

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему Мікропроцесорний перетворювач магнітного поля на магнітотранзисторі.

08-05.МКР.153.10.000

Виконав: студент 2-го курсу, групи МНТ-18м,
Спеціальність

153 – «Мікро – та наносистемна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

_____ Чайковський О.В.

(Прізвище та ініціали)

Керівник, к.т.н., доцент

_____ Мартинюк В.В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент, к.т.н., ст. викл. кафедри РТ

_____ А.О.Семенов

(Прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр
Спеціальність 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕНС
д.т.н., проф. Білинський Й.Й

«3» вересня 2019р.

ЗАВДАННЯ ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Чайковський Олександр Вікторович

1. Тема МКР: Мікропроцесорний перетворювач магнітного поля на магнітотранзисторі.

керівник роботи Мартинюк Володимир Валерійович к.т.н., доцент

затверджено наказом ВНТУ від «3» вересня року №.254

2. Строк подання студентом роботи: 12.12.2019

3. Вихідні дані для виконання роботи:

Розробити електричну схему та друковану плату перетворювача індукції магнітного поля на мікроконтролері з наступними параметрами: напруга живлення $U_{ж} = +5$ В; величина індукції магнітного поля $B_{мін}=0,01$ мТл, $B_{мах}=0,4$ Тл; наявність живлення від мережевого блоку та від резервної батареї; вивід результатів вимірювання на LCD екран; розміри плати – не більше $55 \times 40 \times 1,5$ мм.

1. 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз сучасного стану розробок перетворювачів індукції магнітного поля; структурна та електрична схеми пристрою перетворювача індукції

магнітного поля на мікроконтролері; алгоритм роботи мікроконтролера, моделювання роботи схеми; заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

2. 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
схема електрична принципова, друкована плата, складальне креслення.

6. Консультанти розділів МК роботи

1. Науковий керівник _____ Мартинюк В. В. к.т.н., доцент.
(підпис)

2. Економічна частина _____
(підпис) _____
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

3. Охорона праці _____
(підпис) _____
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

«__» _____ 20__ р.

Дата попереднього захисту «12» вересня 2019 р.

Рецензент _____
(підпис)

д. т. н., проф. кафедри РТ А. О. Семенов
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

«__» _____ 20__ р.

Завдання видав
науковий керівник _____ Мартинюк В. В к.т.н., доцент.
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

Завдання отримав магістрант _____ О. В. Чайковський
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

РЕФЕРАТ

Чайковський Олександр Вікторович

«Мікропроцесорний перетворювач магнітного поля на магнітотранзисторі». Магістерська кваліфікаційна робота . – використаних джерела, - с, - додатків.

У роботі досліджено існуючі вимірювачі та системи обрано найбільш оптимальний принцип побудови пристрою . Розроблено структурну схему пристрою на основі магніточутливого перетворювача та описано призначення її основних складових компонентів. Промодельовано розроблену електричну схему в різних режимах роботи, що підтверджує можливість її практичної реалізації. Розраховано параметри друкованої плати та обрано її тип – двостороння. Проведено дослідження, які показали, чутливість частотного перетворювача магнітного поля з магнітотранзистором в діапазоні від 100 до 500 мТл, чутливість змінюється від 6 до 0,3 кГц/мТл. Розбіжність теоретичних та експериментальних даних складає $\pm 5\%$.

ABSTRACT

Alexander Chaikovskiy Viktorovich

«Microprocessor Magnetic Field Converter on Magnetic Transistor». Master's qualification work. - sources used, - with, - applications.

Existing meters and systems are investigated and the most optimal principle of device construction is chosen. The structural scheme of the device based on the magnetosensitive transducer is developed and the purpose of its main constituent components is described. The developed electrical circuit in different modes of operation is modeled, which confirms the possibility of its practical implementation. Circuit board parameters are calculated and its type is double-sided. Studies have been performed which showed the sensitivity of the magnetic field frequency converter with a magnetotransistor in the range from 100 to 500 mTl, the sensitivity varies from 6 to 0.3 kHz / mTl. The discrepancy between theoretical and experimental data is $\pm 5\%$.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБКИ СЕНСОРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	9
1.1 Біполярні магнітотранзистори.....	9
1.2 Магніторезистори.....	11
1.3 Магнітодіоди.....	15
1.4 Ефект Холла.....	16
1.5 Горизонтальний перетворювач Холла.....	22
1.6 Вертикальний перетворювач Холла.....	23
1.7 Сенсор трьохвимірною магнітного поля.....	25
1.8. Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	28
1.9. Оцінювання рівня конкурентоспроможності розробки.....	30
1.10. Висновки до першого розділу.....	34
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	36
2.1 Розробка структурної схеми перетворювача індукції магнітного поля....	36
2.2 Схема електрична принципова перетворювача індукції магнітного поля.	37
2.3 Обґрунтування вибору та аналіз мікроконтролера.....	39
2.4 Розробка алгоритму роботи мікроконтролера.....	41
2.5 Розроблення еквівалентних схем частотного перетворювача магнітної індукції з двозатворним МДН- та магнітотранзистором.....	43
2.6 Розрахунок параметрів та характеристик частотного перетворювача магнітної індукції з двозатворним МДН- транзистором та магнітотранзистором.....	51
2.7 Моделювання роботи схеми.....	57
2.8 Висновки до другого розділу.....	60
3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПЛАТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	61
3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	61
3.2 Вибір класу точності та методу проектування друкованої плати.....	63
3.3 Розрахунок ширини провідників.....	64
3.4 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT.....	66
3.5 Висновки до третього розділу.....	69
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	70
4.1. Прогнозування витрат на виконання НДДКР.....	70
4.2. Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	76
4.3. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.	79
4.4. Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи.....	81

4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР	82
4.5. Висновки до четвертого розділу	83
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	84
5.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці.....	84
5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони.....	85
5.1.2 Виробниче освітлення.....	86
5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання.....	87
5.1.4 Виробничі випромінювання.....	88
5.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки.....	90
5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць.....	90
5.2.2 Електробезпека.....	90
5.2.3 Пожежна безпека.....	91
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників НС.....	92
5.3.1 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	93
5.3.2 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	96
5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля до дії загрозливих чинників НС.....	99
5.4 Висновок до п'ятого розділу.....	100
ВИСНОВКИ	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	105
ДОДАТОК А Технічне завдання.....	107
ДОДАТОК Б Схема електрична принципова перетворювача індукції магнітного поля.....	111
ДОДАТОК В Креслення плати друкованої перетворювача індукції магнітного поля.....	112
ДОДАТОК Г Складальне креслення.....	113
ДОДАТОК Д.....	113
ДОДАТОК Е.....	114
ДОДАТОК Є.....	115

ВСТУП

Актуальність теми

Розробка сенсорних приладів – це один із провідних напрямів розвитку мікроелектроніки, в рамках якого розробляються нові датчики температури, тиску, прискорення, кута нахилу і т.д. Використання пристроїв магнітних вимірювань має важливе значення не тільки у наукових дослідженнях, а й у багатьох галузях промисловості, так як на основі параметрів індукції магнітного поля можна одержати інформацію про процеси в установках атомної і ядерної фізики, властивості матеріалів, якість магнітних елементів і деталей, розробити методи діагностики та виявляти наявність корисних копалин. Магнітні давачі використовуються в системах управління виробничими процесами, вимірювальній і обчислювальній техніці, автомобільній електроніці, в медичних, побутових приладах, в дефектоскопії тощо.

Потреба у мінімальному енергоспоживанні, підвищення вимог точності, невеликі розміри – все це визначає конкурентоспроможність та перспективність нових вимірювальних перетворювачів магнітного поля.

На сьогодні існує велика кількість сенсорів дослідження магнітного поля. Чутливість не задовольняє сучасним потребам. Перспективними є перетворювачі з частотним виходом, які використовують реактивні властивості напівпровідникових структур з від'ємним опором. Це дозволяє відмовитись від використання підсилювальної апаратури та аналогово-цифрових перетворювачів.

Мета дослідження

Метою роботи є підвищення чутливості перетворювача індукції магнітного поля.

Задачі дослідження:

- проаналізувати існуючі пристрої та системи перетворювачів індукції магнітного поля та обрати найбільш оптимальний принцип побудови пристрою;
- запропонувати структурну та електричну принципову схеми пристрою;
- промоделювати схему пристрою в ARES PCB LAYOUT;
- розробити друковану плату та складальне креслення пристрою.
- розглянути методи захисту робітника від магнітної складової електромагнітного випромінювання.
- розробити орієнтовану ефективність і термін окупності витрат на розробку й освоєння виробництва продукції.

Об'єктом дослідження є процес перетворення індукції магнітного поля в частотний сигнал.

Предметом дослідження є параметри та характеристики пристрою.

Методи дослідження:

- аналіз літературних джерел;
- моделювання схеми електричної принципової та розробка плати і складального креслення у відповідних програмних продуктах, що входять до пакету PROTEUS.

Наукова новизна:

Отримав подальший розвиток методом перетворення величини магнітної індукції в частотний інформаційний сигнал за рахунок введення в структуру частотного перетворювача чутливості елемента у вигляді магнітранзистора.

Апробація результатів роботи

Результати дослідження, що викладені в магістерській кваліфікаційній роботі, було апробовано на конференції в ВНТУ 2019р [1].

Структура роботи

Магістерська класифікаційна робота складається з чотирьох розділів. В першому розділі проведено аналіз існуючих перетворювачів індукції магнітного поля, відзначені переваги та недоліки тих чи інших варіантів їх реалізації, а також особливості їх конструктивного виконання. В другому розділі проведено розробку структурної схеми пристрою, також на її основі розробку схеми електричної принципової, наведено їх опис, призначення та особливості функціонування основних вузлів. Третій розділ роботи присвячений розробці топології друкованої плати, вибору матеріалу та способу її виготовлення, а також розробці складального креслення виробу. У четвертому розділі розроблено орієнтовану ефективність і термін окупності витрат на розробку й освоєння виробництва продукції. У п'ятому розділі розглядаються умови праці робітника та методи захисту від електромагнітного випромінювання.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБКИ СЕНСОРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

На сьогоднішній день за допомогою методів та пристроїв магнітних вимірювань вирішується велика кількість задач, основними з яких є визначення магнітних величин, оцінка характеристик магнітних матеріалів, дослідження магнітного поля Землі та інших планет, вивчення фізико-хімічних властивостей матеріалів (магнітний аналіз), дослідження магнітних властивостей атома та атомного ядра, визначення дефектів у матеріалах та виробках (магнітна дефектоскопія) тощо.

У даному розділі розглядаються основні типи приладів і способів для вимірювання магнітного потоку, індукції та напруженості магнітного поля, які в наш час характеризуються значною різноманітністю. На даний час немає чітко розробленої класифікації перетворювачів магнітного поля, однак за принципом використовуваного фізичного явища чи процесу розрізняють магнітомеханічні, індукційні, квантові, магнітооптичні прилади, гальваноманітні тощо.

1.1 Біполярні магніотранзистори

У звичайному біполярному транзисторі, наприклад сплавному р-п-р типу (рисунок 1.1, а), носії заряду що інжектуються з емітера переміщуються паралельно осі транзистора. Основна їх маса проходить відстань рівну ширині бази W . В наслідок дії магнітного поля траєкторія руху інжекттованих носіїв відхиляється від початкового напрямку на кут Холла. Так як ширина бази значно менша розмірів емітера і колектора, то більшість носіїв, що перейшли базову область, попадають у область колектора. Середня відстань, що буде пройдена носіями в базовій області збільшиться. Це приведе до зростання їхньої частки, яка

прорекомбінувала у базі. При цьому зменшиться коефіцієнт передачі струму. Тобто можна сказати, що зросла ефективна товщина бази.

$$W \approx W_0 \sec \varphi \approx W_0 (1 + \mu^2 B^2 / 2). \quad (1.1)$$

Кут Холла звичайно малий, тому і магніточутливість «звичайних» транзисторів мала. В даний час транзистори виготовляються тільки з германію і кремнію. Так як рухливість носіїв заряду вища у германію, ніж у кремнію, то чутливість германієвих транзисторів більша до дії магнітного поля. Можливо також створення магнітотранзисторів з антимоніду індію, що має істотно більшу рухливість носіїв, а це значить, можна забезпечити більшу магніточутливість. Однак транзистори з антимоніду індію можуть працювати тільки при низьких температурах.

Для збільшення магніточутливості транзисторів необхідно, щоб скривлення траєкторії переміщення носіїв, що інжектуються, давало не тільки збільшення ширини бази W , але і до зміни напрямку частини носіїв відносно колектора.

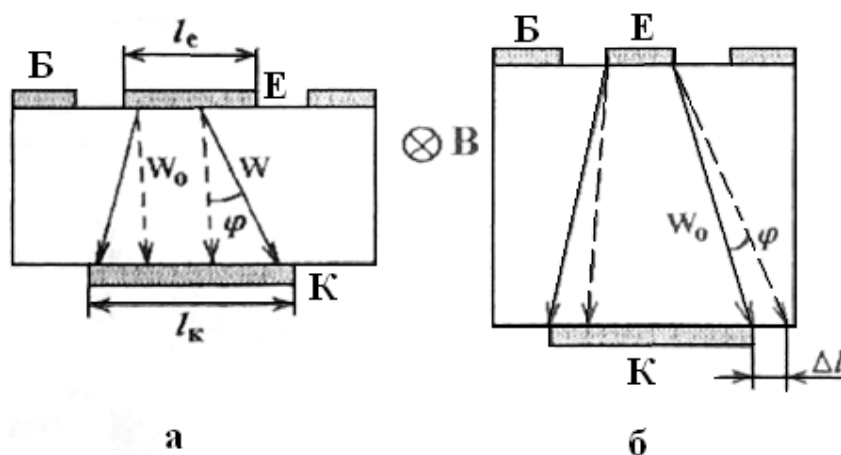


Рисунок 1.1 – Траєкторія руху носіїв заряду, при дії магнітного поля, в р-п-р транзисторі з вузькою (а) і широкою (б) базою

Найбільше практичне поширення одержали горизонтальні (латеральні) магніотранзистори, тобто транзистори, колектори яких розташовані осторонь від емітера на одній поверхні пластини (рисунок 1.2). Їх магніточутливі властивості обумовлені двома основними ефектами: 1) збільшенням ефективної довжини бази, 2) відхиленням носіїв заряду до колектора (або від нього)[1,4,5].

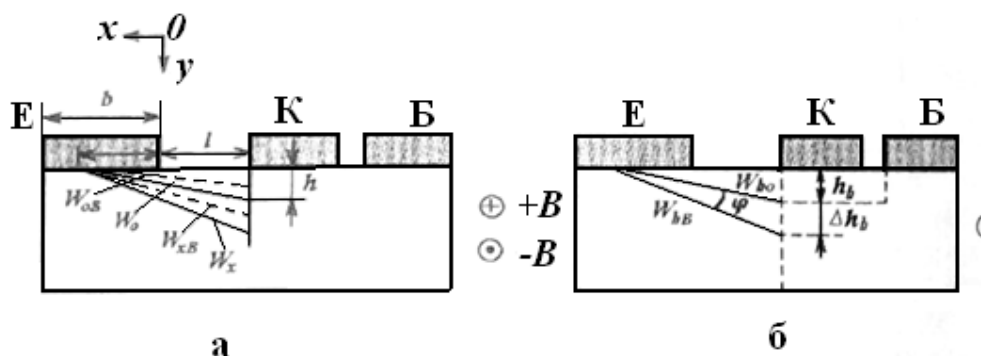


Рисунок 1.2 – Структура одно колекторного магніотранзистора

1.2 Магніторезистори

Магніторезисторні елементи діють за законом електродинаміки, відповідно яких у магнітному полі діє сила Лоренца на рухомі заряди. Яка змушує електрони рухатися по скривлених траєкторіях, тобто подовжує траєкторію струму і цим самим збільшує опір матеріалів. Кількість відхилених електронів пропорційна їх рухливості, та в напівпровідниках, таких як антимонід індію, максимальна, тобто складає $78 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, а у металів - $50 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Магніточутливі резистори створюють з антимоніду індію чи арсеніду індію, які мають рухливість $24 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

На магніточутливі резистори впливає загальне магнітне поле, а не його швидкість зміни. Це важливо для переносних сенсорів, що можуть рухатися з невизначеною швидкістю.

На рисунку 1.3 показана магніторезистивна характеристика. Де H_0 - ефективне поле в металі анізотропії, яке є сумою анізотропії розмагнічуючого поля і поля анізотропії, що виникає при осадженні матеріалу. При відсутності зовнішнього поля в точці 0 утвориться намагніченість доменів. При збільшенні поля відбувається зростання опору доти, доки елементи не повернуться на 45° на ділянці b , щодо елемента довжини. При подальшому зростанні поля відбувається насичення ділянки c . Робота магніторезистора в точці 0 чи на ділянці b можлива за допомогою зовнішнього магніту, що створює зсув. Лінійна характеристика приладу присутня на ділянці b [1].

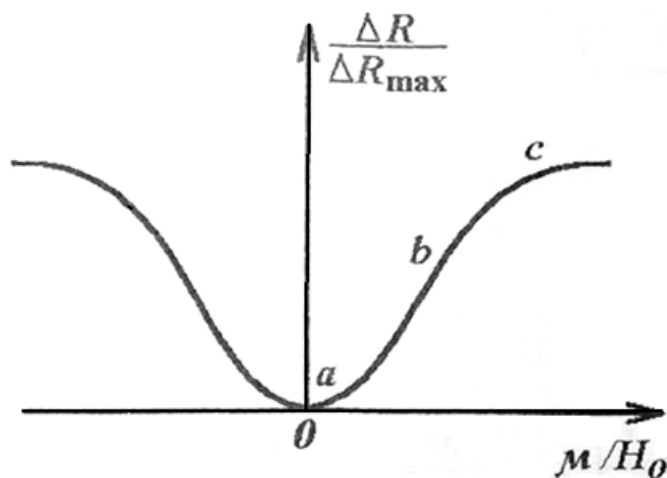


Рисунок 1.3 – Основна магніторезистивна характеристика

Магніторезистивні перетворювачі завдяки досягнутим за останній час високим значенням рухливості носіїв струму у напівпровідникових матеріалів, з яких вони виготовляються, отримують все більше застосування в самих різних

галузях техніки. Магніторезистори в полях з магнітною індукції вище 0,3 Тл теоретично мають більш високу ефективністю, ніж перетворювачі Холла. Багато-підсилювальні прилади, наприклад електронні лампи і транзистори, працюють за принципом регульованого опору, але з тим недоліком, що керуючий сигнал не можна відокремити електричне від опору. У магніторезистора (рисунок 1.3) це можливо, так як управління величиною опору здійснюється магнітним полем [1].

Магніторезистивний сплав, що містить залізо та родій. Відрізняється тим, що з метою збільшення магніторезистивного ефекту і розширення температурного інтервалу роботи, він додатково вміщує палладій при наступному співвідношенні компонентів, мас.% [2].

Особливо корисним є використання ефекту Гауса в приладах типу помножувачів, підсилювачів струму генераторів електричних коливань, вимірювачів магнітного поля і неелектричних величин.

Підкладка ізолюється від плівки з магнітного матеріалу, що може виготовлятися з кераміки чи пластмаси, яка виготовляється тонким ізолюючим покриттям.

В залежності від дії магнітного поля змінюється і опір. При паралельності кристалів антимоніду нікелю досягається максимальна зміна опору, причому електричне й магнітне поле спрямовані під прямим кутом один до одного. Опір, як правило, зменшується з температурою а при прикладенні магнітного поля падіння опору відбувається ще швидше, так що відношення опору під час відсутності поля до опору в магнітному полі спадає з температурою.

Створення магніторезисторів відбувається осадженням плівки з товщиною приблизно $25 \cdot 10^{-6}$ м з антимоніду нікелю або антимоніду індію на підкладку товщиною 10^{-4} м. Форма плівки нагадує меандр; при відсутності магнітного поля опір може змінюватися зі зміною числа петель і розмірів цього меандру.

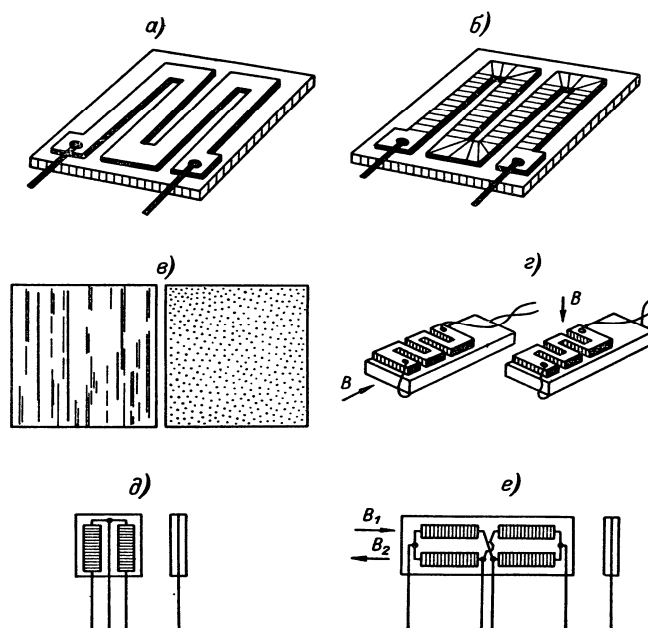


Рисунок 1.4 – Конструкція магніторезисторів: а - магніторезистори з напівпровідниковою пластиною у формі меандру; б - магніторезистори з поперечними провідними смугами на напівпровідниковій пластині; в - евтектичний сплав InSb-NiSb в розрізі при 200-кратному збільшенні, р - магніторезистори з евтектичної речовини для вимірювання осьових полів в електричних котушках і в зазорах магнітопроводів; д - диференціальний перетворювач; е - диференціальна мостова схема на магніторезисторі.

Підкладка ізолюється від плівки з магнітного матеріалу, що може виготовлятися з кераміки чи пластмаси, яка виготовляється тонким ізолюючим покриттям.

Магніторезистори – це низькошумні пристрої, при умові якщо в матеріалі не виникає тріщин через брак монтаж. Вони характеризуються об'ємним опором, а це значить, що характеризуються дуже малим старінням так як не підлягають впливу поверхневих ефектів. Старіння, в основному, стається при псуванні епоксидних смол, які застосовуються прикріплені напівпровідників до підкладки[1,2,3].

1.3 Магніодіоди

У довгих діодах прямий струм визначається нерівноважною провідністю струму в базовій області. Носії заряду розподіляються в базовій області в залежності від ефективного часу життя й рухливості. Внаслідок ефекту магнітоопору, у магнітному полі, рухливість носіїв заряду зменшується і, в наслідок цього, провідність діода зменшується. За рахунок зміни інжекції ефект магнітоопору підсилюється в 10-100-тні разів. Магніточутливість магніто діодів (довгих діодів), у багато разів більша за магніточутливість магніторезисторів.

В магніодіодах магнітне поле викривляє лінії струму та зменшує рухливість, оскільки в них концентрації дірок і електронів практично рівні і Холлівське поле рівне нулю. Збільшення ліній струму призводить до додаткового зменшення модуляції провідності базової області інжекованими носіями та зменшення глибини проходження нерівноважних носіїв, а це значить до підвищення чутливості до магнітного поля.

Викривлення ліній струму збільшує концентрацію носіїв заряду з однієї грані і зменшує з іншої. Так як ефективний час життя носіїв заряду у тонких пластинках залежить від поверхневої рекомбінації, то переміщення носіїв заряду призводить до зміни ефективного часу життя й ролі поверхневої рекомбінації. Награні, до якої відхиляються носії рекомбінація, зростає, а на другій грані – перестає відігравати роль.

Ефективний час життя носіїв зменшується, при однаковій швидкості рекомбінації на гранях, і, відповідно, в магнітному полі, струм магніодіода зменшується. Якщо на одній грані швидкість рекомбінації набагато менша, ніж на іншій то при змінні траєкторії носіїв заряду до однієї грані роль рекомбінації на другій грані з високою швидкістю зменшується. При такій полярності магнітного поля ефективний час життя буде зростати, тому буде зростати струм магніодіода. При дії магнітного поля в протилежному напрямку буде відбуватися звичайний

магнітодіодний ефект - струм різко зменшується з ростом магнітного поля (рисунок 1.5, а).

