

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

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему Цифровий вимірювач індукції магнітного поля на мікроконтролері.

08-05.МКР.153.06.000

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

153 – «Мікро – та наносистемна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

Прус Ю. О.

(Прізвище та ініціали)

Керівник, к.т.н., доцент

Книш Б. П.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент, д. т. н., проф. кафедри РТ

Семенов А. О.

(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

Прусю Юрію Олександровичу

1. Тема МКР: Цифровий вимірювач індукції магнітного поля на мікроконтролері.

Науковий керівник роботи Книш Богдан Петрович 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 пристрою цифрового вимірювача величини магнітного поля з наступними параметрами: напруга живлення  $U_{ж} = +5$  В; величина магнітного поля  $B_{max} = 0,2-0,3$  Тл; наявність живлення від мережевого блоку та від резервної батареї; вивід результатів вимірювання на LCD екран; розміри плати – не більше  $50 \times 50 \times 1,5$  мм; максимальне значення струму в провіднику:  $0,03$  А.

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

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 \_\_\_\_\_ Книш Б. П. 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 \_\_\_\_\_ Книш Б. П. к.т.н., доцент.  
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

Завдання отримав магістрант \_\_\_\_\_ Ю. О. Прус  
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

## РЕФЕРАТ

**Прус Юрій Олександрович**

«Цифровий вимірювач індукції магнітного поля на мікроконтролері.» Магістерська кваліфікаційна робота. – використаних джерел, - с, - додатків.

У роботі досліджено можливість покращити чутливості перетворювача магнітного поля. Розроблено структурну схему цифрового вимірювача магнітного поля та описано призначення її основних складових компонентів. Промодельовано розроблену електричну схему в різних режимах роботи, що підтверджує можливість її практичної реалізації. Проведено експериментальні дослідження, які показали, чутливість частотного перетворювача магнітного поля з магнітотранзистором в діапазоні від 1 до 300 мТл, чутливість змінюється від 210 до 2 кГц/мТл. Розбіжність теоретичних та експериментальних даних складає  $\pm 5\%$ .

## ABSTRACT

**Prus Yuri Alexandrovich**

"Digital meter of magnetic field induction." - sources used, - with, - applications.

The possibility of improving the sensitivity of the magnetic field converter is investigated. The structural diagram of a digital magnetic field meter is developed and the purpose of its main components is described. The developed electrical circuit in different modes of operation is modeled, which confirms the possibility of its practical implementation. Experimental studies have been performed which showed the sensitivity of the magnetic field frequency converter with a magnetotransistor in the range from 1 to 300 mTl, the sensitivity varies from 210 to 2 kHz / mTl. The discrepancy between theoretical and experimental data is  $\pm 5\%$ .

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ СЕНСОРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ.....	9
1.1 Класифікація сенсорів магнітного поля.....	9
1.2 Фізичні основи роботи магніточутливого елементу.....	17
1.3 Біполярні магнітотранзистори.....	19
1.4 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	21
1.5 Оцінювання рівня конкурентоспроможності розробки.....	22
1.6 Висновки до першого розділу.....	26
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА ВЕЛИЧИНИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ.....	28
2.1 Розробка структурної схеми цифрового вимірювача величини магнітного поля на мікроконтролері.....	28
2.2 Розробка електричної схеми цифрового вимірювача величини магнітного поля на мікроконтролері.....	29
2.3 Обґрунтування вибору та аналіз параметрів мікроконтролера.....	31
2.4 Розробка алгоритму роботи.....	32
2.5 Розроблення еквівалентних схем частотного перетворювача магнітної індукції з магнітотранзистором.....	34
2.6 Моделювання роботи схеми.....	44
2.7 Висновки до другого розділу.....	48
3 РОЗРОБКА ПЛАТИ ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА ВЕЛИЧИНИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	50
3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	50
3.2 Вибір класу точності та методу проектування друкованої плати.....	52
3.3 Розрахунок ширини провідників.....	53
3.4 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT.....	54
3.6 Висновки до третього розділу.....	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58
4.1 Прогнозування витрат на виконання НДДКР.....	58
4.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	65
4.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	68
4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи.....	70
4.5 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР.....	71
4.6 Висновки до четвертого розділу.....	72

5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	73
5.1	Склад повітря робочої зони та мікроклімат .....	74
5.2	Виробниче освітлення.....	75
5.3	Виробничі віброакустичні коливання.....	76
5.4	Виробничі випромінювання.....	77
5.5	Безпека щодо організації робочих місць.....	78
5.7	Пожежна безпека.....	78
5.8	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	79
5.9	Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії іонізуючого випромінювання. ....	79
5.10	Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	83
5.11	Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників НС.....	85
5.12	Висновки до п'ятого розділу.....	89
	ВИСНОВКИ.....	90
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
	ДОДАТОК А Технічне завдання.....	93
	ДОДАТОК Б Схема електрична принципова цифрового вимірювача магнітного поля.....	96
	ДОДАТОК В Креслення плати друкованої цифрового вимірювача магнітного поля.....	99
	ДОДАТОК Г Складальне креслення.....	100
	ДОДАТОК Д Еквівалентна схема частотного перетворювача магнітної індукції з магнітранзистором.....	101
	ДОДАТОК Е Результати вимірювання схеми LCD дисплеї.....	102
	ДОДАТОК Є Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера.....	103
	ДОДАТОК Ж Допустимі значення виробничих факторів.....	104

## **ВСТУП**

### **Актуальність теми**

Серед сучасних засобів техніки багато пристроїв і об'єктів, робота яких заснована на взаємодії з магнітним полем або ж такі що використовують його як керуюче середовище.

Вироби мікромагнітоелектроніки використовуються у вимірювальній і обчислювальній техніці, в системах управління виробничими процесами, медичних, для контролю параметрів навколишнього середовища в побутових приладах тощо.

Оцінка можливостей і перспектив застосування приладів і пристроїв мікромагнітоелектроніки і їх переваг перед іншими групами електронної техніки, показує, що в Україні цей науково-технічний напрям практично не освоєний.

У ситуації, що склалася, виникла необхідність узагальнення теоретичних і практичних результатів розробки та деякого критичного осмислення і застосування виробів мікромагнітоелектроніки.

Контроль параметрів величини магнітного поля навколишнього середовища є досить складною і важливою задачею. Так «магнітні бурі» можуть призвести до значних матеріальних збитків чи навіть стати причиною загибелі людей.

Незважаючи на широке розповсюдження магнітного поля чутливість на даний час є недостатньою, тому існує необхідність у вдосконаленні існуючих сенсорів магнітного поля чи створення нових. Це все і підтверджує актуальність даної роботи.

### **Мета дослідження**

Метою роботи є збільшення чутливості цифрового вимірювача індукції магнітного поля .

**Задачі дослідження:**

- проаналізувати існуючі пристрої та системи вимірювачів величини магнітного поля та обрати найбільш оптимальний принцип побудови пристрою;
- запропонувати структурну та електричну принципову схеми пристрою;
- провести моделювання запропонованої схеми;
- розробити друковану плату та складальне креслення пристрою;
- провести розрахунок товщини суцільного сталюого екрану для захисту від магнітної складової електромагнітного випромінювання.

**Об'єктом дослідження** є процес перетворення величини магнітного поля в електричний сигнал.

**Предметом дослідження** є параметри та характеристики пристрою.

**Методи дослідження:**

- аналіз літературних джерел;
- математичне та схемотехнічне моделювання у відповідних програмних продуктах, що входять до пакету PROTEUS.

**Наукова новизна:**

Отримав подальший розвиток методу частотного перетворення на рахунок використання біполярного магніточутливого транзистора.

**Практична цінність :**

Матеріали дослідження можуть використовуватися при розробці високочутливих магнітних вимірювачів.

**Апробація результатів роботи:**

Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на Всеукраїнській науково-практичній конференції “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи” в ВНТУ 2019р. [1].



## **Структура роботи**

Магістерська класифікаційна робота складається з чотирьох розділів. В першому розділі проведено аналіз існуючих вимірювачів та перетворювачів 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 проведено розрахунок товщини суцільного сталюого екрану для захисту від магнітної складової електромагнітного випромінювання[2].

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ СЕНСОРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ

У розділі розглядаються основні типи приладів і сенсорів для вимірювання магнітного потоку, індукції та напруженості магнітного поля, які в наш час характеризуються значною різноманітністю.

## 1.1 Класифікація сенсорів магнітного поля

Сенсор – це пристрій (прилад, вузол), що перетворює фізичну (фізико-хімічну) зміну в об'єкті спостереження, його фізичну дію в інформаційний сигнал для користувача. Сенсор – це сполучна ланка між реальним "фізичним" світом і світом інформаційних моделей, між матерією та інформацією [1,2].

Сенсори постачають "користувачеві" найважливішу об'єктивну вихідну інформацію, на основі якої тільки й можна передбачати події, розумно вести себе в світі, судити про те, наскільки створені і застосовувані користувачем інформаційні моделі адекватні реальним процесам і об'єктам, з якими він має справу. Одними з перших простих сенсорів, напевно, були схили - для виявлення відхилень від вертикалі; згадані вже вище рівні - сенсори малих відхилень від горизонтального положення плоскої поверхні; флюгери, відстежують і показують напрямок вітру; поплавці вудках для лову риби; компаси - для більш точного орієнтування на місцевості тощо. На рисунку 1.1 зображена класифікація по фізичній природі первинних інформаційних сигналів.

Зображена на рисунку 1.1 класифікація, звичайно ж, не є повною. Спектр первинних інформаційних сигналів, безумовно, ширше і з часом може ще більше розширитися, але основні види сенсорів по фізичній природі первинних інформаційних сигналів зображені на вище наведеному рисунку.



Рисунок 1.1 – Класифікація сенсорів по фізичній природі первинних інформаційних сигналів

Є різні сенсорі, які використовуються для виконання заданих функцій та які поділяються на прості сенсорі з обробкою інформації, активні, пасивні, інтелектуальні сенсорі, сенсорні системи та інші. Важливою різновидністю вимірювальних перетворювачів є магнітні сенсорі. Цікавим практичним застосуванням магніточутливих сенсорів є магнітокеровані перемикачі. Датчики магнітного поля призначені для визначення швидкості пересування або обертання, положення і кута повороту різних об'єктів. Принцип роботи датчиків заснований на пропорційній зміні вихідної напруги або опору датчика під впливом зовнішнього магнітного поля.

Сенсорі магнітного поля володіють високою чутливістю до вимірювальних параметрів, малою масою, габаритами.

На їх основі створюються безколекторні електродвигуни постійного струму, схеми електронного запалювання автомобілів, компаси та гірокомпаси, аналітичні прилади пристрої синхронізації швидкості обертання електродвигунів [3-6].

Магніточутливі сенсори реагують на зовнішнє магнітне поле. Основна область їх застосування – контроль позицій поршня в пневматичних та гідравлічних циліндрах.

Залежно від моделі корпус сенсора виконаний з пластмаси, алюмінію, латуні або сталі. Переваги сенсорів магнітного поля:

- надійна робота
- тривалий термін служби
- безконтактне відстеження положення поршня
- визначення положення поршня через стінку циліндра
- компактні розміри
- можливість монтажу на будь-якому циліндрі за допомогою відповідного кріплення
- спрацьовування тільки на магнітне поле
- захист від зміни полярності і короткого замикання
- напруга живлення 10 ... 30 В (постійна)
- нечутливість до вібрацій

*Сенсори магнітного поля поділяються на сенсори на основі: ефекту Холла, магніторезистори, магнітодіоди, біполярні магнітотранзистори, одноперехідні магніто транзистори, а також сенсори магнітного поля на основі магніотиристора.*

Широко використовуваним пристроєм для вимірювання величини магнітної індукції є *датчик Холла*. Вимірники на основі цього пристрою проектуються як пробники невеликих габаритів, які можуть містити один, два або три кристала напівпровідника для вимірювання магнітного поля в одно-, двох- або трьох-взаємно перпендикулярних напрямках.

Для прикладу у роботі [2] подано магнітний сенсор для вимірювання трьох компонентів ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) магнітного поля, який подано на рис. 1.2. Сенсор Холла вміщує в себе активну зону провідності першого роду, до якої під'єднано контакти (1-4 та 5-8). Завдяки сукупності різних компонентів електронних потенціалів

( $V_1, V_2, V_3, V_4$ ) представлених на активних контактах (1-4), що під'єднуються до електронної схеми, вже схема вирізняє три сигнали ( $V_x, V_y, V_z$ ), які пропорційні трьом компонентам ( $B_x, B_y, B_z$ ) магнітного поля.

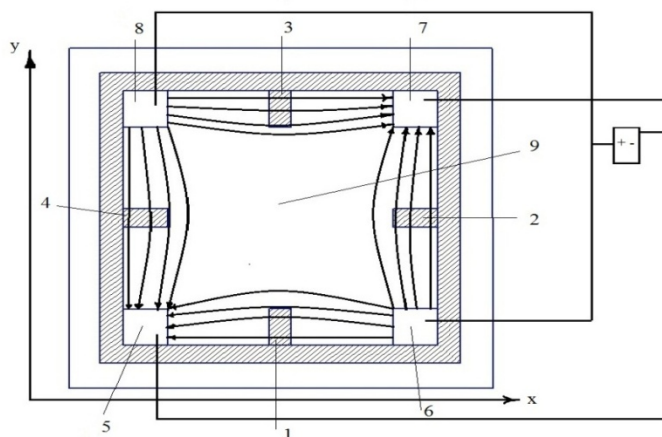


Рисунок 1.2 – Схема сенсора магнітного поля

Сенсори магнітного поля на основі *магніторезисторів*. Якщо зробити зразок у вигляді пластинки з концентричним розташуванням контактів: один у центрі, а інший по колу на рівних відстанях від першого, то тоді струм буде протікати по радіусам. При поміщенні в магнітне поле, яке пронизує перпендикулярно пластинку, носії будуть відхилятися уздовж поверхні. Лінії струму будуть подовжуватися, але накопичення зарядів відбуватися не буде і поле Холла не виникне. У такій структурі, що називають диском Корбіно, спостерігається максимальний ефект магнітоопору.

В даний час для створення магніторезисторів найбільш широко використовується антимонід індію, причому на поверхню наносяться, як правило, металеві смужки.

Магніточутливість довгих діодів, названих *магнітодіодами*, у багато разів перевищує магніточутливість магніторезисторів [3]. Магнітне поле в магнітодіодах не тільки зменшує рухливість, а й викривляє лінії струму, так як в них концентрації електронів і дірок практично однакові і поле Холла відсутнє.

Основною характеристикою магнітодіодів, а також деяких інших гальваноманітних приладів являється вольтова магніточутливість. Вона дорівнює відношенню зміни напруги на зразку до протікаючого через нього струму і зміни магнітного поля, що призводить до зміни напруги.

*Біполярні магніотранзистори.* Даний сенсор зроблений на напівпровідниковій пластинці, яка містить дві області базових контактів, між якими розташовані дві області вимірювальних колекторів. Між ними на однаковій відстані розташована область емітера. Навколо областей емітера, колекторів та під контактних областей базових контактів виконана ізолююча область на товщину, рівній або більшій глибини області емітера, а під ізолюючою областю виконана низькоомна область першого типу провідності. Контакти до областей емітера, колекторів та підконтактних областей базових контактів виконані таким чином, що границі контактів вікон до всіх цих областей співпадають з краями ізолюючої області. У звичайному біполярному транзисторі, наприклад р-п-р- типу, інжектвані з емітера носії рухаються симетрично відносно осі транзистора. При оцінюванні магніточутливості таких магніотранзисторів можна приблизно вважати, що зросла ефективна товщина бази.

*Одноперехідні транзистори* є приладами, принцип дії яких заснований на модуляції опору баз інжектваними носіями. Тому їх можна використовувати в якості магніточутливих елементів навіть без зміни їх конструкції.

Широко використовуваним сенсором магнітного поля є *сенсор на основі магнітотеристора*.

Магніотиристор — (магніторезисторний ефект) елемент інтегральної схеми в якому відбувається зміна електричного опору під дією магнітного поля. Обумовлено викривленням в магнітному полі траєкторій носіїв заряду

Так як будь-який тиристор можна представити у вигляді еквівалентної схеми, що складається з двох транзисторів, то розгляд магніточутливих властивостей тиристорів зводиться до розгляду магніточутливих властивостей складових транзисторів [4]. Використовуючи в якості одного зі складових

транзисторів транзистор з довгою базою, можна змінювати магнітним полем його  $h_{21Б}$ , а відповідно і напруга включення тиристора. Найбільш зручна для цього планарна конструкція тиристора (див. рисунок 1.3). Поперечне магнітне поле  $+B$  відхиляє інжектування анодом дірки від поверхні в глибину бази.

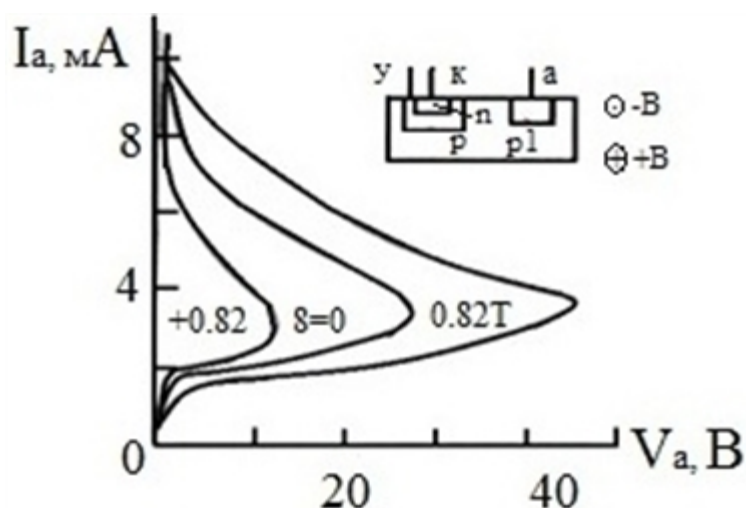


Рисунок 1.3 – Вплив магнітного поля на ВАХ планарного тиристора

Якщо швидкість поверхневої рекомбінації  $s$  велика, це призводить до збільшення ефективного часу життя дірок в  $n$ -базі, а відповідно, до збільшення коефіцієнта передачі  $p_1-p_0$  –  $p$ -транзистора  $h_{21Б1}$  і зменшення напруги включення. Магнітне поле протилежної полярності  $-B$  зменшує  $h_{21Б}$  і збільшує напругу включення [5].

Якщо  $s \approx 0$ , то магнітне поле  $+B$  збільшує напругу включення, а поле  $-B$  – зменшує. На рисунку 1.3 наведені вольт-амперні характеристики тиристора із кремнію з  $\rho=200$  Ом·см. Відстань між  $p$ -областями 100 мкм,  $I_y = 0,32$  мА. Залежність напруги включення від магнітного поля відповідає великому значенню  $s$ .

