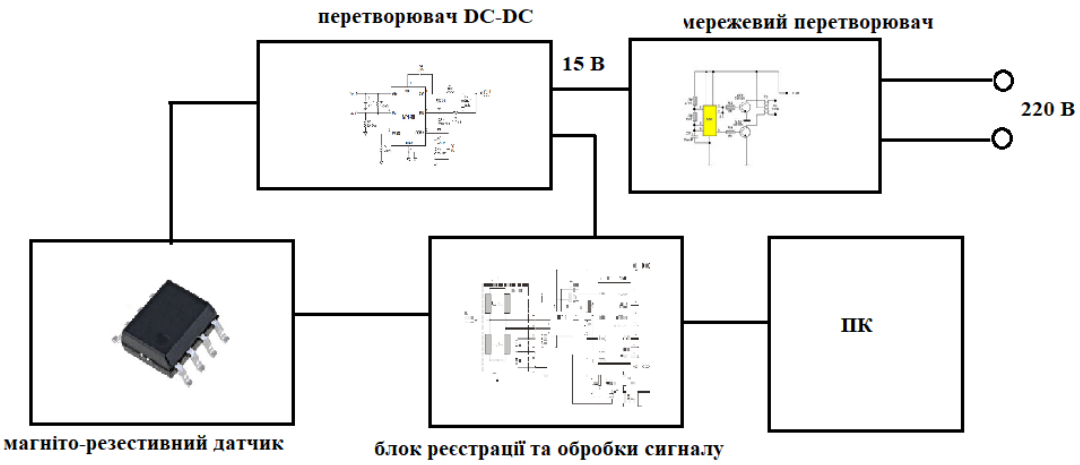


Рисунок 2.1 - Структурна схема датчика слабкого магнітного поля Структурна схема складається:

1) мережевийперетворювач – загальне живлення пристрою;

2) понижуючий перетворювач – забезпечує живленням мігніто-резистивний датчик і блок реєстрації та обробки;

3) магніторезистивний датчик – пристрій безпосереднього вимірювання магнітного поля;

4) блок реєстрації та обробки сигналу – перетворення аналогового сигналу від датчика на цифровий для подальшої передачі на ПК.

2.2 Мережевий перетворювач

Загальне живлення до реєструючої системи подається від мережі 220 В через випрямний перетворювач, який зібрано на базі стандартної мікросхеми NE555 (риснок 2.2) [20-22].

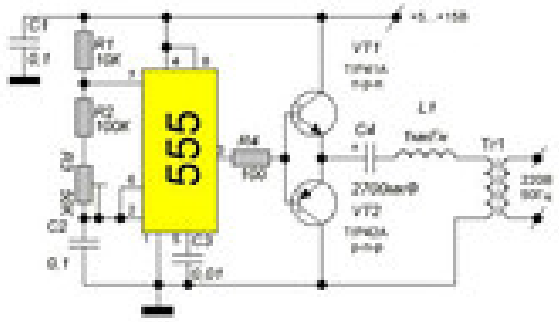


Рисунок 2.2 - Мережевий перетворювач

NE555 налаштований як генератор низької частоти з частотою 50 Гц, вихідний сигнал (меандр), з якого подається підсилювач струму на транзисторах VT1 VT2. Далі сигнал через діляючий конденсатор з ємністю 2700 мкФ надходить у дросель L1, з якого прямокутні імпульси набувають синусоїдальної форми та входять до зростаючого трансформатора.

Стандартна мережа трансформаторів T1, обмотка низької напруги якої з'єднана з дроселем L1. Як транзистор VT1, ви можете застосувати TIP41B, TIP41C, NTE196, ECG196 тощо, і VT2 можна замінити на TIP42B, TIP42C, NTE197, ECG197 [20-22].

2.3 Понижуючий перетворювач

Надмініатюрний імпульсний регульований понижувальний перетворювач постійної напруги DC-DC step-down (рисунок 2.3). Перетворювач зібраний на мікросхемі MP1584EN. На рисунку 2.4

представлена схема стандартних підключень MP1584EN . Особливість даного перетворювача - можливість перемичкою вибрати фіксовану вихідну напругу: 1.8В 2.5В 3.3В 5В 9В 12В. Завдяки використанню сучасних низькоомних польових транзисторів та вищої частоти ШІМ, модуль з енергоефективності, стабільності вихідної напруги та габаритів перевершує старі конвертери на LM2596 та mp1584 (xm1584).Також перетворювач має захист від короткого замикання, від перевищення струму і перегріву [20-22].

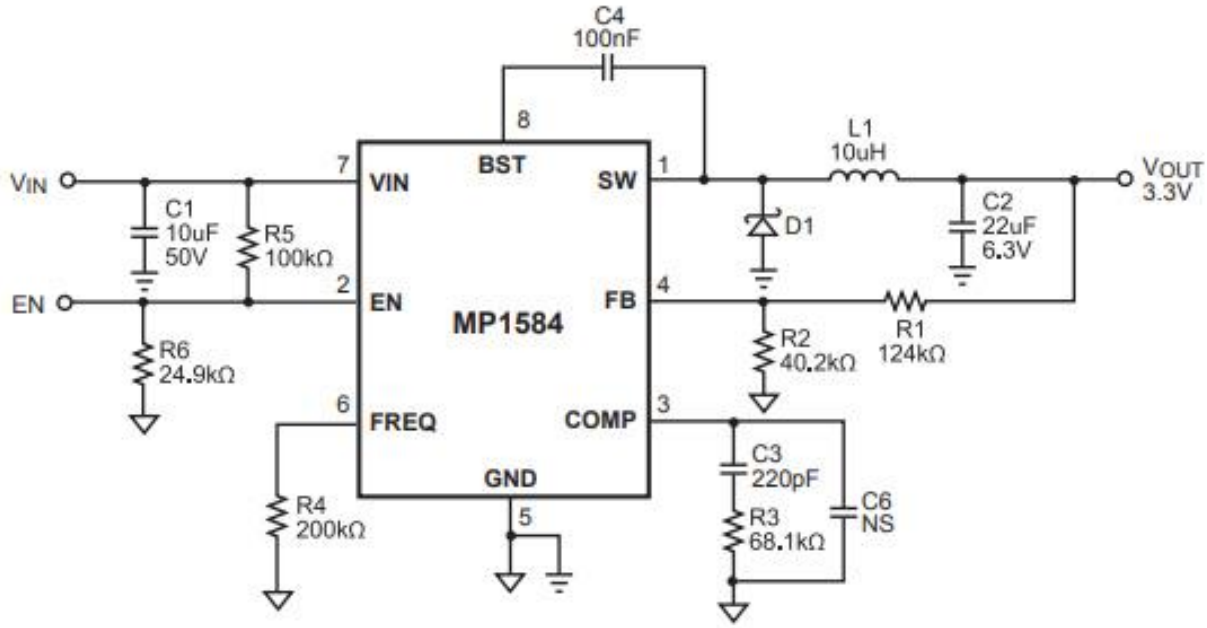


Рисунок 2.3 – Понижувальний перетворювач зібраний на мікросхемі MP1584EN.

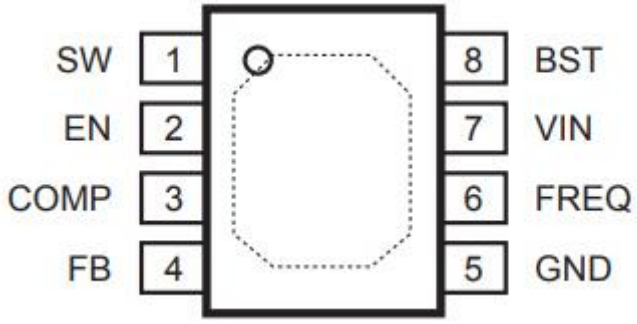


Рисунок 2.4 - Схема стандартних підключень MP1584EN [20-22]

Характеристики:

Вхідна напруга: DC 4.5-16 В.

Вихідна напруга: можливість вибору фіксованої напруги (1,8 В 2,5 В 3,3 В 5 В 9 В 12 В) або регульований діапазон (0,8-15 В).

Вихідний струм: максимум 3А (рекомендується радіатор).ККД: до 97,5% (від 6,5 до 5 В 0,7 А).

Захист від перенапруги: ні.

Струм холостого ходу: 0,85 мА.

Регулювання навантаження: ±1%.

Захист від короткого замикання виходу: так.

Окремий керуючий вхід EN: закоротіть EN для роботи, на GND для відключення. За замовчуванням вхід підтягнутий до живлення.

Розмір: 20*11*6 мм.

2.4 Магніторезистивний датчик

У якості магнітнно-резистивного датчика було обрано мікросхеми серії HC-1001 (HC-1002 – більш новіша), виготовлені за планарними технологіями (рисунок 2.5) [23].