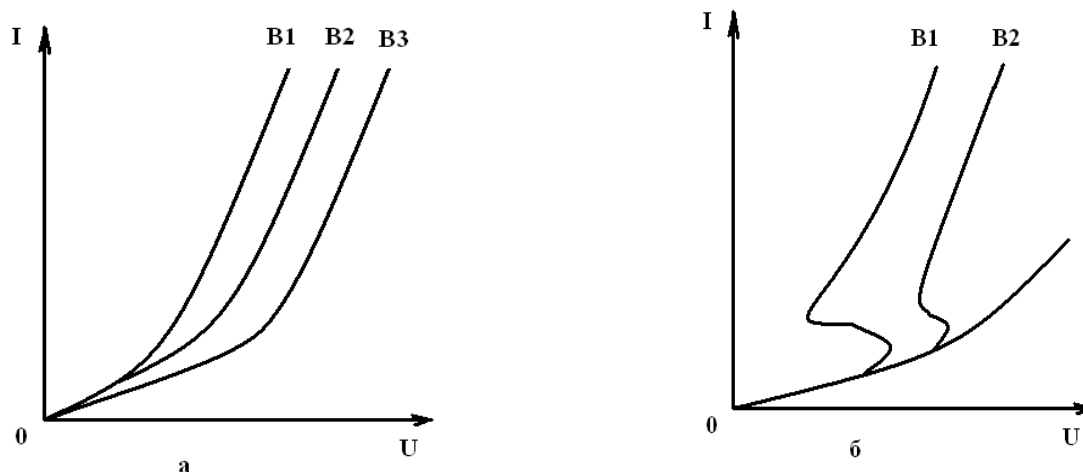


Рисунок 1.5 Вплив магнітного поля на вольт-амперні характеристики (а) магнітодіода і (б) S-діода у прямому зміщенні при $B_3 > B_2 > B_1$

У S-діодах (магнітодіодах з від'ємним опором) магнітна індукція, унаслідок магнітодіодного ефекту, знижує концентрацію нерівноважних носіїв, наслідком чого є зростання напруги зриву і різкому підвищенню напруги при заданому струмі після зриву (рисунок 1.5, б). При певній (високій) величині напруженості магнітного поля ділянка від'ємного опору може зникнути. Магнітна чутливість S-діодів набагато краща, ніж звичайних магнітодіодів.

У якості діодів чутливих до магнітного поля можна використовувати і світлодіоди, причому в залежності від індукції магнітного поля може мінятися як інтенсивність, так і довжина хвилі випромінювання [1,4].

1.4 Ефект Холла

Фізика роботи елемента Холла полягає в тому, що при дії на напівпровідник магнітного поля, по якому тече струм з густиною J , при цьому

напруженість B магнітного поля перпендикулярна напрямку струму, то у напівпровіднику створюється електричне поле з напрямком перпендикулярним до магнітного поля та величини струму. Напруженість E_n електричного поля прямо пропорційна густині струму j у напівпровіднику і індукції магнітного поля B , в якому перебуває напівпровідник

$$E_n = R_n j B, \quad (1.2)$$

де R_n - коефіцієнт пропорційності (стала Холла), $B = \mu_1 H$ - магнітна індукція, μ_1 - магнітна константа. Для прикладу, дослідимо механізм виникнення ефекту Холла. Спершу розглянемо домішковий напівпровідник n-типу, в такому напівпровіднику струм переноситься тільки електронами.

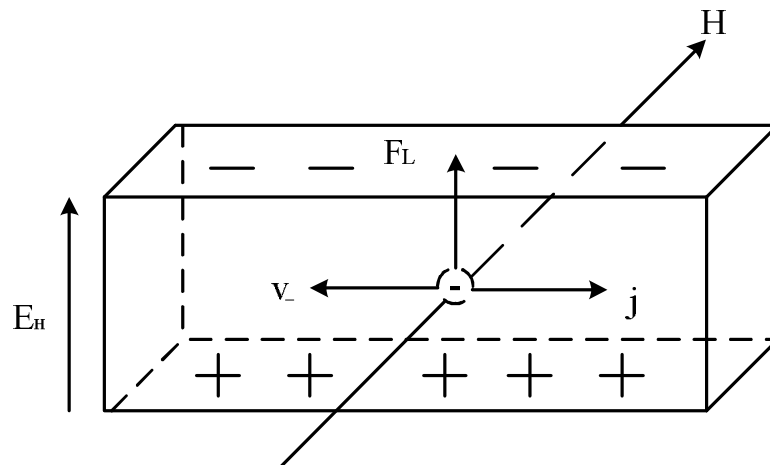


Рисунок 1.6 – Ефект Холла у напівпровіднику n-типу

В напівпровіднику n-типу, при наявності струму, електрони провідності рухаються у протилежному напрямку до струму, з певною середньою швидкістю

v_0 . У такому напівпровіднику в магнітному полі H , яке напрямлене перпендикулярно струму, на електрони буде діяти сила Лоренца F_L , з напрямком перпендикулярним до їх швидкості v_- і напруженості магнітного поля H (рисунок 1.6). Під дією сили Лоренца електрони, відхиляються у протилежну сторону, тобто протилежно напрямку вектора $[\vec{v}_- \cdot \vec{B}]$, від напрямку струму (рисунок 1.6 – вгору).

Внаслідок цього електрони накопичуються на одній з граней напівпровідника, яка перпендикулярна вектору $[\vec{v}_- \cdot \vec{B}]$. У протилежній грані напівпровідникового зразка з'являється некомпенсований позитивний заряд. Між негативними і позитивними зарядами з'являється електричне поле E_H , у напівпровіднику, яке протидіє відхиленню електронів під дією сили Лоренца. Заряди накопичуються на протилежних гранях напівпровідника до тих пір, поки Холлівське поле, що збільшується по величині, не досягає значення, при якому сила qE_H , яка діє на електрони, врівноважить силу Лоренца

$$qE_H = q[\vec{v}_- \cdot \vec{B}], \quad (1.3)$$

внаслідок чого настає стаціонарний стан.

Струм, з густиною, що рухається через напівпровідник, визначається

$$j = qnv_-, \quad (1.4)$$

звідки швидкість електронів

$$v_- = \frac{j}{qn}. \quad (1.5)$$

При підстановці отримаємо

$$E_H = \frac{1}{qn} jB \quad (1.6)$$

Рівняння співпадає з рівнянням, тому стала Холла дорівнює

$$R_H = \frac{1}{qn}. \quad (1.7)$$

При дії магнітного поля діє на напівпровідник р- типу, по якому проходить струм, то напрямок сили Лоренца співпадає з вектором $[\vec{v}_+ \cdot \vec{B}]$ (рисунок 1.7), оскільки носії заряду у ньому мають знак плюс і швидкість руху v_+ співпадає з напрямком струму. При вибраному напрямку струму швидкості електронів і дірок v_- і v_+ протилежні, тому $[\vec{v}_+ \cdot \vec{B}] = [\vec{v}_- \cdot \vec{B}]$. Отже, напрямок сил Лоренца, що діють на дірки і електрони, які переміщуються у протилежні сторони, направлені однаково (рисунок 1.6 і рисунок 1.7).

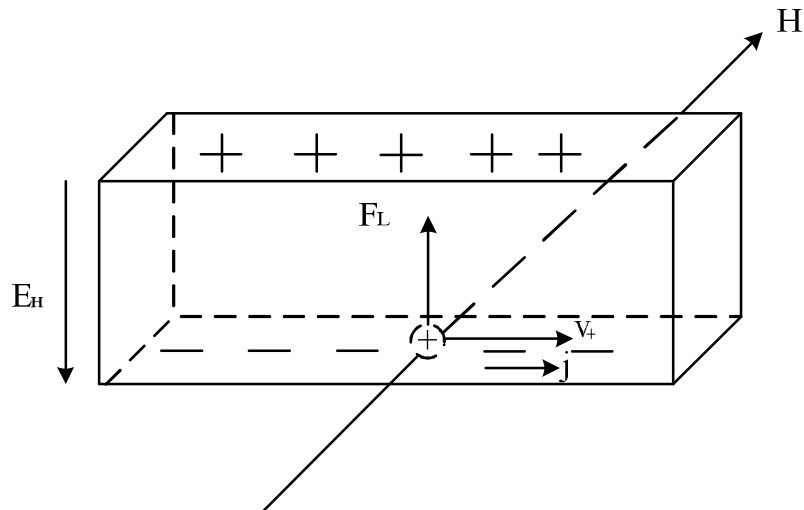


Рисунок 1.7 – Поле Холла у напівпровіднику р-типу

Приходимо до висновку, що якщо маємо однакові напрямки магнітного поля і струму, у електронному і дірковому напівпровіднику, носії заряду відхиляються в одну і ту ж сторону силою Лоренца. Це приводить до висновку, що при однакових напрямках магнітного поля і струму, знаки відповідних граней діркового і електронного напівпровідників а, отже, і напрямки полів Холла будуть протилежними. А це значить, що відповідно до знаку ефекту Холла у напівпровіднику емпірично можна визначити тип його провідності. Також, ефект Холла дозволяє визначити (кількісно) рухливість носіїв заряду і концентрацію.

З визначення знайдемо сталу Холла

$$R_H = \frac{E_H}{jB}. \quad (1.8)$$

Підставляючи значення густини струму $j = I/ab$, де I - повний струм через переріз напівпровідника ab , а також значення напруженості холлівського поля, яке дорівнює градієнту потенціалу $\Delta U/a$, отримаємо

$$R_H = \frac{\Delta U \cdot b}{I \cdot B}. \quad (1.9)$$

Аналіз цієї формули дає можливість Холлівську константу визначити експериментальним шляхом, так як величини, які знаходяться в правій частині (1.9), можна експериментально виміряти. З іншого боку, з рівняння (1.7), якщо відомо значення R_H , можна знайти концентрацію носіїв заряду.

При використанні відомої формули для електропровідності напівпровідникового матеріалу $\sigma = qn\mu$ отримаємо вираз

$$R_H \cdot \sigma = \mu, \quad (1.10)$$

тобто по відомих значеннях R_H і σ можна розрахувати рухливість носіїв заряду.

Відмітимо, що результати, які отримали при дослідженні ефекту Холла є приблизними, оскільки рух електронів або дірок уздовж напрямку струму з однаковою швидкістю, що рівна середній швидкості направленої їх руху, не є досить точним. В реальності, різні носії заряду мають різну швидкість руху, і, слід відмітити, що розподіл їх по швидкостям нерівномірний. Розподіл залежить, вперш за все від ступеня вродженості електричного заряду та механізму розсіювання зарядів. Тому чисельник у формулі (1.9) має значення, яке відрізняється від одиниці, отже

$$R_H = \frac{A}{qn}, \quad (1.11)$$

де A - це величина, що залежить від механізму розсіювання носіїв заряду та характеру розподілу носіїв заряду по швидкостях.

Є певні особливості у ефекті Холла у напівпровідниках із власною та змішаною провідностями, у яких присутні носії двох знаків - дірки і електрони.

Як ми розглядали вище, при певному напрямку магнітного поля і струму, носії заряду двох знаків зміщуються силою в один і той же бік Лоренца. Тому, області напівпровідника, які збіднюються і збагачуються носіями електрики, отримують значно менші електричні заряди ніж напівпровідники з такою ж електропровідністю, але лише з одним типом носія заряду. Пояснити це можна тим, що протилежні по знаку носії заряду повністю або частково компенсують один одного. При цьому електричне холлівське поле значно слабше при порівнянні з домішковим типом напівпровідника. Тобто, можна сказати, що у напівпровіднику змішаного типу величина напруженості електричного холлівського поля розраховується як різниця діркової і електричної складової струму, а електропровідність визначається як сума.

Якщо рухливість носіїв заряду або концентрація одного типу переважає у напівпровіднику, то ці носії, які відхиляються до однієї з граней напівпровідника, збуджують електричне поле, яке притягує носіїв іншого типу заряду і відштовхує носії заряду однакового заряду. Носії заряду певного типу накопичуються біля однієї грані напівпровідника і, це продовжується до тих пір, поки електричне холлівське поле не скомпенсує обидва потоки, що створить стаціонарний стан системи.

При власному типі провідності концентрація електронів рівна концентрації дірок. Якщо б у власному напівпровіднику рухливості дірок і електронів були однакові, то ефекту Холла не відбувалось би, так як заряди дірок і електронів, повністю скомпенсували б один одного[1].

1.5 Горизонтальний перетворювач Холла

Даний перетворювач має робочу область прямокутної форми, сформовану в напівпровідниковому шарі, та 4 виводи - на кожній стороні по одному. Пара розміщена один навпроти другого є струмовими, а інша пара – напругова

(потенціальна). Між його потенціальними контактами формується вихідна напруга що пропорційна нормалі до площини напівпровідникової області з проекцією BZ . Як недолік можна відмітити неможливість виміряти індукцію магнітного поля, оскільки вектор індукції є паралельним до площини напівпровідникової області [7].

1.6 Вертикальний перетворювач Холла

Вертикальний перетворювач Холла містить сформовану на підкладці напівпровідникову область прямокутної форми, на поверхні якої розміщено п'ять контактів. Три контакти є струмовими, а два – потенційними. Перші два струмові контакти розміщені на периферії напівпровідникової області і є рівновіддаленими від третього струмового контакту, який розміщено в центрі напівпровідникової області. Перший потенційний контакт розміщено між першим та третім струмовими контактами, а другий потенційний контакт - між другим та третім струмовими контактами. Потенційні контакти є також рівновіддаленими від третього струмового контакту.

Струм живлення такого перетворювача протікає в напівпровідниковій області по двох взаємно протилежних напрямках. Перший напрямок - між першим та третім струмовими контактами, а другий - між другим та третім струмовими контактами. Вихідним сигналом вертикального перетворювача Холла є різниця напруг між потенційними виводами. Ця різниця напруг є пропорційною до проекції (наприклад Bx) вектора індукції магнітного поля, яка є паралельною до площини напівпровідникової області та перпендикулярною до напрямку проходження струму живлення перетворювача в цій області.

Для забезпечення можливості вимірювання обох ортогональних проекцій (Bx та Bz) вектора індукції магнітного поля, які лежать в паралельній площині до площини напівпровідникової області, формують вимірювальний перетворювач

магнітного поля на основі двох вертикальних перетворювачів Холла. Останні об'єднані таким чином, що їхні напівпровідникові області пересікаються, утворюючи хрестовидну геометричну фігуру з чотирма рівновеликими плечами та прямими кутами між останніми. На поверхні напівпровідникових областей вимірювального перетворювача сформовано дев'ять контактів. В кожному з чотирьох плеч хрестовидної фігури розміщено по одному периферійному струмовому та одному потенційному контакту. В зоні перехрещення напівпровідникових областей вертикальних перетворювачів Холла сформовано розміщено один центральний струмовий контакт. Периферійні струмові контакти розміщені на периферії напівпровідникових областей і є рівновіддаленими від центрального струмового контакту. Потенційні контакти розміщені між периферійними струмовими контактами та центральним струмовим контактом і, також, є рівновіддаленими від останнього.

Недоліком такого вимірювального перетворювача магнітного поля є неможливість вимірювати магнітне поле, вектор індукції якого є перпендикулярним до площини напівпровідникової області (B_z). Частково цей недолік можна подолати шляхом об'єднання вимірювального перетворювача магнітного поля на основі двох вертикальних перетворювачів Холла з одним або декількома горизонтальними перетворювачами Холла. Останні забезпечують вимірювання перпендикулярної до площини вимірювального перетворювача проекції B_z вектора індукції магнітного поля. Однак, недоліком такої об'єднаної конструкції є її складність та низька просторова роздільна здатність. Остання обумовлена тим, що горизонтальний та вертикальний перетворювачі не можуть бути суміщеними між собою в єдину просторову область. Що служить причиною неможливості вимірювання всіх трьох проекцій B_x , B_y та B_z вектора індукції магнітного поля в єдиній просторовій точці, тобто - недостатньої точності результатів вимірювання. А конструктивна складність такого перетворювача, в наслідок, обумовлює низьку надійність роботи та значні його розміри [7].

1.7 Сенсор трьохвимірний магнітного поля

Даний прилад представляє собою вимірювальний перетворювач магнітного поля, зі спрощеною конструкцією та технологією виготовлення, а також підвищеною точністю вимірювання.

У вимірювальному датчику, з сформованому напівпровідниковому шарі, на підкладці, створена робоча область форми прямокутника, на поверхні цієї області розміщено 3 контакти - струмові, перший контакт є центральним, він розміщений посередині робочої області, а інші контакти є бічними, тобто, розміщені по краях робочої області, між першими контактами знаходяться 2 потенціальні контакти, а конструкція вимірювача є симетричною щодо центру області напівпровідника. В даній конструкції напругові контакти знаходяться за межею робочої області, отже, кожний потенціальний вивід знаходиться на поверхні допоміжної області, додатково сформованої в напівпровідниковому шарі, вона з'єднана з робочою областю проміжною зоною, при цьому товщина проміжних зон є менша за товщину робочої області.

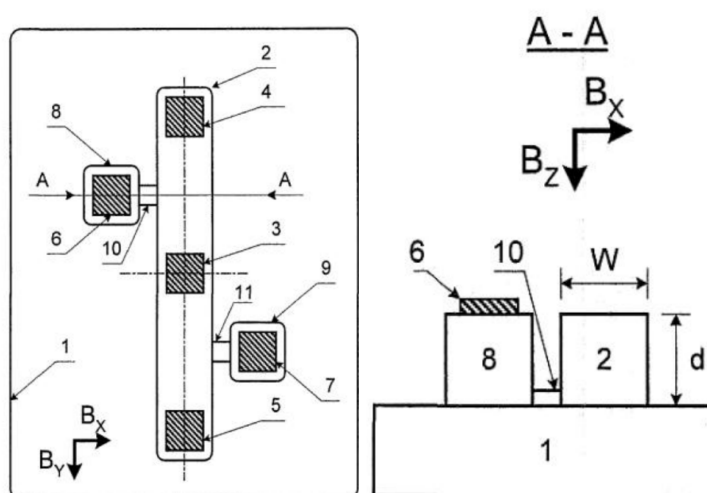


Рисунок 1.8 – Сенсор тривимірний магнітного поля

Використовуючи просту технологію мезоструктур при створенні вимірювального перетворювача дозволяє ввести нові елементи та відповідні зв'язки. Дана технологія дає можливість створення робочої області з напівпровідників типу GaAs, InSb чи InSn, не вимагаючи поверхневої та бокової ізоляції і дає можливість мінімізувати ширину робочої зони. Як результат, отримується винахід, який характеризується широким температурним діапазоном, простотою конструкції, високою температурною стабільністю та функціонування.

На рисунку 1.8 зображена схема вимірювального перетворювача магнітного поля і його переріз А-Д, де 1 - підкладка, 2 - робоча область напівпровідника; 3 - центральний контакт по струму, 4, 5 - бокові контакти по струму; 6, 7 – напругові контакти; 8, 9 - допоміжні області; 10, 11 - проміжні області. Ширина проміжних зон 10, 11 менша за ширину 2 - робочої області. Проекції V_y , V_x розташовані в площині даного перетворювача, а проекція V_z до цієї площини перпендикулярна.

Принцип дії такий. Даний перетворювач з'єднують з джерелом живлення, по постійному струму. Для цього струмовий вивід 3 з'єднують до першого контакту джерела живлення, а бічні струмові контакти 4, 5 з'єднують між собою та з'єднують 2 другим виводом джерела живлення. Отже, струм у робочій області сенсора розподіляється однаково та рухається у взаємно протилежних напрямках щодо струмового контакту.

Якщо струмом у колі потенціальних контактів нехтувати, то можна припустити що потенціали на цих контактах рівні потенціалам проміжних зон 10 і 11. Тобто структура перетворювача дає можливість сформувати на потенціальних виводах 6 та 7 напруги на виходні, що дорівнює різниці потенціалів між нижніми поверхнями робочої зони поблизу контакту з проміжними областями 10 і 11. Як зрозуміло, вимірювання потенціалів нижньої поверхні робочої зони вимагає щоб товщина проміжних зон 10 і 11 була значно меншою (хоча б в 10 раз) ніж товщина робочої зони 2.

Відсутність виводів до верхньої поверхні робочої зони у даному перетворювачі створює можливість не використовувати в ньому поверхневу ізоляцію робочої зони, а бічну ізоляцію створити на базі технології мезоструктур.

Напруга на потенціальних контактах 6, 7 має три компоненти. Перша V_R обумовлена спадом напруги на напівпровідниковій робочій області 2. Враховуючи симетрію робочої зони щодо першого струмового виводу 3, 1-ша компонента напруги на обох потенціальних виводах 6 та 7 $V_R(6) = V_R(7)$. 2-га компонента V_z викликана впливом проекції вектора індукції магнітного поля B_z , що перпендикулярна до площини вимірювального перетворювача. Третя складова V_x обумовлена впливом вектора індукції B_x . Ця компонента на потенціальних виводах 6, 7 має знак мінус $V_x(6) = -V_x(7)$. Необхідно відмітити, що проекція вектора індукції магнітного поля B_y , що паралельна напрямку струму через робочу зону, тобто нею можна знехтувати: $V_y(6) = V_y(7) = 0$.

Отже, різниця напруг між потенціальними контактами 6 та 7 визначається лише через проекцію B_x , і в першому наближенні не залежить від інших проекцій вектора:

$$V_{OUT} = [V_r(6) + V_x(6) + V_y(6) + V_z(6)] - [V_r(7) + V_x(7) + V_y(7) + V_z(7)] = V_x,$$

де $V_x = V_x(6) + V_x(7)$.

Висока ефективність вимірювальних перетворювачів даного винаходу проявляється при використанні в 3-D сенсорі. Що можна використовувати для одночасного вимірювання 3-х проекцій вектора індукції магнітного поля: B_x , B_y та B_z . 3-D сенсор складається з трьох перетворювачів Холла, сформованих на єдиній підкладці. Перші 2 є перетворювачами Холла вертикального типу, що використовуються для вимірювання 2-х ортогональних проекцій B_x та B_y паралельних площині робочої області. Третій давач, вимірює проекції B_z , яка перпендикулярна до поверхні.

Однакові рівні чутливості забезпечуються вертикальною та горизонтальною складовою перетворювачів такого 3-D. Горизонтальні перетворювачі Холла, в

яких чутливість є обернено пропорційна до функції ширини d шару напівпровідникової робочої області, подібні тим що, як і в інших вертикальних перетворювачах Холла, є обернено пропорційна функції товщини W напівпровідникової зони. Тому необхідно, щоб товщина робочої області W була мінімальною і приблизно рівною ширині напівпровідникової зони. У перетворювачах, що виготовлені за технологією мезоструктур, ці величини параметри становлять декілька мікрметрів, це на декілька порядків менше ніж у перетворювачів за технологією твердотільних кремнієвих інтегральних схем.

Тобто, при умові, при однакових інших параметрах, даний перетворювач має принаймні в десять раз вищу чутливість ніж відомі перетворювачі та найближчі аналоги. Окрім цього, на основі багатокомпонентних напівпровідників, даний перетворювач характеризується широким температурним діапазоном функціонування та мінімальною температурною нестабільністю. Відмітимо що, температурний коефіцієнт чутливості, при концентрації легуючої домішки InSn порядку $5 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-2}$, не перевищує $0.005\%/^\circ\text{C}$, а це в декілька разів краще, ніж у аналога. Якщо використати широкозонний напівпровідник GaAs температурний діапазон можна розширити до 250°C , що приблизно на 100°C більше, ніж у аналога [8-10].

1.8. Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Оцінювання комерційного потенціалу здійснювалось на основі опитування трьох фахівців-викладачів кафедри в т.ч. наукового керівника. На основі опитування і будується оцінка і проводиться технологічний аудит.

Комерційний потенціал розробки оцінюється за 12 критеріями та оцінюється за 5 бальною шкалою. До даних критеріїв входять 4 групи критеріїв, а саме: технічна здійсненність концепції, ринкові переваги та недоліки, ринкові перспективи, практична здійсненність.

Таблиця 1.3 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Мартинюк В.В. К.т.н., доц.	Селецька О.О. К.т.н., доц.	К.т.н., доц. Огородник К.В.
1.	2	3	3
2.	2	3	0
3.	2	4	3
4.	4	3	2
5.	3	2	3
6.	3	2	2
7.	1	2	2
8.	4	3	4
9.	1	3	3
10.	3	4	3
11.	4	2	4
12.	4	4	4
Сума балів	СБ ₁	СБ ₂	СБ ₃
	27	28	29

$$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3}$$

$$\overline{СБ} = \frac{27 + 28 + 29}{3} = 29$$

Отже, на основі проведеного експертного опитування середньо арифметична сума балів становила 29, що становить вище середнього. Може зробити висновок, що розробка є дуже актуальною. Має широкий спектр застосування.

Отже, розроблений пристрій може бути впроваджена на абсолютно будь-яких підприємствах і організаціях, зацікавлених у підвищенні безпеки будь-якого приміщення. Потенційними споживачами даного дослідження можуть бути як фізичні, юридичні особи, так і комерційні організації різних розмірів, які потребують безпеки своїх об'єктів.

1.9. Оцінювання рівня конкурентоспроможності розробки

Конкурентоспроможність товару — це здатність продукції бути привабливішою для покупця в порівнянні з іншими виробами аналогічного виду й призначення, завдяки кращій відповідності її якісних і вартісних характеристик вимогам ринку й споживчим оцінкам. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Детальний аналіз конкуруючих розробок, існуючих на ринку, необхідно проводити систематично, оскільки ринки перебувають в постійному русі.

З цією метою може бути використана вся наявна інформація про конкурентних розробках:

- технічні характеристики розробки;
- конкурентоспроможність розробки;
- рівень завершеності наукового дослідження (наявність макета, прототипу і т.п.);
- бюджет розробки;
- рівень проникнення на ринок;
- фінансове становище конкурентів, тенденції його зміни і т.д.