Розглянемо типову вольт-амперну характеристику (ВАХ) тиристора, зображену на рисунку 1.4.

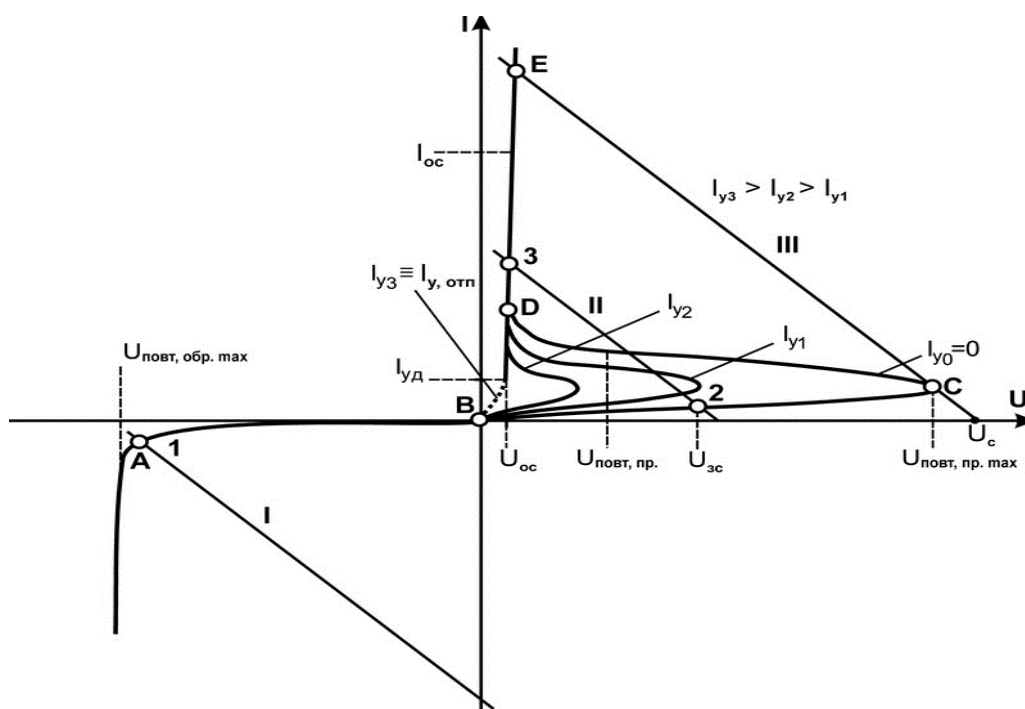


Рисунок 1.4 – Вольт-амперна характеристика тиристора

По горизонтальній осі відкладена напруга між анодом і катодом, а, по вертикальній протікаючий через прилад струм. Змінюваним параметром сімейства характеристик є значення струму  $I_y$  у ланцюгу керуючого електрода.

На рис.1.4 подано ВАХ тиристора на якій змінюваним параметром сімейства характеристик  $I_y$  у ланцюгу керуючого електрода. На рисунку 1.3 показано вплив магнітного поля на ВАХ планарного тиристора. З аналізу цих графіків видно, що хід кривих при дії магнітного поля на тиристор аналогічний розташуванню сімейства ВАХ при зміні  $I_y$  у ланцюгу керуючого електрода. Відповідно ми можемо зробити порівняльну характеристику датчиків, яка наведена у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння первинних перетворювачів магнітного поля



Найменування датчика	$U_{ж}$ (В)	$I_{ж}$ (мА)	Робоча Т (С <sup>0</sup> )	Чутливість А/М	Застосування
Датчик Холла	3...18	1...8	-60..+125	$10e^{-5}$ до 1	Вимірювання лінійних та кутових переміщень будь-яких об'єктів.
Магніто-резистори	5...10	2...10	-60..+110	$10e^{-13}$ до $10e^{-4}$	вимірювання частоти обертання зубчастих коліс.
Магнітодіоди	4...20	1...10	-60..+85	$10e^{-9}$ до $10e^{-2}$	в побутовій електронній апаратурі, системах автоматичного управління.
Магніто-транзистори	3...9	1...10	-60..+100	$10e^{-8}$ до $10e^{-4}$	в якості безконтактних магніто керуючих перемикачів струму.
Магніто-тиристри	2...50	2...10	-60..+120	$10e^{-15}$ до $10e^{-4}$	безконтактні системи запалення двигунів автомобілів, без колекторні двигуни постійного струму.

## 1.2 Фізичні основи роботи магніточутливого елемента (МЧЕ)

В якості МЧЕ використовується магнітодіод - це магніточутливий прилад, принцип дії якого заснований на магнітодіодному ефекті і магніточутливий елемент якого має структуру напівпровідникового діода. Спрощена структура магнітодіода зображена на рисунку 1.5.

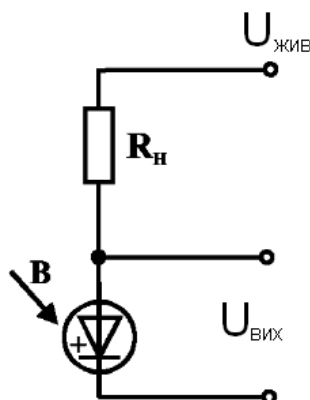


Рисунок 1.5 – Схема магнітодіода сенсора переміщень.

В діодах розподіл носіїв, а отже, опір товщини діода (бази) визначається довжиною дифузійного зсуву нерівноважних носіїв заряду  $L$ . Зменшення  $L$  приводить до зниження концентрації нерівноважних носіїв у базі, тобто до підвищення її опору. Це викликає збільшення спадання напруги на базі й зменшення на  $p-n$  переході (за умови сталості прикладеної напруги). Зменшення спадання напруги на  $p-n$  переході викликає зниження інжекційного струму й, отже, додаткове підвищення опору бази, а також нове зменшення напруги на  $p-n$  переході й так далі.

Таким чином, при  $e^{d/l} \gg 1$  невелике зменшення довжини дифузійного зсуву викликає дуже сильне зниження провідності бази діода. Отже, впливаючи зовнішніми факторами на довжину дифузійного зсуву, можна управляти провідністю бази діода.

Довжину дифузійного зсуву носіїв, поряд з іншими методами, можна змінювати й впливом магнітного поля. Оскільки при високих рівнях інжекції концентрації електронів і дірок приблизно однакові, то ЕРС Холла практично

дорівнює нулю. При цьому інжектованні з  $p-n$  переходу носії будуть рухатися під деяким кутом до напрямку зовнішнього електричного поля. Цей кут називається кутом Холла.

Магнітне поле приводить до закручування електронів і дірок, що рухаються. Їхня рухливість зменшується, отже, зменшується й довжина дифузійного зміщення. Одночасно подовжуються лінії струму, тобто ефективна товщина бази. Магнітне поле впливає не тільки на рухливість і напрямок ліній струму, але й на час життя носіїв. Перераховані явища приводять до сильної зміни нерівноважної провідності діода. У магнітному полі мала початкова зміна довжини дифузійного зміщення й ефективної товщини бази приводить до сильної зміни опору бази й відповідно прямого струму внаслідок різкої зміни концентрації нерівноважних носіїв заряду, що і є магнітодіодним ефектом.

Відмінність від звичайних напівпровідникових діодів полягає лише в тому, що магнітодіод виготовляється з високоомного напівпровідника із провідністю, близької до власної, і довжина бази  $d$  у кілька разів більше довжини дифузійного зсуву носіїв  $L$ . У той час як у звичайних діодах  $d < L$ .

У прямому напрямку при високих рівнях інжекції провідність магнітодіода визначається інжектованими в базу нерівноважними носіями. Спадання напруги відбувається не на  $p-n$ -переході, як у діоді, а на високоомній базі. Якщо магнітодіод, через який протікає струм, помістити в поперечне магнітне поле, то відбудеться збільшення опору бази. Опір бази збільшується й за рахунок підвищення ролі поверхневої рекомбінації носіїв, що відхиляються до поверхні напівпровідника. Еквівалентну схему магнітодіода можна представити у вигляді магніторезистора з послідовно включеним підсилювачем.

При високих рівнях інжекції пряму гілку вольт-амперної характеристики (ВАХ) різкого несиметричного діода з другим омічним контактом можна апроксимувати співвідношенням:

$$I = I_c (e^{qU/ckT} - 1) \quad (1.1)$$

де  $U$  – прикладена до діода напруга.

$$c = \frac{b + ch\left(\frac{d}{L}\right)}{b+1}; \quad b = \frac{\mu_n}{\mu_p} \quad (1.2)$$

де  $d$  - довжина бази;

$L = l \cdot \sqrt{2d/d + 1}$  - ефективна довжина дифузійного зсуву;

$l$  - довжина дифузійного зсуву.

Тоді

$$I \approx \frac{kT}{q} \frac{ch\left(\frac{d}{L}\right)}{\rho_0 L(b+1)} \left( e^{\frac{qU}{ckT}} - 1 \right) \quad (1.3)$$

де  $\rho_0$  - питомий опір вихідного напівпровідника

Отже при згідно формули (1.11) будь яка зміна довжини дифузійного зсуву призведе до великої зміни прямого струму [5].

### 1.3 Біполярні магнітотранзистори

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.

$$W \approx W_0 \sec \varphi \approx W_0 (1 + \mu^2 B^2 / 2). \quad (1.4)$$

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.

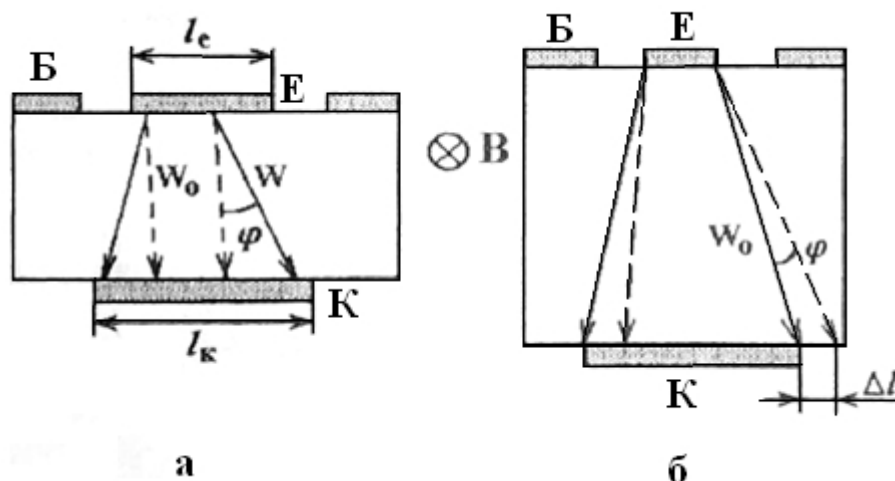


Рисунок 1.6 – Траєкторія руху носіїв заряду, при дії магнітного поля, в р-п-р транзисторі з вузькою (а) і широкою (б) базою

Найбільше практичне поширення одержали горизонтальні (латеральні) магнітотранзистори, тобто транзистори, колектори яких розташовані осторонь від

емітера на одній поверхні пластини. Їх магніточутливі властивості обумовлені двома основними ефектами: 1) збільшенням ефективної довжини бази, 2) відхиленням носіїв заряду до колектора (або від нього)[6].

#### 1.4. 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		
	К.т.н., доц. Книш Б.П..	К.т.н., доц. Мартинюк В.В.	К.т.н., доц. Огородник К.В.
1.	4	3	4
2.	1	3	3
3.	3	4	3
4.	4	2	4
5.	4	4	4
6.	2	3	3
7.	2	3	0
8.	2	4	3
9.	4	3	2
10.	3	2	3

11.	3	2	2
12.	1	2	2
Сума балів	СБ <sub>1</sub>	СБ <sub>2</sub>	СБ <sub>3</sub>
	28	33	29

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

$$\overline{СБ} = \frac{90}{3} = 30$$

Отже, на основі проведеного експертного опитування середньо арифметична сума балів становила 30, 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.

### 1.5 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 ресурсоефективності та ресурсозбереження дозволяє провести оцінку порівняльної ефективності наукової розробки і визначити напрямки для її майбутнього підвищення.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (К<sub>інт</sub>) з урахуванням вищезазначених груп показників визначається за формулою (1.2):

$$K_{\text{інт}} = I_{\text{ІІІ}} \frac{I_{\text{ТІІ}}}{I_{\text{ЕП}}} \quad (1.2.)$$

де ІІІ – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

ІТІІ – 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)
Технічні параметри			
1.	напруга живлення	5	5
2.	величина магнітного поля	0,2	0,3
3.	максимальне значення струму в провіднику	<b>0,02</b>	0,03 А.
Економічні показники			
4.	Ціна,грн	<b>3030</b>	3015

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

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

- за технічними показниками:

$$q_1 = \frac{5}{5} = 1$$

$$q_2 = \frac{0,3}{0,2} = 1,5$$

$$q_3 = \frac{0,03}{0,02} = 1,5$$

- за економічними показниками:

$$q_1 = \frac{3350}{3400} = 0,98$$

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:

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

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

Далі розрахуємо групові параметри індексів конкурентоспроможності:

за технічними характеристиками:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_1 \quad (1.4.)$$

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

$q_i$  – одиничний параметричний індекс  $i$  – го параметра;

$\alpha_1$  – вагомість  $i$  – го параметричного індексу,  $\sum_{i=1}^k \alpha_1 = 1$ ;

$n$  – кількість технічних параметрів, за яким оцінюється конкурентоспроможність.

$$I_{ТП} = (1+1,5+1,5)*1 = 4$$

$$K_{інт} = 4/0,98 = 4,08$$

Оскільки,  $K_{інт} > 1$ , то розроблений варіант більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент.

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

Цифровий вимірювач індукції магнітного поля на мікроконтролері. У сенсора магнітного поля є можливість працювати при високих температурах та в складних умовах.

Цифровий вимірювач має високу завадостійкість, що дозволяє підвищити чутливість вимірювального сигналу.

## 1.6 Висновки до першого розділу

Аналіз існуючих сенсорів магнітного поля показав, 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.

Досліджено, що існуючі сенсори магнітного поля широко використовуються в дослідженні космосу, в медицині, в машинобудівництві та інших сферах науки та

техніки. Оцінка можливостей і перспектив застосування приладів і пристроїв мікромагнітоелектроніки і їх переваг перед іншими групами електронної техніки, показує, що в Україні цей науково-технічний напрям практично не освоєний.

Актуальним та перспективним напрямком розвитку магнітних сенсорів є розробка сенсорів магнітного поля на основі біполярних транзисторів, що дає можливість усунути недоліки існуючих магнітних сенсорів. Перевагами такого цифрового вимірювача магнітного поля над вище розглянутими є те, що він має високу завадостійкість, що дозволяє підвищити чутливість вимірювального сигналу.

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА ВЕЛИЧИНИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ

В розділі пропонується цифровий вимірювач величини магнітного поля, розробляється його структурна та електрична схема, проводиться її моделювання за допомогою програмних засобів.

### 2.1 Розробка структурної схеми цифрового вимірювача величини магнітного поля на мікроконтролері

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

До розробленої структурної схеми входять наступні елементи:

- блок живлення;
- стабілізатор;
- мікроконтролер;
- LCD дисплей;
- тригер Шмідта;
- коливальний контур (вторинний перетворювач);
- датчик магнітного поля.

Призначення компонентів наступне. Від блоку живлення до усіх блоків цифрового вимірювача величини магнітного поля надходить необхідна напруга, яка стабілізується на рівні 5 Вольт у стабілізаторі. Датчик магнітного поля необхідний для оцінки впливу величину зовнішнього магнітного поля, яке досліджується. Отриманий сигнал потрапляє на вторинний перетворювач, який являє собою автогенератор (коливальний контур) на основі транзисторних структур з від'ємним опором, змінюючи частоту його вихідного сигналу. Цей сигнал потрапляє на тригер Шмідта, де він перетворюється до вигляду прямокутних імпульсів, які надходять на мікроконтролер. В свою чергу, мікроконтролер визначає частоту цього сигналу, обраховує на її основі з використанням рівняння Еренфеста величину магнітного поля. Отримані дані відображаються на LCD дисплеї.

## **2.2 Розробка електричної схеми цифрового вимірювача величини магнітного поля на мікроконтролері**

На основі структурної схеми розроблено електричну схему пристрою, яка зображена на рис. 2.2.

Для даної схеми було обрано мікроконтролер Attiny2313. Цей мікроконтролер є не коштовним, але має достатні функціональні можливості для реалізації поставлених задач.

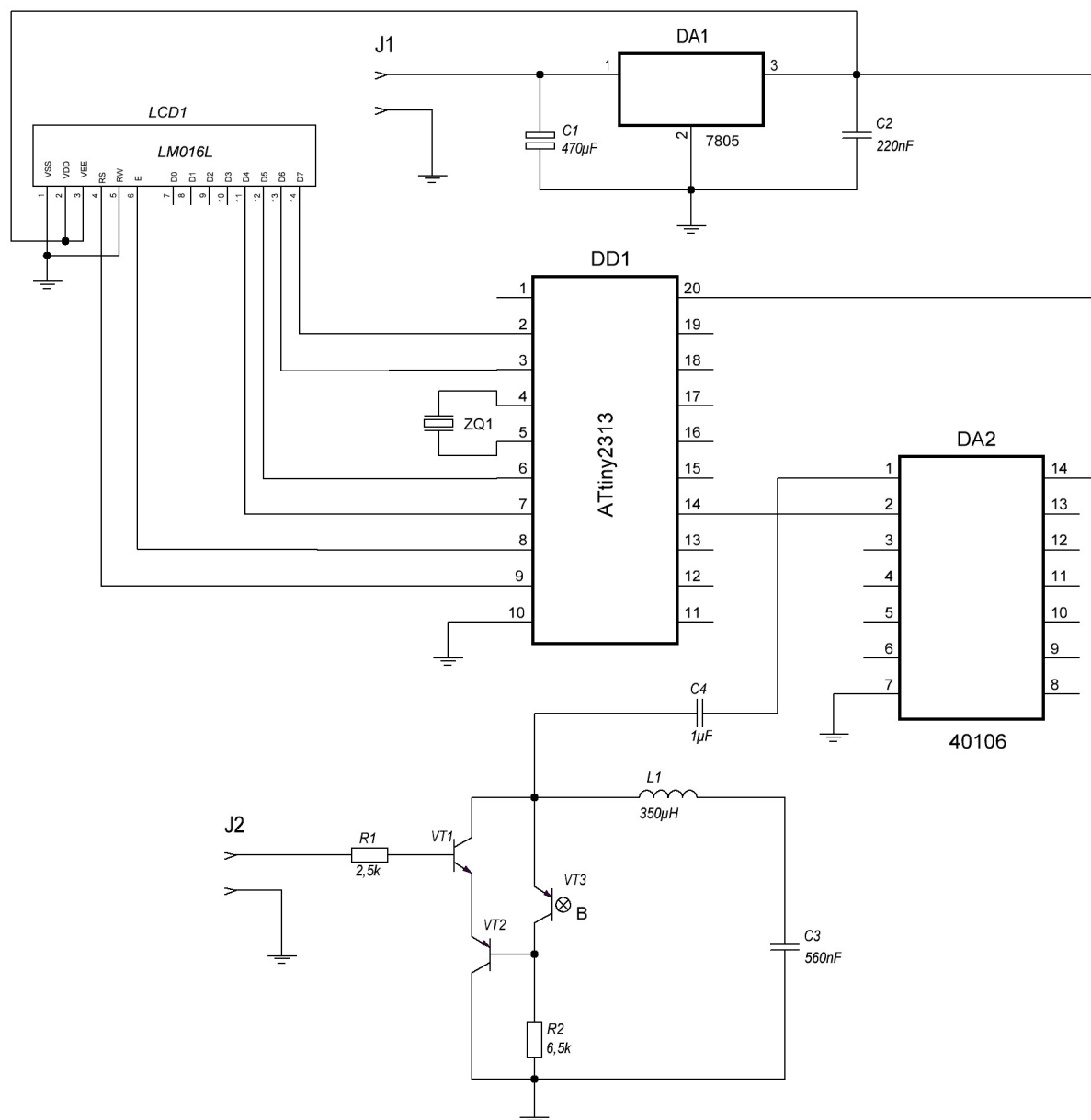


Рисунок 2.2 – Схема електрична цифрового вимірювача величини магнітного поля

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Основним елементом цифрового вимірювача є датчик магнітного поля. Він являє собою вторинний перетворювач на автогенераторі, до якого під'єднують магніточутливий транзистор. Генератор електричних коливань утворений на основі пасивної індуктивності та еквівалентної ємності що виникає між колекторами біполярних

транзисторів VT1 та VT2. Пристрій живиться або від акумуляторної батареї або мережевого блоку живлення на 5 В.