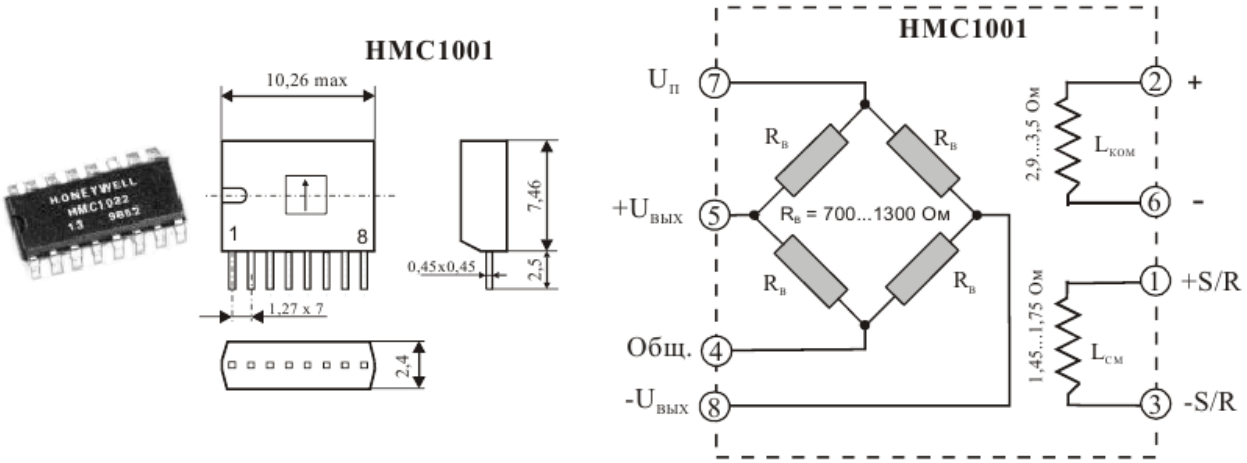


Рисунок 2.5 - Мікросхеми серії НС-1001 - НС-1002 [23]

Перевагами таких датчиків є наявність осі чутливості, довгий термін служби і незалежність від магнітного дрейфу. Вони володіють (мають) невеликими розмірами.

2.5 Блок реєстрації та обробки сигналу

У якості прототипу за основу блока реєстрації та обробки сигналу була використана система, представлена у роботі [23]. Схема є вхідним каскадом реєстратора чутливої магнітометричної систми ірієнтації у просторі. Схема представлена на рисунку 2.6.

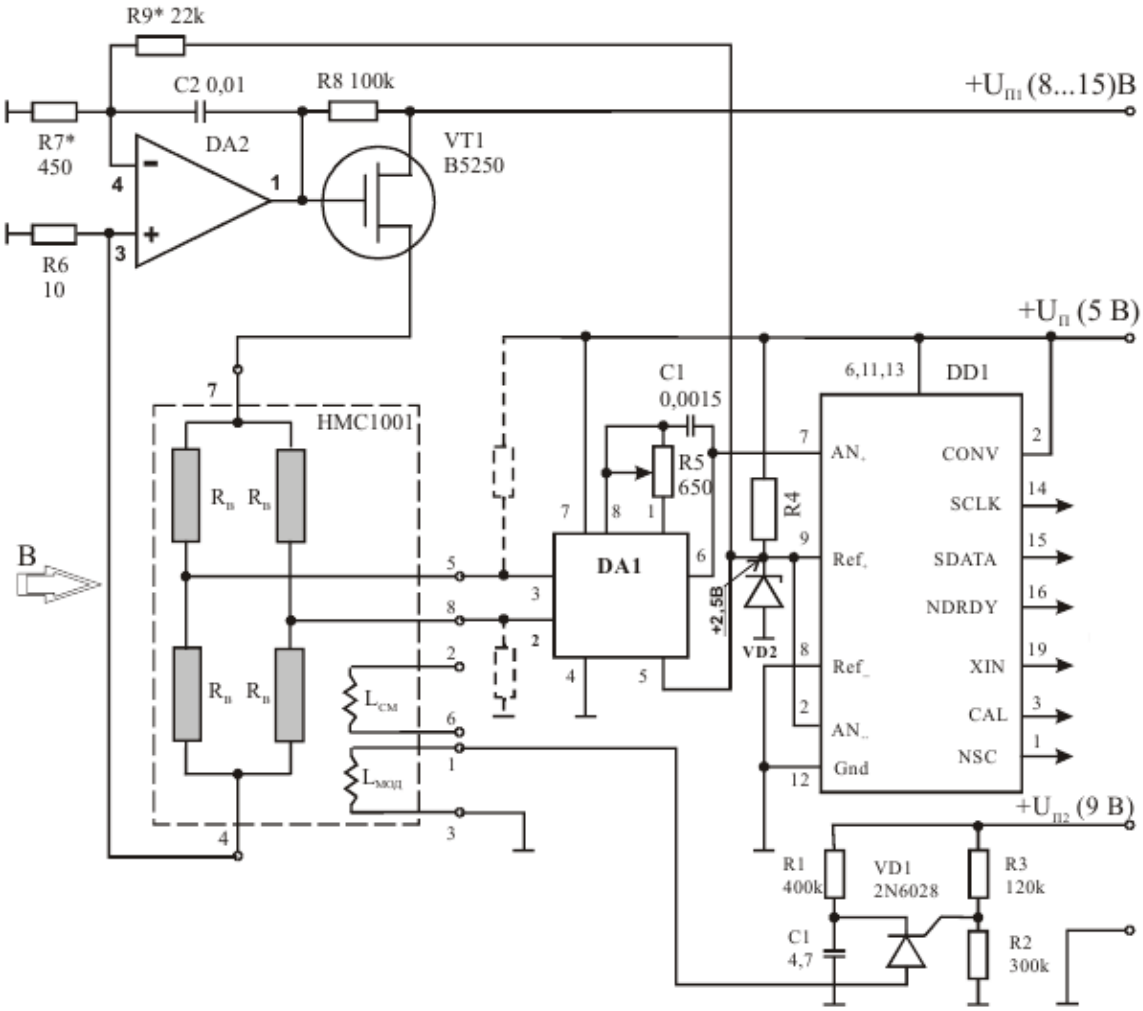


Рисунок 2.6 - Вхідний каскад реєстратора чутливої магнітометричної систми ірієнтації у просторі [23]

Для оптимізації схеми було проведено розрахунок підсилювальних та частотних характеристик вхідного підсилювача із польовим транзистором (на схемі рисунка 2.6 VT1 ,DA2) [24-27].

Для розрахунку схеми підсилювача задано: $U_{вих.т}$ − амплітудне значення вихідної напруги; $R_н$ − опір навантаження; $E_г$ − електрорушійна сила джерела вхідного сигналу; $R_г$ − опір джерела вхідного сигналу; $f_н$ − нижня частота робочого діапазону частот; $f_в$ − верхня частота робочого діапазону;

$M_{н(дб)}$ − коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті; $T_{ос.мін}$; $T_{ос.макс}$ − мінімальна і максимальна температури оточуючого середовища[24-27].

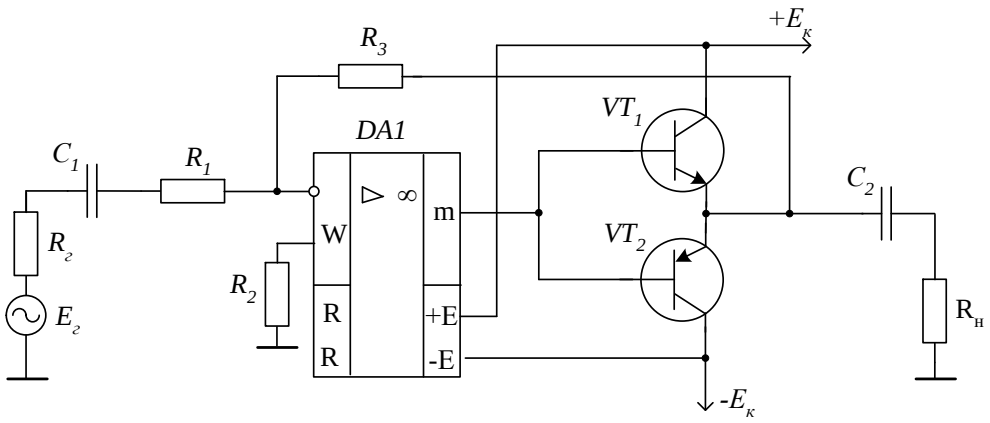


Рисунок 2.7 - Схема підсилювача на операційному підсилювачі у випадку інвертуючого сигналу

Розрахунок починаємо з вибору типу інтегрального операційного підсилювача виходячи з таких умов[24-27]

$$\left|U_{вих}^{-}\right| \geq U_{вих.т} \leq U_{вих}^{+},$$

де $U_{вих}^{+}, U_{вих}^{-}$ − максимальна додатна і від'ємна напруги на виході операційного підсилювача.