Аналіз конкурентних технічних рішень з позиції ресурсо ефективності та ресурсозбереження дозволяє провести оцінку порівняльної ефективності наукової розробки і визначити напрямки для її майбутнього підвищення.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення

(К_{інт}) з урахуванням вище зазначених груп показників визначається за формулою (1.2):

$$K_{\text{інт}} = I_{\text{нп}} \frac{I_{\text{тп}}}{I_{\text{еп}}} \quad (1.2.)$$

де ІНП – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

ІТП – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

ІЕП – індекс економічних параметрів.

В таблиці представлені нормативні та технічні параметри. До групи технічних параметрів, що їх використовують для оцінювання конкурентоспроможності, зазвичай вносять показники призначення та надійності, а також ергономічні та естетичні показники.

Нормативні параметри характеризують властивості товару, регламентовані обов'язковими нормами, стандартами і законодавством ринків майбутнього продажу.

Крім того, задовольняючи потреби, покупець витрачає свої гроші як на придбання товару, так і на його використання. Розмір цих витрат формує ціну придбання та вартість споживання товару.

До наведених в таблиці показники конкурентоспроможність визначають також наступні показники: спрощена схема виконання та виробництва; нижча собівартість за рахунок використання дешевших комплектуючих; краща якість; нижчі витрати на транспортування пристрою чи деталей; спрощена установка та ремонт; експлуатація та технічне обслуговування, навчання персоналу; довший термін експлуатації; ергономічні та органолептичні показники.

Таблиця 1. 4—Нормативні, технічні та економічні параметри інноваційного рішення та товару-аналогу

№	Показник	Базовий товар (товар-конкурент)	Новий товар (інноваційне рішення)
Нормативно-технічні показники			
1.	Робоча частота	13	13
2.	Напруга	3	3,3
3.	Споживаний струм в стані очікування	12	13
Економічні показники			
	Ціна,грн	16940	1960

Розрахунок одиничних параметричних показників конкурентоспроможності для окремого показника визначається за наступною формулою:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{\text{баз}}}$$
 (1.2.)

- за технічними показниками:

$$q_1 = \frac{13}{13} = 1$$

$$q_2 = \frac{3,3}{3} = 1,1$$

$$q_3 = \frac{3}{2} = 1,5$$

$$q_4 = \frac{3}{2} = 1,08$$

- за економічними показниками:

$$- I_{\text{еп}} = 1960/1940 = 1,01$$

Далі розрахуємо групові параметри індексів конкурентоспроможності:

за технічними характеристиками:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i * \alpha_i \quad (1.4)$$

де $I_{ТП}$ – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом аналогом);

q_i – одиничний параметричний індекс i – го параметра;

α_i – вагомість i – го параметричного індексу, $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$:

n – кількість технічних параметрів, за яким оцінюється конкурентоспроможність.

$$I_{ТП} = (1+1,1+1,5+1,08)*1 = 4,68$$

$$K_{інт} = 4,68/1,01 = 4,63$$

Нормативні параметри характеризують властивості товару, регламентовані обов'язковими нормами, стандартами і законодавством ринків майбутнього продажу.

Нормативні параметри мікропроцесорного пристрою зчитування інформації радіочастотним методом: розміри платине більше 45*60*1,5мм

Загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами приймаємо рівним 1, якщо інноваційне рішення відповідає встановленим нормам, стандартам і вимогам; якщо не відповідає, приймаємо значення параметра як 0.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{ЕП} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Неі}}{\sum_{i=1}^n P_{Беі}}, \quad (1.2.)$$

де $P_{Неі}$, $P_{Беі}$ – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Якщо $K_{\text{інт}} > 1$, то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння; якщо $K_{\text{інт}} < 1$, то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо $K_{\text{інт}} = 1$, то ця ситуація інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів. Безумовно, мета виробника – отримати $K_{\text{інт}} > 1$, цілеспрямовано, збільшуючи $I_{\text{п}}$ та зменшуючи $I_{\text{еп}}$.

Було розроблено мікропроцесорний перетворювач магнітного поля на магнітотранзисторі. Основною відмінною рисою від конкурентів є, що даний прилад здатний усунути недоліки існуючих магнітних сенсорів за рахунок розробки сенсорів магнітного поля з частотним виходом на основі біполярних магнітотранзисторів. Перетворювач індукції магнітного поля на мікроконтролері ATtiny2313.

1.10. Висновки до першого розділу

1. На основі існуючих сенсорів магнітного поля було встановлено, що вони мають такі недоліки, а саме: погану чутливість до наявності слабких магнітних полів, неможливість працювати при високих температурах та в складних умовах а також необхідність застосування додаткового обладнання для подальшої обробки сигналу.

2. Сенсори магнітного поля широко використовуються в дослідженні космосу, в медицині, в машинобудівництві та інших сферах науки та техніки. Перспективним напрямком розвитку магнітних сенсорів є розробка сенсорів магнітного поля з частотним виходом на основі біполярних магнітотранзисторів, що дає можливість усунути недоліки існуючих магнітних сенсорів.

3. Перевагами даного вимірювача магнітного поля над вище розглянутими є те, що він не потребує в подальшому для обробки сигналу аналогового-цифрового перетворювача, має високу завадостійкість, що дозволяє

підвищити чутливість вимірювального сигналу, а також має велику потужність та вихідну напругу.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

В даному розділі пропонується вдосконалений перетворювач індукції магнітного поля з частотним виходом, в якому введення біполярного магніточутливого транзистора дозволяє відмовитись від використання підсилювальної апаратури та аналогово-цифрових перетворювачів.

2.1 Розробка структурної схеми перетворювача індукції магнітного поля

На основі попередніх досліджень було виявлено недоліки існуючих аналогів, тому перетворювач повинен передбачати можливість розширення функціональних можливостей та підвищення точності вимірювань, причому мати високу швидкодію, простоту, чутливість.

Розроблено структурну схему перетворювача індукції магнітного поля з магнітотранзистором, яка зображена на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 – Структурна схема перетворювача індукції магнітного поля

Структурна схема містить наступні компоненти.

1. Блок живлення для живлення усіх блоків перетворювача індукції магнітного поля. У даному випадку необхідна стабілізована напруга величиною 5В, що відповідає значенням високих рівнів напруг мікроконтролера.

2. Магніточутливий транзистор, який сприймає величину індукції зовнішнього магнітного поля, тобто по суті є первинним сенсором.

3. Вторинний перетворювач, який являє собою автогенератор на основі транзисторних структур з від'ємним опором, частота вихідного сигналу якого залежить від величини індукції магнітного поля на магніто транзисторі.

4. Перетворювач форми сигналу служить для перетворення синусоїдального сигналу з вторинного перетворювача у більш прийнятний для мікроконтролера сигнал прямокутної форми.

5. Мікроконтролер, який керує процесом вимірювання, обробляє вхідну інформацію, розраховуючи відповідну індукцію магнітного поля та надсилаючи її на LCD індикатор.

6. LCD індикатор, який служить для відображення результатів роботи пристрою, а саме, для відображення величини індукції магнітного поля та службової інформації у процесі вимірювання.

2.2 Схема електрична принципова перетворювача індукції магнітного поля

Відповідно до структурної схеми запропоновано електричну схему пристрою (рис. 2.2).

Для даної схеми було обрано мікроконтролер Attiny2313. Цей мікроконтролер має достатні функціональні можливості для реалізації поставлених задач.

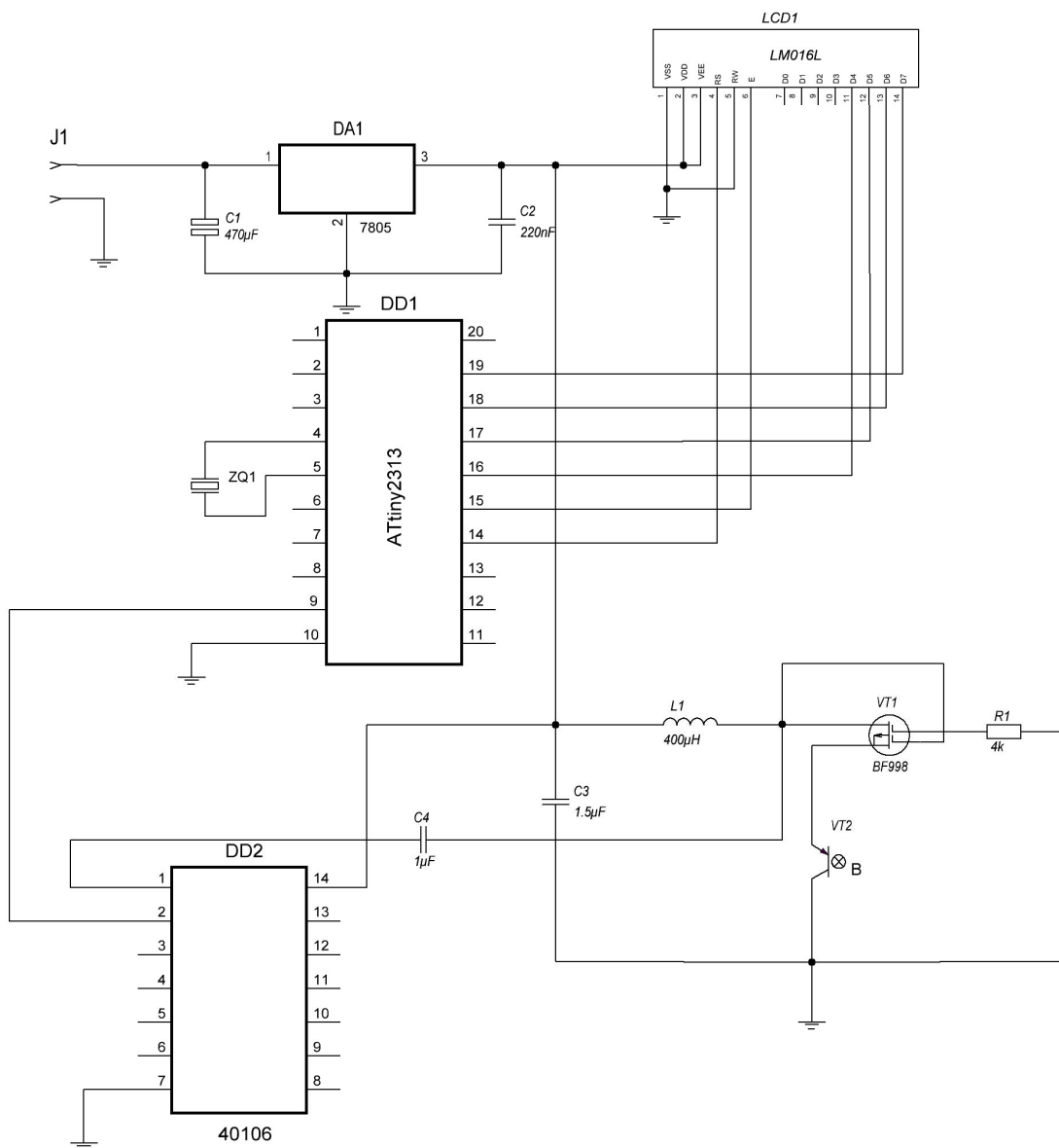


Рисунок 2.2 – Схема електрична перетворювача індукції магнітного поля

Схема працює наступним чином. Пристрій живиться або від мережевого блоку живлення на 5 В або від акумуляторної батареї. Джерелом стабільної напруги в 5В являється лінійний стабілізатор DA1 з конденсаторами C1, C2.

Принцип роботи пристрою такий: вторинний перетворювач являє собою генератор на основі пасивної індуктивності та еквівалентної ємності.

Індуктивність $L1$ разом з еквівалентною ємністю, що виникає на електродах стоку польового транзистора $VT1$ та колекторі біполярного магнітотранзистора $VT2$ утворюють гармонічні синусоїдальні коливання певної частоти. Резистор $R1$ задає режим живленням транзисторам $VT1$ та $VT2$. При дії магнітного поля на магнітотранзистор змінюється опір його бази, що призводить до зміни еквівалентної ємності схеми. Тобто відбувається зміна частоти на виході схеми. Використання даної схеми для вимірювання індукції магнітного поля засновано на використанні принципу зміни частоти автогенератора. Вихідна частота залежить від величини індукції магнітного поля що діє на магнітотранзистор. Тобто дія магнітного поля на магнітотранзистор створює зміну частоти на виході вторинного перетворювача.

Тобто, синусоїдальний сигнал, надходить на $DD2$, де він перетворюється в сигнал прямокутної форми після чого попадає на мікроконтролер $ATtiny 2313$, який зчитує кількість сигналів і їх величину. А після обробки мікроконтролер подає на індикатор ($LCD1$) значення частоти. Написавши рівняння Еренфеста для електричного кола та вивівши з них функцію перетворення вихідного сигналу можна створити програму для мікро контролера, яка дасть змогу перетворювати значення частоти на $LCD1$ індикаторі в значення індукції магнітного поля.

2.3 Обґрунтування вибору та аналіз мікроконтролера

Одним з основних елементів схеми являється мікроконтролер. З міркувань економічності, надійності і габаритів було обрано мікроконтролер AVR архітектури $ATtiny2313$ (рис. 2.3).

Як бачимо він має два порти. Для розробленого пристрою їх вистачає, один порт для виводу інформації на рідкокристалічний дисплей, а інший для роботи з рештою зовнішніх елементів.

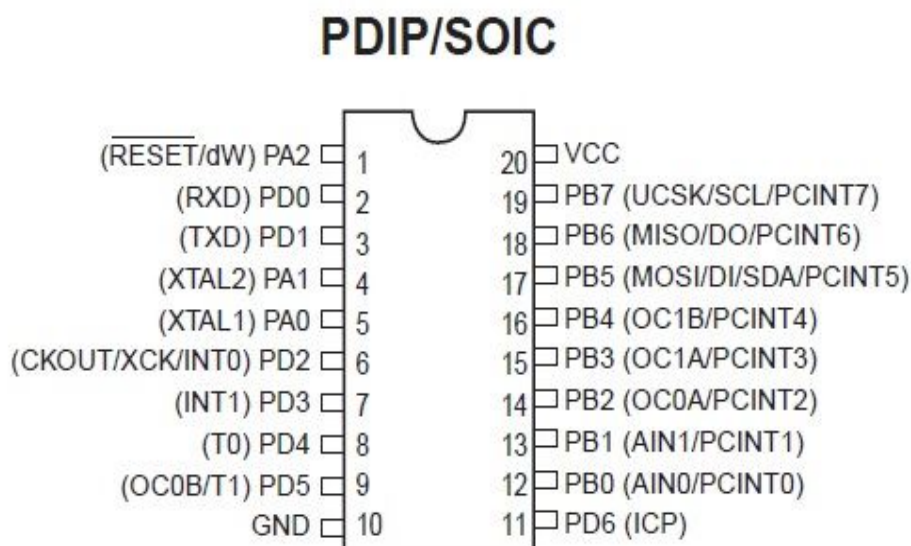


Рисунок 2.3 – Вигляд мікроконтролера ATtiny 2313 з описом виводів

Даний мікроконтролер має такі характеристики:

- Розрядність – 8 біт;
- 32 8-бітних робочих регістра;
- 2 кБ програмованої Flash пам'яті;
- 128 байта енергонезалежної пам'яті EEPROM;
- 128 байта оперативної пам'яті SRAM;
- корпус PDIP 20 вивідний;
- 18 програмованих ліній вводу-виводу;
- споживання в активному режимі при частоті 1 МГц – 230мкА.

2.4 Розробка алгоритму роботи мікроконтролера

На рисунку 2.4 зображено блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера у складі перетворювача індукції магнітного поля.

Після увімкнення живлення мікроконтролер починає роботу із ініціалізації під'єднаних до нього пристроїв, зокрема, LCD індикатора.

Після процесу ініціалізації мікроконтролер переходить в режим вимірювання, постійно опитуючи стан виводів, до яких підключений формувач імпульсного сигналу. Поки надходження сигналу відсутнє пристрій залишається в цьому стані.

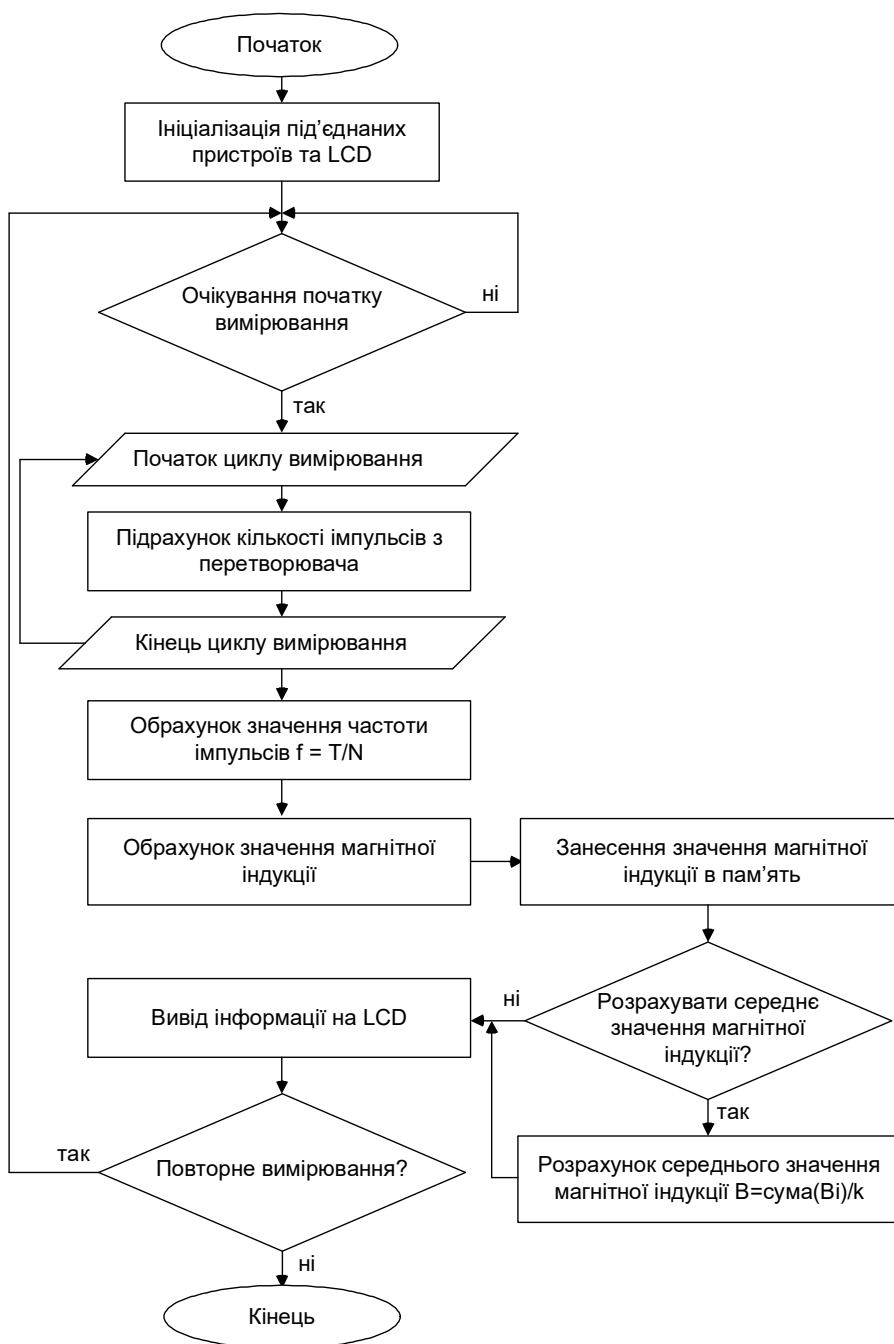


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Після того, як на відповідні виводи мікроконтролера надійде сигнал з перетворювача, у циклі за певний час підраховуються імпульси і визначається частота сигналу. Після цього на основі значення цієї частоти відбувається її перерахунок в значення індукції магнітного поля.

Далі розраховані значення індукції магнітного поля заносяться у оперативну пам'ять мікро контролера і відбувається розрахунок середнього значення індукції магнітного поля за увесь процес вимірювання. Після цього необхідне обрховане значення виводиться на LCD індикатор і мікроконтролер знову переходить у режим очікування наступних вимірів.

2.5 Розроблення еквівалентних схем частотного перетворювача магнітної індукції з двозатворним МДН- та магнітотранзистором

Для виявлення властивостей частотного перетворювача індукції магнітного поля необхідно розробити математичну модель, на основі якої можна отримати залежність активної і реактивної складової повного опору структури від величини індукції, аналітичний вираз функції перетворення та рівняння чутливості перетворювача індукції магнітного поля. Розрахунки виконано на основі еквівалентних схем біполярного транзистора, та мігнітотранзистора, які складають перетворювач магнітного поля на рис. 2.5.

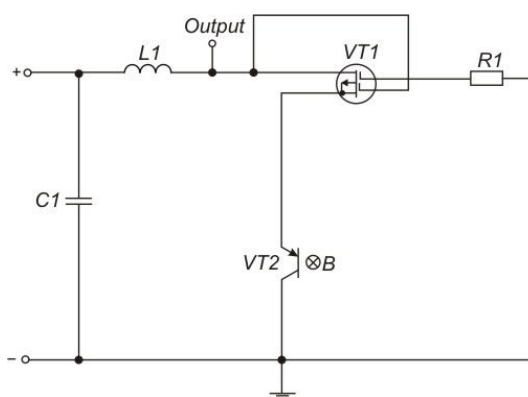


Рисунок 2.5 – Частотний перетворювач магнітної індукції з МДН- та магнітотранзистором

Для визначення основних параметрів, що характеризують роботу перетворювача магнітної індукції (рис. 2.5,) на основі еквівалентної схеми, зображеної на рис. 2.7, необхідно розрахувати повний опір на електродах емітер-затвор біполярного магнітотранзистора $VT2$ та МДН-транзистора $VT1$.

Враховуючи, що магнітотранзистор можна представити у вигляді еквівалентної схеми з магнітودیода та біполярного транзистора (рис. 2.6), складемо еквівалентну схему розробленого перетворювача (рис. 2.7). Відповідно, дослідження магніточутливих властивостей магнітотранзистора зводиться до розглядання магніточутливих властивостей діода, з яких він складається. Еквівалентна схема магнітотранзистора у складі еквівалентної схеми перетворювача представлена у вигляді еквівалентного магнітودیода VD утвореного пасивною базою і областю колектора, а також підсилювального транзистора VT (рис. 2.5).

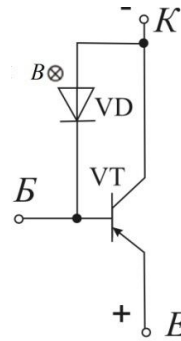


Рисунок 2.6 – Еквівалентна схема магнітотранзистора

Залежність опору р-п переходу діода від магнітної індукції (рис. 2.6) визначається як:

$$R_E = R_{E0} (1 + c\mu_p^2 B^2) = \frac{kT(1 + c\mu_p^2 B^2)}{qI_{нас} e^{\frac{qU_E}{kt}}}, \quad (2.1)$$

де R_{E0} – опір р-п переходу діоду без дії магнітного поля; c – коефіцієнт, який залежить від механізму розсіювання і геометричних розмірів діода, μ_p – рухливість дірок, U_e – падіння постійної напруги живлення на р-п переході, B – магнітна індукція.

Дифузійна ємність напівпровідникового довгого діода залежить від магнітного поля згідно формули

$$C_E = \frac{qI_{нас} e^{\frac{qU_E}{kT}} \tau_p}{kT(1 + c\mu_p^2 B^2)}. \quad (2.2)$$

Таким чином, знаючи залежності елементів магнітотранзистора від дії магнітного поля, перейдемо до визначення функції перетворення, яка являє собою залежність частоти генерації від магнітної індукції. Для цього необхідно розрахувати повний опір на електродах емітер-колектор біполярних транзисторів на основі еквівалентної схеми (рис. 2.7).