Індуктивність L1 разом з еквівалентною ємністю утворюють гармонічні синусоїдальні коливання кілогерцової частоти. Резистор R2 та біполярний магніточутливий транзистор VT3 є подільниками напруги та створюють режим живленням транзисторам VT1 та VT2. При дії магнітного поля на біполярний магнітотранзистор змінюється опір його бази, що призводить до зміни еквівалентної ємності всієї схеми. Тобто відбувається зміна частоти на виході вторинного перетворювача. Використання даної схеми для вимірювання індукції магнітного поля засновано на використанні принципу зміни частоти генератора. Вихідна частота залежить від величини магнітного поля, що діє на магнітотранзистор. Тобто дія магнітного поля на магнітотранзистор створює зміну частоти на виході вторинного перетворювача.

Синусоїдальний сигнал поступає на тригер Шміда, де він перетворюється в сигнал прямокутної форми після чого попадає на мікроконтролер ATtiny 2313. А після обробки мікроконтролер подає на монітор (LCD1) значення частоти.

Рівняння Еренфеста дають змогу знайти функцію перетворення частотного сигналу в величину магнітного поля. Використання цієї функції в мікроконтролері дасть змогу отримувати цифрове значення величини магнітного поля на LCD екрані.

### **2.3 Обґрунтування вибору та аналіз параметрів 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.



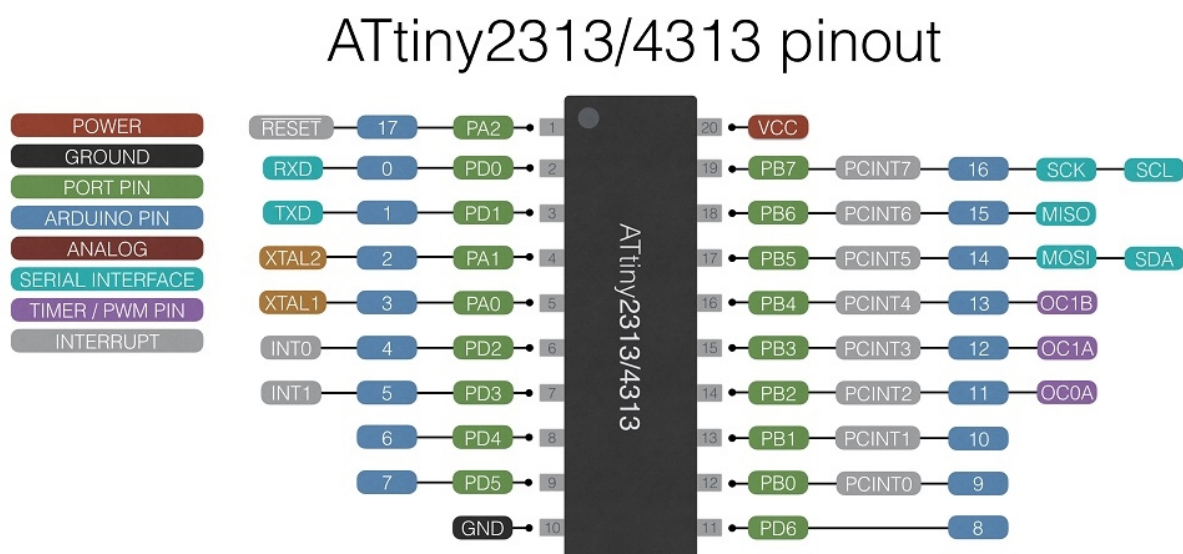


Рисунок 2.3 – Вигляд мікроконтролера ATtiny 2313 з описом виводів

Основні характеристики даного мікроконтролера:

1. Розрядність – 8 біт;
2. 32 8-бітних робочих регістра;
3. 2 кБ програмованої Flash пам'яті;
4. 128 байта енергонезалежної пам'яті EEPROM;
5. 128 байта оперативної пам'яті SRAM;
6. Корпус PDIP 20 вивідний;
7. 18 програмованих ліній вводу-виводу;
8. Споживання в активному режимі при частоті 1 МГц – 230мкА.

## 2.4 Розробка алгоритму роботи

Розроблено блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера у складі цифрового вимірювача величини магнітного поля, яка зображена на рисунку 2.3.

Алгоритм роботи наступний. При подачі живлення на LCD дисплей виводиться інформація про справність системи та початок вимірювань. Після цього мікроконтролер аналізує вхідний сигнал на відповідність його рівня та форми. У випадку невідповідності запускається процес калібрування і виводиться відповідна інформація на LCD дисплей.



Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Наступний крок – це безпосередньо процес вимірювання, який полягає у підрахунку кількості імпульсів за одиницю часу, що необхідно для визначення частоти вхідного сигналу. Далі можна обирається режим відображення результатів вимірювання, а саме: обрахунок тільки частоти сигналу чи обрахунок величини магнітного поля, яка відповідає вхідній частоті. Відбувається відповідний розрахунок та отримані дані виводяться на LCD дисплей.

## 2.5 Розроблення еквівалентних схем частотного перетворювача магнітної індукції з 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. 2.4.

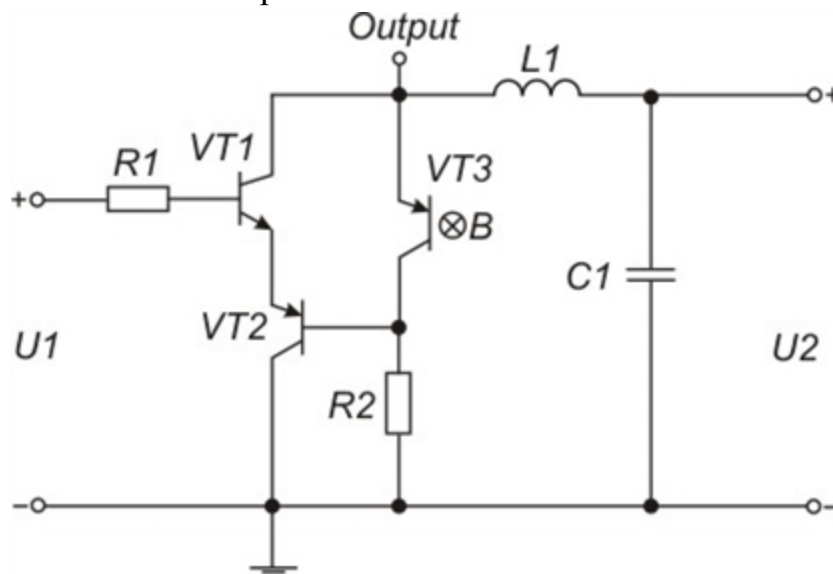


Рисунок 2.5 – Частотний перетворювач магнітної індукції з магнітотранзистором

Для визначення основних параметрів, що характеризують роботу перетворювача магнітної індукції (рис. 2.4), на основі еквівалентної схеми, зображеної на рис. 2.6, необхідно розрахувати повний опір на електродах емітер-колектор біполярних магнітотранзистора VT3 та транзистора VT1.

Враховуючи, що магнітотранзистор можна представити у вигляді еквівалентної схеми з магнітодіода та біполярного транзистора (рис. 2.5),

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 магнітодіода  $VD$  утвореного пасивною базою і областю колектора, а також підсилювального транзистора  $VT$  (рис. 2.6).

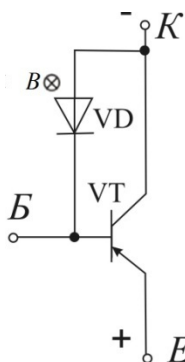


Рисунок 2.6 – Еквівалентна схема магнітотранзистора

Залежність опору р-п переходу діода від магнітної індукції (рис. 2.5) визначається як:

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

де  $R_{E0}$  – опір р-п переходу діода без дії магнітного поля;  $c$  – коефіцієнт, який залежить від механізму розсіювання і геометричних розмірів діода,  $\mu_p$  – 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

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

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. 2.8).

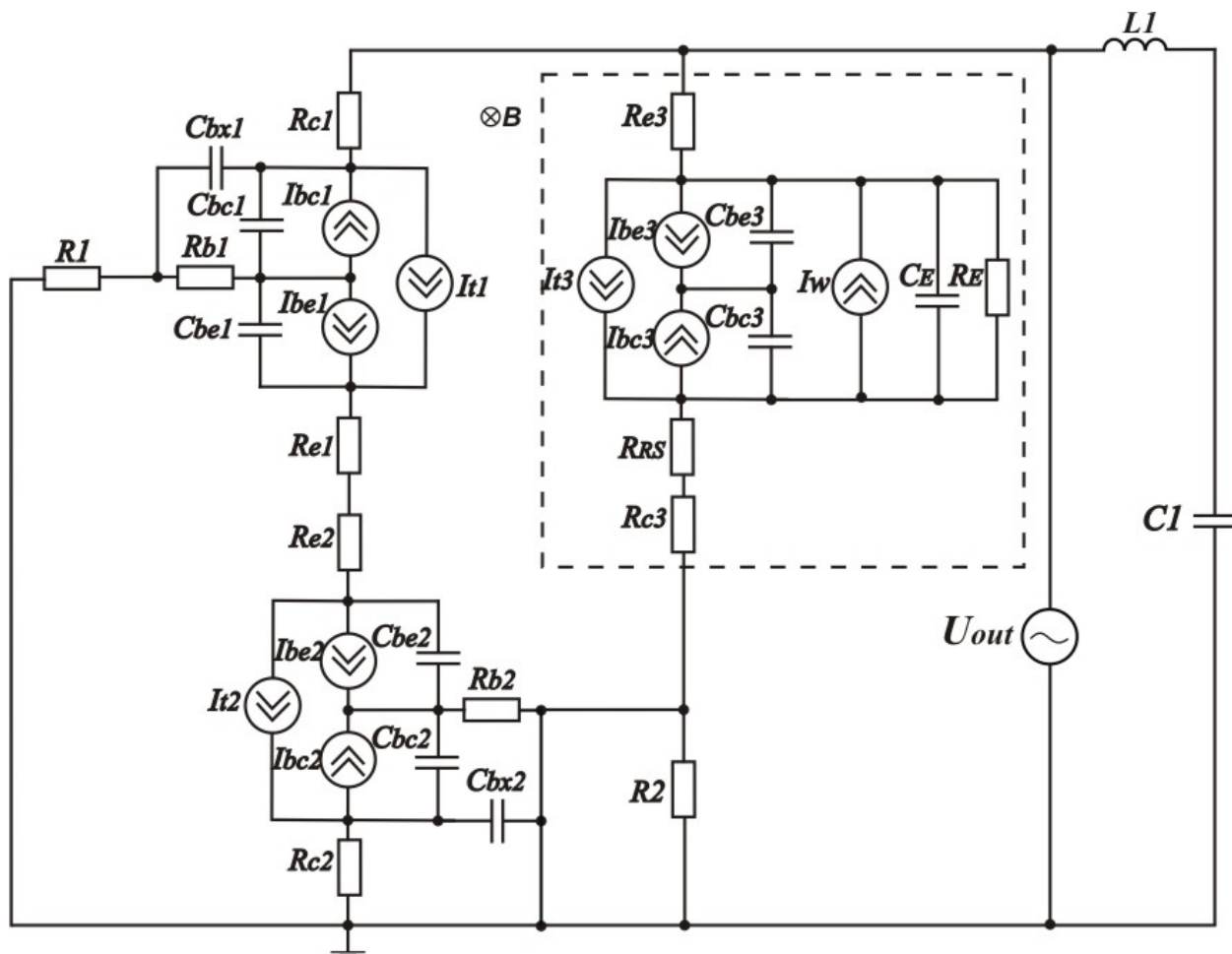


Рисунок 2.7 – Еквівалентна схема частотного перетворювача магнітної індукції з магнітранзистором

Вольт-амперна характеристика магнітодіоду визначається як

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

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

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

$\tau_p$  – час життя носіїв заряду, для даного матеріалу;  $d$  – довжина бази;  $\varphi_m$  – температурний потенціал.

Для зручності розрахунків на рис. 2.7 зображена перетворена еквівалентна схема магнітного перетворювача.

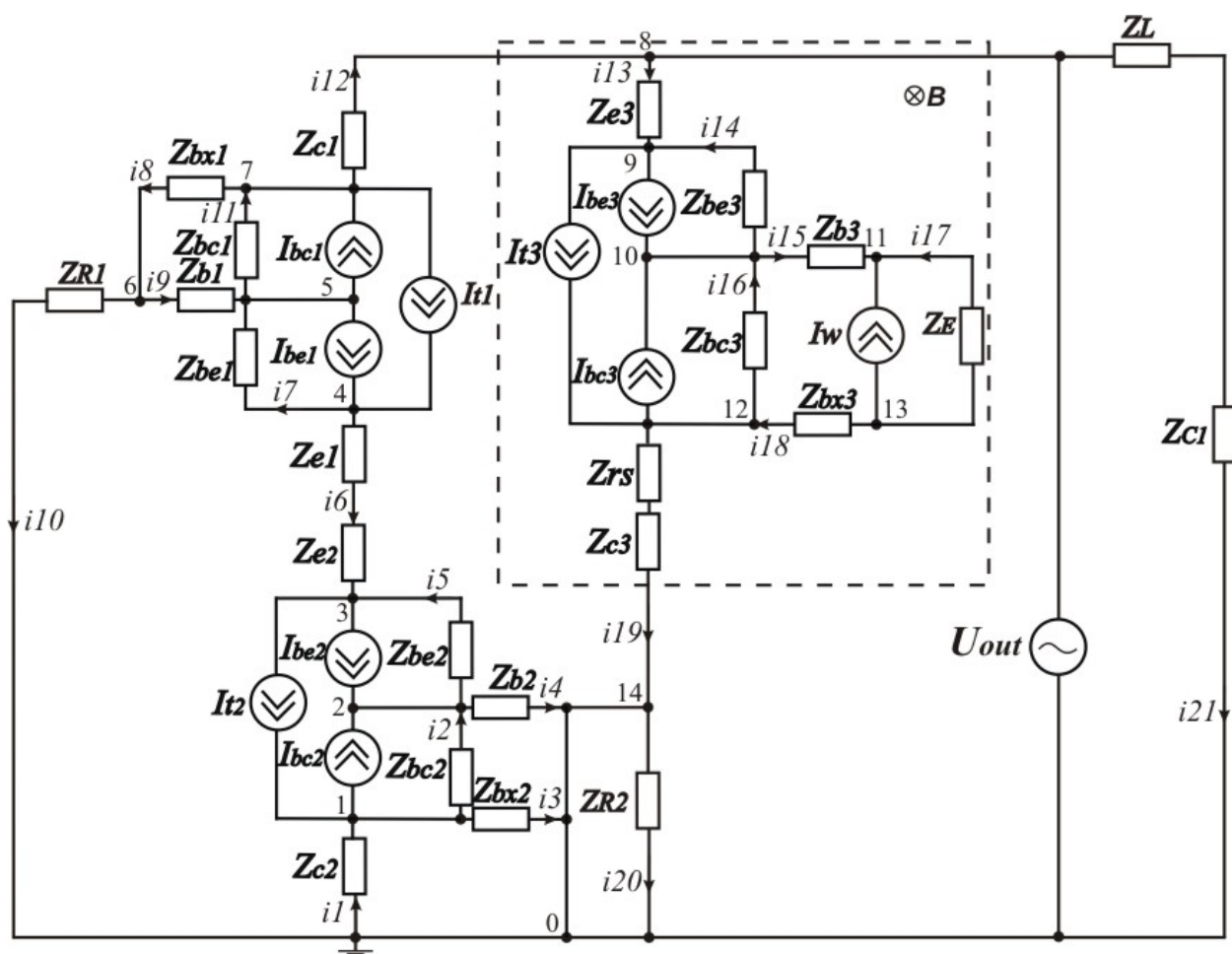


Рисунок 2.8 – Перетворена еквівалентна схема частотного перетворювача індукції магнітного поля з магнітотранзистором

В еквівалентній схемі на рис. 2.6 використано наступні позначення:  $R_1$  – опір резистора  $R_1$ ;  $R_2$  – опір резистора  $R_2$ ;  $R_{C1}$ ,  $R_{C2}$ ,  $R_{C3}$  – опір колектора транзисторів  $VT1$ ,  $VT2$  та  $VT3$  відповідно;  $R_{e1}$ ,  $R_{e2}$ ,  $R_{e3}$  – опір емітерів транзисторів  $VT1$ ,  $VT2$  та  $VT3$  відповідно;  $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$  – опір бази транзисторів  $VT1$  та  $VT2$  відповідно;  $R_E$  – опір р-п переходу діоду, що входить до еквівалентної схеми магнітотранзистора  $VT3$ ;  $L_1$  – зовнішня індуктивність;  $C_1$  – ємність конденсатора  $C_1$ ;  $C_E$  – ємність р-п переходу діоду, що входить до еквівалентної схеми магнітотранзистора  $VT3$ ;  $C_{bx1}$  – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора біполярного транзистора  $VT1$ ;  $C_{bx2}$  – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора біполярного транзистора  $VT2$ ;  $C_{bc1}$ ,  $C_{be1}$  – ємність переходу база-колектор та база-емітер транзистора  $VT1$  відповідно;  $C_{bc2}$ ,  $C_{be2}$  – ємність переходу база-колектор та база-емітер транзистора  $VT2$  відповідно;  $C_{bc3}$ ,  $C_{be3}$  – ємність переходу база-колектор та база-емітер транзистора  $VT3$  відповідно;  $I_w$  – струм діоду, що входить до еквівалентної схеми магнітотранзистора  $VT3$ ;  $I_{be1}$ ,  $I_{be2}$ ,  $I_{be3}$ ,  $I_{bc1}$ ,  $I_{bc2}$ ,  $I_{bc3}$ ,  $I_{t1}$ ,  $I_{t2}$ ,  $I_{t3}$  – струми транзисторів  $VT1$ ,  $VT2$  та  $VT3$  відповідно, 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

$$R_b = \begin{cases} R_{bm} + (R_{bx} - R_{bm}) / K_{Q_b} \text{ при } I_{Rb} = \infty; \\ R_{bm} + 3(R_{bx} - R_{bm}) \frac{\operatorname{tg} x - x}{x * \operatorname{tg}^2 x} \text{ при } I_{Rb} > 0, \end{cases}$$

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  $R_{bm}$ .