Визначаємо максимальну швидкість наростання вихідної напруги, яку повинен забезпечити операційний підсилювач DA_1

$$V_{max} = 2\pi \cdot f_в \cdot U_{вих.т} = 2\pi \cdot f_в \cdot U_{вих.т} \cdot 10^{-6} (В / мкс).$$

Вибираємо тип операційного підсилювача, який має такі електричні параметри: $U^{\pm}$; $V_{макс}$; K_{u0} ; $\Delta U_{зм} / \Delta T$ ($мкВ/^{o}C$); $R_{вх.д}$; $R_{вих\ оп}$; $I_{вх}$; $R_{н.мін}$; $E_к$; $\Delta I_{вх}$.

Визначаємо необхідне значення коефіцієнта підсилення каскаду за напругою

$$K_u = \frac{U_{вих.т}}{E_г}.$$

Задаємося допустимим дрейфом вихідної напруги $E_{др}$, переважно $E_{др} > (K_u + 1) \cdot (\Delta U_{зм} / \Delta T) \cdot \Delta T_{ос}$ ≈ (20 – 100) *мВ* і визначаємо значення резистора зворотного зв'язку [24-27]

$$R_З \le \frac{E_{др} - (K_u + 1) \cdot (\Delta U_{зм} / \Delta T) \cdot \Delta T_{ос}}{(\Delta \Delta I_{вх} / \Delta T) \cdot \Delta T_{ос}}$$

де $\Delta \Delta I_{вх} / \Delta T$ – температурний дрейф різниці вхідних струмів, $\Delta \Delta I_{вх} / \Delta T \approx \Delta I_{вх} \cdot \delta_{\Delta I}$. Температурний коефіцієнт струму операційного підсилювача $\delta_{\Delta I}$ залежить від температурного діапазону і знаходиться в межах (0,5 – 1,5) % / ^oC.

$\Delta T_{ос}$ – максимальна різниця температур оточуючого середовища

$$\Delta T_{ос} = T_{ос.мкс} - T_{ос.мін}.$$

Знаходимо значення резистора R_1 з умови забезпечення необхідного коефіцієнта підсилення за напругою для інвертуючого ввімкнення

$$R_1 = \frac{R_З}{K_u}.$$

Розраховуємо значення вхідного опору каскаду для інвертуючого ввімкнення операційного підсилювача

$$R_{вх.зз} = \frac{\left(R_1 + \frac{R_З}{1 + K_{u0}}\right) \cdot R_{вх.д}}{R_1 + R_{вх.д} + \frac{R_З}{1 + K_{u0}}}.$$

Визначаємо амплітудне значення струму в навантаженні, яке повинен забезпечити підсилювальний каскад

$$I_{н.т} = \frac{U_{вих.т}}{R_н}.$$

Максимальний струм, який може забезпечити безпосередньо сам операційний підсилювач, не може перевищувати значення

$$I_{оп.макс} \le \frac{\left|U^{\pm}\right|}{R_{н.мін}}.$$

Транзистори VT_1 і VT_2 забезпечують підсилення за струмом і потужністю і являють собою комплементарний повторювач напруги. Ці транзистори повинні відповідати таким вимогам

$$I_{к.доп} > I_{н.т};\ f_\beta > (3 \div 10)\cdot f_в;\ U_{кe.доп} > E_ж;\ \beta_{мін} > \frac{I_{н.т}}{I_{оп.макс}}.$$

Вибираємо типи транзисторів, для яких відомі електричні параметри: $\beta_{мін;}\ f_\beta;\ U_{кe.доп};\ I_{к.доп};\ r_б;\ P_{к.\ доп}$.

Визначаємо вихідний опір повторювача напруги на транзисторах VT_1 і VT_2

$$R_{вих.п} = r_e + \frac{r'_б + R_{вих.оп}}{1+\beta_{мін}} \cong \frac{\varphi_T}{I_e} + \frac{r'_б + R_{вих.оп}}{1+\beta_{мін}}.$$

Визначаємо вихідний опір підсилювача з врахуванням загального від'ємного зворотного зв'язку

$$R_{вих.зз} = \frac{R_{вих.п}}{1+\beta_{зз}\cdot K_{u0}} = \frac{R_{вих.п}}{1+\frac{R_1}{R_3}\cdot K_{u0}}.$$

Розраховуємо резистор R_2 з умови зменшення впливу дрейфу різниці вхідних струмів на дрейф вихідної напруги операційного підсилювача. Якщо C_1 відсутній, то

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}.$$

При наявності C_1

$$R_2 = R_3.$$

Розподіляємо частотні спотворення на нижній частоті між конденсаторами схеми $M_{н[дб]} = M_{н1[дб1]} + M_{н2[дб]}$, переводимо частотні спотворення на нижній частоті у відносні одиниці ($M_н = 10^{0,05 \cdot Мн[дб]}$) і розраховуємо значення ємностей конденсаторів C_1 і C_2:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f_н \cdot (R_г + R_{вх.зз}) \cdot \sqrt{M_{н1}^2 - 1}},$$

$$C_2 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_н \cdot (R_{вих.зз} + R_н) \cdot \sqrt{M_{н2}^2 - 1}}.$$

Якщо C_1 відсутній, то частотні спотворення визначаються тільки конденсатором C_2.

Визначаємо статичну похибку коефіцієнта підсилення каскаду за напругою

$$\delta_{ст} = \frac{100}{1 + \beta_{зз} \cdot K_{U_0}} = \frac{100}{1 + \frac{R_1}{R_3} \cdot K_{U_0}} (\%).$$

Для розрахунку схеми підсилювача у випадку неінвертуючого сигналу задано: $U_{вих.т}$ − амплітудне значення вихідної напруги; $R_н$ − опір навантаження; $E_г$ − електрорушійна сила джерела вхідного сигналу; $R_г$ − опір джерела вхідного сигналу; $f_н$; − нижня частота робочого діапазону частот; $f_в$ − верхня робоча частота; $M_{н(дб)}$ − коефіцієнт частотних спотворень на нижній частоті; $T_{ос.мін;}$ $T_{ос.макс}$ − мінімальна і максимальна температури оточуючого середовища [24-27].

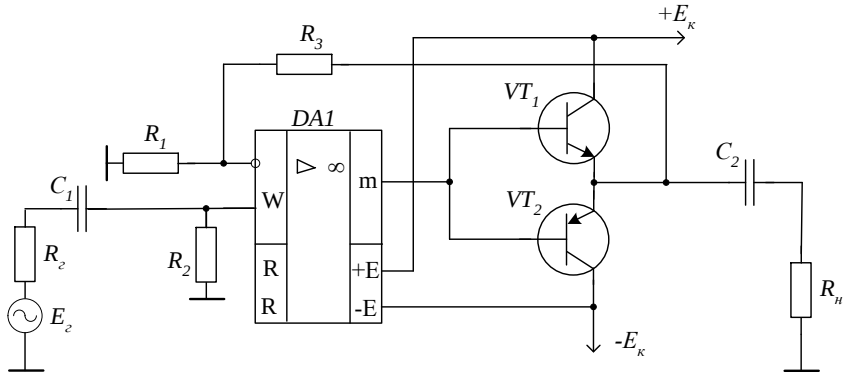


Рисунок 2.8 - Схема н каскаду підсилення на операційному підсилювачі у випадку неінвертуючого сигналу

Розрахунок починаємо з вибору типу інтегрального операційного підсилювача. Визначаємо максимальну швидкість наростання вихідної напруги, яку повинен забезпечити операційний підсилювач DA_1

$$V_{max} \geq 2 \cdot \pi \cdot f_в \cdot U_{вих.т} = 2 \cdot \pi \cdot f_в \cdot U_{вих.т} \cdot 10^{-6} (В / мкс).$$

Вибираємо тип операційного підсилювача, який має такі електричні параметрами: $U^{\pm}_{вих}$; $V_{макс}$; $K_{и0}$; $\Delta U_{зм} / \Delta T$ $(мкВ/^{o}C)$; $R_{вх.д}$; $R_{вих.оп}$; $I_{вх}$; $R_{н.мін}$; $E_{ж}$.