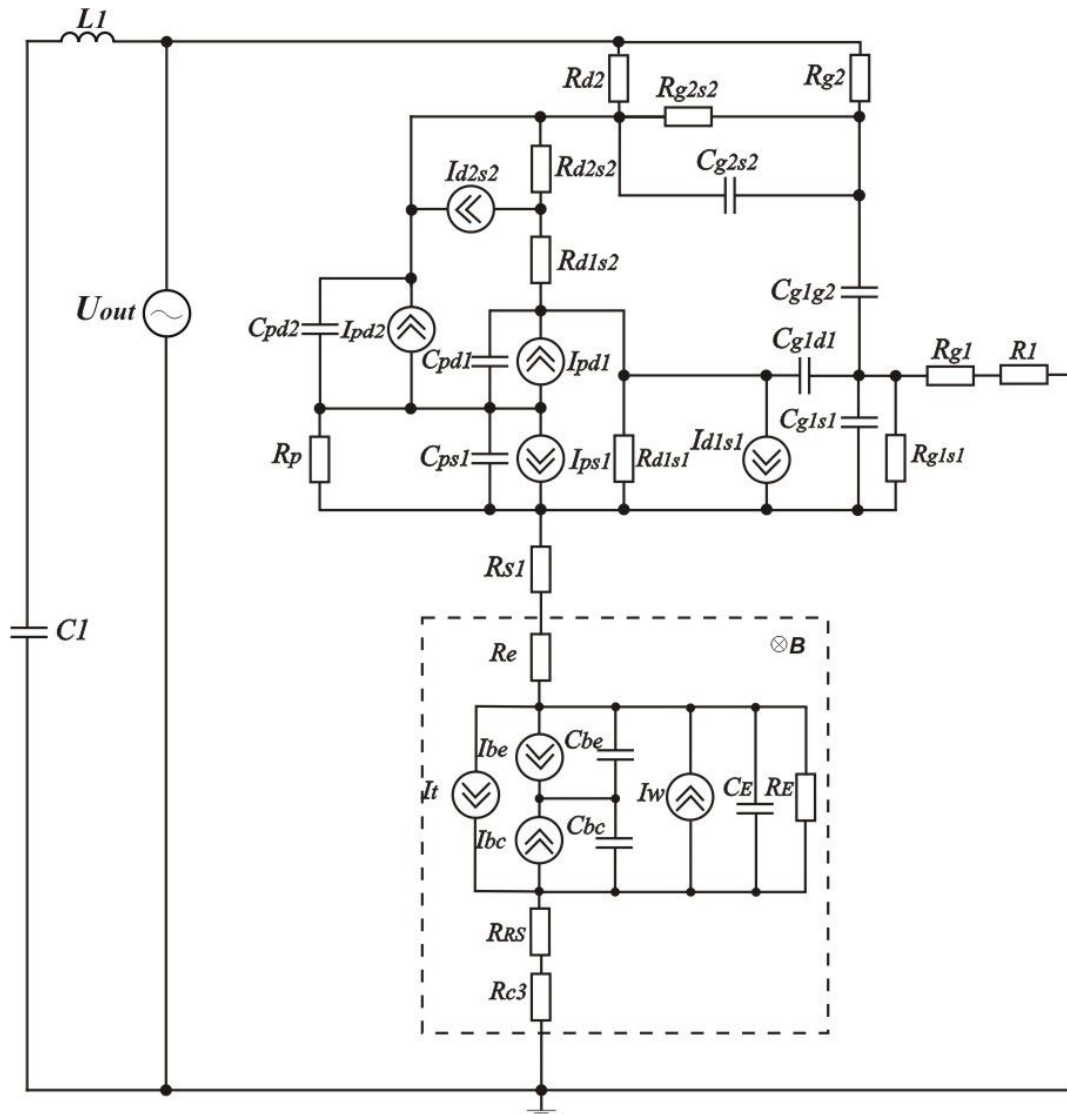


Рисунок 2.7 – Еквівалентна схема частотного перетворювача магнітної індукції з магнітнотранзистором та МДН- транзистором

Вольт-амперна характеристика магнітодіода визначається як

$$I = \phi_m \frac{ch\left(\frac{d}{L}\right)}{\rho \cdot L \cdot (b+1)} \left[\exp\left(\frac{U}{c \phi_m}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

де $c = 2 \frac{b+ch\left(\frac{d}{L}\right)}{b+1}$; $b = \mu_n / \mu_p$, μ_p – рухливість дірок; μ_n – рухливість електронів; ρ – питомий опір пластини; довжина дифузійного зсуву знаходиться з виразу

$$L = \sqrt{\left(\frac{2b}{b+1}\right) \phi_m \cdot \mu_p \cdot \tau_p},$$

τ_p – час життя носіїв заряду, для даного матеріалу; d – довжина бази; ϕ_m – температурний потенціал.

Для зручності розрахунків на рис. 2.9 зображена перетворена еквівалентна схема магнітного перетворювача.

В еквівалентній схемі на рис. 2.7 використано наступні позначення: R_1 – опір резистора R_1 ; R_C – опір колектора магнітотранзистора $VT2$; R_e – опір емітера магнітотранзистора $VT2$; R_b , R_{b2} – опір бази магнітотранзистора $VT2$; R_E – опір р-п переходу діоду, що входить до еквівалентної схеми магнітотранзистора $VT2$; L_1 – зовнішня індуктивність; C_1 – ємність конденсатора C_1 ; C_E – ємність р-п переходу діоду, що входить до еквівалентної схеми магнітотранзистора $VT2$; C_{bx} – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора біполярного магнітотранзистора $VT2$; C_{bc} , C_{be} – ємність переходу база-колектор та база-емітер магнітотранзистора $VT2$; I_w – струм діоду, що входить до еквівалентної схеми магнітотранзистора $VT2$; C_{ps1} , C_{pd1} – ємності підкладка-витік та підкладка-стік МДН-транзистора $VT1$ відповідно; C_{pd2} – ємність підкладка-стік МДН-транзистора $VT1$; C_{g1d1} – ємність затвор 1-стік МДН-транзистора $VT1$; C_{g2d2} – ємність затвор 2-стік МДН-транзистора $VT1$; C_{g1s1} – ємність затвор-витік МДН-транзистора $VT1$; C_{g1g2} – ємність між першим і другим затвором МДН-транзистора $VT1$; R_{s1} – опір витоку МДН-транзистора $VT1$; R_{g1s1} – опір витік-перший затвор двозатворного МДН-транзистора $VT1$; R_{g1} – опір

першого затвору МДН-транзистора $VT1$; R_{d1s2} , R_{d2s2} та R_{d1s1} – опори витоку-стоку двозатворного МДН-транзистора $VT1$; R_p – опір підкладки МДН-транзистора $VT1$; R_{g1s1} – опір витік-перший затвор двозатворного МДН-транзистора $VT1$; R_{g2s1} – опір витік-другий затвор двозатворного МДН-транзистора $VT1$; R_{g2} – омичний опір другого затвора двозатворного МДН-транзистора $VT1$; R_{s1} – опір р-п переходу стоку МДН-транзистора $VT1$.

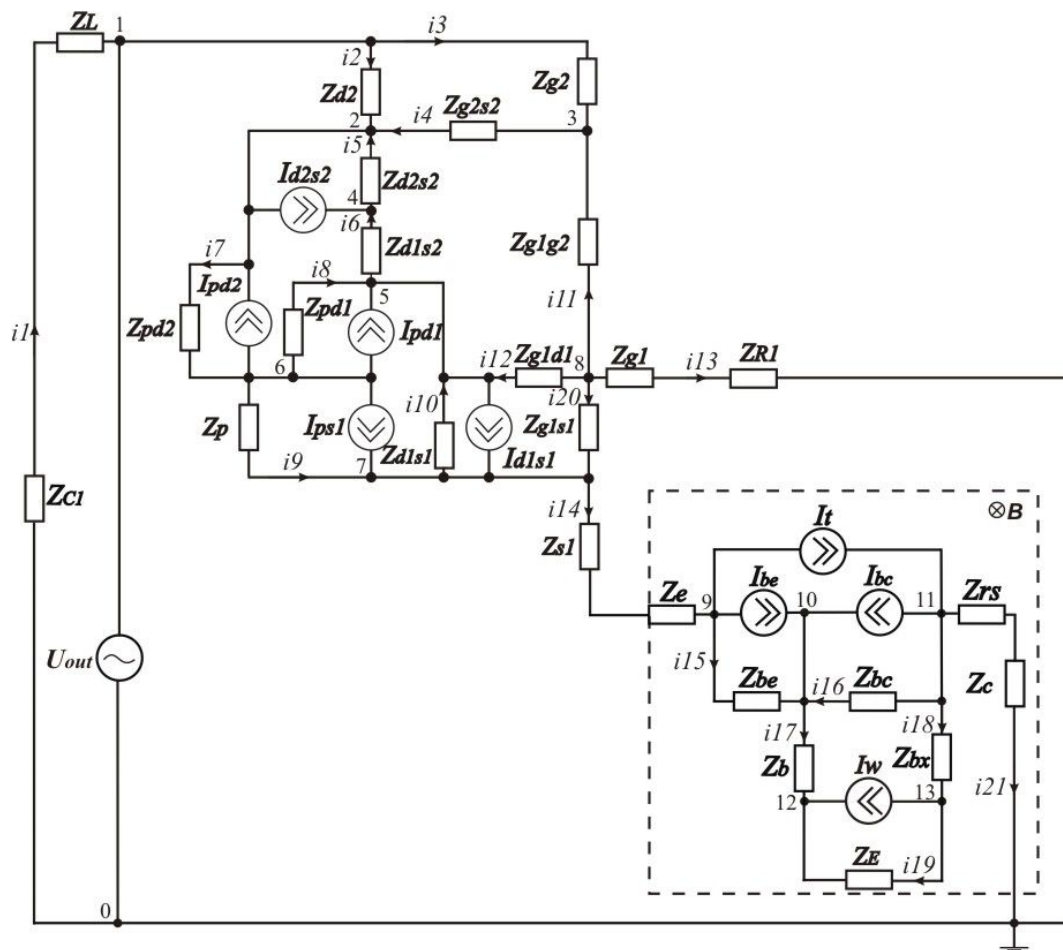


Рисунок 2.8 – Перетворена еквівалентна схема частотного перетворювача індукції магнітного поля з магнітотранзистором.

Струми I_{be} , I_{bc} , I_t – струми магнітотранзистора VT2, які визначаються за формулами:

$$I_{be} = I_s \exp\left(\frac{U_{be}}{NE \cdot V_t} - 1\right), \quad I_{bc} = I_s \exp\left(\frac{U_{bc}}{NC \cdot V_t} - 1\right), \quad I_t = \frac{I_{be} - I_{bc}}{Q},$$

де $I_s = I_{ss} \exp\left(\frac{U_{js}}{NS \cdot V_t} - 1\right)$ – струм насичення; $V_t = \frac{kT}{q}$ – зворотний струм р-п переходу підкладки, U_{be} – напруга база-емітер, U_{bc} – напруга база-колектор, U_{js} – контактна різниця потенціалів колектор-підкладка, NE – коефіцієнт неідеальності емітерного переходу, NC – коефіцієнт неідеальності колекторного переходу; NS – коефіцієнт неідеальності переходу підкладки; Q – заряд в базі.

Об'ємний опір бази описується виразом

$$R_{bm} + (R_{bx} - R_{bm}) / K_{Q_b} \text{ при } I_{Rb} = \infty;$$

$$R_{bm} + 3(R_{bx} - R_{bm}) \frac{\operatorname{tg} x - x}{x \cdot \operatorname{tg}^2 x} \text{ при } I_{Rb} > 0,$$

$$R_b = \{ \}$$

де $x = \frac{\sqrt{1 + 14,59025 I_b / I_{Rb}} - 1}{2,4317 \sqrt{I_b / I_{Rb}}}$; R_{bx} – максимальний об'ємний опір бази при нульовому зміщенні; R_{bm} – максимальний опір бази при великих струмах; I_{Rb} – струм бази, при якому опір бази зменшується на 50% від повного перепаду між R_b та R_{bm} .

Струми стік-витік $I_{d1s1} = I_{d2s2}$ МДН-транзистора в лінійному режимі ($U_{ds} < (U_{gs} - U_{nop})$) визначаються за формулою [115]

$$I_{d1s1} = I_{d2s2} = \frac{\mu C_0 W}{L} \left((U_{gs} - U_{nop}) U_{ds} - \frac{U_{ds}^2}{2} \right), \quad (2.4)$$

де U_{ds} - напруга стік-витік; μ - рухливість носіїв заряду, U_{gs} - напруга затвор-витік; W - ширина каналу, L - довжина каналу.

Порогова напруга МДН-транзистора визначається за формулою

$$U_{nop} = \phi_{SiO_2} + 2\phi_B - \frac{Q_s}{C_0} + \frac{1}{C_0} \sqrt{4\varepsilon_s q N_A \phi_B},$$

де Q_s - питомий поверхневий заряд, Ф/м²; ε_s - відносна електрична проникність напівпровідника; N_A - концентрація домішок; C_0 - питома ємність оксиду.

Потенціал Фермі описується за формулою

$$\phi_B = \pm kT/q \ln(N_A/n_i),$$

де n_i - концентрація носіїв заряду.

В режимі насичення при $U_{ds} \geq (U_{gs} - U_{nop})$ струм стік-витік визначається як

$$I_{ds} = \frac{\mu C_0 W}{6L} \left((U_{gsat} + 2\phi_B)^2 + U_{gs} (U_{gsat} + 2\phi_B) - 12\phi_B (U_{gs} - \phi_B - \frac{4}{3} K \phi_B^{1/2}) \right),$$

де $K = (\varepsilon_s q N_A / C_0)^{1/2}$, U_{dsat} - напруга стік-витік в режимі насичення

$$U_{dsat} = U_{gs} - 2\phi_B + K^2 (1 - (1 + 2U_{gs}/K^2)^{1/2}).$$

Опір стік-витік R_{ds} в лінійній області визначається виразом

$$R_{ds} = \frac{L}{W\mu C_0} (U_{gs} - U_{nop}),$$

а в області насичення

$$R_{ds} = \frac{12 \left[L (U_d - U_{dsat})^{1/2} - 2(\varepsilon_s / q N_A)^{1/2} (U_d - U_{dsat}) \right]}{W\mu C_0 (2\varepsilon_s / q N_A)^{1/2}} \times \frac{1}{(U_{dsat} + 2\phi_B)^2 + U_{gs} (U_{dsat} + 2\phi_B) - 12\phi_B (U_{gs} - \phi_B - 4/3 K \phi_B^{1/2})},$$

де U_d - напруга на стокові.

Струм підкладка-витік I_{ps1} та струми підкладка-стік I_{pd1} , I_{pd2} визначаються за формулами:

$$I_{pd1} = I_{pd2} = I_S (\exp(U_{pd} / (N_D U_{nop})) - 1), \quad (2.5)$$

$$I_{ps1} = I_S (\exp(U_{ps} / (N_S U_{nop})) - 1), \quad (2.6)$$

де U_{ps} - напруга підкладка-витік,

U_{pd} - напруга підкладка-стік,

N_D та N_S - коефіцієнти неідеальності переходів підкладка-стік та підкладка-витік відповідно.

На перетвореній схемі (рис. 2.5) використані позначення:

$$\begin{aligned} Z_{R1} &= R_1; \quad Z_c = R_c; \quad Z_b = R_b; \quad Z_{bc} = -j/\omega(C_{bc}); \quad Z_{bx} = -j/(\omega C_{bx}); \quad Z_e = R_e; \quad Z_{be} = -j/\omega(C_{be}); \\ Z_{rs} &= R_{RS}; \quad Z_{Cl} = -j/\omega(C_1); \quad Z_L = j\omega L; \quad Z_E = R_E / (1 + \omega^2 R_E^2 C_E^2) - j(R_E^2 \omega C_E / (1 + \omega^2 R_E^2 C_E^2)); \\ Z_{s1} &= R_{s1}; \quad Z_{d2} = R_{d2}; \quad Z_{g2} = R_{g2}; \quad Z_{pd2} = -j/(\omega C_{pd2}); \quad Z_{pd1} = -j/(\omega C_{pd1}); \quad Z_{d1s1} = R_{d1s1}; \\ Z_{g1} &= R_{g1}; \\ Z_p &= R_p / (1 + \omega^2 R_p^2 C_{ps1}^2) - j(R_p^2 \omega C_{ps1} / (1 + \omega^2 R_p^2 C_{ps1}^2)); \quad Z_{g1d1} = -j/(\omega C_{g1d1}); \\ Z_{g1s1} &= R_{g1s1} / (1 + \omega^2 R_{g1s1}^2 C_{g1s1}^2) - j(R_{g1s1}^2 \omega C_{g1s1} / (1 + \omega^2 R_{g1s1}^2 C_{g1s1}^2)); \\ Z_{g2s2} &= R_{g2s2} / (1 + \omega^2 R_{g2s2}^2 C_{g2s2}^2) - j(R_{g2s2}^2 \omega C_{g2s2} / (1 + \omega^2 R_{g2s2}^2 C_{g2s2}^2)). \end{aligned}$$

2.6 Розрахунок параметрів та характеристик частотного перетворювача магнітної індукції з двозатворним МДН- транзистором та магнітотранзистором

Вольт-амперна характеристика розробленого перетворювача має ділянку від'ємного опору, що дозволяє компенсувати втрати енергії в коливальному контурі, який утворений еквівалентною ємністю на електродах емітер-колектор біполярного транзистора $VT2$ та магнітотранзистора $VT3$.

На основі системи рівнянь (2.8) за допомогою програмного пакету Matlab 13 розрахована активна та реактивна складові повного опору, теоретичні та експериментальні залежності яких від величини індукції магнітного поля показані на рис. 2.9–2.10 для схеми перетворювача із транзистором $VT1$ – BC847 В, $VT2$ – BC857 А, конденсатором $C1$ - 560 нФ, резисторами $R1$ – 2,5 кОм, $R2$ – 6,5 кОм та індуктивністю L – 350 мкГн.

Для визначення функції перетворення необхідно знайти залежність частоти генерації від величини магнітної індукції. Система рівнянь Кірхгофа, складена на основі еквівалентної схеми (рис. 2.8), прийнявши вузол 0 як базисний, має вигляд:

$$\begin{aligned}
 \phi_2 y_2 + \phi_3 y_3 &= U_{out}(y_1 + y_2 + y_3); \\
 \phi_2(y_2 + y_4 + y_5 + y_6) + \phi_3 y_4 + \phi_4 y_5 + \phi_6 y_7 &= I_{d2s2} - I_{pd2} - U_{out} y_2; \\
 \phi_2 y_4 - \phi_3(y_3 + y_4 + y_{11}) + \phi_8 y_{11} &= -U_{out} y_3; \\
 \phi_2 y_5 - \phi_4(y_5 + y_6) + \phi_5 y_6 &= -I_{d2s2}; \\
 \phi_4 y_6 - \phi_5(y_6 + y_8 + y_{10} + y_{12}) + \phi_6 y_8 + \phi_7 y_{10} + \phi_8 y_{12} &= -I_{pd1} - I_{pd1}; \\
 \phi_2 y_7 + \phi_5 y_8 - \phi_6(y_7 + y_8 + y_9) + \phi_7 y_9 &= I_{pd2} + I_{pd1} + I_{d1s1}; \\
 \phi_6 y_9 + \phi_5 y_{10} - \phi_7(y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{20}) + \phi_9 y_{14} + \phi_8 y_{20} &= -I_{ps1} - I_{d1s1}; \quad (2.7) \\
 \phi_3 y_{11} + \phi_5 y_{12} + \phi_7 y_{20} - \phi_8(y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{20}) &= 0; \\
 \phi_7 y_{14} - \phi_9(y_{14} + y_{15}) + \phi_{10} y_{15} &= I_{be} + I_t; \\
 \phi_9 y_{15} - \phi_{10}(y_5 + y_{16} + y_{17}) + \phi_{11} y_{16} + \phi_{12} y_{17} &= -I_{bc} - I_{bc}; \\
 \phi_{10} y_{16} - \phi_{11}(y_{16} + y_{18} + y_{21}) + \phi_{10} y_{16} + \phi_{13} y_{168} &= I_{bc} - I_t; \\
 \phi_{10} y_{17} - \phi_{12}(y_{17} + y_{19}) + \phi_{13} y_{19} &= -I_w; \\
 \phi_{11} y_{18} - \phi_{13}(y_{18} + y_{19}) &= I_w,
 \end{aligned}$$

{ } { } { } { } { } { } { } { } { } { }

де провідності гілок схеми визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 1/(Z_{c1} + Z_L); \quad y_2 = 1/Z_{d2}; \quad y_3 = 1/Z_{g2}; \quad y_4 = 1/Z_{g2s2}; \quad y_5 = 1/Z_{d2s2}; \\
 y_6 &= 1/Z_{d1s2}; \quad y_7 = 1/Z_{pd2}; \quad y_8 = 1/Z_{pd1}; \quad y_9 = 1/Z_p; \quad y_{10} = 1/Z_{d1s1}; \quad y_{11} = 1/Z_{g1g2}; \\
 y_{12} &= 1/Z_{g1d1}; \quad y_{13} = 1/(Z_{g1} + Z_{R1}); \quad y_{14} = 1/Z_{s1}; \quad y_{15} = 1/Z_{be}; \quad y_{16} = 1/Z_{bc}; \quad y_{17} = 1/Z_b; \\
 y_{18} &= 1/Z_{bx}; \quad y_{19} = 1/Z_E; \quad y_{20} = 1/Z_{g1s1}; \quad y_{21} = 1/Z_{rs}.
 \end{aligned}$$

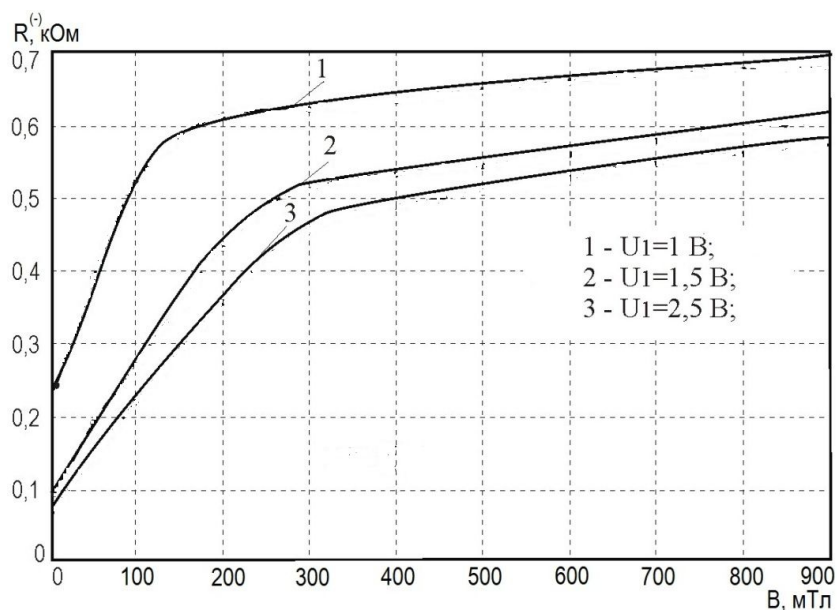


Рисунок 2.9 – Теоретичні залежності активної складової повного опору від індукції магнітного поля

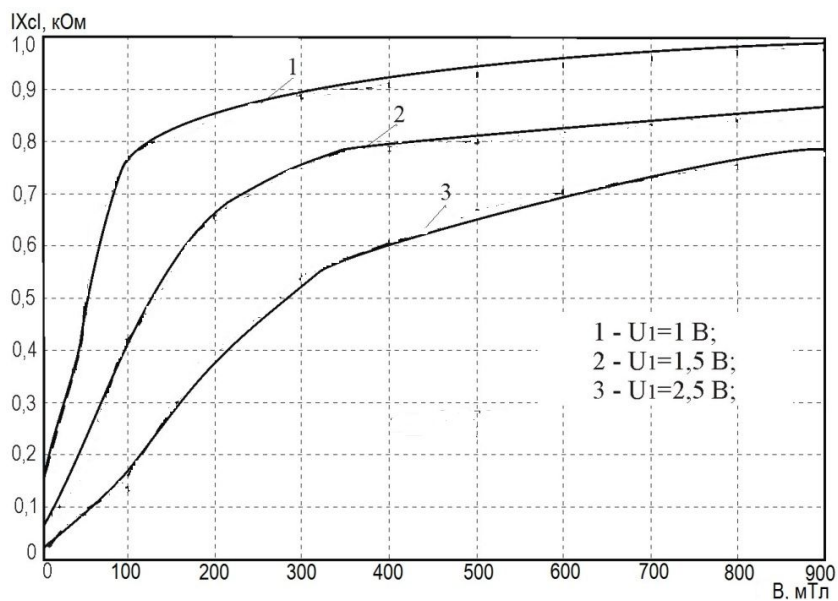


Рисунок 2.10 – Теоретичні залежності реактивної складової повного опору від індукції магнітного поля

З рис. 2.9 та 2.10 видно, що із збільшенням магнітної індукції активна та реактивна складові повного опору збільшуються.

На рис. 2.11 подані залежності частоти генерації перетворювача магнітної індукції з магнітотранзистором від напруги живлення U_1 .

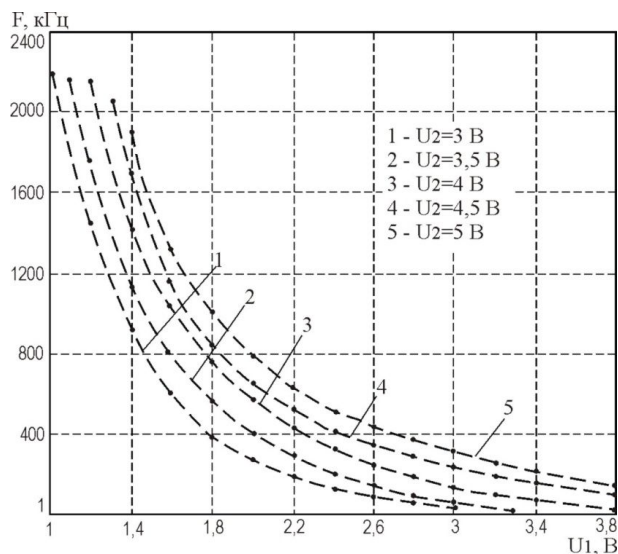


Рисунок 2.11 – Залежності частоти генерації магнітного перетворювача із магнітотранзистором та МДН-транзистором від напруги живлення для різних робочих точок автогенератора

З рис. 2.11 видно, що сприятливим режимом роботи перетворювача, при якому частота генерації лінійно залежить від напруги живлення, є робота при напрузі керування 4 та 4,5 В.