На перетвореній схемі (рис. 2.4) використані позначення:

$$\begin{aligned} Z_{R1} &= R_1; & Z_{R2} &= R_2; & Z_{c1} &= R_{c1}; & Z_{c2} &= R_{c2}; & Z_{c3} &= R_{c3}; & Z_{b1} &= R_{b1}; & Z_{b2} &= R_{b2}; \\ Z_{bc1} &= -j / \omega(C_{bc1}); & Z_{bc2} &= -j / \omega(C_{bc2}); & Z_{bc3} &= -j / \omega(C_{bc3}); & Z_{bx1} &= -j / (\omega C_{bx1}); \\ Z_{bx2} &= -j / (\omega C_{bx2}); & Z_{e1} &= R_{e1}; & Z_{e2} &= R_{e2}; & Z_{e3} &= R_{e3}; & Z_{be1} &= -j / \omega(C_{be1}); \\ Z_{be2} &= -j / \omega(C_{be2}); & Z_{be3} &= -j / \omega(C_{be3}); & Z_{rs} &= R_{RS}; & Z_{C1} &= -j / \omega(C_1); & Z_L &= j\omega L; \\ Z_E &= R_E / (1 + \omega^2 R_E^2 C_E^2) - j(R_E^2 \omega C_E / (1 + \omega^2 R_E^2 C_E^2)). \end{aligned}$$

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:



$$\begin{cases}
 -\varphi_1(y_1 + y_2 + y_3) + \varphi_2 y_2 + \varphi_{14} y_3 = I_{bc2} - I_{t2}; \\
 \varphi_1 y_2 - \varphi_2(y_2 + y_4 + y_5) + \varphi_3 y_5 + \varphi_{14} y_5 = -(I_{be2} + I_{bc2}); \\
 \varphi_2 y_5 - \varphi_3(y_5 + y_6) + \varphi_4 y_6 = I_{t2}; \\
 \varphi_3 y_6 - \varphi_4(y_6 + y_7) + \varphi_5 y_7 = -I_{be1} - I_{t1}; \\
 \varphi_4 y_5 - \varphi_5(y_5 + y_9 + y_{11}) + \varphi_6 y_9 + \varphi_7 y_{11} = I_{be1} + I_{bc1}; \\
 \varphi_5 y_9 - \varphi_6(y_8 + y_9 + y_{10}) + \varphi_7 y_8 = 0; \\
 \varphi_5 y_{11} + \varphi_6 y_8 - \varphi_7(y_8 + y_{11} + y_{12}) = I_{t1} - I_{bc1} - U_{out} y_{12}; \\
 \varphi_3 y_{13} + \varphi_7 y_{12} = U_{out}(y_{12} + y_{13} + y_{21}); \\
 -\varphi_9(y_{13} + y_{14}) + \varphi_{10} y_{14} = I_{be3} + I_{t3} - U_{out} y_{13}; \\
 \varphi_9 y_{14} - \varphi_{10}(y_{14} + y_{15} + y_{16}) + \varphi_{11} y_{15} + \varphi_{16} = -(I_{be3} + I_{bc3}); \\
 \varphi_{10} y_{15} - \varphi_{11}(y_{15} + y_{17}) + \varphi_{13} y_{17} = -I_w; \\
 \varphi_{10} y_{16} - \varphi_{12}(y_{16} + y_{18} + y_{19}) + \varphi_{13} y_{18} + \varphi_{14} y_{19} = I_{bc3} - I_{t3}; \\
 \varphi_{11} y_{17} + \varphi_{12} y_{18} - \varphi_{13}(y_{17} + y_{18}) = I_w; \\
 \varphi_1 y_3 + \varphi_2 y_4 + \varphi_{12} y_{19} - \varphi_{14}(y_3 + y_4 + y_{19} + y_{20}) = 0,
 \end{cases} \quad (2.7)$$

де провідності гілок схеми визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 1/Z_{c2}; \quad y_2 = 1/Z_{bc2}; \quad y_3 = 1/Z_{bx2}; \quad y_4 = 1/Z_{b2}; \quad y_5 = 1/Z_{be2}; \\
 y_6 &= 1/(Z_{e1} + Z_{e2}); \quad y_7 = 1/Z_{be1}; \quad y_8 = 1/Z_{bx1}; \quad y_9 = 1/Z_{b1}; \quad y_{10} = 1/Z_{R1}; \quad y_{11} = 1/Z_{bc1}; \\
 y_{12} &= 1/Z_{c1}; \quad y_{13} = 1/Z_{e3}; \quad y_{14} = 1/Z_{be3}; \quad y_{15} = 1/Z_{b3}; \quad y_{16} = 1/Z_{bc3}; \quad y_{17} = 1/Z_E; \\
 y_{18} &= 1/Z_{bx3}; \quad y_{19} = 1/(Z_{rs} + Z_{c3}); \quad y_{20} = 1/Z_{r2}; \quad y_{21} = 1/(Z_L + Z_{c1}).
 \end{aligned}$$

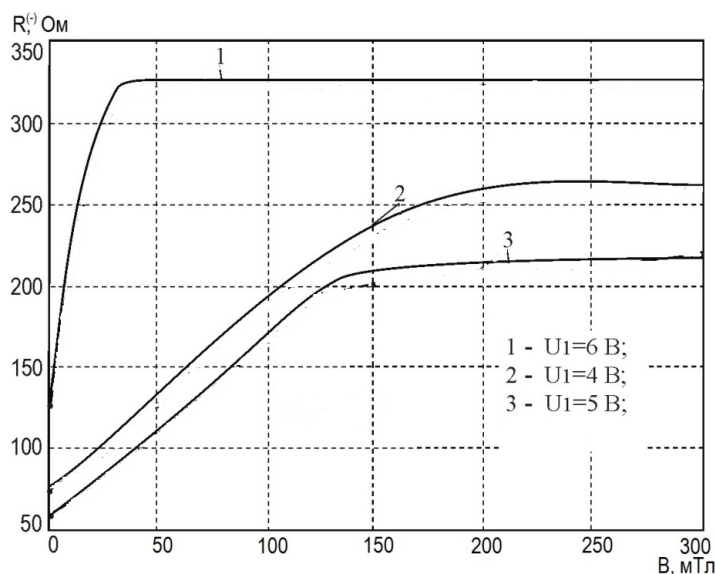


Рисунок 2.9 – Теоретичні залежності активної складової повного опору від індукції магнітного поля

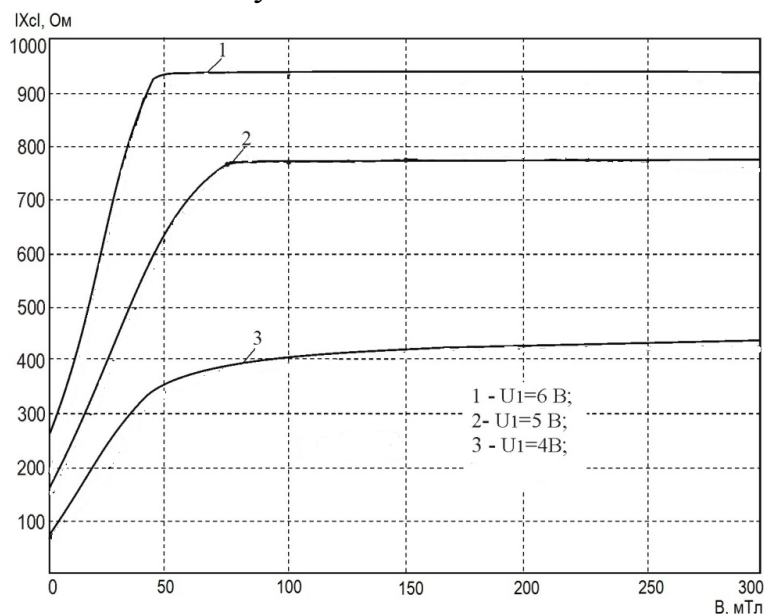


Рисунок 2.10 – Теоретичні реактивної складової повного опору від індукції магнітного поля

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  $U_1$ .

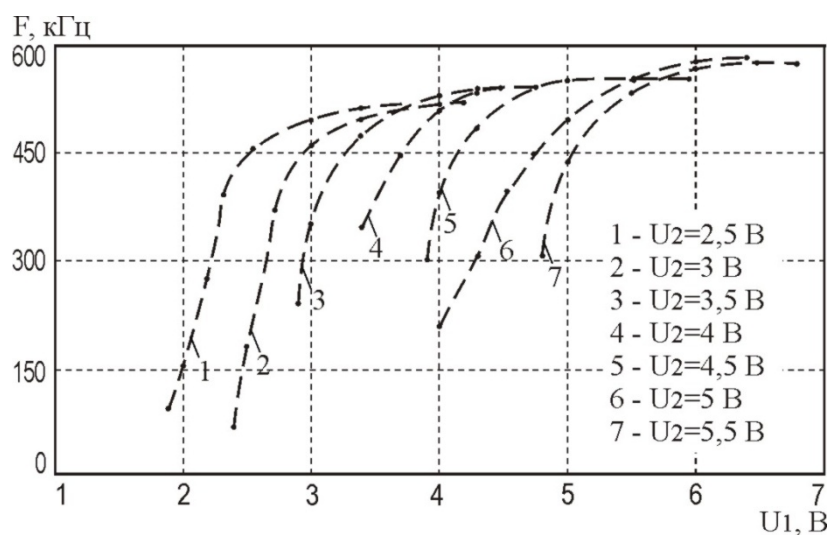


Рисунок 2.11 – Залежності частоти генерації магнітного перетворювача із магнітотранзистором від напруги живлення для різних робочих точок автогенератора

З рис. 2.11 видно, що сприятливим режимом роботи перетворювача, при якому частота генерації лінійно залежить від напруги живлення, є робота при напрузі керування 2,5 та 3 В.

На рис. 2.12 подані та теоретичні залежності частоти генерації магнітного перетворювача із магнітотранзистором 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.

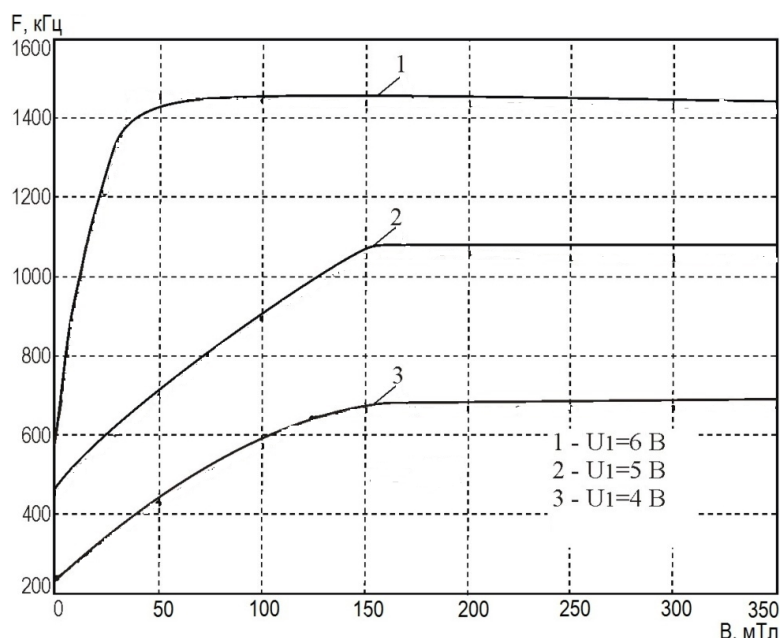


Рисунок 2.12 – Теоретичні частоти генерації магнітного перетворювача із магнітотранзистором від зміни величини магнітної індукції

Функція перетворення магнітного перетворювача із магнітотранзистором описується виразом (2.8)

$$F = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{2} \sqrt{L_1 C_{bx2} (-L_1 C_{bx2} + R_E^2(B) C_{bc1}^2 + R_E^2(B) C_{bc1} C_{bx2} + A)}}{L_1 C_{bc1} C_{bx2} R_E(B)}, \quad (2.8)$$

де

$$A = \sqrt{L_1^2 C_{bx2}^2 + 2L_1 C_{bcl}^2 C_{bx2} R_E^2(B) - 2L_1 C_{bx2}^2 C_{bcl} R_E^2(B) + R_E^4(B) C_{bcl}^4 + 2R_E^4(B) C_{bcl}^3 C_{bx2} + R_E^4(B) C_{bcl}^2 C_{bx2}^2}$$

На основі (2.8) визначена чутливість магнітного перетворювача із магнітотранзистором

$$\begin{aligned} S_B^F = & \frac{1}{4} \sqrt{2} \left( 2R_E(B) C_{bcl}^2 \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) + 2R_E(B) C_{bcl} C_{bx2} \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) + \right. \\ & + \left. \left( \frac{1}{2} \left( 4L_1 R_E(B) C_{bx2} C_{bcl}^2 \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) - 4L_1 R_E(B) C_{bx2}^2 C_{bcl} \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) + \right. \right. \right. \quad (2.9) \\ & + 4R_E^3(B) C_{bcl}^4 \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) + 8R_E^3(B) C_{bcl}^3 C_{bx2} \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) + \\ & + \left. \left. \left. 4R_E^3(B) C_{bcl}^2 C_{bx2}^2 \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) \right) \right) / \sqrt{D_1} \right) / \left( \sqrt{-L_1 C_{bx2} (D_2 + \sqrt{D_1})} \right) - \frac{1}{2} \sqrt{2} \times \\ & \times \sqrt{L_1 C_{bx2} (D_2 + \sqrt{D_1})} \left( \frac{\partial}{\partial B} R_E(B) \right) / \left( L_1 C_{bx2} C_{bcl} R_E^2(B) \right), \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} D_1 = & L_1^2 C_{bx2}^2 + 2L_1 C_{bx2} C_{bcl}^2 R_E^2(B) - 2L_1 C_{bx2}^2 C_{bcl} R_E^2(B) + R_E^4(B) C_{bcl}^4 + 2R_E^4(B) C_{bcl}^3 C_{bx2} + \\ & + R_E^4(B) C_{bcl}^2 C_{bx2}^2; \\ D_2 = & -L_1 C_{bx2} + R_E^2(B) C_{bcl}^2 + R_E^2(B) C_{bcl} C_{bx2}. \end{aligned}$$

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

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.

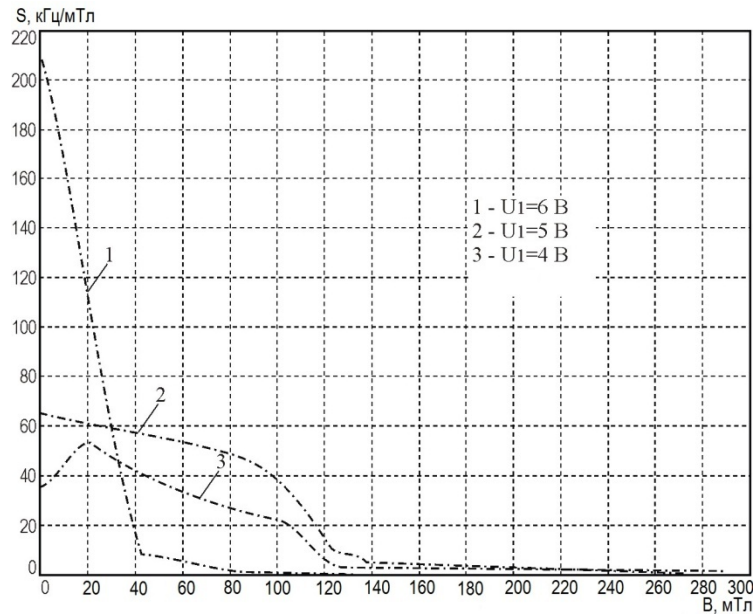


Рисунок 2.13 – Залежність чутливості магнітного перетворювача із магнітотранзистором від зміни величини магнітної індукції

## 2.7 Моделювання роботи схеми

Для моделювання роботи електричної схеми цифрового вимірювача величини магнітного поля було 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).

Для мікроконтролера ATTINY 2313 було створено програму мовою C та скомпільовано HEX-файл для його прошивки.