Визначаємо необхідне значення коефіцієнта підсилення каскаду за напругою

$$K_u \geq \frac{U_{вих.т}}{E_г}.$$

Задаємося допустимим дрейфом вихідної напруги підсилювального каскаду $E_{др}$ = (20 – 100) *мВ* і визначаємо значення резистора зворотного зв'язку

$$R_3 \leq \frac{E_{др} - K_u \cdot (\Delta U_{зм} / \Delta T) \cdot \Delta T_{ос}}{(\Delta I_{вх} / \Delta T) \cdot \Delta T_{ос}}.$$

де ($\Delta I_{вх}$ /ΔT) − температурний дрейф вхідного струму операційного підсилювача. Приймаємо ($\Delta I_{вх}/\Delta T$) ≈ $I_{вх}$/100;

$\Delta T_{ос}$ − максимальна різниця температур оточуючого середовища

$$\Delta T_{ос} = T_{ос.макс} - T_{ос.мін}.$$

Знаходимо значення резистора R_1 з умови забезпечення необхідного коефіцієнта підсилення за напругою для неінвертуючого ввімкнення операційного підсилювача

$$R_1 = \frac{R_3}{K_u - 1}.$$

Розраховуємо значення вхідного опору для неінвертуючого ввімкнення операційного підсилювача

$$R_{вх.зз} == R_{вх.д} \cdot (1 + \beta_{зз} \cdot K_{uo}) = R_{вх.д} \cdot \left(1 + \frac{R_1 \cdot K_{uo}}{R_1 + R_3}\right).$$

Визначаємо амплітудне значення струму в навантаженні, яке повинен забезпечити підсилювальний каскад

$$I_{н.т} = \frac{U_{н.т}}{R_н}.$$

Максимальний струм, який може забезпечити безпосередньо сам операційний підсилювач, не повинен перевищувати значення

$$\frac{\left|U^-_{вих}\right|}{R_{н.мін}} \geq I_{оп.макс} \leq \frac{\left|U^+_{вих}\right|}{R_{н.мін}}.$$

Транзистори VT_1 і VT_2 забезпечують підсилення за струмом і потужністю і складають схему комплементарний повторювач напруги. Параметри транзисторів повинні відповідати таким вимогам

$$I_{к.доп} > I_{н.т};\ f_\beta > (3 \div 5)\cdot f_в;\ U_{ке.доп} > E_ж;\ \beta_{мін} > \frac{I_{н.т}}{I_{оп.макс}}.$$

Вибираємо типи транзисторів VT_1 і VT_2 , які мають необхідні електричні параметри.

Визначаємо вихідний опір повторювача напруги на транзисторах VT_1 і VT_2

$$R_{вих.п} = r_e + \frac{r'_б + R_{вих.оп}}{1+\beta_{мін}} = \frac{\varphi_T}{I_e} + \frac{r'_б + R_{вих.оп}}{1+\beta_{мін}}.$$

Визначаємо вихідний опір підсилювача з урахуванням загального від'ємного зворотного зв'язку

$$R_{вих.зз} = \frac{R_{вих.п}}{1+\beta_{зз}\cdot K_{u0}} = \frac{R_{вих.п}}{1+\frac{R_1\cdot K_{u0}}{R_1+R_3}}.$$

Вибираємо резистор R_2 з умови забезпечення необхідного значення вхідного опору підсилювального каскаду на операційному підсилювачі і усунення впливу опору джерела вхідного сигналу

$$R_2 \geq (10 \div 20) \cdot R_г .$$

Розподіляємо частотні спотворення на нижній частоті між конденсаторами схеми C_1 і C_2 $M_{н[дб]} = M_{н1[дб1]} + M_{н2[дб]}$, переводимо частотні спотворення на нижній частоті у відносні одиниці ($M_н = 10^{0,05 \cdot Мн[дб]}$) і розраховуємо значення ємностей конденсаторів

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_н \cdot (R_г + R_2) \cdot \sqrt{M_{н1}^2 - 1}},$$

$$C_2 \geq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_н \cdot (R_{вих.зз} + R_н) \cdot \sqrt{M_{н2}^2 - 1}}.$$

Визначаємо статичну похибку коефіцієнта підсилення каскаду за напругою

$$\delta_{ст} = \frac{100}{1 + \beta_{зз} \cdot K_{U_0}} = \frac{100}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_3} \cdot K_{U_0}} (\%).$$

Моделювання підсилювального каскаду було проведено за допомогою САПР multisim. Результати моделювання представлені на рисунку 2.9[24-27].

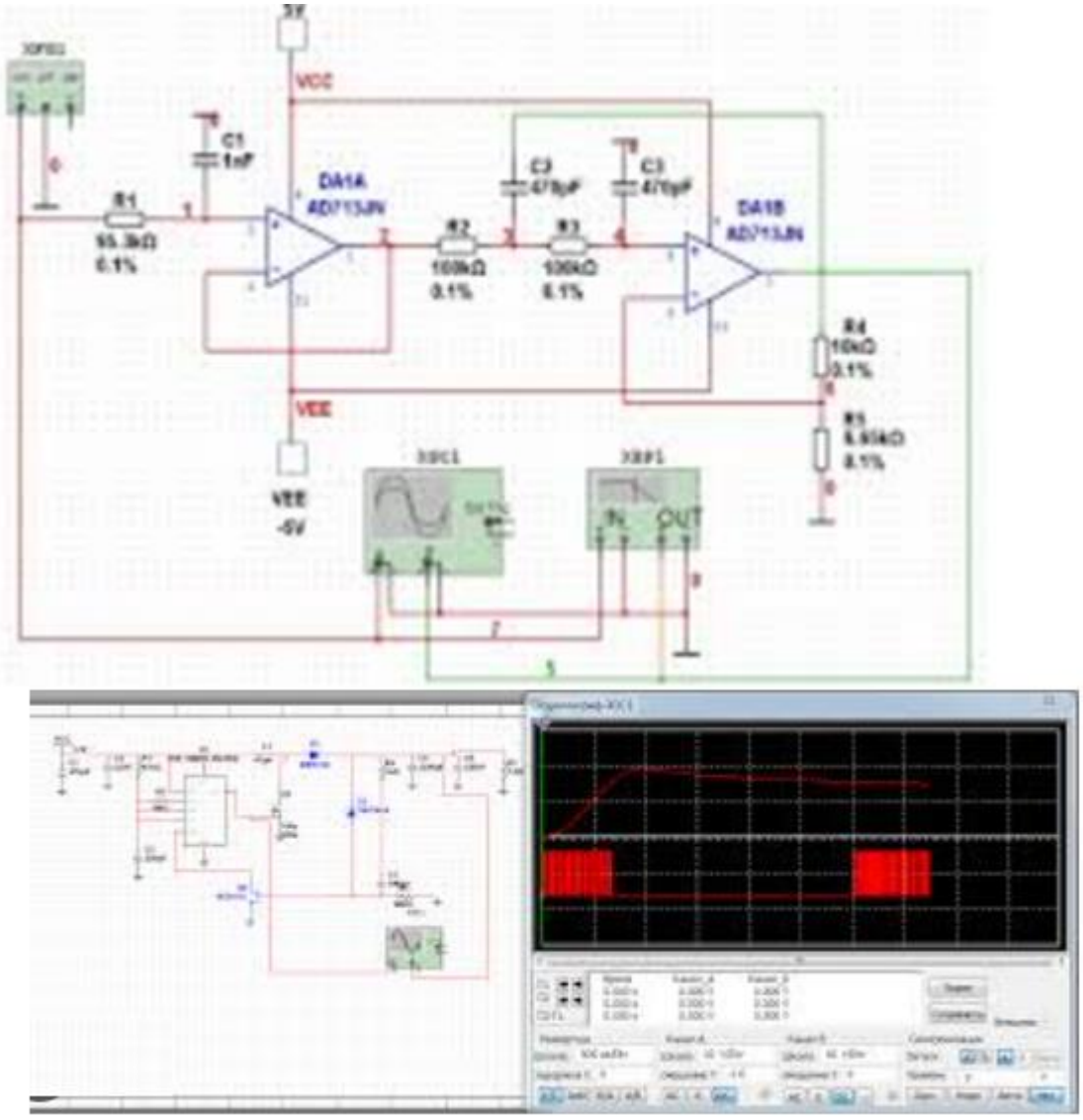


Рисунок 2.9 - Моделювання вхідного підсилювального каскаду

Як видно із аналізу, вхідний каскад не впливає на характеристики підсилювального сигналу, що надходить від датчика реєстрації, тому у якості робочої схеми було вирішено використати схему, представлену на рисунку 2.10.