На рис. 2.12 подані теоретичні залежності частоти генерації магнітного перетворювача із магнітотранзистором та МДН-транзистором від зміни величини індукції магнітного поля.

Як видно з рис. 2.12, частота генерації збільшується із збільшенням індукції магнітного поля, а на ділянці від 1 до 150 мТл спостерігається більша залежність частоти генерації від зміни магнітної індукції, також з рис. 2.12 видно, що експериментальні та теоретичні залежності мають добрий збіг.

Залежність частоти генерації від індукції магнітного поля визначається по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми (рис. 2.8) на основі теорії стійкості Ляпунова.

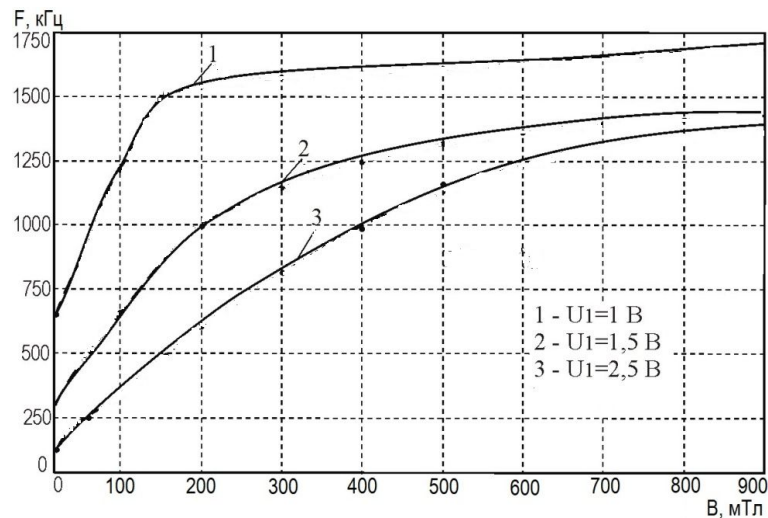


Рисунок 2.12 – Теоретичні залежності частоти генерації магнітного перетворювача із магнітотранзистором від зміни величини магнітної індукції

Функція перетворення магнітного перетворювача із магнітотранзистором описується виразом (2.8)

$$F = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{L_1 C_{pd2}} (-L_1 C_{pd2} + R_E^2(B) C_{ps1}^2 + R_E^2(B) C_{ps1} C_{pd2} + A)}{L_1 C_{ps1} C_{pd2} R_1(B)}, \quad (2.8)$$

де

$$A = L_1^2 C_{pd2}^2 + 2L_1 C_{ps1} C_{pd2} R_E^2(B) - 2L_1 C_{pd2}^2 C_{ps1} R_E^2(B) + R_E^4(B) C_{ps1}^4 + 2R_E^4(B) C_{ps1}^3 C_{pd2} + R_E^4(B) C_{ps1}^2 C_{pd2}^2$$

На основі (2.8) визначена чутливість магнітного перетворювача із магнітотранзистором де

$$\begin{aligned}
S_B^F = & \frac{1}{8} \sqrt{\psi} (2R_E(B)C_{ps1} \left(\frac{\partial}{\partial B} R_E(B)\right) + 2R_E(B)C_{pd2}C_{ps1} \left(\frac{\partial}{\partial B} R_E(B)\right) + \\
& + 2L_1 R_E(B)C_{pd2}C_{ps1} \left(\frac{\partial}{\partial B} R_1(B)\right) - 2L_1 R_E(B)C_{pd2}^2 C_{ps1} \left(\frac{\partial}{\partial B} R_E(B)\right) + \\
& + 2R_E^3(B)C_{ps1}^2 \left(\frac{\partial}{\partial B} R_1(B)\right) + 4R_E^3(B)C_{pd2}C_{ps1}^2 \left(\frac{\partial}{\partial B} R_E(B)\right) + (2.9) \\
& + 2R_E^3(B)C_{pd2}^2 C_{ps1}^2 \left(\frac{\partial}{\partial B} R_E(B)\right) \sqrt{D_1}) / (\sqrt{L_1} C_{pd2} C_{ps1} (D_2 + \sqrt{D_1}) \pi R_E(B) - \frac{1}{2} \sqrt{\psi} \times \\
& \sqrt{L_1} C_{pd2} C_{ps1} (D_2 + \sqrt{D_1}) \left(\frac{\partial}{\partial B} R_E(B)\right) \pi L_1 C_{pd2} C_{ps1} R_E^2(B)),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_1 = & L_1^2 C_{pd2}^2 + 2L_1 C_{pd2} C_{ps1} R_E^2(B) - 2L_1 C_{pd2}^2 C_{ps1} R_E^2(B) + R_E^4(B) C_1^2 + 2R_E^4(B) C_{ps1}^2 C_{pd2} + \\
& + R_E^4(B) C_{ps1}^2 C_{pd2}^2; \\
D_2 = & -L_1 C_{pd2} + R_E^2(B) C_{ps1} + R_1^2(E) C_{ps1} C_{pd2}.
\end{aligned}$$

Графік залежності чутливості від величини магнітної індукції представлений на рис. 2.13.

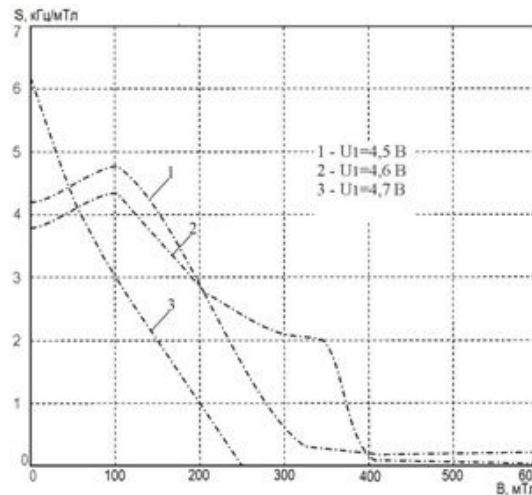


Рисунок 2.13 – Залежність чутливості магнітного перетворювача із магнітотранзистором від зміни величини магнітної індукції

З рис. 2.13 видно, що максимальну чутливість магнітний перетворювач при напрузі живлення 3,5 В. Із зміною індукції від 1 до 120 мТл, чутливість змінюється від 210 до 2 кГц/мТл

2.7 Моделювання роботи схеми

Для моделювання роботи електричної схеми пристрою перетворювача індукції магнітного поля обрано програмне середовище Proteus. Це програмне середовище дозволяє провести як моделювання роботи схеми так і розведення плати і компонування елементів. Використовуючи стандартні компоненти бібліотек було зібрано схему для моделювання (рис. 2.14).

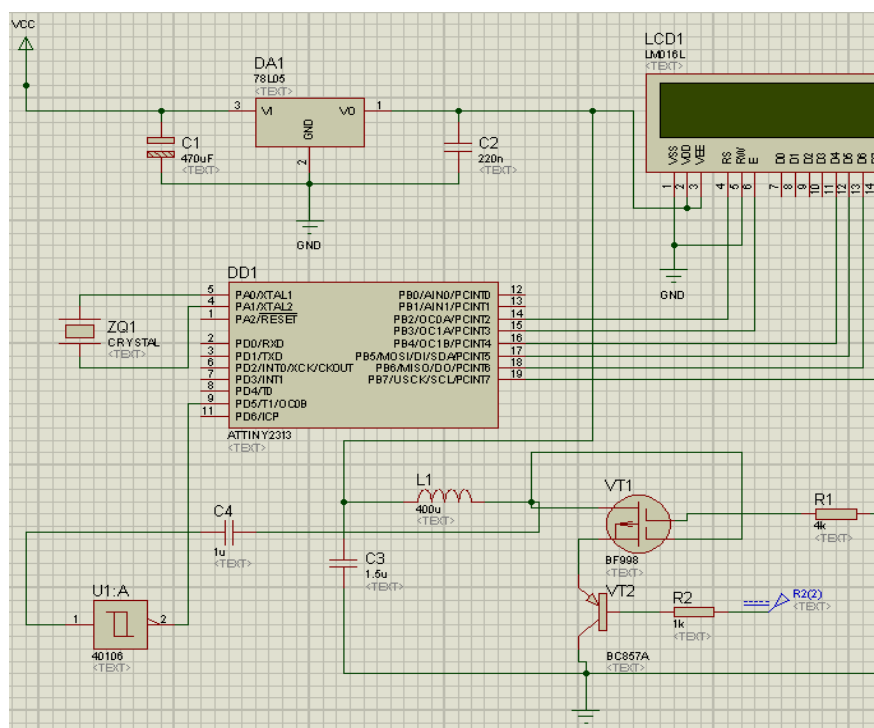


Рисунок 2.14 – Зображення схеми для моделювання

Для мікроконтролера ATtiny 2313 створено програму мовою С та скомпільовано HEX-файл для його прошивки.

Для моделювання роботи схеми замість магнітотранзистора, в якому магнітне поле керує струмом між емітером і колектором було використано біполярний транзистор BC857A. В залежності від напруги на базі змінюється струм між колектором та емітером транзистора і внаслідок цього змінюється резонансна частота коливального контуру.

Гармонічний сигнал з виходу схеми генератора подається на тригер Шмітта, та перетворюється в сигнал прямокутної форми тієї ж частоти. З виходу тригера Шмітта поступає на лічильник мікроконтролера.

На рисунку 2.15 зображено осцилограми з виходу схеми генератора та після пристрою перетворення в прямокутний сигнал.

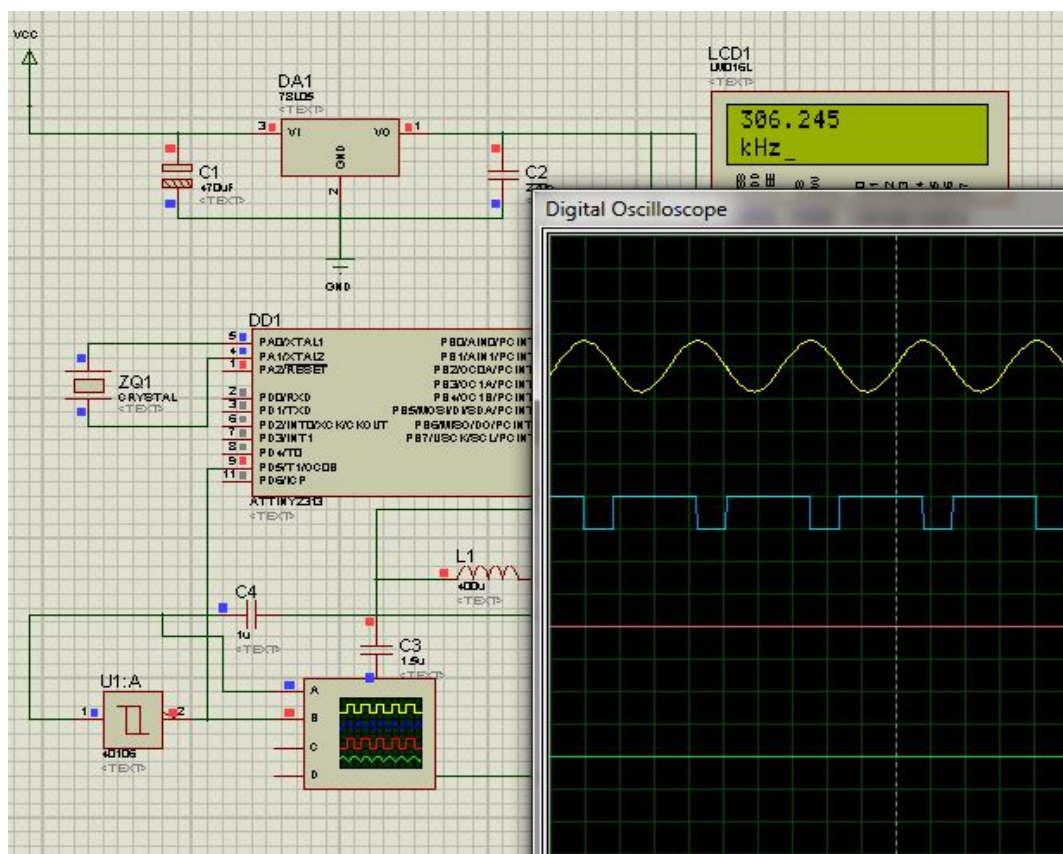


Рисунок 2.15– Зображення осцилограм сигналів схеми.

На базу було подано напругу в 1 В. При цьому частота генерації складає близько 306 кГц. Це відображено на рідкокристалічному екрані (рис. 2.16).

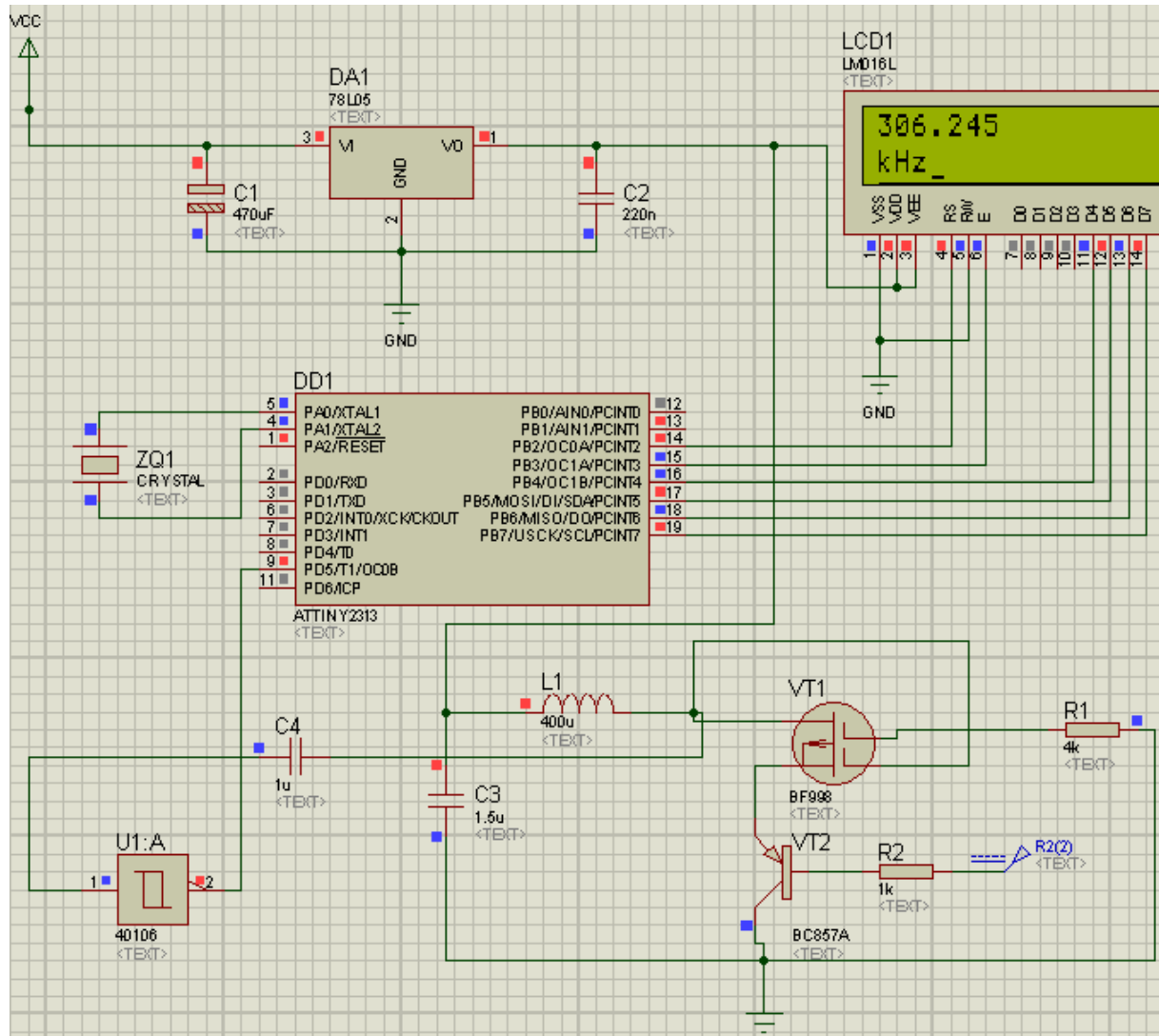


Рисунок 2.16 – Результати вимірювання схеми на рідкокристалічному екрані.

Отже, отримані результати моделювання підтверджують працездатність розробленого приладу. Написавши рівняння Еренфеста для електричного кола та

вивівши з них функцію перетворення вихідного сигналу можна перетворювати значення частоти на LCD1 індикаторі в значення індукції магнітного поля.

2.8 Висновки до другого розділу

У результаті математичного моделювання отримано аналітичні вирази, які можуть бути використані для інженерного розрахунку рівняння чутливості і функції перетворення частотного перетворювача магнітного поля з МДН-транзистором та магнітотранзистором, що забезпечить вибір оптимального режиму його живлення.

Проведено експериментальні дослідження, які показали, чутливість частотного перетворювача магнітного поля з магнітотранзистором в діапазоні від 100 до 500 мТл, чутливість змінюється від 6 до 0,3 кГц/мТл. Розбіжність теоретичних та експериментальних даних складає $\pm 5\%$.

3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПЛАТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Основними вимогами до конструкції пристрою є економічність, простота підключення та процесу визначення величини індукції магнітного поля. Для зручності для магніточутливого транзистора передбачено створити роз'єм для швидкої заміни у випадку його виходу з ладу. Решта елементів будуть розміщені на платі.

3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

При виборі типу друкованої плати для конструкції потрібно враховувати техніко-економічні показники. Модель даного приладу не є досить складною за своєю конструкцією і складається з доступних радіоелементів. Вибираємо двосторонню друковану плату, яка характеризується високими комутаційними якостями за рахунок металізації в отворах, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати та низькою вартістю.

Для виготовлення друкованої плати використовують фольговані та нефольговані діелектрики. Вихідними матеріалами для їх виготовлення є папір або склотканина, просякнуті синтетичними смолами, або полімерні плівки з лавсану, фторопласту та ін. На поверхню фольгованих матеріалів мідна фольга приклеюється з однієї чи двох сторін листа в процесі виготовлення. Її товщина становить 20 – 50 мкм.

До матеріалу висуваємо такі вимоги:

- висока технологічність;
- високі електрофізичні властивості;
- забезпечення високої адгезії;
- мінімальні механічні короблення.

В табл. 3.1 подано основні властивості матеріалів друкованих плат [11].

Найчастіше для виготовлення друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс наступних марок:

- ГФ – фольгований гетинакс;
- СФ – фольгований склотекстоліт;
- ФГС – склотекстоліт фольгований травильний;
- СФПН – склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
- СТФ – склотекстоліт теплостійкий.

Таблиця 3.1 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметри	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, г/см ³	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,8
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+105	-60...+120
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається залежно від елементної бази та навантажень.

Найоптимальніші параметри для розробки перетворювача індукції магнітного поля, згідно табл. 3.1, має склотекстоліт. Тому обираємо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86, який має товщину фольги 35 мкм, товщину матеріалу з фольгою 1,5 мм. та діапазон робочих температур від -60 до +120 °С. Даний матеріал, згідно з [11], володіє досить високим значенням ударної міцності, та здатен витримувати

перевантаження в 25g та механічні удари з тривалістю імпульсу в 13 мілісекунд. Будучи вкритим захисним лаковим покриттям, фольгований склотекстоліт стає нечутливим до вологи у всьому робочому температурному діапазоні, що задовольняє умовам поставленого технічного завдання.

3.2 Вибір класу точності та методу проектування друкованої плати

До друкованих плат висуваються такі вимоги:

1. Висока точність розташування струмопровідного рисунка
2. Велика величина опору діелектрика
3. Висока механічна міцність
4. Добра здатність до паяння, особливо після тривалого зберігання.

Досягається шляхом вибору типу покриття та технологією його нанесення.

Точність розташування струмопровідного рисунка регламентується вимогами держстандартів. З цією метою введено поняття класу точності друкованих плат.

Таблиця 3.2 – Класи точності друкованих плат

Параметри конструкції плат, мм	Клас точності				
	1	2	3	4	5
1. Ширина друкованих провідників	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
2. Відстань між суміжними провідниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
3. Ширина гарантійного пояса	0,3	0,2	0,1	0,05	0,0025
4. Відносна товщина ДП	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Для даного виробу (згідно таблиці 3.2), з огляду на не складне трасування оптимальним варіантом буде вибір 2-го класу точності друкованої плати (не вимагає використання високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання).

Даний клас характеризується наступними параметрами конструкції:

- а) ширина провідника – 0,45 мм;
- б) відстань між сусідніми доріжками – 0,45 мм;
- в) ширина гарантійного пояса – 0,2 мм;
- г) відносна товщина ДП – 0,4 мм.

Установка навісних елементів на друкованій платі здійснюється згідно з ГОСТ 4ГО.010.030-81 та ГОСТ4.ГО.010.009. При розташуванні елементів необхідно враховувати наступні фактори: забезпечення високої надійності, мінімізація розмірів, забезпечення тепловідводу та ремонтпридатності.

Елементи розташовуємо з однієї сторони паралельно сторонам плати по принципу найкоротших зв'язків.

Вибираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку на початок координат розташовуємо згідно з ГОСТ 2.417-78. Отвори та елементи друкованого малюнку розташовуємо на платі відносно початку координат [12].

Всі контактні площадки розміщуємо у вузлах сітки. Це ж стосується і виводів елементної бази.

3.3 Розрахунок ширини провідників

Ширина провідників визначається у розрахунку на струм, який проходить через них, та максимально можливе падіння напруги.

Для допустимого струму :

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \times t}, \quad (3.1)$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму для мідного провідника, $j_{\text{доп}} = 17 \text{ А/мм}^2$;

t – товщина фольги, $t = 35 \text{ мкм}$;

I_{\max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник;

$I_{\max} = 0,03 \text{ А}$, згідно індивідуального завдання.

$$b_{\min} = \frac{0,03}{17 \times 0,035} = 0,05 (\text{мм}) = 50 (\text{мкм}) < 250 (\text{мкм}).$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \times \rho \times l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \times t}, \quad (3.2)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$;

I_{\max} – струм, який проходить по провіднику, $I_{\max} = 0,03 \text{ А}$;

l_{\max} – максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,1 \text{ м}$;

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення $U_{\text{доп}} = 5 \times 0,05 = 0,25 \text{ В}$);

t – товщина фольги;

$$b_{\min} = \frac{0,03 \times 0,0175 \times 0,1}{0,25 \times 0,035} = 0,06 (\text{мм}) = 60 (\text{мкм}) < 250 (\text{мкм}).$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують обраних для другого класу точності.

3.4 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT

Розробка друкованої плати в ARES розпочинається з виклику команди Tools>NetlisttoARES в програмі моделювання ISISProteus [13]. Після виклику команди буде автоматично запущено вікно програми ARES з пропозицією вибору необхідного типу друкованої плати, що буде розроблятися. В якості друкованої плати вибираємо плату з двосторонньою металізацією, після чого зберігаємо проект.

В процесі завантаження списку з'єднань для кожного символу схеми в бібліотеках корпусів компонентів *.LIB знаходиться відповідний корпус. Якщо необхідний корпус відсутній у бібліотеці, то за допомогою вкладки PackageMode створюємо новий корпус або проводимо вибірку одного із існуючих корпусів.

Перед початком процесу автоматичного трасування друкованої плати, за допомогою вкладки Technology>DesignRules проводимо необхідні налаштування допустимого розміщення провідників, їх мінімальної та максимально можливої товщини, а також зазорів між ними. Для початку трасування виконуємо команду Tools>AutoRouter. Отримаємо розведену плату (рис. 3.1).