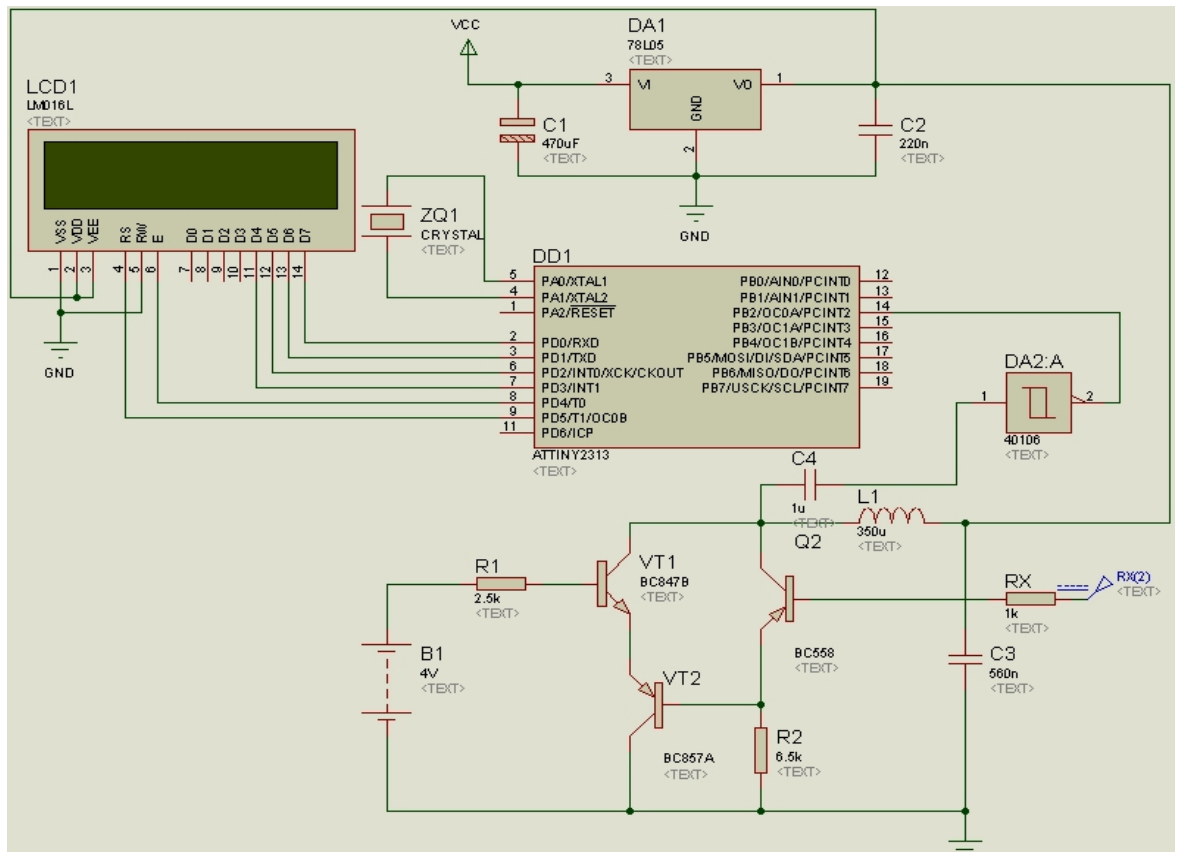


Рисунок 2.14– Зображення схеми для моделювання

Для моделювання роботи схеми замість магнітотранзистора, в якому магнітне поле керує струмом між емітером і колектором було використано біполярний транзистор BC558. В залежності від напруги на базі змінюється струм між колектором та емітером транзистора і внаслідок цього змінюється резонансна частота коливального контуру.

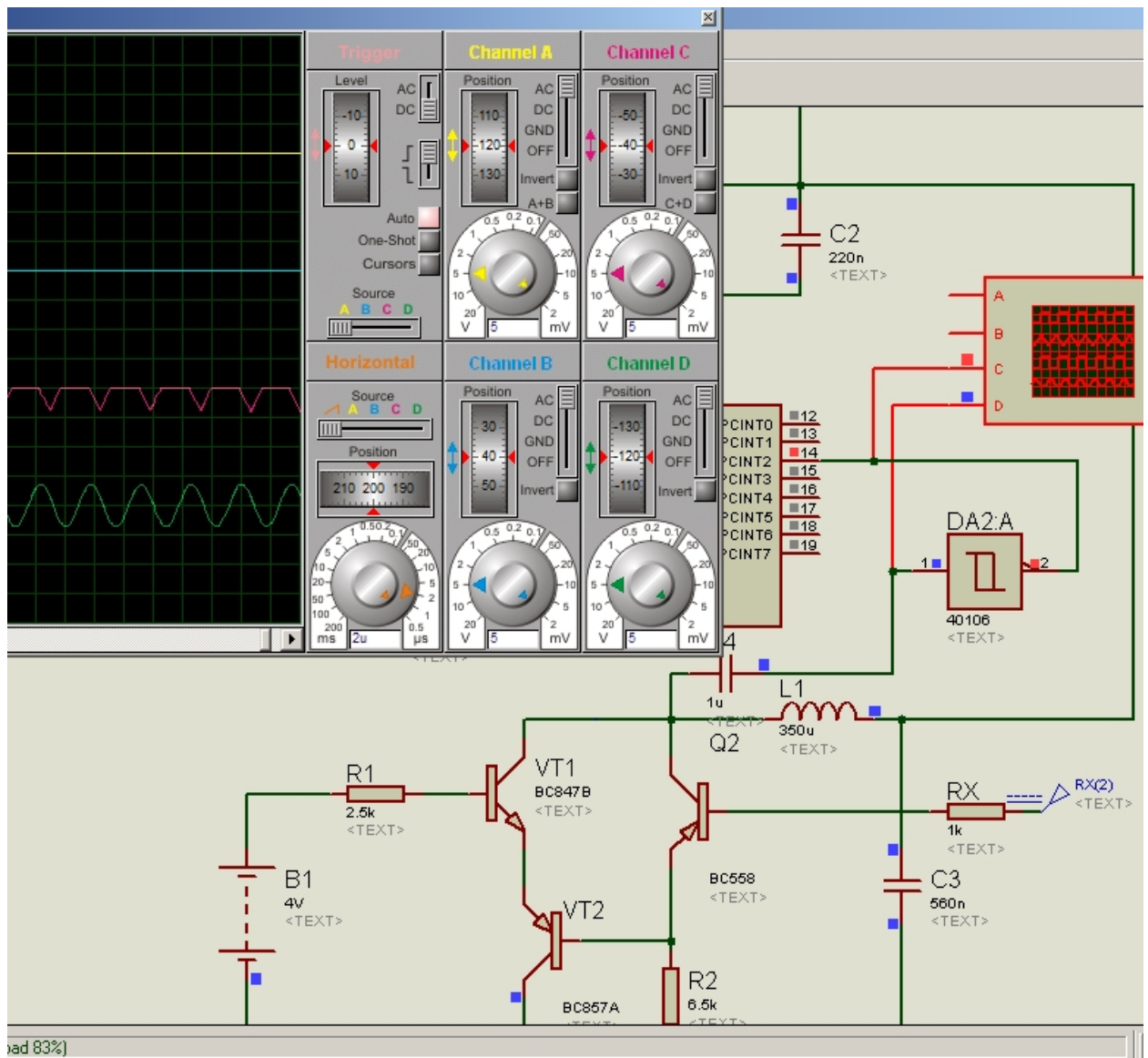


Рисунок 2.15 – Зображення осцилограм сигналів схеми

Гармонічний сигнал з виходу схеми генератора подається на тригер Шмітта на мікросхемі 40106, та перетворюється в сигнал прямокутної форми тієї ж частоти. З виходу тригера Шмітта поступає на вхід мікроконтролера, де відбувається підрахунок імпульсів за період часу та вираховується частота сигналу.

На рисунку 2.15, 2.16 зображено осцилограми з виходу схеми генератора та після пристрою перетворення в прямокутний сигнал.

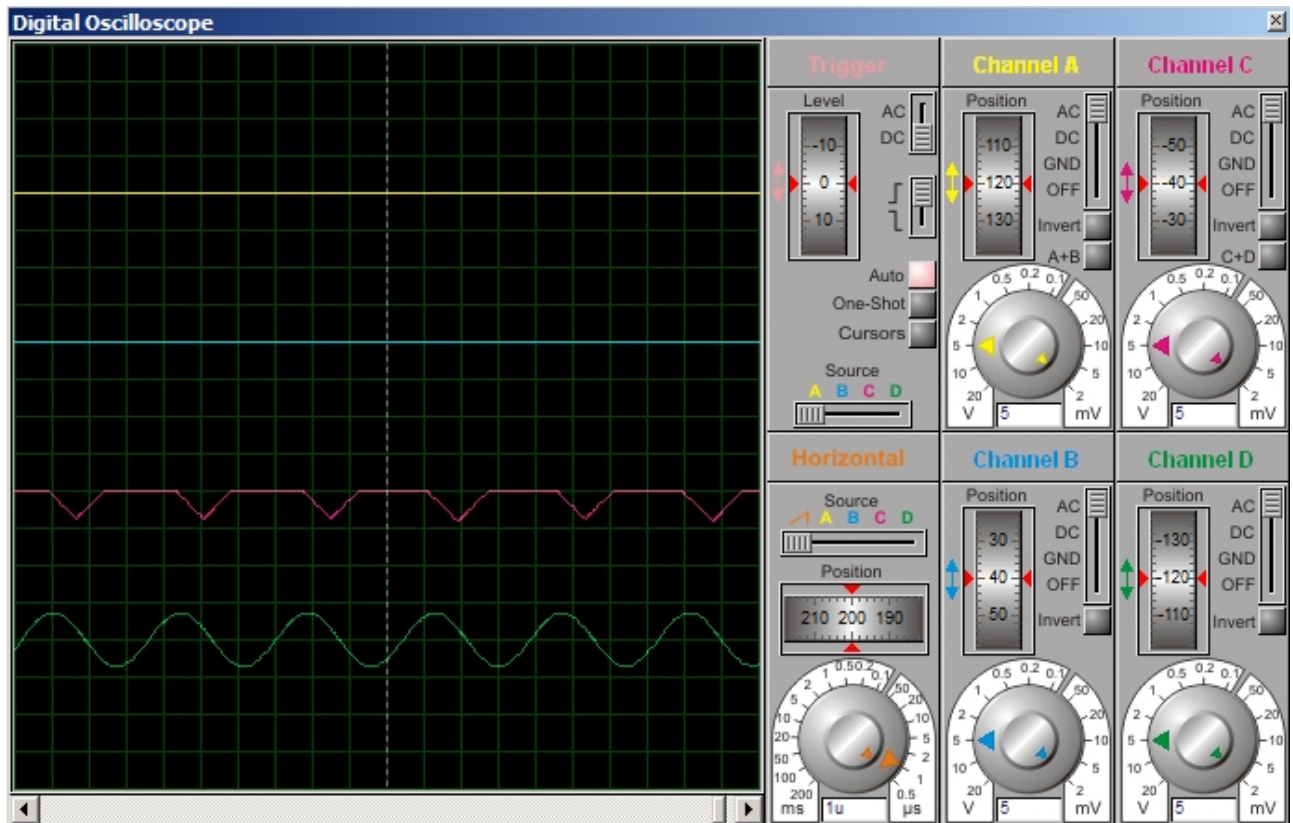


Рисунок 2.16 – Зображення осцилограм сигналів

При напрузі на базі модельованого транзистора 1,1 В та при напрузі на базі транзистора VT1 6 В резонансна частота коливального контуру складає 291,451 кГц, що відображено на рідкокристалічному екрані (рис. 2.17).



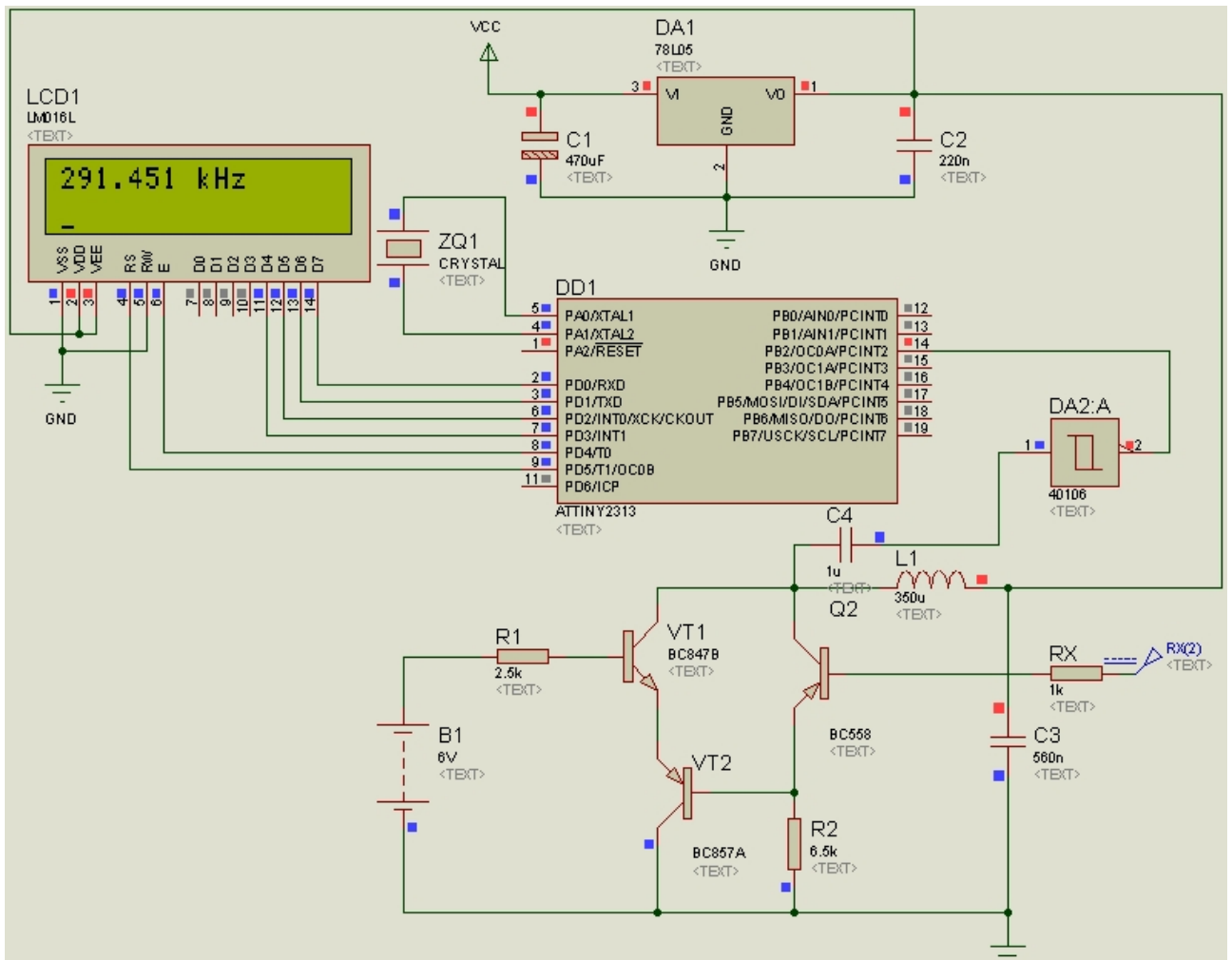


Рисунок 2.17 – Результати вимірювання схеми LCD дисплея

Таким чином, отримані результати моделювання показують можливість застосування даної схеми для вимірювання величини магнітного поля.

## 2.6 Висновки до другого розділу

Розроблено структурну схему цифрового вимірювача величини магнітного поля та описано призначення її основних складових компонентів.

Розроблено на базі структурної електричну схему цифрового вимірювача та описано принцип її роботи.

Промодельовано розроблену електричну схему в різних режимах роботи, що підтверджує можливість її практичної реалізації.

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

Проведено дослідження, які показали, чутливість частотного перетворювача магнітного поля з магнітотранзистором в діапазоні від 1 до 300 мТл, чутливість змінюється від 210 до 2 кГц/мТл. Розбіжність теоретичних та експериментальних даних складає  $\pm 5\%$ .

### **3 РОЗРОБКА ПЛАТИ ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА ВЕЛИЧИНИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ**

В даному розділі проводиться обґрунтування вибору типу та матеріалу друкованої плати, класу точності та кроку координатної сітки, на основі чого розробляється друкована плата та складальне креслення цифрового вимірювача величини магнітного поля.

#### **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 <sup>3</sup>	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 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	22	22	8...9

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

Найоптимальніші параметри для розробки цифрового вимірювача 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 не

чутливим 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  $\rho$  – 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).

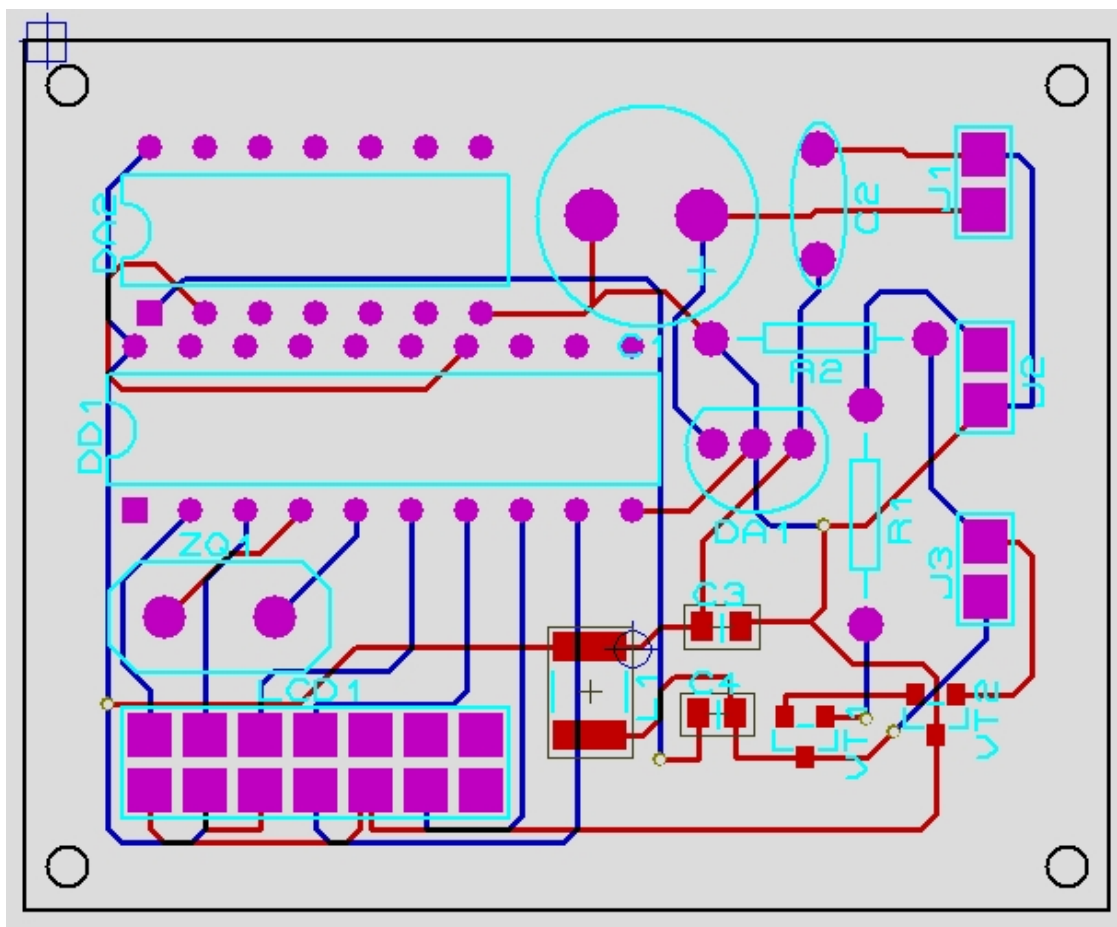


Рисунок 3.1 – Розведена плата в ARES Proteus Layout

Скориставшись функціональними можливостями ARES, побудуємо візуальну трьохвимірну модель друкованої плати з встановленими компонентами.