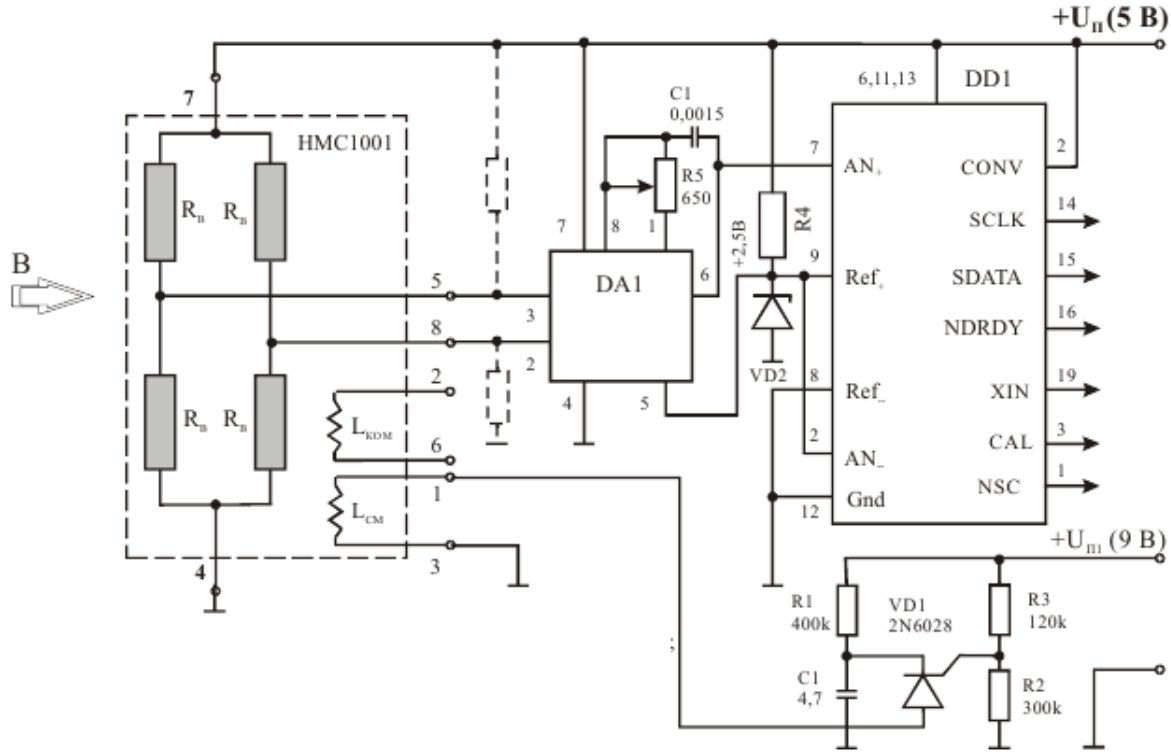


Рисунок 2.10 – схема каналу реєстрації та обробки сигналу датчика слабкого магнітного поля

У представленій схемі у якості вхідного підсювача використаний буферний підсилювач DA1 на мікросхемі TDA2009 (рисунок 2.11).



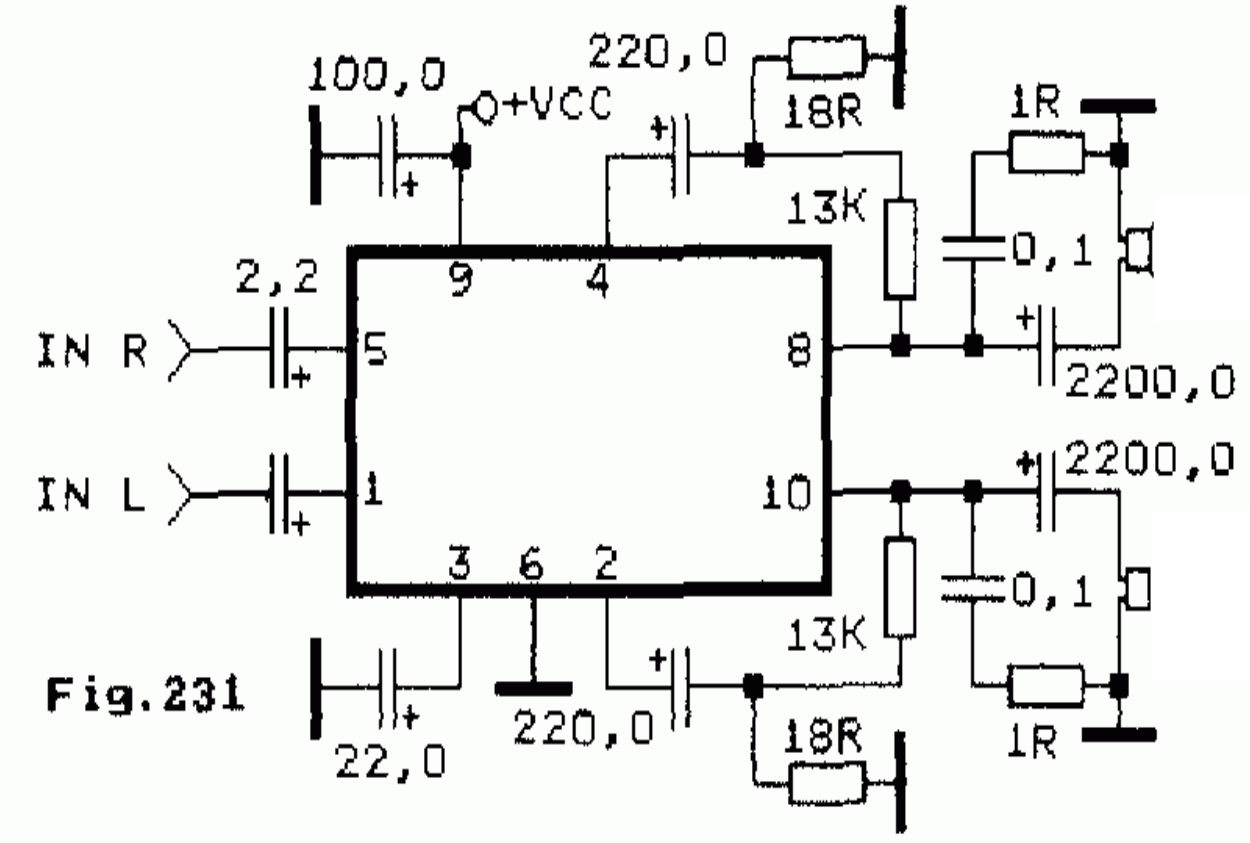
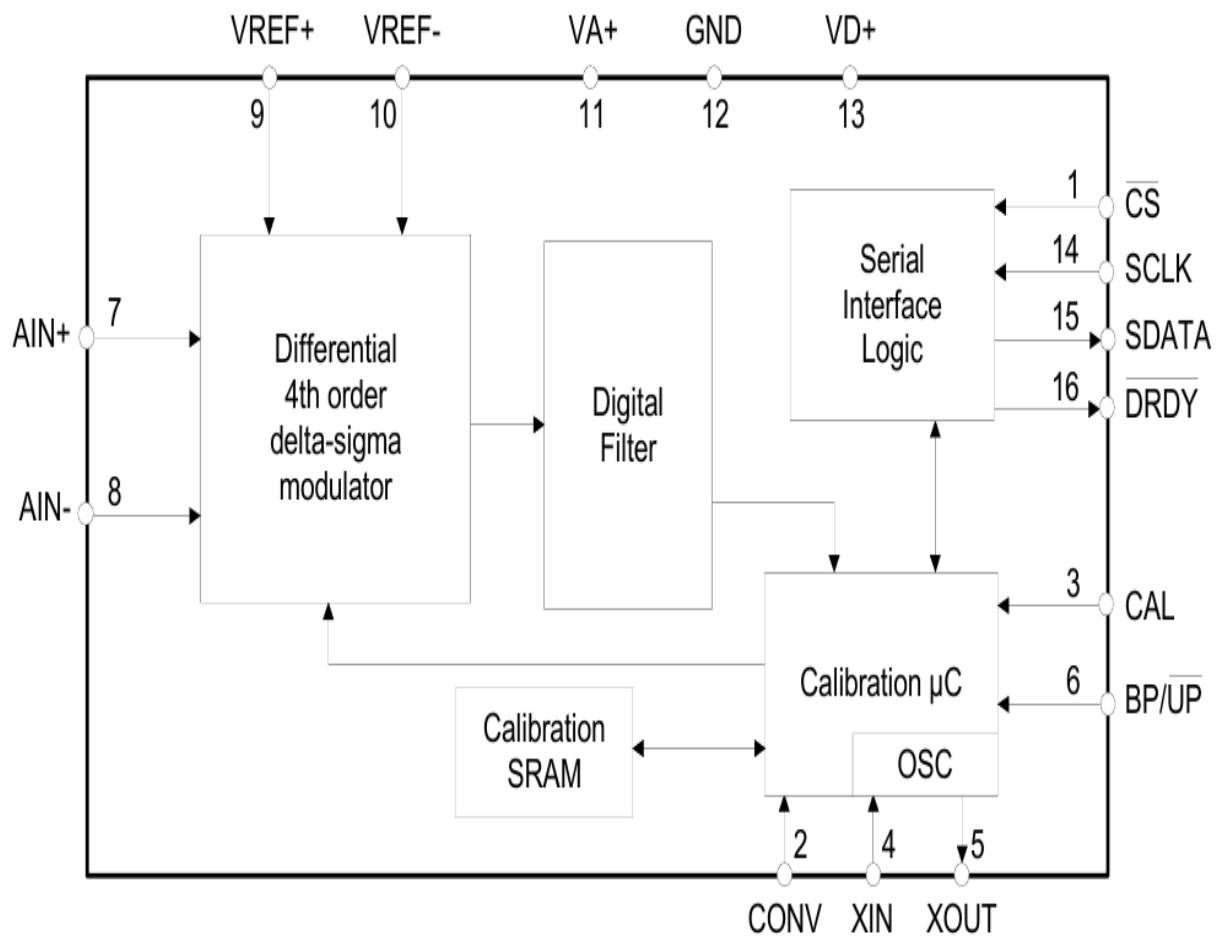


Рисунок 2.11 – Буферний підсилювач TDA2009[28]

Після реєстрації аалоговий синал від магнітного поля надходить через підсилювач TDA2009 до АЦП, який реалізований на мікросхемі CS 5509 (рисунок 2.12) [29].