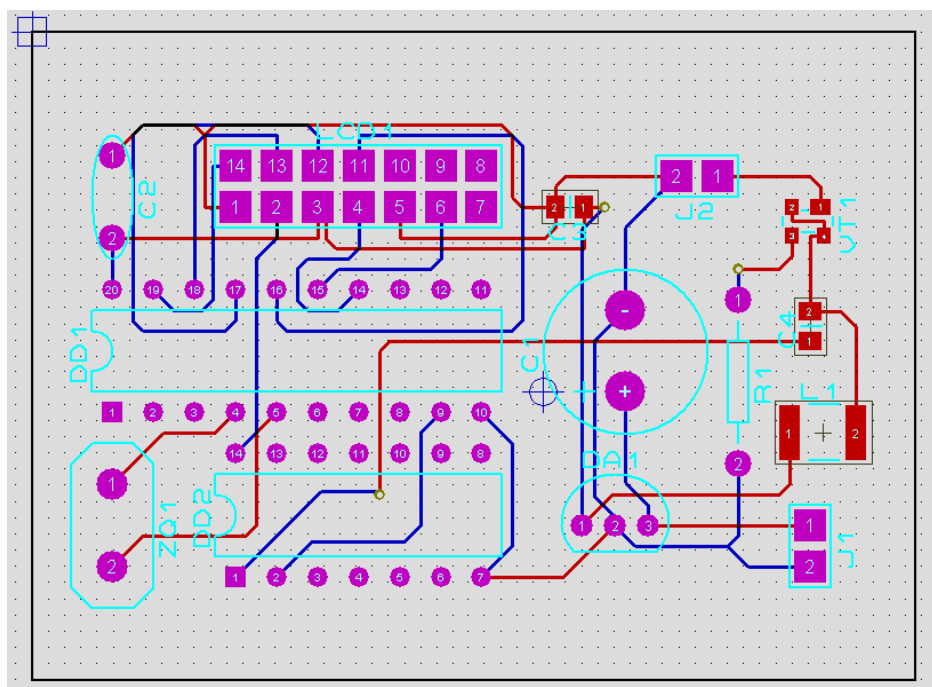


Рисунок 3.1 – Розведена плата в ARES Proteus Layout

Скориставшись функціональними можливостями ARES, побудуємо візуальну трьохвимірну модель друкованої плати з встановленими компонентами. Для цього необхідно виконати команду Output> 3DVisualization.

Побудована трьохвимірна модель пристрою (рис. 3.2). А також зображено вигляд плати без елементів (рис. 3.3).

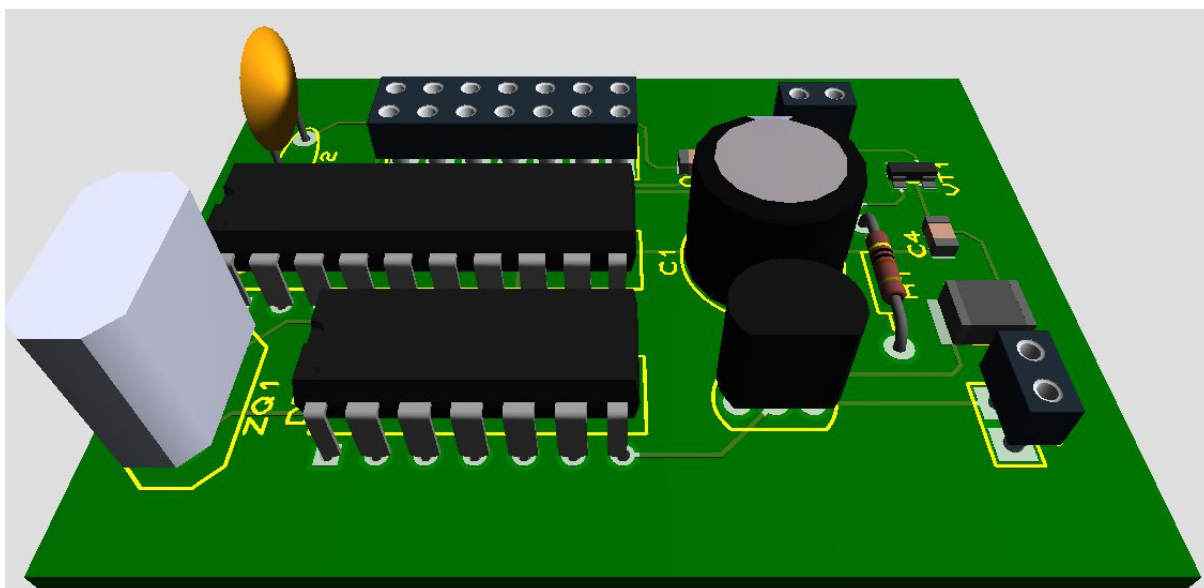


Рисунок 3.2 – Зображення моделі плати пристрою з елементами

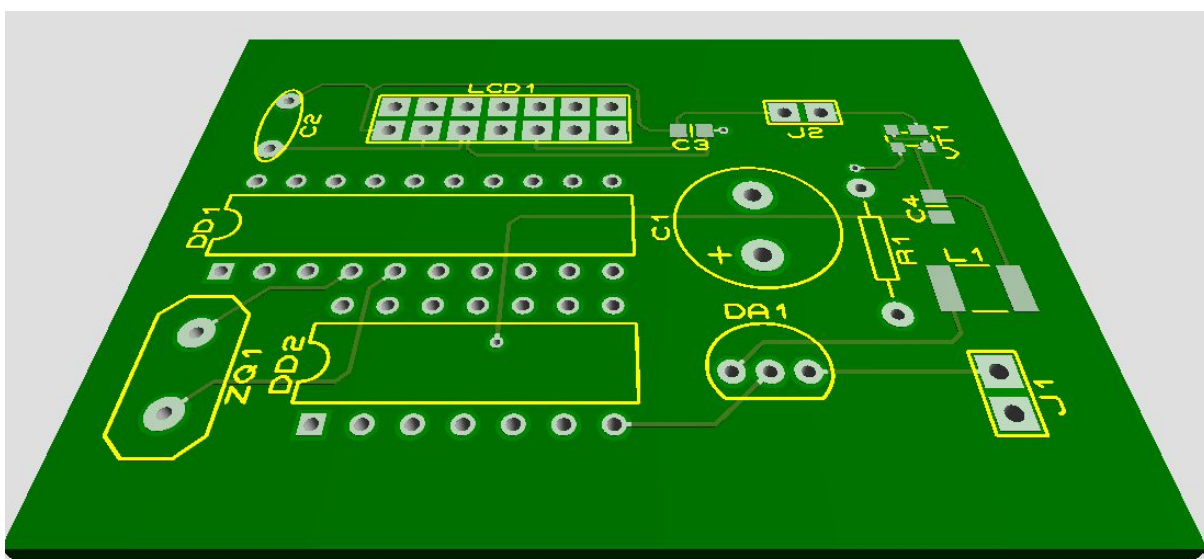


Рисунок 3.3 – Зображення моделі плати пристрою без елементів

Отже, створено модель плати та навісних елементів в програмному пакеті ARES PROTEUS.

3.5 Висновки до третього розділу

Здійснено розрахунок параметрів друкованої плати та обрано її тип – двостороння. Цей тип характеризується високими комутаційними властивостями, підвищеною міцністю з'єднань виводів навісних елементів з рисунком плати, високою щільністю розташування електронних компонентів та низькою вартістю.

У якості матеріалу друкованої плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86 (ГОСТ 10316 – 78), який має товщину 1,5 мм. Для даного типу плати проведено розрахунок ширини друкованих провідників.

Використовуючи ARES PCB Layout створено проект та проведено моделювання пристрою. На основі проектів ISIS Proteus та ARES PCB Layout створено електричну принципову схему, друковану плату та складальне креслення, які наведені в додатках.

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Прогнозування витрат на виконання НДДКР

Капітальні вкладення на розробку нового конструкторського технічного рішення, в загальному випадку, складаються з відповідних витрат і розраховуються за формулою (4.1):

$$K = Z_0 + Z_p + Z_{\text{доп}} + A_{\text{обл}} + M + K_v + B_{\text{ел}} + I_v, \quad (4.1)$$

Де Z_0 – основна заробітна плата розробників, грн;

Z_p – основна заробітна плата робітників, які виконують відповідні роботи, грн.;

$Z_{\text{доп}}$ – додаткова заробітна плата розробників та робітників, грн.;

$A_{\text{обл}}$ – амортизація обладнання та приміщень для розробки нового рішення, грн.;

M – витрати на матеріали, які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

K_v – витрати які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

$B_{\text{ел}}$ – витрати на електроенергію для розробки нового технічного рішення, грн.;

I_v – інші витрати, грн.;

Витрати на основну заробітну плату розробників розраховуються за формулою (4.2):

$$Z_0 = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k - кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} - місячний посадовий оклад конкретного розробника;

t_i - число днів роботи конкретного розробника;

T_p - середнє число робочих днів в місяці.

Проведені розрахунки зведемо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату
Керівник проекту	10000	476	30	14285,71
Інженер	7000	333	30	10000
Всього			z_o	152851

Розрахунок основної заробітної плати проводиться за наступною формулою (4.3):

$$z_p = \sum_{i=1}^n C_i * t_i \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год;

t_i – час роботи робітника на визначеній і й технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна розрахувати за формулою (4.4):

$$C_i = \frac{M_M * K_I * K_C}{T_P * T_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_m – розмір мінімальної місячної заробітної плати, грн;
 K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;
 K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормативними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати;
 T_p – середнє число робочих днів в місяці;
 $t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Розмір мінімальної заробітної плати станом на 1.01.2019 р. становить 4173 грн.

Детальні розрахунки представимо в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Промивка	1,5	4	1,5	55,28	27,64
Комплектування	0,5	1	1,1	37	18,5
Виконання інших робіт	2	1	1	37	74
Всього					121

Нарахування на заробітну плату в 2019 році. Кожний роботодавець зобов'язаний нараховувати і сплачувати до бюджету єдиний соціальний внесок (ЄСВ). Це консолідований страховий внесок, який включає соціальний пакет, законодавчо передбачений державою, а саме: пенсійне страхування (виплата пенсій), страхування на випадок тимчасової втрати працездатності (оплата лікарняних), страхування, пов'язане з виникненням нещасних випадків на

виробництві. Також нагадаємо, що ЄСВ в 2019 році сплачується за рахунок коштів роботодавця.

У загальному випадку ставка ЄСВ складає 22% (ч. 5 ст. 8 ЗУ "Про ЄСВ"). Нарахування на заробітну плату відповідно до діючого законодавства розробників та робітників становить 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників і робітників за формулою (4.5):

$$З_n = (З_o + З_p + З_{дод}) * Н_{зп} \quad (4.5)$$

де $H_{зп}$ – норма нарахування на заробітну плату робітників.

Розрахунок приведений в формулі 4.6.

$$З_n = (152851+121) * 22 = 1529,7 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Наступним етапом є розрахунок амортизаційних відрахувань. В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання та приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою 4.7:

$$A_{обп} = \frac{Ц_е * t_{вик}}{T_е} \quad (4.7)$$

де $Ц_е$ – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувалися для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_е$ – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Основні фонди	80 000	15	1	444,4
Програмне забезпечення	100 000	2	1	4166
Комп'ютер	25 000	7	1	297,6
Паяльна станція	2500	3	1	69,4
Паяльник для мікросхем	1000	3	1	27,7
Дрібні устаткування	50000	3	1	1388,8
Всього				5895

Витрати на комплектуючі вироби, які використовуються при розробці одиниці нового технічного рішення, розраховуються згідно з їхньою номенклатурою за формулою 4.8:

$$K_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n H_j * C_j * K_j, \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду;

C_j - ціна комплектуючих j -го виду;

K_j - коефіцієнт транспортних затрат.

Коефіцієнт транспортних витрат може коливатися від 1,1 до 1,15. В нашому випадку становить 1,15.

Розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

№	Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
1	Конденсатор	6	4	24
2	Резистор	10	3	300
3	Транзистор	2	30	120
Всього				444

Таблиця 4.3 – Витрати на комплектуючі

Наступним етапом є розрахунок витрат на силову електроенергію:

Витрати на силову електроенергію B_e розраховується за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} * t_i * C_e * K_{впi}}{\eta_i}$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на визначеній i – й технологічній операції при виготовленні одного виробу або на етапі розробки, год;

C_e – вартість 1 кВт – години електроенергії, грн;

$K_{впi}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впi} < 1$.

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці

Таблиця 4. 5 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Паяльник для мікросхем	0,040	1,5	0,144
Дрібні устаткування	0,040	2	0,192
Паяльна станція	0,080	0,5	0,096
Всього			0,432

Витрати на електроенергію становлять 2,4грн./кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

4.2. Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Метою будь якого підприємства є отримання прибутку. На рівень цін підприємства впливають наступні фактори: собівартість продукції; наявність унікальних властивостей продукції; ціни-продуктів конкурентів і цін товарів-замінників; можливість отримання достатнього прибутку. Нижня межа ціни – це собівартість, верхня межа платоспроможність покупців. Скористаємось методом лімітних цін, за якого визначається верхня та нижня межа ціни.

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Результати розрахунків всіх видів витрат, на виготовлення одиниці продукції, необхідно звести до таблиці.

Таблиця 4. 6 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.
1. Витрати на комплектуючі на одиницю продукції, грн	<i>Кв</i>	444
2. Витрати на силову електроенергію, грн.	<i>Ве</i>	<i>0,432</i>
3. Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	<i>Зр</i>	121
4. Витрати на нарахування на заробітну плату робітників, грн.	<i>Зн</i>	26,6
5. Загальновиробничі витрати, грн.	<i>Взаг</i>	242
	<i>Св</i>	843

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет та інтернет послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200 – 300% від суми основної зарплати дослідників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$Зн = (152851 + 121) * 200 = 305404$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$В = 152851 + 121 + 444 + 0,432 + 5895 + 305404 + 33653,8 = 498369,23$$

Нижня межа ціни передбачає, що виробник має покривати усі понесені витрати в процесі виробництва та забезпечити відповідний рівень рентабельності для підприємства.

Ціна реалізації розраховується за формулою 4.10:

$$C_{\text{нмр}} = S_{\text{в}} * \left(1 + \frac{P}{100}\right) * \left(1 + \frac{w}{100}\right), \quad (4.10)$$

де $C_{\text{нмр}}$ - нижня межа ціни реалізації виробу;

$S_{\text{в}}$ - виробнича собівартість виробу, грн;

P - нормативний рівень рентабельності, %;

w - ставка податку на додану вартість.

За нормативний рівень рентабельності приймаємо 40% для першого року виробництва, в подальшому підприємство планує нарощувати. Ставка податку на додану вартість станом становить 20%.

За ціну реалізації приймається ринкова ціна на відповідні вироби з врахування значень показників якості нової розробки відносно до показників базового виробу і в цьому випадку розрахуємо верхню межу ціни:

$$C_{\text{нмр}} = 1167 * (1+0,5) * (1+0,2) = 1960 \quad (4.11)$$

В даний час перспективність наукового дослідження визначається не стільки масштабом відкриття, оцінити на перших етапах життєвого циклу високотехнологічного продукту буває важко, скільки комерційною цінністю розробки. Оцінка комерційної цінності розробки є необхідною умовою при пошуку джерел фінансування для проведення наукового дослідження і комерціалізації його результатів. Це важливо для розробників, які повинні представляти стан і перспективи проведених наукових досліджень.

Необхідно розуміти, що комерційна привабливість наукового дослідження визначається не тільки перевищенням технічних параметрів над попередніми розробками, а й тим, наскільки швидко розробник зможе знайти відповіді на такі питання - чи буде продукт затребуваний ринком, яка буде його ціна, який бюджет наукового проекту, який термін буде потрібно для виходу на ринок і т.д.

4.3. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Експлуатаційні витрати є такі витрати, які забезпечують функціонування будь якої розробки в період її експлуатації.

Спочатку розраховується заробітна плата обслуговуючого персоналу $Z_{обс}$:

$$Z_{обс} = N * T_1 * K_{сер} * \Phi_e * K_c * \beta, \quad (4.12.)$$

де N – число робітників, що обслуговують один виріб;

T_1 – погодинна тарифна ставка оплати праці 1 – го розряду;

Погодинна тарифна ставка T_1 визначається за формулою:

$$T_1 = \frac{M_m}{T_p * T_{зм}}, \quad (4.13.)$$

де M_m – мінімальна місячна заробітна плата встановлено КМ;

T_p – число робочих днів у місяці;

$T_{зм}$ – тривалість зміни;

$K_{сер}$ – середній тарифний коефіцієнт, що обслуговують виріб;

Φ_e – ефективний фонд часу робітників за рік;

K_c – коефіцієнт співвідношень;

β - частка часу, який витрачає на обслуговування виробу в загальному часі своєї роботи;

Мінімальна заробітна плата становить 4173. Середнє число робочих місяців 21. Тривалість зміни 8 год.

$$T_1 = \frac{4173}{8 * 21} = 24,8$$

$$\text{Отже, } Z_{\text{обс}} = 1 * 24,8 * 1 * 1,37 * 1800 * 0,008 = 489 \text{ грн.}$$

Наступним кроком є розрахунок витрат на силову енергію:

$$V_e = V * \Pi * \Phi * K_n \quad (4.14)$$

де V – вартість 1 кВт – години електроенергії.

Π – установлена потужність виробу, к ВТ;

Φ – фактична кількість годин роботи виробу за рік, годин;

K_n – коефіцієнт використання потужності.

$$V_e = 180,897 * 5 * 0,05 * (8 * 21 * 12) = 130,638$$

Витрати на електроенергію становлять 2,4грн./кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

Амортизаційні відрахування для розробки визначаються за формулою:

$$A = \frac{\Pi * N_n}{100} \quad (4.15)$$

де Π балансова вартість виробу, грн;

N_n – річна сума амортизації, %.

Витрати на поточний ремонт розробки розраховується за формулою:

$$P = \frac{V_1 * N_1}{T_1} + \frac{V_n * N_n}{T_n} * \Phi + Z_p \quad (4.16)$$

Де V_1, \dots, V_n – вартість однотипних елементів, що замінюються протягом року, грн;

$N_1, N_2 \dots, N_n$ – кількість однотипних елементів, що замінюються протягом року, шт;

$T_1, T_2 \dots T_n$ - середній строк дії однотипних елементів, що замінюються годин

$$P = (60 \cdot 1/2000 + 20 \cdot 2/4000 + 30 \cdot 2/4000) \cdot 2000 + 250 = 360$$

Інші витрати 5 – 10% від суми загальних витрат.

$$10\% = 3,6 \text{ грн.}$$

Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки E_2 :

$$E_2 = 360 + 3,6 + 130 + 489 + 36 = 982$$

4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи

Коефіцієнт наукової значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи підраховується за формулою:

$$K_{зн} = \frac{\sum_1^3 b_i d_i}{\sum_1^3 b_{max} d_i}$$

d_i – значимість отриманих результатів;

b_1 – ступінь наукової новизни;

b_2 – рівень теоретичної обґрунтованості;

b_3 – ступінь експериментальної перевірки результатів.

Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7 – 10 балів.

d_i – питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці.

3 – кількість характеристик за якими зроблена оцінка результатів науково – дослідної роботи.

Таблиця 4. 7 - Показники для оцінювання наукової значимості НДР

Характеристики-	Питома вага характеристики	Ступінь новизни b_1	Рівень теоретичної обґрунтованості v_2	Ступінь експериментальної перевірки v_3
		1	3 -5	7- 10
b_1	0,5	Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів. Створення принципово нової технології
v_2	0,33	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей ¹ , які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
v_3	0,167	Експериментальна перевірка не робилась	Результати перевірялись на невеликій кількості даних	Результати перевірялись на великій кількості даних

Визначимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{zn} = \frac{6 * 0,5 + 6 * 0,333 + 6 * 0,167}{10 * 0,5 + 10 * 0,333 + 10 * 0,167} = 0,6$$

4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР

Внесок дослідника в досягнення результатів НДР розраховується за формулою:

$$V = \frac{k_{твi} * z_i}{\sum_1^n k_{твi} z_i}$$

де ктві – коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР;

З і – заробітна плата НДР;

П- кількість виконавців.

$$V = \frac{3 * 7000}{3 * 10000} = 0,7$$

Висновки до четвертого розділу

Економічні розрахунки підтвердили виробництво виробу. Підприємство планує на наступному році випуску збільшувати обсяги і та ринку збуту, таким чином плануємо, що його рентабельність зросте. Розробка є актуальною, оскільки даний пристрій має широку сферу застосування. Одними з найбільших статей витрат становить комплектуючі матеріали, електроенергія та заміна деталей, тобто ремонт. Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки Е2: 982

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мінімізація імовірності виникнення виробничого травматизму та захворювань при забезпеченні нормованих показників умов праці є основною метою охорони праці.

В даному розділі наводиться аналіз небезпечних, шкідливих і уражаючих для людини і оточуючого довкілля чинників, які утворюються під час проведення розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магніотранзисторі. В ньому розглядаються, зокрема, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, визначення товщини суцільного екрану для захисту від магнітної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки, безпека в надзвичайних ситуаціях.

В процесі розробки даного пристрою на працівників діють ті чи інші небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп відповідно до [1].

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: підвищена або понижена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, відсутність або недостатність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, підвищена яскравість світла, пряма або відбита блискучість.

Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці.

5.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці

5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Вибираємо для приміщення, в якому проводяться роботи з розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Відповідно до [2] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для холодного та теплого періодів року приведені в таблиці Х.1 додатку Х.

Перепад температури повітря за висотою робочої зони для всіх категорій робіт допускається до 3°C. Для опромінення менше 25% поверхні тіла працівника, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м².

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, для контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, які використовуються в даному виробничому приміщенні наведено в таблиці Х.2 додатку Х.

Для встановлення необхідних за нормативами показників мікроклімату і чистоти повітря робочої зони запропоновано:

1) в приміщенні має бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року;

2) щоденне вологе прибирання;

3) застосування витяжної вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

5.1.2 Виробниче освітлення

Для створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги пред'являються до якісних та кількісних показників освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводяться роботи з розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі, згідно [3] визначаємо, що вони відповідають III розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – великий, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт 2.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в таблиці X.3 додатку X.

Оскільки приміщення знаходиться в м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми орієнтовані за азимутом 90° , то для таких умов КЕО визначатиметься за формулою [3, 4]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (5.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,б} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 (\%);$$

$$e_{N,с} = 1,2 \cdot 0,85 = 1,02 (\%).$$

Для встановлення нормативних значень параметрів освітлення передбачено:

- 1) при недостатньому природному освітлені в світлу пору доби доповнення штучним за допомогою газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;
- 2) використання загального штучного освітлення в темну пору доби.

5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання використовується устаткування, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, необхідно передбачити захист від шуму та вібрації.

Встановлено, що приміщення, в якому проводиться робота з розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі може містити робочі місця із шумом та вібрацією, який виходить від сусідніх виробничих приміщень.

З метою запобігання травмуванню працюючих під дією шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Основним нормативом з питань виробничого шуму, діючим в нашій країні, є [5], у відповідності з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не повинні бути більшими ніж значення, що приведені в таблиці X.4 додатку X. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці X.5 додатку X для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

Для встановлення допустимих показників віброакустичних коливань в приміщенні передбачено: постійне змащування підшипників вентиляторів системи вентиляції; проведення перевірки рівнів шуму та вібрації.

5.1.4 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, де проводиться робота з розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені в таблиці X.6 додатку X.

З метою забезпечення захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань потрібно застосовувати екранні фільтри та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат.

Визначимо товщини суцільного алюмінієвого екрану для захисту від магнітної складової електромагнітного випромінювання, якщо частота поля $f = 170$ кГц, число витків котушки $n = 3000$ шт., а її радіус $r = 0,09$ м, сила струму в котушці $I = 7,5$ А, відстань від джерела до робочого місця $X = 0,45$ м.

Товщина екрану δ від магнітної складової електромагнітного випромінювання у випадку використання суцільного екрану може бути визначена за формулою

$$\delta = \frac{65L}{\sqrt{f\mu\gamma}} \text{ [мм]}, \quad (5.2)$$

де L – ефективність екранування від магнітної складової електромагнітного випромінювання, дБ;

f – частота електромагнітного поля, Гц;

μ – магнітна проникність металу захисного екрану, Г/м;

γ – електрична провідність металу екрану, (Ом·м)⁻¹.

Ефективність екранування від магнітної складової електромагнітного випромінювання розраховується за формулою

$$L = 20 \lg \frac{H_{\phi}}{H_{ГД}} \text{ [дБ]}, \quad (5.3)$$

де H_{ϕ} – фактична напруженість магнітного поля, А/м;

$H_{ГД}$ – гранично допустима напруженість магнітного поля, А/м.

Фактична напруженість магнітного поля визначається за допомогою виразу

$$H_{\phi} = \frac{nIr^2}{4X^2} \beta_m \text{ [А/м]}, \quad (5.4)$$

де n – число витків котушки, шт.;

I – сила струму в котушці, А;

r – радіус котушки, м;

X – відстань від джерела до робочого місця, м;

β_m – коефіцієнт, що визначається співвідношенням X/r .

Для $X/r = 0,45 / 0,09 = 5 < 10$ $\beta_m = 1$.

Для діапазону частот 30...300 кГц $H_{ГД} = 50$ А/м.

У випадку використання алюмінієвого екрану $\mu = 4\pi 10^{-7}$ Г/м,
 $\gamma = 3,54 \cdot 10^7$ (Ом·м)⁻¹.