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



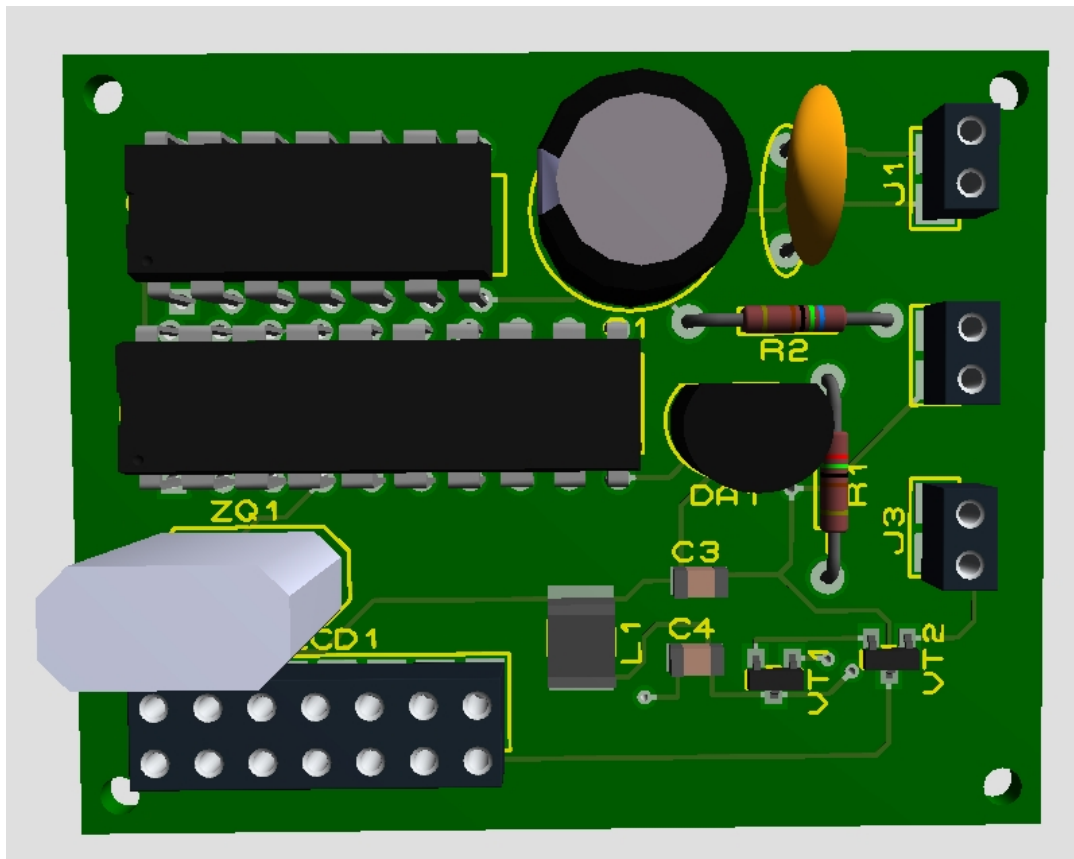


Рисунок 3.2 – Зображення моделі плати пристрою з елементами

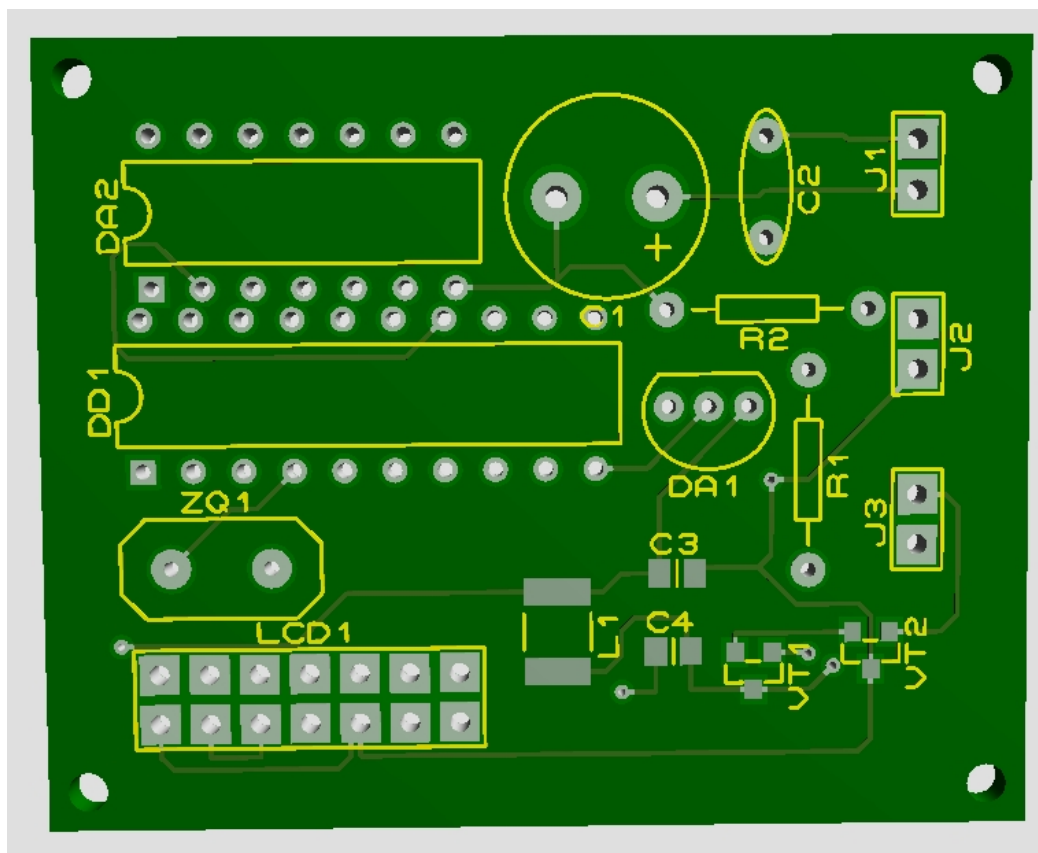


Рисунок 3.3 – Зображення моделі плати пристрою без елементів

### 3.6 Висновки до третього розділу

Виконано 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.

Обрано матеріал друкованої плати – 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):

$$K = Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}} + A_{\text{обл}} + M + K_{\text{в}} + B_{\text{ел}} + I_{\text{в}}, \quad (4.1)$$

Де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн;

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

$Z_{\text{дод}}$  – 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;

$K_{\text{в}}$  – витрати які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

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

$I_{\text{в}}$  – інші витрати, грн.;

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

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{\text{пл}} \cdot t_i}{r_p}, \quad (4.2)$$

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			$z_o$	24285

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;

$t_{zm}$  – 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.
Збірка	1	4	1,5	55,28	55,28
Виконання інших робіт	1	1	1	37	37
Всього					92,28

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):

$$Z_{\text{п}} = (Z_{\text{о}} + Z_{\text{р}} + Z_{\text{дод}}) * H_{\text{зп}}, \quad (4.5)$$

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

Розрахунок приведений в формулі 4.6.

$$Z_{\text{п}} = (24285 + 92,28) * 22 = 5363 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Таблиця 4. 3 - Витрати на основні матеріали

№	Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Витрачено	Ціна за одиницю, грн.	Вартість витраченого матеріалу, грн.
	Плата багаторівнева	шт.	1	40	40
	Провід монтажний	м	0,8	18,7 5	15
	Припій	г	30	1	30
	флюс	г	20	1	20
	Мережевий кабель	шт	1	55	55

	Папір офсетний	шт	1	100	100
	Картрид ж для принтера	уп	1	120	120
Всього					380

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе:

$$M = 380 * 1,1 = 418$$

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:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_0 * t_{\text{вик}}}{T_e * 12}, \quad (4.7)$$

де  $Ц_0$  – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувалися для розробки нового технічного рішення, грн.;

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

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

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.4 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер	25 000	7	1	297,6
Паяльна станція	2500	3	1	69,4

Паяльник для мікросхем	1000	3	1	27,7
Всього				394,7

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

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

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$  - го виду;

$C_j$  - ціна комплектуючих 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.

Таблиця 4.5 – Витрати на комплектуючі

№	Назва	Ціна	Кількість	Сума
1.	Мікроконтролер ATtiny 2313	1	50	50
2.	Конденсатор	4	4	16
3.	Резистор	2	3	6
4.	Котушка індуктивності	1	160	160
5.	Транзистор	2	30	60
6.	Стабілізатор 78L05	1	4	4
7.	Тригер Шмітта 40106В	1	4	4
8.	Кварц 16 MHz Quatrs	1	4	4



9.	Екран LM016L	1	60	60
10.	Конектор CONN-H2	3	100	300
Всього				668

Наступним етапом є розрахунок витрат на силову електроенергію:

Витрати на силову електроенергію  $B_e$  розраховується за формулою:

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

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;

$K_{\text{ЕПі}}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{\text{ЕПі}} < 1$ .

$\eta_i$  – 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	0,096
Дрібні устаткування	0,040	1	0,096

Паяльна станція	0,080	0,5	0,096
Всього			0,288

Витрати на електроенергію становлять 2,4 грн./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.
		380
Витрати на комплектуючі на одиницю продукції, грн	<b><i>Кв</i></b>	668
Витрати на силову електроенергію, грн.	<b><i>Ве</i></b>	0,288
Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	<b><i>Зр</i></b>	92,28
Витрати на нарахування на заробітну плату робітників, грн.	<b><i>Зн</i></b>	20
Загальновиробничі витрати, грн.	<b><i>Взаг</i></b>	180
	<b><i>Св</i></b>	1340

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:

$$(24285 + 92,28) * 200 = 48754$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

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

$$B = 24285 + 92,28 + 5363 + 380 + 0,288 + 668 + 394,7 + 418 + 394,7 = 31994$$

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:

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

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

$S_v$  - 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:

$$C_{нмр} = 1675,31 * (1+0,5) * (1+0,2) = 3015,54$$

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;

$\Phi_e$  – ефективний фонд часу робітників за рік;

$K_c$  – коефіцієнт співвідношень;

$\beta$  - 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.

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

$$\text{Отже, } Z_{\text{обс}} = 1 * 24,8 * 1 * 1,37 * 1800 * 0,1 = 611 \text{ грн.}$$

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.

$\Pi$  – установлена потужність виробу, к ВТ;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи виробу за рік, годин;

$K_n$  – коефіцієнт використання потужності.

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

$$V_e = 2,4 * 15 * 0,3 * (8 * 21 * 12) = 68,1$$

Амортизаційні відрахування для розробки визначаються за формулою:

$$\Lambda = \frac{\Pi * H_z}{100} \quad (4.15)$$

де  $\Pi$  балансова вартість виробу, грн;

На – річна сума амортизації, %.

$$A = \frac{3015 * 25}{100} = 753,7$$

Витрати на поточний ремонт розробки розраховується за формулою:

$$P = \frac{B_1 * N_1}{T_1} + \frac{B_{n1} * N_{n1}}{T_{n1}} * \Phi + Z_p \quad (4.16)$$

Де  $B_1, \dots, B_n$  – 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

$$P = (65 * 2 / 4000 + 20 * 2 / 5000 + 30 * 2 / 4000) * 2000 + 200 = 311$$

Інші витрати 5 – 10% від суми загальних витрат.

$$311 * 5\% = 15,5$$

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

$$E_2 = 5,5 + 311 + 753 + 68,1 + 611 = 1748$$

#### 4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи

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

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

де  $b_i$  – значимість отриманих результатів;

$b_1$  – ступінь наукової новизни;

b2 – рівень теоретичної обґрунтованості;

b3 – ступінь експериментальної перевірки результатів.

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

dі – 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 b1	Рівень теоретичної обґрунтованості b2	Ступінь експериментальної перевірки b3
		1	3 -5	7- 10
b1	0,5	Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів. Створення принципово нової технології
b2	0,33	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
b3	0,167	Експериментальна перевірка не робилась	Результати перевірялись на невеликій кількості даних	Результати перевірялись на великій кількості даних

Визначимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{311} = \frac{4 * 0,5 + 4 * 0,333 + 4 * 0,167}{10 * 0,5 + 10 * 0,333 + 10 * 0,167} = 0,4$$

#### 4.5 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР



Внесок дослідника в досягнення результатів НДР розраховується за формулою:

$$V = \frac{k_{\text{тві}} * Z_i}{\sum_1^n k_{\text{тві}} Z_i}$$

де  $k_{\text{тві}}$  – коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР;

$Z_i$  – заробітна плата НДР;

$\Pi$  – кількість виконавців.

$$V = \frac{3 * 7000}{3 * 10000} = 0,35$$

#### **4.6 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 E2: 1748

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мета впровадження системи управління охороною праці – це всестороння підтримка виконання вимог, що цілком усунуть, нейтралізують чи знижують до допустимих норм вплив на працівників шкідливих і небезпечних виробничих факторів, створюють надійні ергономічні та санітарно-гігієнічні вимоги.

В цьому розділі проводиться розгляд шкідливих, небезпечних та уражаючих для людини і оточуючого довкілля чинників, які виникають під час проведення розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері. В ньому висвітлюються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженість магнітного поля на робочому місці знаходиться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Під час розробки вказаного пристрою на працівників діють ті або інші небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп відповідно до [1].

Фізичні НШВФ: 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, пряма або відбита блискучість, підвищена яскравість світла.

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

## 5.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Вибираємо для приміщення, в якому проводяться роботи з розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Згідно із [2] допустимі показники мікроклімату у робочій зоні для теплого та холодного періодів року приведені в таблиці Ж.1 додатку Ж.

Розкид значень температури повітря вздовж висоти робочої зони допускається до 3°C. При опроміненні менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), що 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 Ж.2 додатку Ж.

З метою встановлення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату та чистоти повітря робочої зони передбачено:

- 1) у приміщенні повинна бути розміщена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року;
- 2) здійснювати вологе прибирання кожного дня;
- 3) застосування витяжної вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

## 5.2 Виробниче освітлення

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

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводяться роботи з розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері, згідно [3] визначаємо, що вони відносяться до III розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – великий та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт 2.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості при штучному освітленні приведені в таблиці Ж.3 додатку Ж.

Оскільки приміщення знаходиться у м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а вікна розташовані за азимутом  $315^\circ$ , то для таких обставин КЕО визначатиметься за виразом [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 отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,6} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,1 (\%).$$

Для встановлення нормованих значень показників освітлення запропоновано:

- 1) при недостатньому природному освітленні в світлу пору доби доповнення штучним за допомогою люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;
- 2) застосування штучного освітлення в темну пору доби.

### **5.3 Виробничі віброакустичні коливання**

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого обладнання використовується устаткування, робота якого генерує шум та вібрацію, необхідно передбачити захист від шуму та вібрації.

Встановлено, що приміщення, в якому відбувається робота з розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що поширюється від суміжних виробничих приміщень.

Для попередження травмування працівників під дією шуму та вібрації вони підлягає нормуванню. Основним нормативом з питань промислового шуму, діючим на території нашої країни, є [5], згідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не мають перевищувати значень, які наведено в таблиці Ж.4 додатку Ж. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці Ж.5 додатку Ж для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

З метою поліпшення віброакустичного клімату у приміщенні передбачено:

- 1) своєчасне здійснення профілактичного ремонту;
- 2) проведення контролю рівнів шуму та вібрації.

#### 5.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому виконується робота з розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів показані у таблиці Ж.6 додатку Ж.

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

Виконати розрахунок допустимої сили струму в провіднику (антені) довжиною  $L = 0,5$  м, при якій напруженість магнітного поля на робочому місці, віддаленому на  $r = 0,35$  м, знаходиться в межах норми.

Біля джерела ЕМВ виділяють ближню зону (зону індукції), що знаходиться на відстані  $r \leq \lambda / 2\pi$ , і далеку зону (зону випромінювання), для якої  $r > \lambda / 2\pi$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі, м.

Допустиму силу струму в провіднику (антені) від джерела магнітного поля для ближньої зони можна визначити з формули

$$H_{\text{бл}} = \frac{IL}{4\pi r^2} \quad [\text{А/м}], \quad (5.2)$$

звідки

$$I = \frac{4\pi r^2 H_{\text{бл}}}{L} \quad [\text{А}], \quad (5.3)$$

де  $H_{0l}$  – напруженість магнітного поля дальньої зони, А/м;

$r$  – віддаленість робочого місця, м;

$L$  – довжина провідника (антени), м.

Для діапазону частот 0,06...3 МГц  $H_{ГД} = 50$  А/м.

Підставляючи відомі значення у формулу (5.3), отримаємо:

$$I = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 0,35^2 \cdot 50}{0,5} = 153,86 \text{ (А)}.$$

5.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері

### **5.5 Безпека щодо організації робочих місць**

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

Площа одного робочого місця має складати не менше 6,0 м<sup>2</sup>, об'єм приміщення – не менше ніж 20 м<sup>3</sup>, висота – не менше 3,2 м [8].

Кольорове оздоблення інтер'єру приміщення повинно відповідати вказівкам з проектування кольорової обробки інтер'єрів приміщень будівель промислових підприємств. Поверхня підлоги має бути гладкою, без вибоїн, не слизькою, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Забороняється використовувати для оснащення інтер'єру полімерні матеріали, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

### **5.6 Електробезпека**

В середині приміщення, де проводиться робота з розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері, значну увагу потрібно надати уникненню загрози ураження електричним струмом. У відповідності до [9] дане приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність значної (більше 75 %) вологості. Через це безпека експлуатації електрообладнання повинна гарантуватись рядом заходів, що включають використання ізоляції струмовідних елементів, захисного заземлення, захисних блокувань та ін [10].

### **5.7 Пожежна безпека**

Відповідно до [11] приміщення, в якому проводиться робота з розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері, відноситься до категорії пожежної небезпеки Б. Дане приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

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

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з розробки, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [12].

### **5.8 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

Розроблений цифровий вимірювач індукції магнітного поля може отримати впливи від надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного, військового походження, яких в країні виникає тисячі. Вони наносять непоправну шкоду на



об'єкти електричного господарства. Серед НС можна виділити найбільш небезпечні: наявність у довкіллі шкідливих речовин понад ГДК, аварії зі загрозою викиду хімічно небезпечних речовин (ХНР) і біологічних небезпечних засобів, радіоактивне забруднення, вплив електромагнітного імпульсу (ЕМІ) та іонізуючого випромінювання (ІВ) [48].

Головну небезпеку для цифрового вимірювача індукції 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 цифровому вимірювачі індукції магнітного поля використовуються елементи, до складу яких входять: метали, напівпровідники, діоди, резистори та ін. Серед цих матеріалів найбільш чутливі до радіації метали, бо їм властива велика концентрація вільних носіїв. Таким чином блоки цифрового вимірювача індукції можуть раптово втратити працездатність при певних рівнях радіації.