Риунок 2.12 – АЦП блоку реєстрації та обпробки сигналу датчика слабкого магнітного поля на мікросхемі CS 5509 [29]

В подальшому схему реєстратора пропонується доповнити мікрконтролером із каналом передачі даних на комп’ютер.

2.6 Моделювання роботи каналу реєстрації та обробки сигналів датчика слабкого магнітного поля

На рисунку 2.13 представлена модель каналу реєстрації та обробки сигналів датчика слабкого магнітного поля, зібрана в редакторі САПР Proteus [30,31].

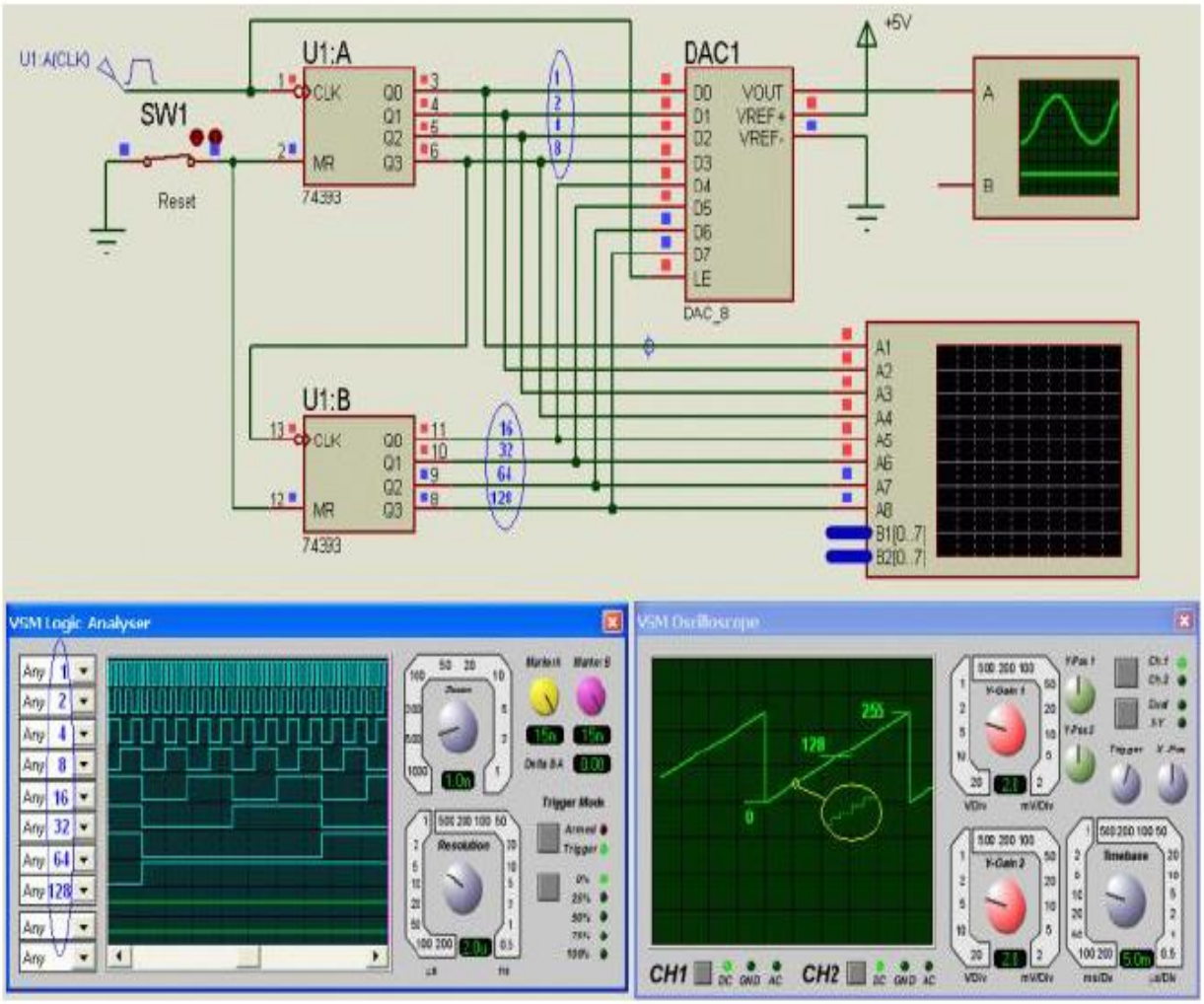


Рисунок 2.13 - Модель каналу реєстрації та обробки сигналів датчика слабкого магнітного поля

Свідчення, зафіксовані на вимірювальних пристроях, показують стабільний режим роботи пристрою.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) аналіз відомих схем показав, що найбільш оптимальним для реєстрації слабких магнітних полів при нормальних умовах буде магніто-резистивний метод;

2) розроблено структурну схему датчика, яку зібрано на доступних елементах;

3) загальне живлення до реєструючої системи подається від мережі 220 В через випрямний перетворювач, який зібрано на базі стандартної мікросхеми NE555;

5) безпосередня реєстрація сигналу слабкого магнітного поля реєструється за допомогою датчика, реалізованого на мікросхемі HC-1002, яка є магніто-резистивним датчиком, виготовленим за планарними технологіями;

6) обробка аналоговий синал від магнітного поля здійснюється за допомогою мікросхеми CS 5509. Використання цієї мікросхеми дозволило оптимізувати попередні аналоги підвищивши швидкодію і скоротивши кількість додаткових елементів управління мікросхемою;

7) достовірність даних, отриманих під час моделювання експерименту підтверджується.

3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричих схем датчика слабкого магнітного поля

Роботи, що проводяться в дослідницькій лабораторії, не представляють великої небезпеки, оскільки приміщення інженерної академії належать до приміщень без підвищеної небезпеки. Проте вживання електроустаткування може нести в собі ряд шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людей чинників, що працюють з ним. Основну небезпеку дослідницької лабораторії представляють використання електроприладів, які працюють при напрузі небезпечній для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [31-35].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, шляху струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирково-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

3.1 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Тривала робота перед екраном монітора наводить до різних функціональних розладів організму, не говорячи вже про неймовірне навантаження на очі. Захворювання, викликані травмою навантажень, що повторюються, не виявляються відразу, це нездужання, що поступово накопичуються. У цьому їх небезпека. В основному страждають кисті, зап'ястя, плечі, шийна область [31-35]

У виникненні хвороб такого роду найчастіше винні: погана ергономіка робочих місць, дуже високо розташована клавіатура, непідходяще крісло, незнання основних правил роботи за комп'ютером. Правила, що стосуються освітлення в приміщенні і на робочому місці, мікроклімату, розташування клавіатури прості:

- повна тривалість робочого часу, проведеного за екраном монітора із захисним екраном, для дорослого користувача не повинна перевищувати 4 години за 8-годинний робочий день;

- не рекомендується працювати на клавіатурі безперервно більше 30 хвилин, кожну годину необхідно робити п'ятихвилинну перерву, а кожні дві години - 15-хвилинний, причому краще покинути робоче місце, влаштувати розминку для пальців, зробити просту гімнастику для очей;

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

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

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

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

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

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

3.2 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робітниках повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, що діють [31-35]

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є основною (диспетчерські, операторські, розрахункові, кабінети і пости управління, зали обчислювальної техніки і ін.) повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відеотерміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більше)	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
	Легка – 1б	21-23	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0.2

До категорії 1а відносяться роботи, вироблювані сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/ч. До категорії 1б відносяться роботи, вироблювані сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводжуються деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/ч

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що обертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову величину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без відхилень від нормального полягання в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно СН 245-71 встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

У таблиці 3.2 [31-35] приведені гранично допустимі концентрації небезпечних речовин, вживаних при монтажі елементів, згідно СН 245-71.