Підставляючи відомі значення у формули (5.4, 5.3, 5.2), отримаємо:

$$H_{\phi} = \frac{3000 \cdot 7,5 \cdot 0,09^2}{4 \cdot 0,45^2} 1 = 225 \text{ (А/м)};$$

$$L = 20 \lg \frac{225}{50} = 13,247 \text{ (дБ)};$$

$$\delta = \frac{65 \cdot 13,247}{\sqrt{170 \cdot 10^3 \cdot 4\pi 10^{-7} \cdot 3,54 \cdot 10^7}} = 0,31319 \text{ (мм)}.$$

5.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки

5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру роботи [7].

Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, повинна становити не менше 6,0 м², об'єм приміщення – не менше як 20 м³, висота – не менше 3,2 м [8].

Інтер'єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі 0,7-0,8; стін 0,4-0,5; підлоги 0,2-0,3. Поверхня підлоги має бути рівною, без вибоїн, не слизькою, зручною для вологого прибирання, мати антистатичні властивості. Забороняється застосовувати для оздоблення інтер'єру полімерні матеріали, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

5.2.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом в даному приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність устаткування, випадкове торкання до струмоведучих частин або металевих частин, що опинилися під напругою. Згідно [9] дане приміщення відноситься до приміщень з

підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (більше 75 %) вологості. Тому безпека експлуатації електрообладнання повинна забезпечуватись комплексом заходів, які включають використання ізоляції струмоведучих частин, захисних блокувань, захисного заземлення тощо [10].

5.2.3 Пожежна безпека

Згідно [11] приміщення, де проводиться робота з розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Це приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці Х.7. В таблиці Х.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, в якому проводиться робота з розробки, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [12].

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників НС.

Розроблений мікропроцесорний перетворювач магнітного поля може піддаватися впливам від надзвичайних ситуацій техногенного, природного, військового походження. Вони наносять непоправну шкоду на прилади електроніки. Серед НС можна виділити найбільш небезпечні: наявність у довкіллі шкідливих речовин понад ГДК, аварії із загрозою викиду ХНР і біологічних небезпечних засобів, радіоактивне забруднення, вплив ЕМІ.

Головну небезпеку для мікропроцесорного перетворювача магнітного поля становить ударна хвиля, світлове (теплове) випромінювання, вторинні вражаючі фактори і радіоактивне зараження місцевості. Проте іноді доводиться враховувати і вплив проникаючої радіації та електромагнітного імпульсу.

В доплерівському витратомірі використовуються такі елементи, як: мікросхеми, діоди, резистори та ін. Серед цих матеріалів найбільш чутливі до радіації транзистори, оскільки їм властива велика концентрація вільних носіїв. Особливістю радіації як вражаючого чинника є її здатність поширюватися на десятки і сотні кілометрів в навколишньому середовищі. Таким чином витратомір може раптово втратити працездатність при певних рівнях радіації.

Отже актуальною є проблема підвищення стійкості мікропроцесорного перетворювача магнітного поля. Для цього на об'єкті завчасно на основі розрахунків планують і проводять відповідні організаційні та інженерно-технічні заходи.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази ($D_{гр}, P$), або граничне значення рівня радіації ($P_{гр}, P/год$), при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але обладнання ще буде працювати з потрібною якістю.

Визначаємо граничні значення дози опромінення для елементної бази мікропроцесорного перетворювача магнітного поля, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7– Визначення максимального значення дози технологічного обладнання

№	Елементи ПЕС	$D_{гр}, (P)$	$D_{гр}, (P)$
1	Конденсатор WX60Q - 220 пФ $\pm 5\%$	10^4	10^4
2	Котушка BLM21 – 50 мкГн	10^4	
3	Резистор R-EU_R0603 – 27 Ом $\pm 5\%$	10^5	
4	Резистор C2 – 23 – 0,125 – 100 Ом $\pm 5\%$	10^5	
5	Транзистор TIP32	10^4	
6	Транзистор BF240/PLP	10^4	
7	Мікросхема LM723	10^4	

Дослідження стійкості ведеться в послідовності:

1) Аналізується елементна база обладнання і визначається елементи, від яких залежить функціонування обладнання з потрібною якістю: мікросхеми, інтегральні схеми, транзистори, конденсатори та резистори.

2) Для кожного елемента визначається гранична доза ($D_{гр}, P$) та потужність ($P_{гр}, P/год$) гама-випромінювання. Дані занесено до таблиці 5.7.

Границю стійкої роботи в цілому визначаємо про мінімальні значення допустимої дози окремого елемента, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, в даному випадку конденсатори і транзистори:

$$D_{гр}, (P) = 10^4.$$

Знайдемо можливу дозу опромінення елементної бази за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}}, \quad (5.4)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації;

t_k – час кінця опромінення;

t_n – час початку опромінення;

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації.

Для мікросхеми LM723 можлива доза опромінення за часом напрацювання (5 років):

$$D_{MK}_M = \frac{2 \cdot 5 (\sqrt{43829} - \sqrt{1})}{4} = 520,9 (P).$$

Для котушки можлива доза обраховується за часом напрацювання на відмову (4 роки):

$$D_{M}^{кот} = \frac{2 \cdot 5(\sqrt{26297} - \sqrt{1})}{4} = 402,9 \text{ (P)}.$$

Для транзисторів можлива доза обраховується за часом напрацювання на відмову (2 роки):

$$D_{M}^{кот} = \frac{2 \cdot 5(\sqrt{53842} - \sqrt{1})}{4} = 577,6 \text{ (P)}.$$

Для конденсаторів і резисторів:

$$D_{M}^{кот} = \frac{2 \cdot 5(\sqrt{48065} - \sqrt{1})}{4} = 416,3 \text{ (P)}.$$

Доступний час роботи в заданих умовах визначається за формулою:

$$t_{доп} = \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.5)$$

$$t_{доп} = \frac{10^4 \cdot 4 + 2 \cdot 5 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5} = 4001 \text{ (год)}.$$

Для безпечної роботи обладнання необхідно, щоб виконувалась умова, коли $D_{гр}$ більше можливої дози. Оскільки умова виконується, то робота мікропроцесорного перетворювача магнітного поля є стійкою.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи окремих елементів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$K_s = 201g \frac{U_d}{U_{E(r)}}, \text{ [дБ]}, \quad (5.6)$$

де U_d - допустиме коливання напруги живлення, В ;

$U_{E(r)}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Оскільки для живлення використовується мережа живлення постійної напруги 5(В), а вертикальна складова напруженості електричного поля становить, $E_e = 9,69 \text{ (кВ/м)}$, то проведемо розрахунок стійкості подачі живлення.

$$E_r = 10^{-3} \cdot E_e; \quad (5.7)$$

$$E_r = 10^{-3} \cdot 9,69 = 9,69 \text{ (В/м)}.$$

На кожній функціональній ділянці визначається максимальна довжина струмопровідної частини, як на горизонтальній, так і на вертикальній частинах:

$$l_{B1} = 1,9\text{м}; l_{B2} = 2,9\text{м}; l_{B3} = 2,3\text{м};$$

$$l_{r1} = 0,9\text{м}; l_{r2} = 1,5\text{м}; l_{r3} = 1,8\text{м}.$$

Напруга наведення в вертикальних та горизонтальних струмопровідних частинах

$$U_{B(\Gamma)} = E_{\Gamma(B)} \cdot I_{B(\Gamma)}, [B]; \quad (5.8)$$

$$U_B^{ЖИВ} = E_r \cdot I_B = 9,69 \cdot 1,9 = 18,41(B);$$

$$U_B^{УПР} = E_r \cdot I_B = 9,69 \cdot 2,9 = 28,1(B);$$

$$U_B^{МІК} = E_r \cdot I_B = 9,69 \cdot 2,3 = 22,29(B);$$

$$U_B^{ЖИВ} = E_r \cdot I_D = 9690 \cdot 0,9 = 8721(B);$$

$$U_B^{УПР} = E_r \cdot I_B = 9690 \cdot 1,5 = 14535(B);$$

$$U_B^{МІК} = E_r \cdot I_B = 9690 \cdot 1,8 = 17442(B).$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення різних ділянок:

$$U_{доп} = U_{жк} + \frac{U_{жк}}{100} \cdot N[B], \quad (5.9)$$

де N- допустиме відхилення напруги, $N = 5\%$

- Допустимі коливання великого кола ($U_{жк} = 3,8 B$):

$$U_{доп} = 3,8 + \frac{3,8}{100} \cdot 5 = 3,99(B),$$

- Допустиме коливання кола ($U_{жк} = 2,2 B$):

$$U_{доп} = 2,2 + \frac{2,2}{100} \cdot 5 = 2,31(B),$$

- Допустимі коливання кола управління ($U_{жк} = 4,8$)

$$U_{доп} = 4,8 + \frac{4,8}{100} \cdot 5 = 5,04(B).$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки $K_{\text{дї}}^{\text{в}}$; $K_{\text{дї}}^{\text{г}}$ для кожної ділянки за формулою 5.6, окремо для вертикальних і горизонтальних струмопровідних частин:

$$K_{\text{дї}}^{\text{жив}} = 20 \cdot \lg \frac{399}{18,41} = 26,7(\text{дБ}),$$

$$K_{\text{дї}}^{\text{упр}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{28,1} = 18,3(\text{дБ}),$$

$$K_{\text{дї}}^{\text{мік}} = 20 \cdot \lg \frac{50,4}{22,29} = 7,1(\text{дБ}),$$

$$K_{\text{дї}}^{\text{живг}} = 20 \cdot \lg \frac{3,99}{8721} = -66,8(\text{дБ}),$$

$$K_{\text{дї}}^{\text{упрг}} = 20 \cdot \lg \frac{2,31}{14535} = -76(\text{дБ}),$$

$$K_{\text{дї}}^{\text{мікг}} = 20 \cdot \lg \frac{5,04}{17442} = -70,8(\text{дБ}),$$

Зведемо отримані результати в таблицю 5.8

Таблиця 5.8 - Результат обчислення стійкості роботи обладнання в умовах дії ЕМІ

Напруга живлення	$I_{\text{г}}$	$I_{\text{в}}$	$K_{\text{дї}}^{\text{в,дБ}}$	$K_{\text{дї}}^{\text{г,дБ}}$	Стійкість
Силове коло 3,8(В)	0,9	1,9	26,7	-66,8	нестійка
Силове коло 2,2 (В)	1,5	2,9	18,3	-76	нестійка
Коло управління 7.5(В)	1,8	2,3	7,1	-70,8	нестійка

Оскільки для мереж живлення $K_{\text{дї}}^{\text{в}} \leq 40$ і $K_{\text{дї}}^{\text{г}} \leq 40$, то можна зробити висновок, що пристрій не є стійким до дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля слід застосувати екранування.

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля до дії загрозливих чинників НС

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо необхідне перехідне гасіння екрану:

$$A = 40 - K_{\text{дмін}} [\text{дБ}],$$

$$A = 40 + 66,8 = 106,8 (\text{дБ}),$$

$$A = 40 + 76 = 116 (\text{дБ}),$$

$$A = 40 + 70,8 = 110,8 (\text{дБ}).$$

Розрахуємо товщину захисного екрану:

$$t = \frac{A}{1,03 \cdot \sqrt{f}} [\text{см}], \quad (5.10)$$

де A - перехідне затухання екрану,дБ;

f - найбільш характерна частота, (15 кГц).

$$t_1 = \frac{106,8}{5,2 \cdot \sqrt{1500}} = 0,3 (\text{см});$$

$$t_2 = \frac{116}{5,2 \cdot \sqrt{1500}} = 0,12 (\text{см});$$

$$t_3 = \frac{110,8}{5,2 \cdot \sqrt{1500}} = 0,2 (\text{см}).$$

Отже, для підвищення безпеки роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії ЕМІ було здійснено розрахунок екрану товщина якого має становити 0,2 см.

5.4. Висновок до п'ятого розділу

Встановлено, що робота мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії іонізуючих випромінювань є стійкою оскільки виконується необхідна умова $D_{gp} > D_M$. Для підвищення безпеки роботи мікропроцесорного перетворювача магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників було здійснено розрахунок пасивного екрану, товщина якого має становити 0,2 см.

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення товщини суцільного екрану для захисту від магнітної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Додаток X
Допустимі значення виробничих факторів

Таблиця X.1 – Нормовані допустимі показники мікроклімату [2]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Ia	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий	Ia	22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Таблиця X.2 – ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4
Іони n ⁺ , n ⁻	число іонів в 1 см ³ повітря	50000	–

Таблиця X.3 – Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення і мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	г	великий	середній	400	200	200	2	1,2

Таблиця Х.4 – Допустимі рівні звукового тиску та еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
1,5	3	25	50	00	000	000	000	000	
6	1	1	4	9	5	2	0	8	50

Таблиця Х.5 – Допустимі рівні віброприскорення [6]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц							Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63		
3	3	3	39	45	51	33	
6	3	3					

Таблиця Х.6 – Гранично допустимі значення електромагнітних полів на робочих місцях згідно [14]

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот					
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-50 МГц	50-300 МГц
$E_{ГД}$, В/м	1000	700	500	300	80	
$E_{H_{ГД}}$, (В/м) ² ·год	120000	40000	20000	7000	800	
$H_{ГД}$, А/м	75	57	50	–	3,0	–
$E_{H_{H_{ГД}}}$, (А/м) ² ·год	675	390	200	–	0,72	–

Таблиця Х.7 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [11]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	нн	нн
	M0	M0	M0	M1	M0	M0	M1	нн	нн

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; нн – не нормується.

Таблиця Х.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [13]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної безпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	В	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасного стану розвитку перетворювачів індукції магнітного поля, з'ясовано основні вимоги, що ставляться перед ними та розглянуто способи їх реалізації за допомогою сучасних технічних засобів. Перспективним напрямком розвитку магнітних сенсорів є розробка сенсорів магнітного поля з частотним виходом на основі біполярних магнітотранзисторів, що дає можливість усунути недоліки існуючих магнітних сенсорів.

2. Розроблено структурну схему перетворювача індукції магнітного поля на основі використання магніточутливого транзистора та описано призначення її основних компонентів. На основі структурної схеми розроблено схему електричну принципову з використанням мікроконтролера для керування процесом вимірювання. Промодельовано електричну схему в різних режимах роботи і тим самим підтверджено її функціональність.

3. Здійснено розрахунок параметрів друкованої плати та обрано її тип. У якості матеріалу друкованої плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86 (ГОСТ 10316 – 78), який має товщину 1,5 мм. Для даного типу плати проведено розрахунок ширини друкованих провідників. Розроблено креслення друкованої плати та складальне креслення, які наведені в додатках. Створено модель плати та навісних елементів в програмному пакеті ARES PROTEUS.

4. В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення товщини суцільного екрану для захисту від магнітної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки мікропроцесорного перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі, безпека в надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мартинюк В. В., Чайковський О. В. Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділ Вінницького Національного Технічного Університету (КТЛП ВНТУ). 2019. – 311с.
2. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Советское радио, 1980. – 296 с.
3. Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Стафеев В.И. Магниточувствительные транзисторы // Физика и техника полупроводников. – 2001. – №1. – С. 3-10.
4. Пат. 2008748 Российская Федерация, МКИ H01L 29/84. Магнитотранзистор / Викулин И.М., Глауберман М.А., Егоров В.В., Козел В.В.; Лукоянов С.А., Невзоров В.В., Смеркло Л.М., Шнайдер И.П. Заявитель и патентообладатель Учебно-научно-произв. центр при Одесском гос. Ун-те им. И.И.Мечникова – №a200714879; Заявлено 11.02.1992; Опубл. 28.02.1994, Бюл. №8. – 4 с.
5. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: навчальний посібник / За ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2002. – Т.1. – 475 с.
6. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем: Монографія. – Вінниця – «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. – 275 с.
7. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові перетворювачі інформації: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 208 с.
8. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Сенсори тиску і магнітного поля: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. - 207 с.
9. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Мартинюк В.В. Дослідження частотного перетворювача магнітної індукції на основі двох біполярних транзисторів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 6. – С.111 – 112.

10. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Мартинюк В.В. Магнітний частотний сенсор // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – С. 128 – 131.
11. Медведев А. В. Печатные платы. Конструкции и материалы: монографія / А. В. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с.
12. Основы проектирования электронных средств. Часть 1: Учебное пособие /Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В./ - 2011г. – 368 с.
13. Proteus. Редактор ISIS [Електронний ресурс] // radio-hobby. – Режим доступ: <http://radio-hobby.org/modules/instruction/instr.php?id=15>.
14. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
15. ПДК 4617-88. Общесоюзные санитарно-гигиенические и санитарно-противоэпидемические правила и нормы "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".
16. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
17. ДСН 3.3.6-037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
18. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
19. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
20. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
21. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Атестація робочих місць за умовами праці" з дисципліни "Охорона праці в галузі" для студентів усіх спеціальностей / Уклад. О.В. Березюк, М.С. Лемешев. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 21 с.
22. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
23. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

Додаток А

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра електроніки та наносистем

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕНС
д.т.н., проф. Білинський Й.Й

«17» вересня 2019р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи

Мікропроцесорний перетворювач магнітного поля на
магнітотранзисторі,
зі спеціальності 153 - «Мікро- та наносистемна техніка»

Керівник,
к.т.н., доцент
_____ Мартинюк В. В.

Дипломник,
Студент гр. МНТ-18м
_____ Чайковський О. В.

Вінниця, 2019р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Найменування і область застосування

Найменування – Мікропроцесорний перетворювач магнітного поля на магнітотранзисторі.

Область застосування – процес перетворення індукції магнітного поля в частотний сигнал.

Основою для (дослідження) розробки

Основою для виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи є завдання на МКР та наказ ректора ВНТУ № 254 від «03» вересня 2019 р.

2. Мета та призначення дослідження (розробки)

Мета розробки – є підвищення чутливості перетворювача магнітного поля на магнітотранзисторі.

Призначення розробки – вимірювання індукції магнітного поля в діапазоні від 0,1 до 300 мТл

Джерела розробки

У процесі розробки мікропроцесорного пристрою зчитування інформації радіочастотним методом рекомендовано залучати патентний пошук та використовувати спеціальну літературу, а саме:

2.1. Викулин И.М., Стафеев В.И. Полупроводниковые датчики. – М.: Советское радио, 1975. – 104 с.

2.2. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Советское радио, 1980. – 296 с.

2.3. Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Стафеев В.И. Магниточувствительные транзисторы // Физика и техника полупроводников. – 2001. – №1. – С. 3-10.

2.4. Пат. 2008748 Российская Федерация, МКИ H01L 29/84. Магнитотранзистор / Викулин И.М., Глауберман М.А., Егоров В.В., Козел В.В.; Лукоянов С.А., Невзоров В.В., Смеркло Л.М., Шнайдер И.П. Заявитель и патентообладатель Учебно-научно-произв. центр при Одесском гос. Ун-те им. И.И.Мечникова – №а200714879; Заявлено 11.02.1992; Опубл. 28.02.1994, Бюл. №8. – 4 с.

3. Технічні вимоги

3.1 Вимоги до електричних параметрів та режимів:

- напруга живлення, В.....5;
- робоча частота, МГц.....1;

- споживаний струм в стані очікування, мкА.....0.5;
- в активному стані, мкА.....300;
- пікове споживання, мА.....100;
- дальність зчитування, не більше, м.....300;
- генератор електромагнітного поля, МГц.....

5.2 Вимоги до конструкції:

- LCD індикатор, біт.....4;
- матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований склотекстоліт;
- товщина, мм.....1.5;
- розміри, не більше, мм, 55×40 ×1,5;

5.3 Вимоги до стійкості при механічній дії:

Мікропроцесорний пристрій зчитування має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час та після дії механічних навантажень: вібраційних з частотою 1–2000 Гц і максимальним прискоренням 1–5 g, багатократних ударів тривалістю 13мс з прискоренням 25–70 g, лінійних навантажень з максимальним прискоренням 25g.

5.4 Вимоги до стійкості при кліматичній дії:

Мікропроцесорний пристрій зчитування має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час і після дії на неї кліматичних факторів: температури повітря від +120°C (верхнє значення) до –60°C (нижнє значення); відносної вологості навколишнього середовища 70 % при температурі +35°C.

5.5 Вимоги до надійності:

Мінімальна напрацювання пристрою у вказаних режимах та умовах має бути не меншою за 10 000 год. Інтенсивність відмову в режимах й умовах роботи не має перевищувати $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$.

6 Економічні показники:

Орієнтовна ефективність і термін окупності витрат на розробку й освоєння виробництва продукції, лімітна ціна, економічна перевага розробленої продукції порівняно з кращими зразками.

7 Стадії і етапи розробки:

7.1 Розробка технічного завдання.

7.2 Огляд відомих мікропроцесорних пристроїв зчитування інформації радіочастотним методом за літературними й патентними джерелами.

7.3 Вибір та аналіз варіантів рішення.

7.4 Вибір оптимального варіанта й детальна розробка його конструктивної схеми.

7.5 Розробка функціональної та електричної схеми перетворювача.

7.6 Моделювання роботи перетворювача.

7.7 Розробка складального креслення.

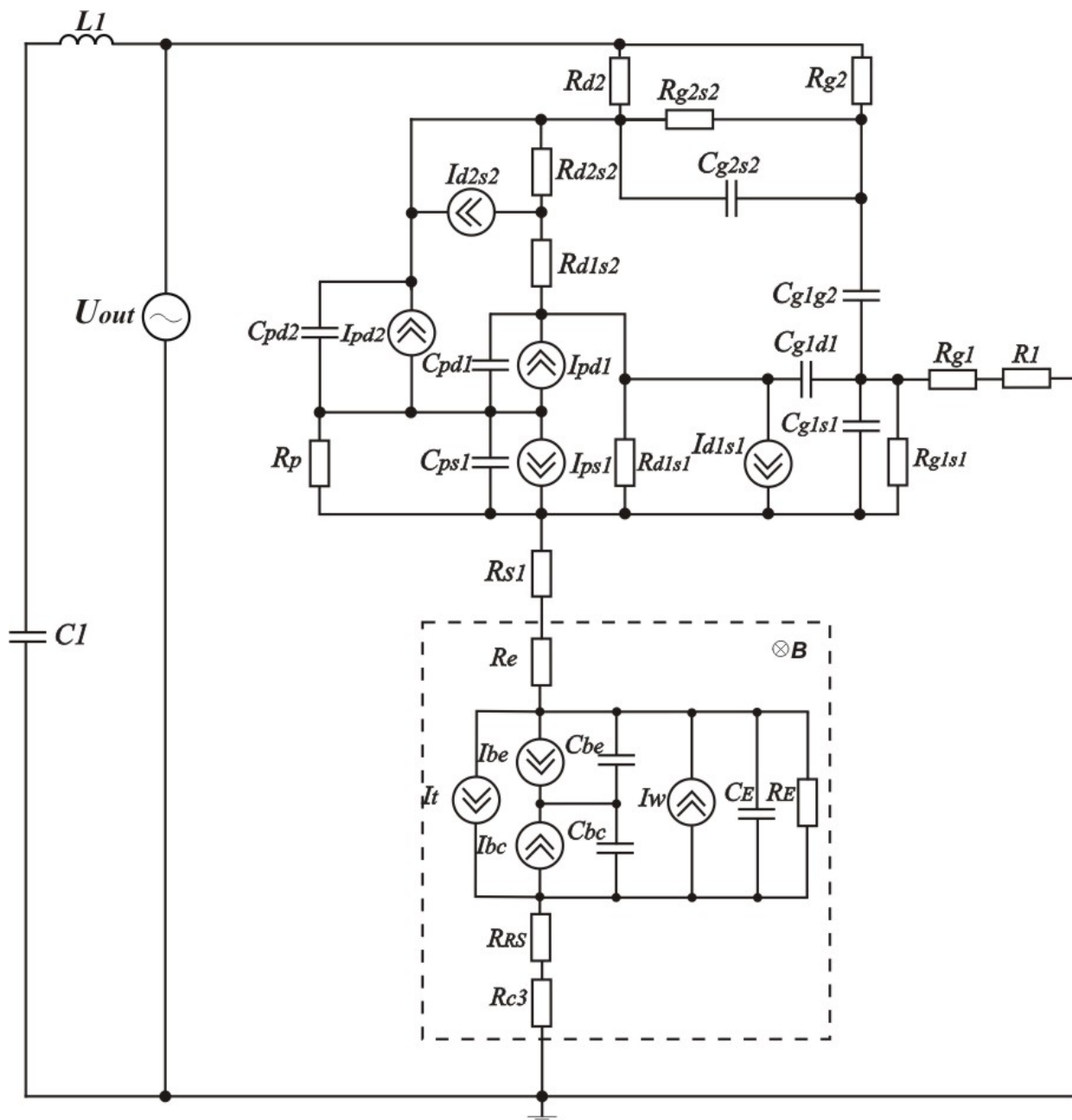
7.8 Техніко-економічні розрахунки, розробка заходів безпеки життєдіяльності.