Іонізуюче випромінювання - це випромінювання, взаємодія якого з середовищем призводить до утворення електричних зарядів (іонів) різних знаків. Джерелом іонізуючого випромінювання є природні та штучні радіоактивні речовини та елементи (уран, радій, цезій, стронцій та ін.).

Електромагнітний імпульс індукує високу електричну напругу в електромережах, електричному і електронному обладнанні. Зростання напруженості спричиняє раптове зростання електричної напруги і виділення великої кількості тепла, внаслідок чого зазнають пошкоджень електронні елементи, електричні кола і навіть лінії електропередачі. Високі напруги також можуть призвести до пробоя електричної ізоляції. Особливістю ЕМІ як вражаючого чинника є його здатність поширюватися на десятки і сотні кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях. Тому ЕМІ може вплинути там, де ударна хвиля, світлове випромінювання і проникаюча радіація втрачають своє значення як вражаючі фактори.

Отже існує актуальна проблема розрахунку і підвищення стійкості цифрового вимірювача індукції. Для цього на об'єкті завчасно на основі розрахунків планують і проводять відповідні організаційні й інженерно-технічні заходи. Досягнення науки і техніки дозволяють реалізувати такі рішення, при яких підприємство буде стійке.

### **5.9 Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії іонізуючого випромінювання.**

Стійкість РЕА в умовах дії іонізуючого випромінювання визначається за допомогою граничного значення рівня радіації. Для оцінки стійкості цифрового вимірювача індукції магнітного поля потрібно визначити елементи, від яких залежить функціонування пристрою та визначити граничні значення експозиційних доз ( $D_{гр}, P$ ). Ці елементи та допустимі значення експозиційних доз для них занесемо до таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Граничні значення експозиційних доз елементів цифрового вимірювача індукції магнітного поля

№	Блоки	Елементи РЕА	$D_{i гр}, P$	$D_{гр}, P$
1	Блок керування	Мікроконтролер	$10^5$	10 <sup>4</sup>
		Резистори	$10^4$	
2	Блок підсилення	Підсилювач	$10^4$	
		Резистори	$10^5$	
3	Блок індикації	Світлодіод	$10^4$	
4	Блок живлення	Стандартний 12В	$10^4$	
		Діодний міст	$10^5$	

Мінімальне значення  $D_{гр}$ , що визначає межу стійкості роботи пристрою, в цілому складає  $10^4$  Р.

Визначити можливу дозу опромінення можна за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_{I_{max}} (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}} (P) \quad (5.4)$$

де  $P_{I_{max}}$  – максимальне значення рівня радіації, ( $P_I = 5,55$  Р/год);

$t_k$  – час кінця опромінення ( $t_k = 131400$  год (5 років));

$t_n$  – час початку опромінення ( $t_n = 1$  год);

$K_{осл}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{осл} = 2$ ).

Визначимо можливу дозу за формулою 5.6:

$$D_m = \frac{2 \cdot 5,55 \cdot (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2006,28 (P)$$

Далі визначаємо допустимий час роботи РЕА за формулою:

$$t_{дон.пр.} = \left( \frac{D_{зр} \cdot K_{ослпр} + 2 \cdot P_{I_{екв\ max}} \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{I_{екв\ max}}} \right)^2 (год) \quad (5.5)$$

$$t_{дон.пр.} = \left( \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 5,55 \sqrt{1}}{2 \cdot 5,55} \right)^2 = 3250094,34 (год)$$

Так як,  $D_{гр} > D_m$ , то цифрового вимірювача індукції магнітного поля є стійким в умовах дії іонізуючого випромінювання, а допустимий час роботи в заданих умовах складає 3250094,34 годин з рівнем радіації 5,55 Р/год.

### 5.10 Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії електромагнітного імпульсу.

А критеріями стійкості роботи пристрою або окремих її елементів в умовах дії електромагнітного імпульсу приймемо коефіцієнт безпеки:

$$K_6 = 20 \cdot \lg \frac{U_{дон}}{U_{B(T)}} \geq 40 \text{ (дБ)} \quad (5.6)$$

де,  $U_{дон}$  – допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{B(T)}$  – напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних і горизонтальних струмопровідних частинах, В.

При оцінці впливу ЕМІ на струмопровідні елементи необхідно врахувати те, що ЕМІ мають горизонтальну та вертикальну складові напруженості електричного поля і тому повинні визначатися значеннями напруги на вертикальних та горизонтальних ділянках лінії. Для оцінки безпеки роботи в умовах дії електромагнітного імпульсу, необхідно визначити значення вертикальної складової напруженості електромагнітного поля, при коефіцієнті безпеки рівному  $K_6=40$ дБ.

Вертикальна складова напруженості електричного поля,  $E_B = 9,65$  кВ/м.

Напруга живлення  $U_{ж} = 12$ В та  $U_{ж} = 3,3$ В

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електричного поля:

$$E_T = E_B \cdot 10^{-3} = 9,65 \cdot 10^{-3} \text{ (кВ/ м)} = 9,65 \text{ (В/ м)}$$

Напруга наведення в горизонтальній і вертикальній струмопровідних частинах:

$$U_g = E_z \cdot l_g, (B) \quad U_z = E_g \cdot l_z, (B) \quad (5.8)$$

На кожній ділянці визначаємо максимальну довжину струмопровідних частин (в горизонтальних і вертикальних площинах)  $l_g, l_z$ , м.

$$l_{g1} = 2,1 \text{ м}; \quad l_{g2} = 2,2 \text{ м}; \quad l_{g3} = 2,0 \text{ м}; \\ l_{z1} = 1,1 \text{ м}; \quad l_{z2} = 1,2 \text{ м}; \quad l_{z3} = 1,0 \text{ м}.$$

Тоді напруга наведення дорівнює:

$$U_g = 9,65 \cdot 2 = 19,3 (B)$$

$$U_z = 9650 \cdot 1 = 9650 (B)$$

Визначимо допустиму напругу живлення:

$$U_{дон} = 12 + \frac{U_{жс}}{100} \cdot N (B) \quad (5.9)$$

де  $U_{жс}$  – напруга живлення, В;

$N$  – допустиме відхилення напруги, 5%.

$$U_{дон1} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 (B)$$

$$U_{\text{дон2}} = 3,3 + \frac{3,3}{100} \cdot 5 = 3,465 (\text{В})$$

За формулою (5.2) визначимо коефіцієнт безпеки для вертикальних та горизонтальних струмопровідних частин:

$$K_{\text{вz1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{19,3} = -3,7 (\text{дБ})$$

$$K_{\text{бz1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{9650} = -57,7 (\text{дБ})$$

$$K_{\text{вz2}} = 20 \cdot \lg \frac{3,465}{19,3} = -14,92 (\text{дБ})$$

$$K_{\text{бz2}} = 20 \cdot \lg \frac{3,465}{9650} = -68,9 (\text{дБ})$$

Всі розрахунки заносимо до таблиці 5.2

№	Блоки	$U_{\text{ж}}, \text{В}$	$U_{\text{в}}, \text{В}$	$U_{\text{г}}, \text{В}$	$K_{\text{бв}}$	$K_{\text{бг}}$	Результат дії
1	Блок керування	3,3	9,65	9650	-14,92	-68,9	Не стійке
2	Блок підсилення	3,3	9,65	9650	-14,92	-68,9	Не стійке
3	Блок індикації	3,3	9,65	9650	-14,92	-68,9	Не стійке
	Блок живлення	12	9,65	9650	-3,7	-57,7	Не стійке

Так як  $K_{\text{бг}}$  та  $K_{\text{бв}} < 40 \text{дБ}$ , то пристрій буде не стійким в роботі, а отже потрібно проводити екранування.

### 5.11 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників НС

Проводиться захисне екранування.

Розрахунок екрану для сталі:

$$t = \frac{A_{\text{екр}}}{k \cdot \sqrt{f}} \text{ (см)} \quad (5.10)$$

$k=5,2$  (для сталі);

$f$  – частота,  $f=15000$  Гц;

$A_{\text{екр}}$  – затухання в екрані, дБ.

$$A_{\text{екр}} = K_6 - K_{6.\text{роз}} \quad (5.11)$$

На основі формул (5.1) та (5.2) проведемо розрахунки:

$$t = \frac{40 + 68,9}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,17 \text{ (см)}$$

$$t = \frac{40 + 57,7}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,15 \text{ (см)}$$

Таким чином, при екрануванні необхідно встановити сталевий екран товщиною не менше 0,17 для блоку керування, підсилення та індикації та екран товщиною не менше 0,15 для блоку живлення.

Організаційні заходи від іонізуючого випромінювання передбачають забезпечення виконання вимог норм радіаційної безпеки. Приміщення, які призначені для роботи з радіоактивними ізотопами повинні бути ізольовані від інших і мати спеціально оброблені стіни, стелі, підлоги. Відкриті джерела випромінювання і всі предмети, які опромінюються повинні знаходитись в

обмеженій зоні, перебування в якій дозволяється персоналу у виняткових випадках, та й то короткочасно. На контейнери, устаткування, двері приміщень та інші об'єкти наноситься попереджувальний знак радіаційної небезпеки (на жовтому фоні - чорний схематичний трилисник).

На підприємствах складаються та затверджуються інструкції з охорони праці, у яких зазначено порядок та правила безпечного виконання робіт. Для проведення робіт необхідно, за можливістю, обирати якнайменшу достатню кількість ізотопів ("захист кількістю"). Застосування приладів більшої точності дає можливість використовувати ізотопи з меншою активністю ("захист якістю"). Необхідно також організувати дозиметричний контроль та своєчасне збирання і видалення радіоактивних відходів із приміщень у спеціальних контейнерах.

До технічних заходів та засобів захисту від іонізуючого випромінювання належать: застосування автоматизованого устаткування з дистанційним керуванням; використання витяжних шаф, камер, боксів, що оснащені спеціальними маніпуляторами, які копіюють рухи рук людини; встановлення захисних екранів.

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають: забезпечення чистоти приміщень, включаючи щоденне вологе прибирання; улаштування припливно-витяжної вентиляції з щонайменше п'ятиразовим повітрообміном; дотримання норм особистої гігієни, застосування засобів індивідуального захисту.

До лікувально-профілактичних заходів належать: попередній та періодичні медогляди осіб, які працюють з радіоактивними речовинами; встановлення раціональних режимів праці та відпочинку; використання радіопротекторів - хімічних речовин, що підвищують стійкість організму до іонізуючого опромінення.

Захист працівника від негативного впливу джерела зовнішнього іонізуючого випромінювання досягається шляхом:

- зниження потужності джерела випромінювання до мінімально необхідної величини ("захист кількістю");



- збільшення відстані між джерелом випромінювання та працівником ("захист відстанню");
- зменшення тривалості роботи в зоні випромінювання ("захист часом");
- встановлення між джерелом випромінювання та працівником захисного екрана ("захист екраном").

Захисні екрани мають різну конструкцію і можуть бути стаціонарними, пересувними, розбірними та настільними. Вибір матеріалу для екрана та його товщина залежать від виду іонізуючого випромінювання, його рівня та тривалості роботи.

Для захисту від альфа-випромінювання немає необхідності розраховувати товщину екрана, оскільки завдяки малій проникній здатності цього випромінювання шар повітря в кілька сантиметрів, гумові рукавички вже забезпечують достатній захист.

Екран для захисту від бета-випромінювання виготовляють із матеріалів з невеликою атомною масою (плексиглас, алюміній, скло) для запобігання утворенню гальмівного випромінювання. Досить ефективними є двошарові екрани: з боку джерела випромінювання розташовують матеріал з малою атомною масою товщиною, що дорівнює довжині пробігу бета-частинок, а за ним - з більшою атомною масою (для поглинання гальмівного випромінювання).

Для захисту від гамма-випромінювання, яке характеризується значною проникною здатністю, застосовуються екрани із матеріалів, що мають велику атомну масу (свинець, чавун, бетон, баритобетон). Захист від внутрішнього опромінення досягається шляхом виключення безпосереднього контакту з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді та запобігання потраплянню їх у повітря робочої зони.

Отже, іонізуючі випромінювання та ЕМІ впливають на стійкість роботи цифрового вимірювача індукції магнітного поля. Було розраховано, що цифровий вимірювач індукції магнітного поля є стійким в умовах дії іонізуючого випромінювання, оскільки  $D_{гр} > D_{м}$ .

## Висновки:

В результаті виконання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, розрахунок витрат води для гасіння пожежі, технічні рішення з безпеки при проведенні розробки, безпека у надзвичайних ситуаціях.

Для безпечної роботи в умовах електромагнітного імпульсу був проведений розрахунок при коефіцієнті безпеки, за якого умови сприятливі і не впливають на роботу цифрового вимірювача індукції магнітного поля. Розрахунки показали, що в умовах дії електромагнітних випромінювань, система не є стійкою. Тому, застосування екранування суттєво підвищить стійкість системи в умовах дії ЕМІ. Розрахунок показав, що при екрануванні необхідно встановити сталевий екран товщиною 0,15 та 0,17 см для різних блоків.

### **5.12 Висновки до п'ятого розділу**

Під час виконання даного розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимої сили струму в провіднику (антені), при якій напруженість магнітного поля на робочому місці знаходиться в межах норми, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки цифрового вимірювача індукції магнітного поля на мікроконтролері, безпека в надзвичайних ситуаціях.

## ВИСНОВКИ

1. У даній роботі запропоновано цифровий вимірювач величини магнітного поля на основі біполярних транзисторів. Для цього виконано ряд робіт.

2. Виконано аналіз існуючих сенсорів магнітного поля. Досліджено, що існуючі сенсори магнітного поля широко використовуються в дослідженні космосу, в медицині, в машинобудівництві та інших сферах науки та техніки. Оцінка можливостей і перспектив застосування приладів і пристроїв мікромагнітоелектроніки і їх переваг перед іншими групами електронної техніки, показує, що в Україні цей науково-технічний напрям практично не освоєний. Актуальним та перспективним напрямком розвитку магнітних сенсорів є розробка сенсорів магнітного поля на основі біполярних транзисторів, що дає можливість усунути недоліки існуючих магнітних сенсорів.

3. Розроблено структурну схему цифрового вимірювача величини магнітного поля на основі використання магніточутливого транзистора та описано призначення її основних елементів.

4. Розроблено схему електричну принципову з використанням мікроконтролера для керування процесом вимірювання. Промодельовано її в різних режимах роботи і тим самим підтверджено її працездатність.

5. Проведено дослідження, які показали, чутливість частотного перетворювача магнітного поля з магнітотранзистором в діапазоні від 1 до 300 мТл, чутливість змінюється від 210 до 2 кГц/мТл. Розбіжність теоретичних та експериментальних даних складає  $\pm 5\%$ .

6. Виконано 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. Розроблено креслення друкованої плати та складальне креслення. Створено модель плати та навісних елементів в програмному пакеті ARES PROTEUS.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мартинюк В. В. Прус Ю. О. Матеріали XLVII науково- технічної конференції підрозділ Вінницького Національного Технічного Університету (КТКП ВНТУ). 2019.-311с.
2. Бейлина Р.А. Микроэлектронные сенсоры / Бейлина Р.А., Грозберг Ю.Г., Довгяло Д.А. – Новополюцк ПГУ. 2002. – 119 с.
3. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. - М., ДМК Пресс, 2001.– 174с.
4. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника: Т.2. М., ДМК Пресс, 2001.-Т.1.-324с
5. Г.А. Егиазарян, В.И. Стафеев Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение/ Г.А. Егиазарян, В.И. Стафеев. - М., Радио и связь, 1987 – 41с.
6. Измерительные системы GEMAC [Електроний ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://technosens.com.ua/index.php?option>. – Назва з екрану.
7. Проектирование сенсоров для измерения механических величин / Под ред. А.П.Осадчего. - М.:Машиностроение, 1979. – 154с
8. Алейников А.Ф. Сенсоры (перспективные направления развития) / Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П.: Учеб. Пособие – Новосибирск: НГТУ, 2003. - 56с

9. Викулин И.М. Гальваномагнитные приборы / Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Стафеев В.И. - М.: 1983– 125с.
10. MagLine - Магнитные линейные и угловые измерительные системы. [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступа: <http://www.sensorlink.ru/show/404.htm>. – Назва з екрану.
11. Виглеб Г. Сенсоры. Устройства и применение. – М.: Мир, 1989. – 196 с.
12. Медведев А. В. Печатные платы. Конструкции и материалы: монографія / А. В. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с.
13. Основы проектирования электронных средств. Часть 1: Учебное пособие /Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В./ - 2011г. – 368 с.
14. Proteus. Редактор ISIS [Электронный ресурс] // radio-hobby. – Режим доступ: <http://radio-hobby.org/modules/instruction/instr.php?id=15>.
15. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни і визначення.
16. ПДК 4617-88. Список ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
17. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
18. ДСН 3.3.6-037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
19. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
20. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
21. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
22. 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.
23. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

24. 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**

**Цифровий вимірювач індукції магнітного поля на мікроконтролері**  
зі спеціальності 153 - «Мікро- та наносистемна техніка»

Керівник,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Книш Б. П.

Дипломник,  
Студент гр. МНТ-18м  
\_\_\_\_\_ Прус Ю. О.

Вінниця, 2019р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1. Найменування і область застосування

Найменування – Цифровий вимірювач індукцій магнітного поля на мікроконтролері.

Область застосування – в системах управління виробничими процесами, вимірювальній та обчислювальній техніці.

### 2. Основою для (дослідження) розробки

Основою для виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи є завдання на МКР та наказ ректора ВНТУ № 254 від «03»вересня2019 р.

### 3. Мета та призначення дослідження (розробки)

Мета розробки – збільшення чутливості цифрового вимірювача індукцій магнітного поля на мікроконтролері.

Призначення розробки– чутливість частотного перетворювача магнітного поля з магнітотранзистором в діапазоні від 1 до 300 мТл.

### 4. Джерела розробки

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

- 4.1 Бейлина Р.А. Микроэлектронные сенсоры / Бейлина Р.А., Грозберг Ю.Г., Довгяло Д.А. – Новополоцк ПГУ. 2002. – 119 с.
- 4.2 Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. - М., ДМК Пресс, 2001.– 174с.
- 4.3 Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника: Т.2. М., ДМК Пресс, 2001.-Т.1.-324с
- 4.4 Г.А. Егиазарян, В.И. Стафеев Магнитодиоды, магнитотранзисторы и их применение/ Г.А. Егиазарян, В.И. Стафеев. - М., Радио и связь, 1987 – 41с.
- 4.5 Измерительные системы GEMAC [Електроний ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://technosens.com.ua/index.php?option>. – Назва з екрану.

### 5. Технічні вимоги

5.1 Вимоги до електричних параметрів та режимів:

- напруга живлення, В.....5;
- робоча частота, МГц.....16;
- споживаний струм в сані 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, 50×50 ×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 13 мс 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:

Мінімальне напрацювання пристрою у вказаних режимах та умовах має бути не меншою за 10 000 год. Інтенсивність відмов у режимах й умовах роботи не має перевищувати .