Таблиця 3.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Речовини	ГДК, мг/м^3
Ацетон	30
Каніфоль	150
Олово	90
Спирт	1000

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нервово-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

Основні засоби техніки безпеки – герметизація апаратури і устаткування, наявність припливний витяжній вентиляції в приміщенні проведення робіт і витяжна шафа для проведення експериментальних досліджень, виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням (рис. 3.1).

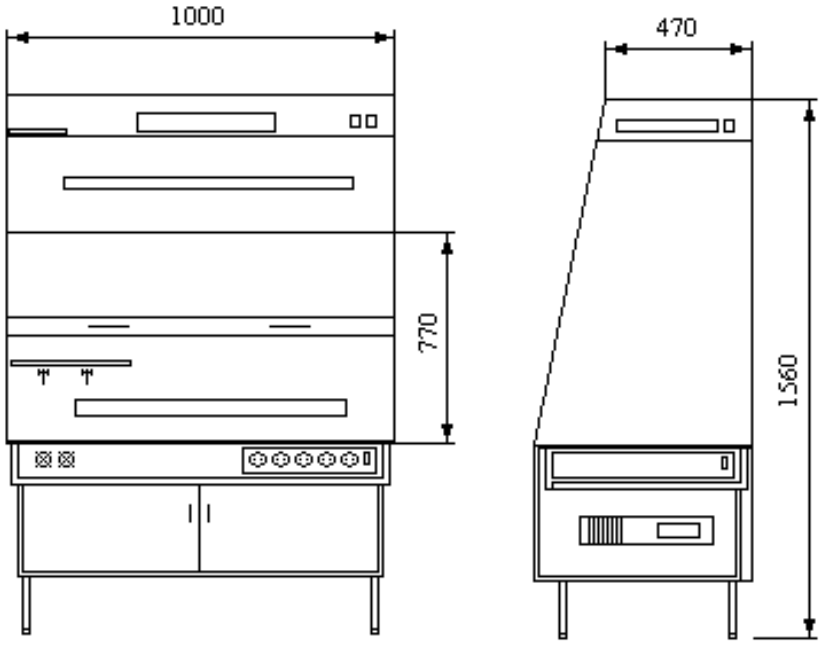


Рисунок 3.1 – Витяжна шафа для проведення експериментальних досліджень, виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням

3.3 Електробезпека

Дія електричного струму на організм людини може бути теплова, хімічна і біологічна. При дії електричного струму на організм людини можуть бути два види поразки: електричні удари і електричні травми. Часто ці види супроводять один одному [31-35].

Захистом від дотику до струмопровідних частин електроустановок є ізоляція дротів, обгороджування, блокування і захисні засоби. Захистом від напруги, що з'явилася на корпусах електроустановок в результаті порушення ізоляції, є захисне заземлення, занулення і захисне відключення.

Захисне заземлення влаштовується в мережах з ізольованою нейтраллю. Воно є навмисним з'єднанням із землею неструмопровідних металевих частин електроустановок.

Захисне заземлення необхідне для зниження напруги відносно землі до безпечної величини на металевих корпусах електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою, але що виявилися під таким в результаті пошкодження ізоляції.

При зниженні напруги на корпусах відносно землі струм, що проходить через людину, що стосується корпусу, знижується до безпечної величини (10 мА).

На ділянці проведення експерименту в лабораторії застосовується електроустаткування до 220 В. Електроживлення здійснюється від розподільних щитів за допомогою комутуючих автоматів, що виробляють захист того або іншого об'єкту.

Приміщення відноситься до приміщень без підвищеної безпеки.

Відповідно до ПЗП приміщення лабораторії відносять до класу по пожежобезпеці П-11 а. Міра захисту електроустаткування 1 Р44.

Прокладка сполучних дротів здійснюється в трубах, що забезпечує надійний захист від механічних пошкоджень дротів [31-35]

3.4 Пожежна безпека та техногенна безпека

Приміщення, де виробляється травлення печатних плат, відноситься до вибухонебезпечного, оскільки водень, що виділяється при травленні, з атмосферним киснем утворює вибухонебезпечну суміш. Проте це може статися лише при відключенні вентиляції, тобто при аваріях. Отже, приміщення відноситься до класу В-Іа. По мірі пожежної безпеки дане виробництво згідно СНіП 11-90-81 може бути віднесене до категорії Д, оскільки характеризується наявністю речовин, що лише не згорають, і матеріалів в холодному стані [31-35].

Характерними причинами виникнення пожеж в лабораторії є необережне поводження з вогнем, порушення технологічних процесів, неправильні

електропроводки і устаткування, неправильне користування електричними приладами і ін.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться лабораторія, виконані з тих, що не згорають і важко згорають матеріалів, що цегельних і виштукатурюють. Отже, вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно СНіП 11-90-81, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі.

Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість просування людей при евакуації – 16 м/хв [31-35].

Згідно ПУЕ, будівля, в якій знаходиться лабораторія по захисту від блискавки, відноситься до категорії С і захищається від прямих ударів блискавок, і від занесення високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації, їх приєднують при введенні в захищаємий об'єкт до заземлення електроустаткування. Отже, грозозахист засновано на стержневих громовідводах.

Для попередження пожеж в лабораторії необхідно створити строгий протипожежний режим. Створюється загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж при на робочому місці; створюється план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафках, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожежі горючих матеріалів, що починається, а також горючих рідин використовується ручний пінний вогнегасник ОХП-10. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислий вогнегасник ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, в кількості двох вогнегасників на кожну установку. Існують пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожеж-

ної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації.

Визначимо технічні і організаційні заходи в лабораторії того, що труїть печатних плат. До технічних заходів відносяться протипожежні заходи, вживані лабораторії:

- територію лабораторії необхідно постійно містити в чистоті, горюче сміття повинне систематично віддалятися на спеціально відведені ділянки і у міру накопичення вивозитися;

- всі струмопровідні частини, розподільні пристрої, рубильники і інші пускові апарати вмонтовуються на негорючих підставах (мармур, текстоліт, гетинакс, азбест, і тому подібне);

- вимір опору ізоляції електромережі проводиться не рідше два раз на рік. Несправні ділянки знеструмлюються і замінюються новими;

- вся електрична апаратура, встановлена в лабораторії, виконується вибухозахищеною;

- для усунення можливості проникнення пари і газів з цеху в сусідні приміщення виводи дротів крізь стіни робляться із застосуванням фарфорових трубок, отвори яких закриваються кислотностійкою мастикою;

- куріння в приміщенні строго забороняється;

- на випадок виникнення пожежі необхідно передбачити можливість евакуації людей. Евакуаційні дороги повинні забезпечувати евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщенні лабораторії протягом необхідного часу. Число евакуаційних доріг не менше два. Кількість та розміри евакуаційних виходів з будівель і приміщень, їхні конструктивні й планувальні рішення, умови освітленості, забезпечення незадимленості, протяжність шляхів евакуації, їх облицювання (оздоблення) повинні відповідати протипожежним вимогам будівельних норм.

- евакуаційні шляхи і виходи повинні утримуватися вільними, нічим не захаращуватися і в разі виникнення надзвичайної ситуації забезпечувати безпеку під час евакуації всіх людей, які перебувають у приміщеннях будівель

та споруд, двері на дорогах евакуації навішуються так, щоб відкривалися по направленню виходу з будівлі;

- мінімальна ширина дверей на дорогах евакуації не менше 0,8 м;

- висота переходу на дорогах евакуації не менше 2 м;

- пристрій гвинтових сходів і змінних рівнів на дорогах евакуації не допускається;

- схема евакуації людей ретельно розробляється і вивішується на видних місцях;

- весь трудовий колектив проходить навчання заходам пожежної безпеки.

- у разі розміщення технологічного, експозиційного та іншого обладнання в приміщеннях повинні бути забезпечені евакуаційні проходи до сходових кліток та інших шляхів евакуації відповідно до будівельних норм.

Не допускається:

- влаштовувати на шляхах евакуації пороги, виступи, турнікети, розсувні, підйомні двері, такі двері, що обертаються, та інші пристрої, які перешкоджають вільній евакуації людей;

- захаращувати шляхи евакуації (коридори, проходи, сходові марші і площадки, вестибюлі, холи, тамбури тощо) меблями, обладнанням, різними матеріалами та готовою продукцією, навіть якщо вони не зменшують нормативну ширину;

- забивати, заварювати, замикати на навісні замки, болтові з'єднання та інші запори, що важко відчиняються зсередини, зовнішні евакуаційні двері будівель;

Для оптимального здійснення евакуації з будівель та споруд різного призначення створюються відповідні комісії. Вони скеровуються з Міністерства з надзвичайних ситуацій України.