7.9 Оформлення текстової документації та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

8 Порядок контролю і приймання:

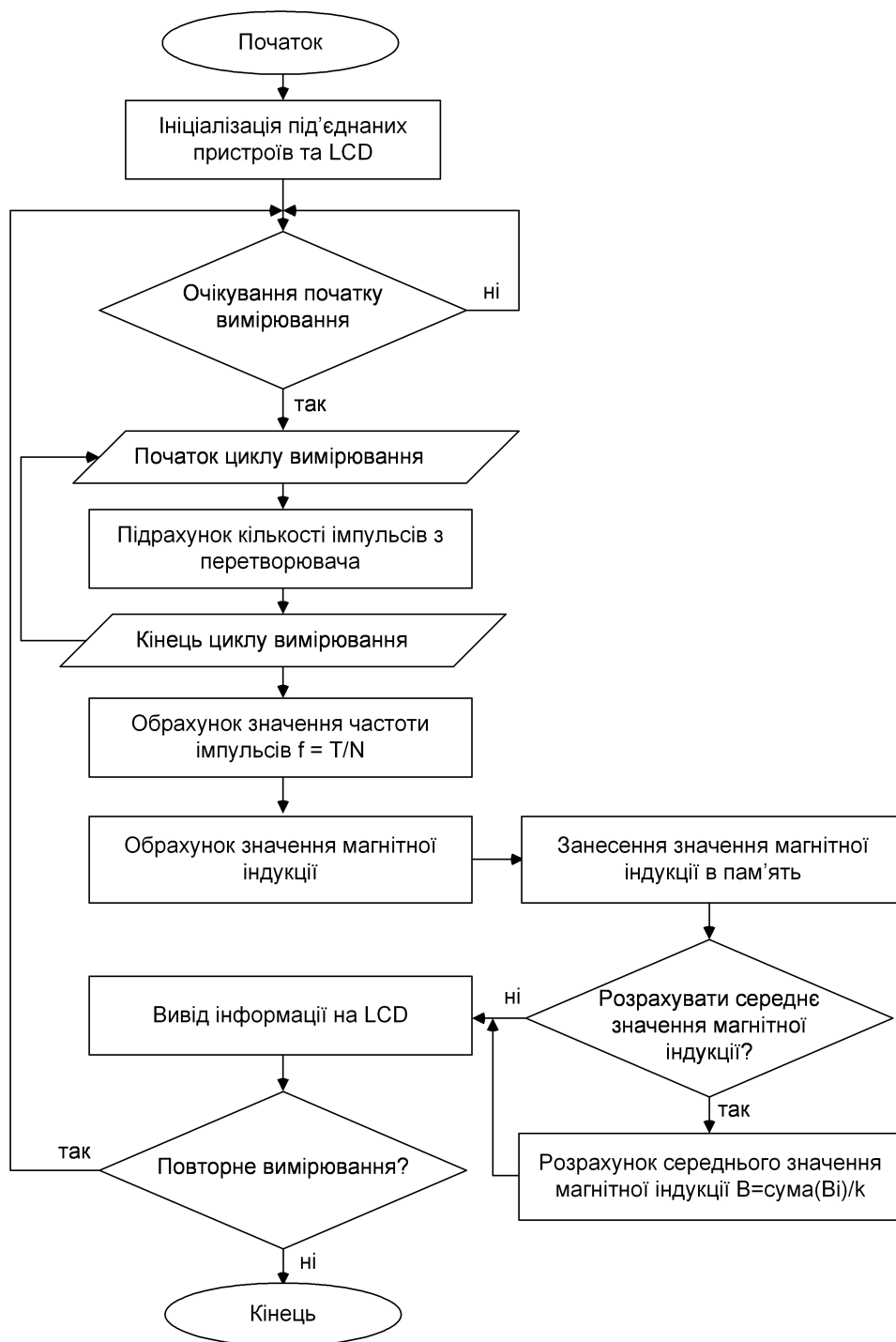
- рубіжний контроль виконання окремих розділів МКР;
- попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи;
- захист МКР перед ДЕК

Додаток Д



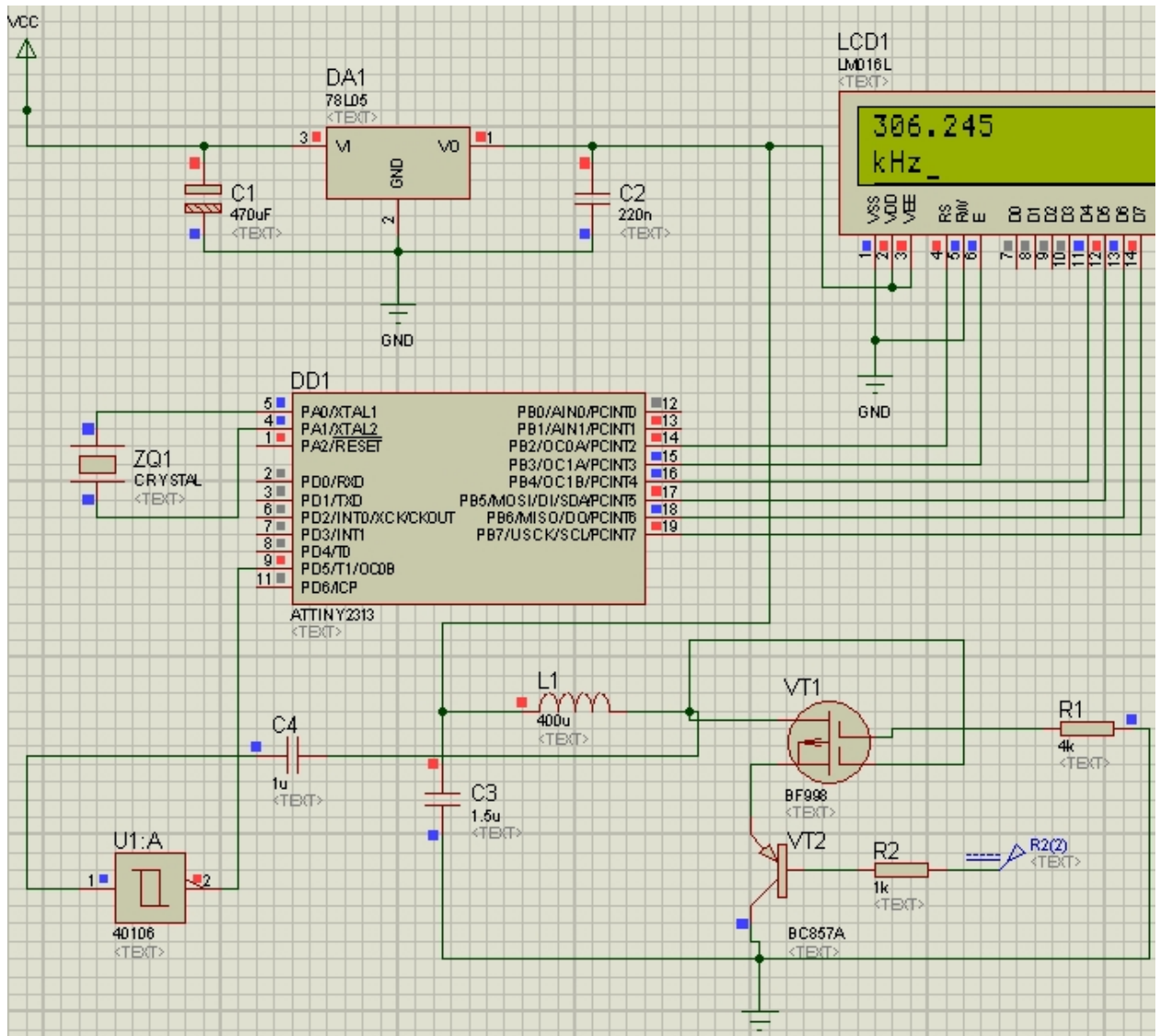
Додаток Д– Еквівалентна схема частотного перетворювача магнітної індукції з магнітранзистором та МДН- транзистором

Додаток Е

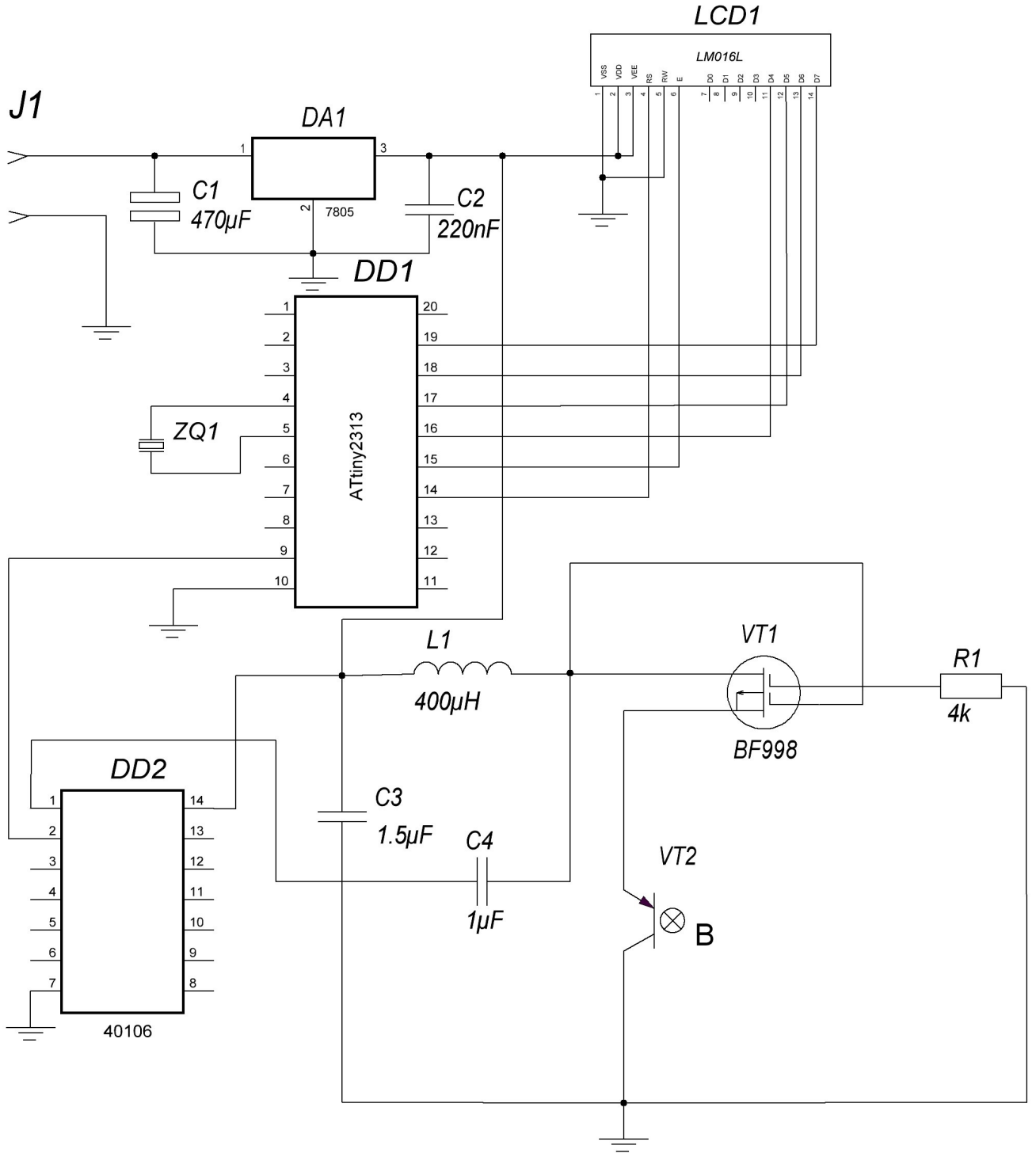


Додаток Е– Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Додаток Є



Додаток Є– Результати вимірювання схеми на рідкокристалічному екрані



Перш. викорис.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

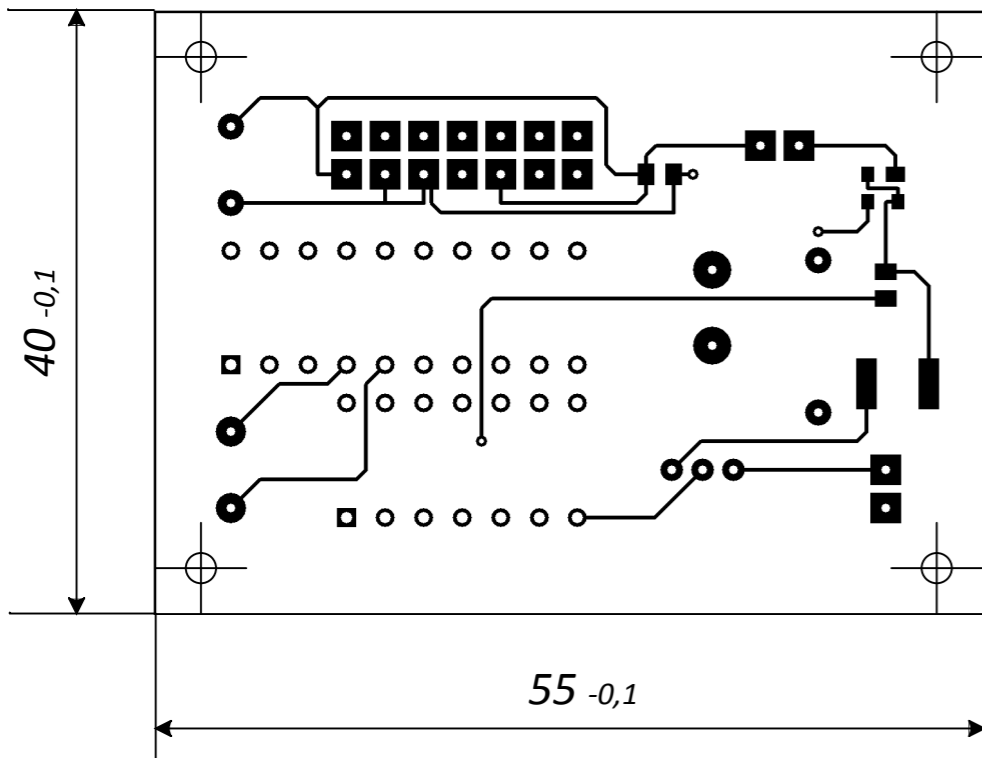
Інв. № ориг.

				08-05.МКР.801.10.001 ЕЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Перетворювач магнітного поля на мікроконтролері	Лім	Маса	Масштаб
Розроб.		Чайковський О.Е.				У	Д	П
Перевір.		Мартинюк В.В.			Схема електрична принципова			
Т. контр.					Аркуш		Аркушів 1	
Реценз.					ВНТУ гр. МНТ-18м			
Н. контр.		Кравченко Ю.С.						
Затверд.		Білинський Й.Й.						

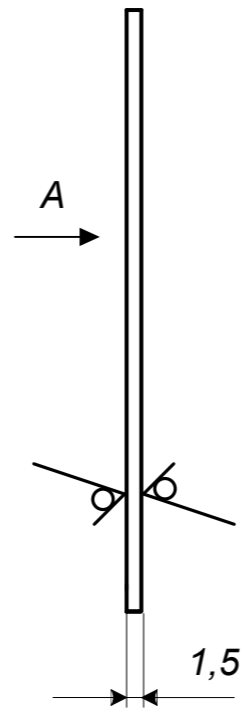
Поз.позн.	Найменування	К-ть	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1	470 мкФ ±20%	1	
C2	220 нФ ±20%	1	
C3	1,5 мкФ ±5%	1	
C4	1 мкФ ±10%	1	
<u>Резистор</u>			
R1	4 кОм ±5%	1	
<u>Катушка індуктивності</u>			
L1	400 мкГн ±5%	1	
<u>Транзистори</u>			
VT1	BF998	1	
VT2	магнітотранзистор	1	
<u>Кварцовий резонатор</u>			
ZQ1	16 МГц	1	
<u>Мікросхеми</u>			
DD1	ATTINY 2313	1	
DD2	40106B	1	
DA1	78L05	1	
<u>Роз'єми</u>			
J1	CONN-H2	1	
<u>Дисплей</u>			
LCD1	LM016L	1	

<i>08-05.МКР.801.10.001 ПЕЗ</i>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Чайковський О.В.			
Перевірів	Мартинюк В.В.			
Реценз.				
Н. контр.	Кравченко Ю.С.			
Затверд.	Білинський Й.Й.			
Перетворювач магнітного поля на мікроконтролері Перелік елементів				
		Літера	Аркуш	Аркушів
				1
ВНТУ зр.МНТ-18 М				

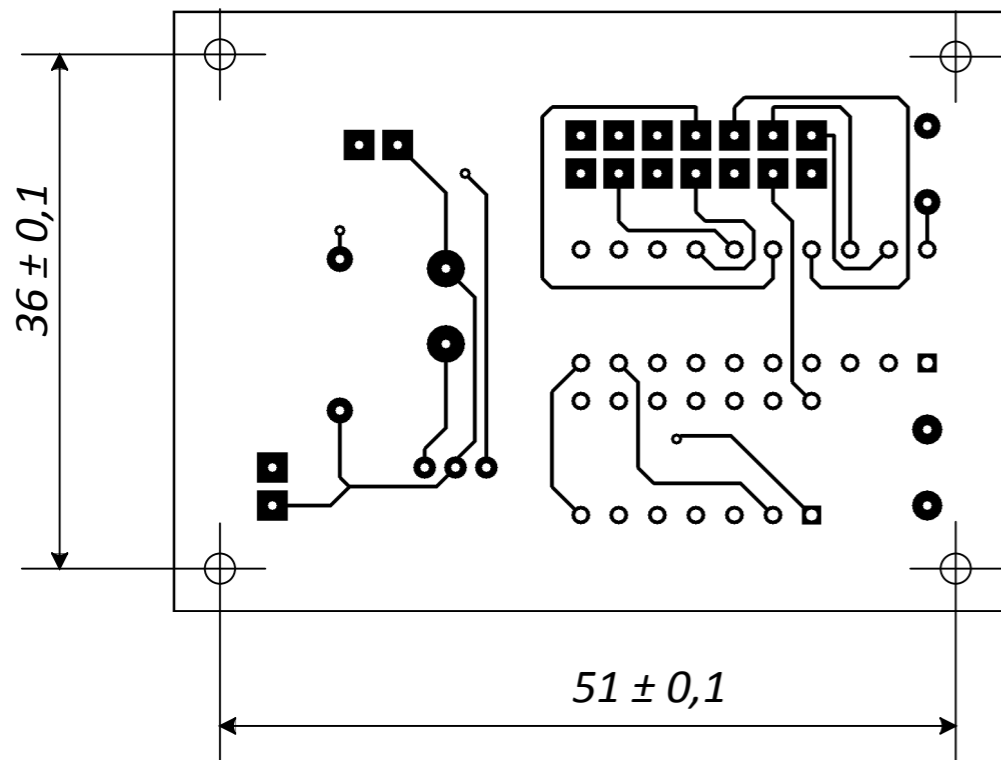
- Провідники, умовно позначені суцільними лініями, виконати шириною 0,45 мм.
- Відстань між провідниками не менше 0,25 мм.



Вид А



Умовне позначення отвору	Діаметр отвору, мм	Наявність металізації в отворі	Діаметр/ширина контактної площадки, мм	Кількість отворів
◦	0,5	є	1	3
○	0,8	є	1,4	32
●	0,8	є	1,6	3
⦿	0,8	є	2	6
⦿	0,8	є	2,6	2
◻	0,8	є	1,4	2
◼	0,8	є	2,2	18
⊕	2	немає		4



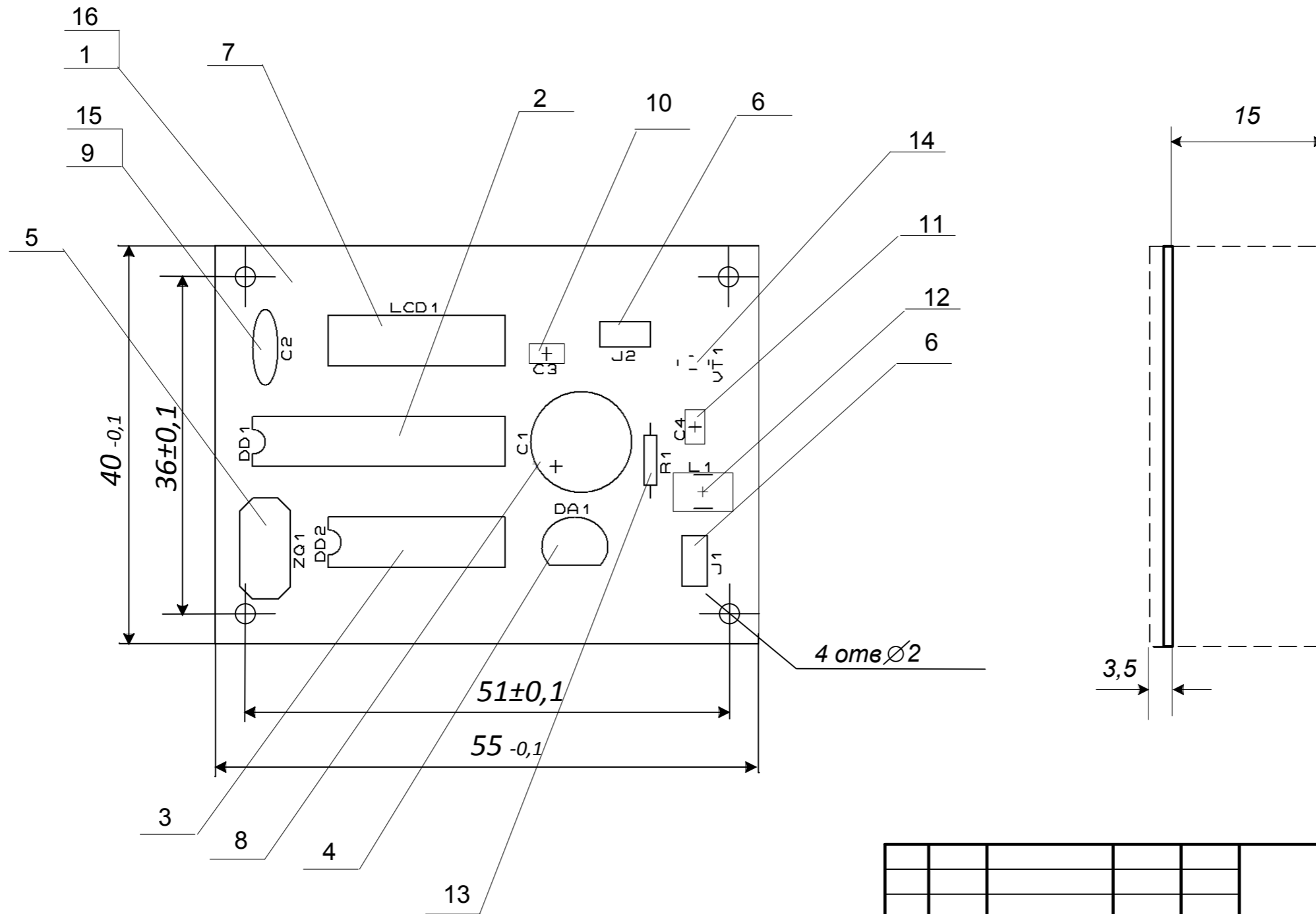
51 ± 0,1

					08-05.МКР.801.10.002					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Плата друкована	Лім	Маса	Масштаб		
						У	Д	П	9 г	2:1
						Аркуш		Аркуші 1		
						Склотекстоліт СФ-2-35-1,5		ВНТУ гр. МНТ-18м		

Додаток Г

1. Радіоелементи кріпити за допомогою припою ПОС-61 ГОСТ 21931.

2. Габарити фарбою БМ, ділою, шрифт ЗПР-3



					08-05.МКР.801.10.003 СК				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Плата Складальне креслення	Лім	Маса	Масштаб	
						У	Д	П	2:1
Розроб.		Чайковський О.В.				Аркуш		Аркушів 1	
Перевір.		Мартинюк В.В.							
Т. контр.									
Реценз.									
Н. контр.		Кравченко Ю.С.							
Затверд.		Білинський Й.Й.							
						ВНТУ гр. МНТ-18м			

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			08-05 МКР.801.10.003 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
A3		1	08-05 МКР.801.10.002	Плата друкована	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		2		Мікроконтролер АТТІNY 2313	1	
		3		Тригер Шмітта 40106В	1	
		4		Стабілізатор 78L05	1	
		5		Кварц 16 MHz HC-49S	1	
		6		Конектор CONN-H2	2	
		7		Екран LM016L	1	
		8		Конденсатор ELEC RAD-20 470μ 20%	1	
		9		Конденсатор CER_DISC 220n 10%	1	
		10		Конденсатор SMD 1.5μ 5%	1	
		11		Конденсатор SMD 1μ 5%	1	
		12		Індуктивність 4532X175 400μ 5%	1	
		13		Резистор MINRES 1kOhm ¼ W 5%	1	
		14		Транзистор BC998	1	
				<u>Матеріали</u>		
		15		Припой ПОС-61	5 г	
		16		Фарба БМ біла	0,5 г	

				<i>08-05.МКР.801.10.003</i>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Чайковський О.В.			Плата	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Мартинюк В.В.						1
Реценз.						ВНТУ зр.МНТ-18м		
Н. контр.		Кравченко Ю.С.						
Затверд.		Білинський Й.Й.						