Основними завданнями комісій з евакуації відповідних суб'єктів господарської діяльності є: розроблення планів евакуації, на випадок виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру; організація та

проведення у евакуації; установи чи організації щодо забезпечення проведення евакозаходів; визначення основних напрямів роботи щодо проведення евакозаходів; підготовка і перепідготовка особового складу евакокомісії.

Забезпечення техногенної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності суб'єктів господарювання. Забезпечення техногенної безпеки покладається на відповідних посадових осіб, керівників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними нормативно-правовими або цивільно-правовими актами. Заходи щодо забезпечення техногенної безпеки враховуються органами архітектури, замовниками, забудовниками, проектними та будівельними організаціями при проектуванні та забудові населених пунктів, будівництві, розширенні, реконструкції та технічному переоснащенні потенційно небезпечних об'єктів, установ та організацій.

Відповідні заходи, які обумовлюють стан захищеності населення і об'єктів від негативних наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру, повинні виконуватись як окремі розділи або визначатись у розділах інженерно-технічних заходів цивільного захисту та техногенної безпеки до проектів планування та забудови проектів (робочих проектів) ПНО або ОПН, їх будівель та споруд, погоджених зі спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань цивільного захисту і затверджених у порядку, установленому спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань будівництва і архітектури.

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами виконання роботи можна зробити наступні висновки:

1) аналіз відомих схем показав, що найбільш оптимальним для реєстрації слабких магнітних полів при нормальних умовах буде магніто-резистивний метод;

2) розроблено структурну схему датчика, яку зібрано на доступних елементах;

3) загальне живлення до реєструючої системи подається від мережі 220 В через випрямний перетворювач, який зібрано на базі стандартної мікросхеми NE555;

4) перетворення напруги живлення здійснюється за допомогою DC-DC-понижувального перетворювача з 15В 3 – 9 В і далі подається до безпосереднього вимірника магнітного поля і на живлення АЦП бллоку обробки сигналу. DC-DC-понижувальний перетворювач пропонується скласти на основі мікросхеми MP1584EH. Ця мікросхема перевершує старі конвертери на LM2596

5) безпосередня реєстрація сигналу слабкого магнітного поля реєструється за допомогою датчика, реалізованого на мікросхемі HC-1002, яка є магніто-резистивним датчиком, виготовленим за планарними технологіями;

6) після реєстрації аалоговий синал від магнітного поля надходить через підсилювач TDA2009 до АЦП, який реалізований на мікросхемі CS 5509. Використання цієї мікросхеми дозволило оптимізувати попередні аналоги підвищивщи швидкодію і скоротивши кількість додаткових елементів управління мікросхемою;

7) у роботі проведено моделювання основних функціональних вузлів каналу реєстрації сигналу задопомогою сучасних САПР. Достовірність даних, отриманих під час моделювання експерименту підтверджується.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших дослідженнях нових пристроїв електроніки;

2) макетний варіант системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

Перелік посилань

1. Федишин Я. І. Фізика з основами біофізики. Львів: Світ, 2005 – 552с.

2. Scherbakov, G.N., Antselevich, M.A., Udintsev, D.N., (2005). Ways to improve the noise immunity of magnetometric search tools and their practical implementation // Special equipment, 3, 19-24.

3. Electrosmog – a phantom risk. Copyright 1996 by Swiss Reinsurance Company Author: Christian Brauner, D-Freiburg i.Br. 33 p

4. Ripka, P. Magnetic Sensors and Magnetometers / P. Ripka. – Boston: Artech house, 2000. – 494 p.

5. Ripka P. Advances in Magnetic Field Sensors // IEEE Sensors journal. – 2010. – Vol. 10, N 6. – P.1108-1116.

6. Hava Can, Uğur Topal Design of Ring Core Fluxgate Magnetometer as Attitude Control Sensor for Low and High Orbit

7. Satellites // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism March. – 2015. – Vol. 28, № 3. – P.1093-1096.

8. EMI Shielding: Methods and Materials—A Review. S.Geetha, K.K. Satheesh Kumar, Chepuri R.K. Rao, M. Vijayan, D.C. Trivedi. Journal ofAppliedPolymer Science,Vol. 112, 2073–2086 (2009).

9. Васецький Ю.М. Електродинаміка. Основні поняття, потенціальні та квазістаціонарні поля : навч. посібн. – Київ : Вид-во Нац. авіац.ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 160 с.

10. Теорія електромагнітного поля і основи техніки НВЧ: навч. посіб. / С. В. Соколов, Л. Д. Писаренко, В. О. Журба; за заг. ред. Г. С. Воробйова. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 393 с.

11. Hava Can, Uğur Topal Design of Ring Core Fluxgate Magnetometer as Attitude Control Sensor for Low and High Orbit

12. Фізика : підручник / І. Є. Лопатинський, І. Р. Зачек, Г. А. Ільчук, Б. М. Романишин. Львів : Афіша, 2009. - 384 с.

13. Чолпан, П.П. Фізика: підручник / П.П. Чолпан. – Київ : Вища школа, 2003. - 568 с.

14. Посудін Ю.І. Фізика: підручник / Ю.І. Посудін. - Біла Церква: Вид-во БНАУ, 2008. - 250 с.

15. Бушок Г. Ф., Венгер Є. Ф. Курс фізики частина 2. Київ : Вища школа, 2003 – 278с..

16. Кучерук І. М, Горбачу. І. Т. Загальна фізика. Електрика і магнетизм. Київ : Вища школа 1990, 367с.

17. Open Educational Resources веб-сайт. URL: http : //www. https://ocw.mit.edu / (дата звернення: 10.01.2025).

18. Реєстратор магнітного поля ВЕГА-Р2 веб-сайт. URL: http : https://vest-m.com.ua/ (дата звернення: 10.01.2025).

19. Датчик магнітного поля NUL-214 веб-сайт. URL: http : https://inter-systems.kiev.ua/ (дата звернення: 10.01.2025).

20. ADS1115 are 2mm Ч 1,5mm Ч 0,4mm precision analog-to-digital converters (ADCs) with 16 bits of resolution offered in an ultra-small, leadless QFN-10 package or an MSOP-10 package. Texas Instruments Incorporated веб-сайт. URL: http : // www.ti.com/ (дата звернення: 10.01.2025).

21. Calcutt D., Cowan F., Parchizadeh H. 8051 Microcontrollers: An Applications Based Introduction. Oxford: Newnes, 2004.

22. Mazidi M.A., McKinlay R. 8051 Microcontroller and Embedded Systems. NJ: Prentice Hall, 2005. 640 p.

23. Magnetic Sensor Products HMC / HMR Series. 1999. – 4 p

24. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Підручник для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Львів : “Новий Світ – 2000”; “Магнолія плюс”. 2003. 208 с.

25. Гуржій А.М., Самсонов В.В., Поваротнюк Н.І. Імпульсна та цифрова техніка: Підручник. – Харків : Компанія “Сміт”, 2005. 424 с.

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

27. Електроніка та мікросхемотехніка / В.І. Сенько, М.В. Панасенко, Є.В. Сенько та ін. – К.: Обереги.2000. – Т1. – 299с.

28. Схема усилителя TDA2009 веб-сайт. URL: http : https://radiostorage.net (дата звернення: 10.01.2025)

29. Single-supply, 16-bit A/D Converter веб-сайт. URL: http : https://www.cirrus.com (дата звернення: 10.01.2025).

29. Курс Arduino. Базовий веб-сайт. URL: http : // https://siluette.com.ua/uk/product/arduino/ (дата звернення: 10.01.2025).

30. Antognetti, P.; Massobrio, G.: Semiconductor device Modeling with SPICE. New York: McGrawwHill, 1988

31. Бєлоконь К. В., Куріс Ю. В., Манідіна Є. А. Інформаційні технології в охороні праці : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 263 "Цивільна безпека" ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 160 с. URL: http://ebooks.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/2018/f359035.pdf.

32. Бєлоконь К. В., Рижков В. Г., Куріс Ю. В., Манідіна Є. А. Основи охорони праці : навч.-метод. посіб. Запорііжжя : ЗДІА, 2015. 180 с. URL http://ebooks.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/do2018/f356296.pdf.

33. Бєлоконь К. В., Суржицька Л. А., Цимбал В. А., Карнаух А. А. Цивільний захист : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 69 с. URL: http://files.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/do2018/f356329.pdf.

34. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В.Г. Рижков – Запоріжжя, 2005. – 43 с.

35. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В.Г. Рижков. – Запоріжжя, 2005. – 24 с.