## **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;

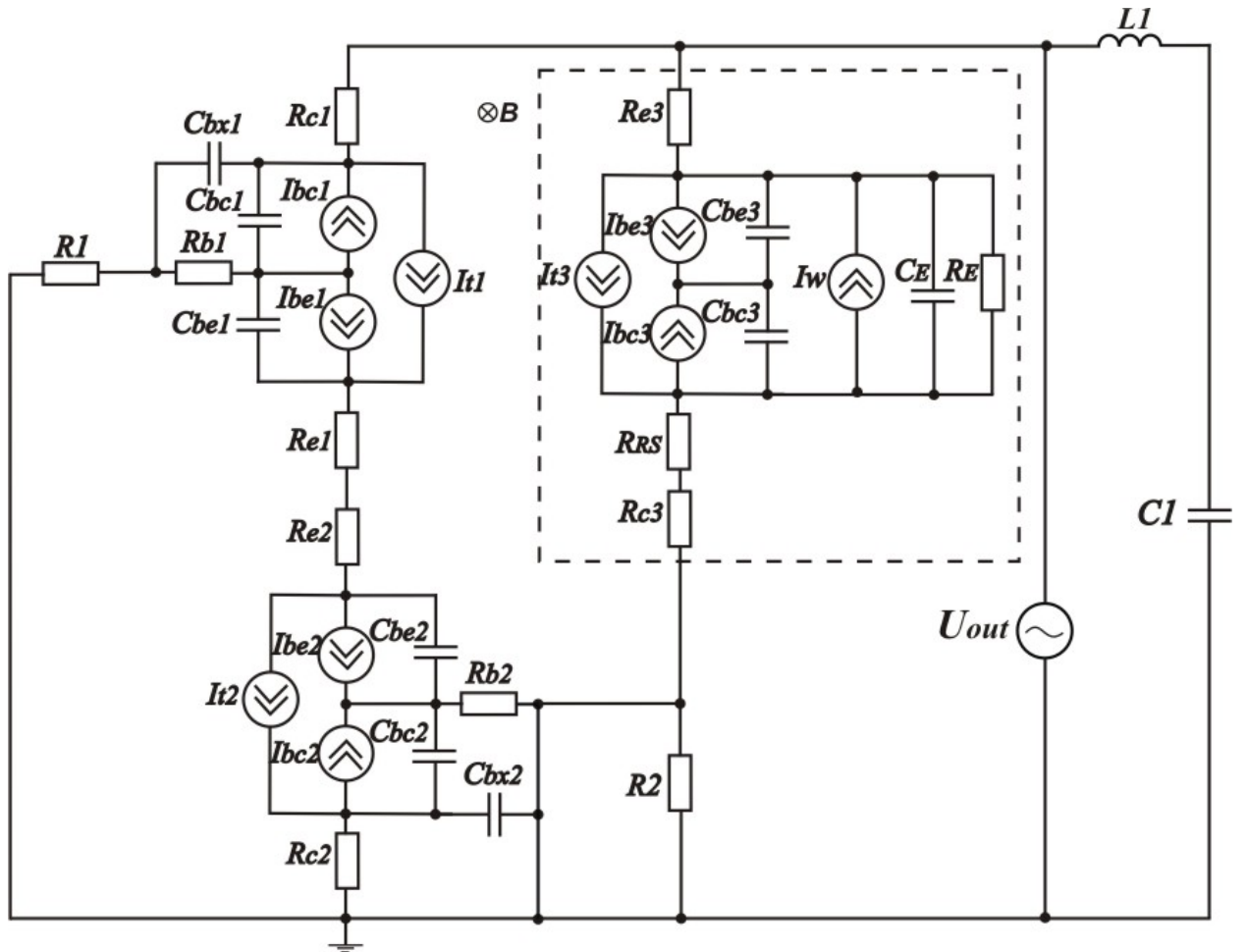
– захист МКР перед ДЕК

## Додаток Е



Додаток Е– Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Додаток Д



Додаток Д– Еквівалентна схема частотного перетворювача магнітної індукції з магнітранзистором

Перш. викорис.

Довід. №

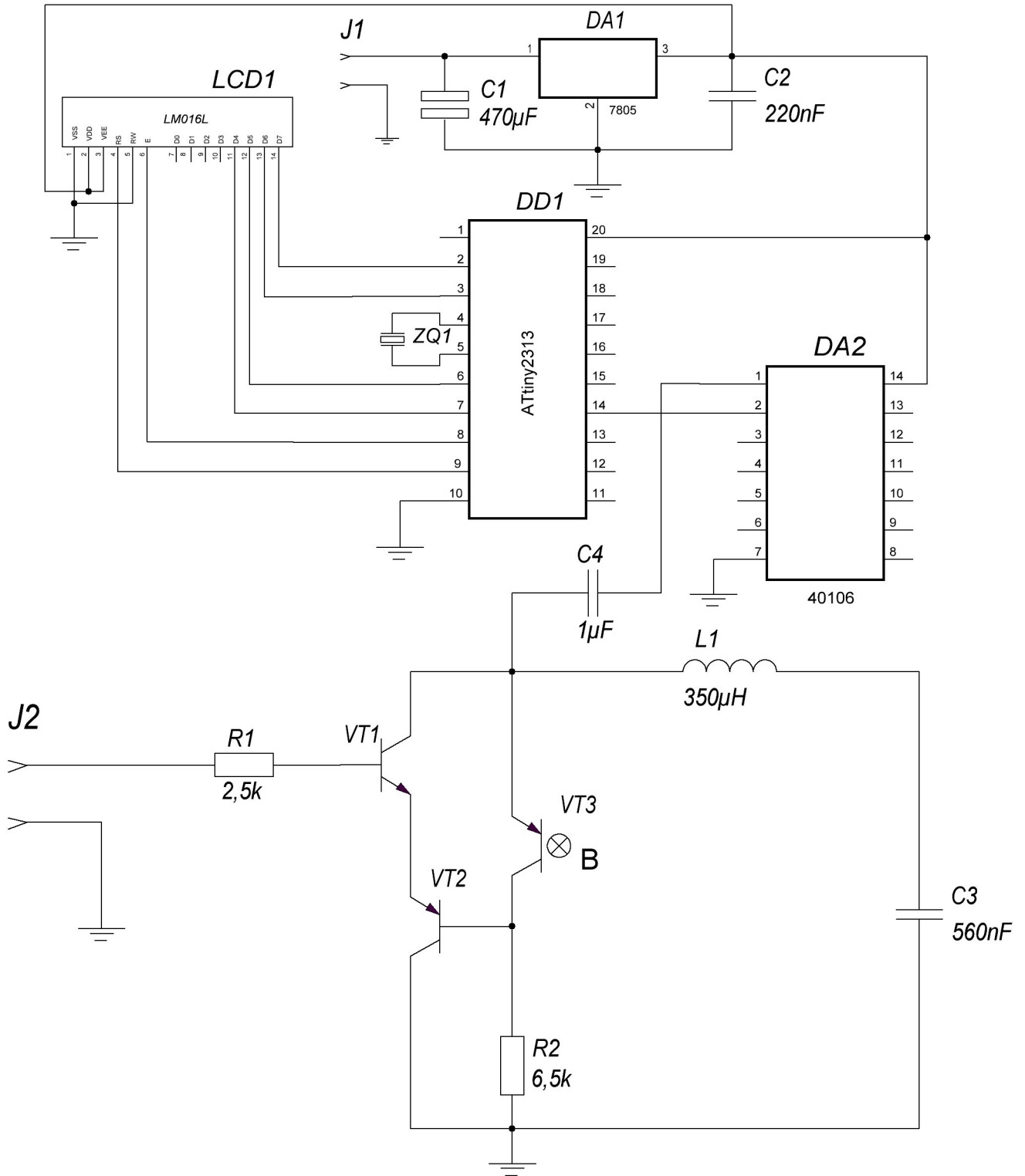
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

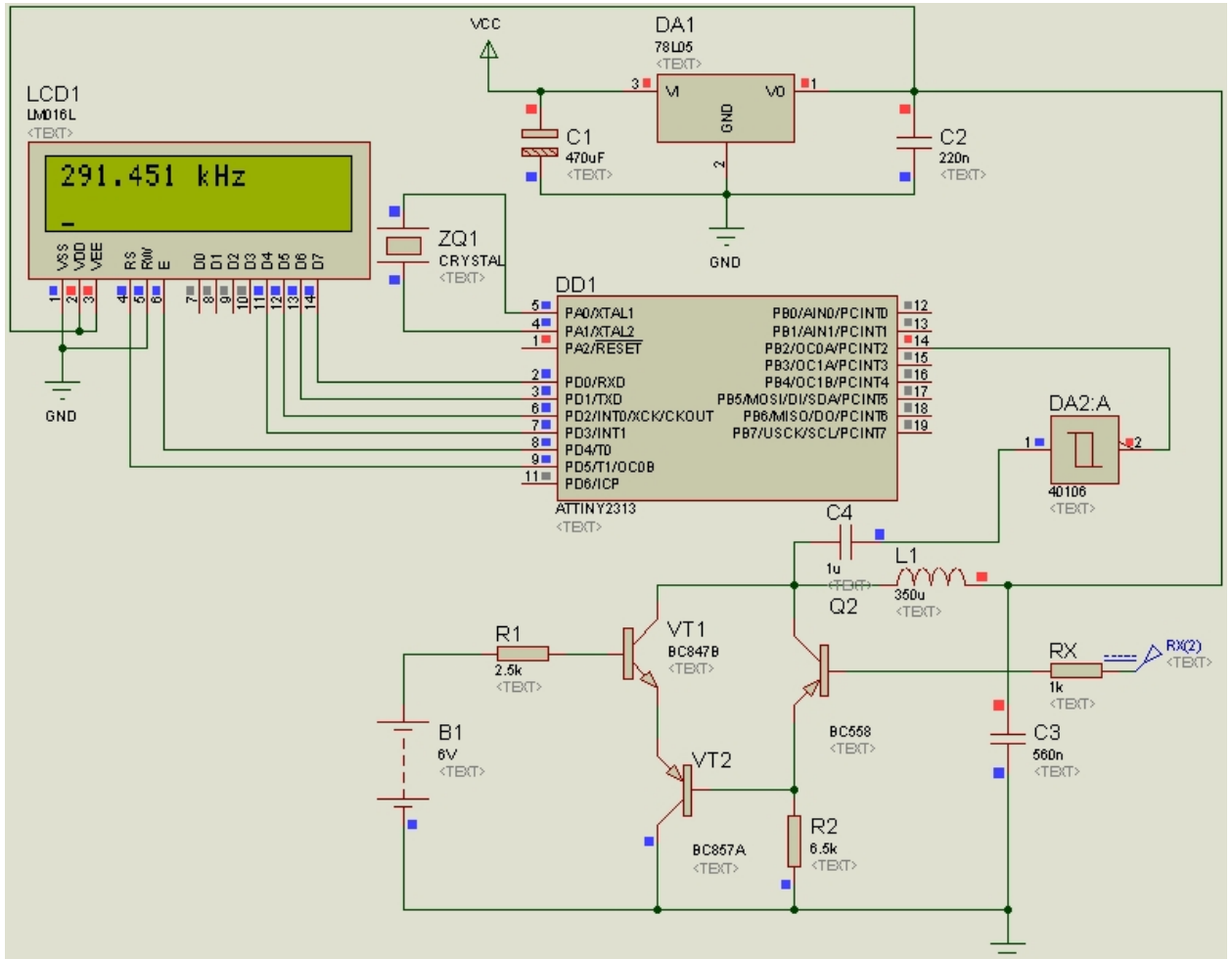


				08-05.БДР.801.08.001 ЕЗ							
				Цифровий вимірювач величини магнітного поля Схема електрична принципова		Лім		Маса		Масштаб	
Змн. Лист		№ докум.				Підпис		Дата		У Д П	
Розроб.		Прус Ю.О.									
Перевір.		Мартинюк В.В.									
Т. контр.											
Реценз.											
Н. контр.		Кравченко Ю.С.									
Затверд.		Білинський Й.Й.								Аркуш	
										Аркушів 1	
										ВНТУ зр. МЕ-146	

Поз.позн.	Найменування	К-ть	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1	470 мкФ ±20%	1	
C2	220 нФ ±20%	1	
C3	560 нФ ±5%	1	
C4	1 мкФ ±10%	1	
<u>Резистори</u>			
R1	2,5 кОм ±5%	1	
R2	6,5 кОм ±5%	1	
<u>Індуктивність</u>			
L1	350 мкГн ±5%	1	
<u>Транзистори</u>			
VT1	BC847B	1	
VT2	BC857A	1	
VT3	магнітотранзистор	1	
<u>Мікросхеми</u>			
DD1	ATTINY2313	1	
DA1	78L05	1	
DA2	40106B	1	
<u>Кварцовий резонатор</u>			
ZQ1	16 МГц	1	
<u>Роз'єми</u>			
J1, J2	CONN-H2	2	
<u>Дисплей</u>			
LCD1	LM016L	1	

				08-05.БДР.801.08.001 ПЕЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Прус Ю.О.				Цифровий вимірювач величини магнітного поля Перелік елементів	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Мартинюк В.В.							1
Реценз.						ВНТУ зр.МЕ-146		
Н. контр.	Кравченко Ю.С.							
Затверд.	Білинський Й.Й.							

## Додаток Е



Додаток Е- Результати вимірювання схеми LCD дисплеї

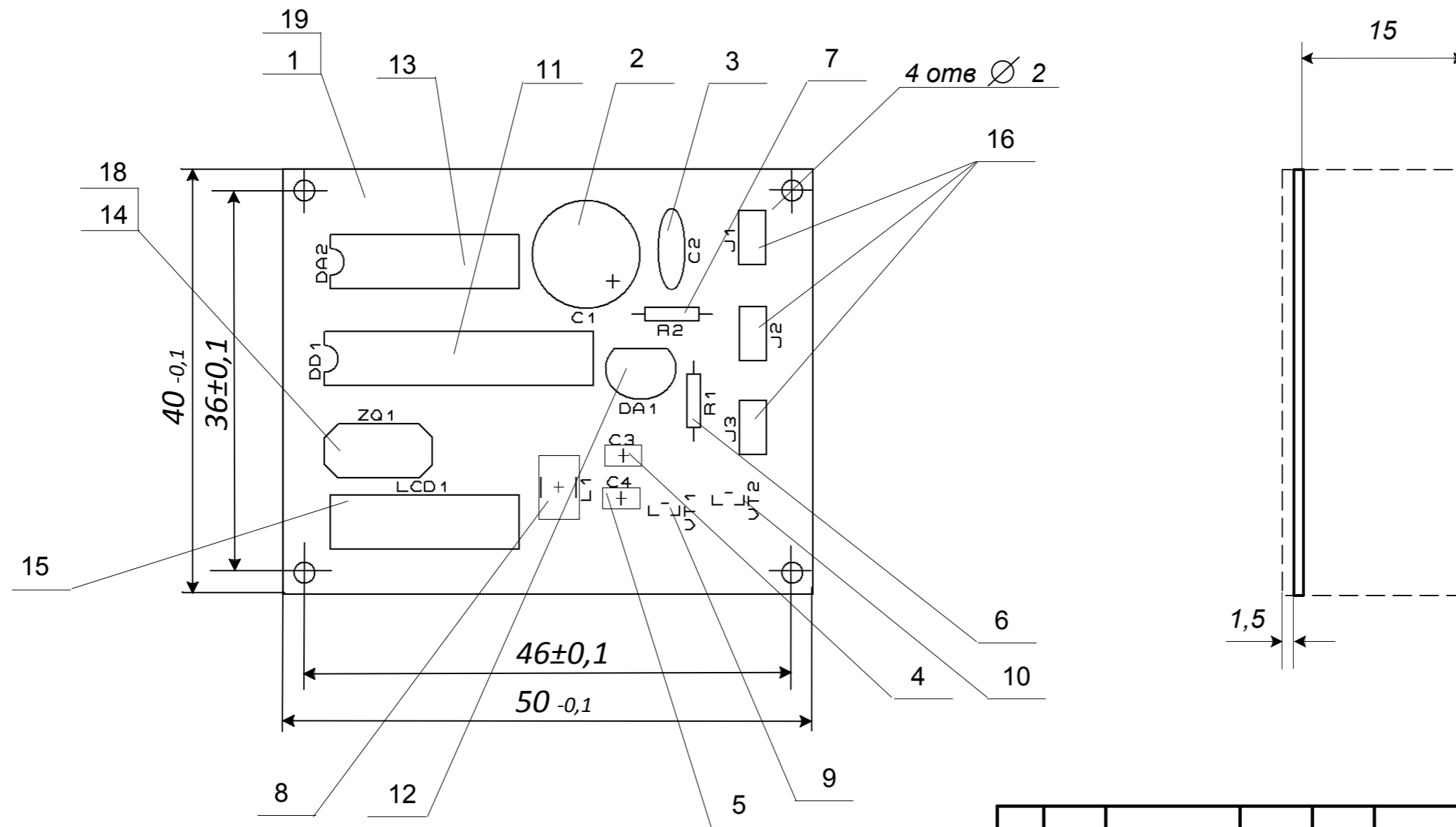




Додаток В

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

2. Таврувати фарбою БМ, білою, шрифт ЗПР-3



					08-05.БДР.801.08.003 СК				
					<b>Плата</b>	Лім	Маса	Масштаб	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		У	Д	П	2:1
	Розроб.	Прус Ю.О.			Складальне креслення			Аркуш	Аркушів 1
	Перевір.	Мартинюк В.В.							
	Т. контр.				<b>ВНТУ гр. МЕ-146</b>				
	Реценз.								
	Н. контр.	Кравченко Ю.С.							
	Затверд.	Білинський Й.Й.							

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			08-05 БДР.801.08.003 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
A3		1	08-05 БДР.801.08.002	Плата друкована	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		2		Конденсатор ELEC RAD-20 470μ 20%	1	
		3		Конденсатор CER_DISC 220n 10%	1	
		4		Конденсатор SMD 560n 5%	1	
		5		Конденсатор SMD 1μ 5%	1	
		6		Резистор MINRES 2,5 kOhm ¼ W 5%	1	
		7		Резистор MINRES 6,5 kOhm ¼ W 5%	1	
		8		Індуктивність SMD 4532X175 350μ 5%	1	
		9		Транзистор BC847B	1	
		10		Транзистор BC857A	1	
		11		Мікроконтролер ATTINY 2313	1	
		12		Стабілізатор 78L05	1	
		13		Тригер Шмітта 40106B	1	
		14		Кварц 16 MHz Quatrs	1	
		15		Екран LM016L	1	
		16		Конектор CONN-H2	3	

				08-05.БДР.801.08.003		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив		Прус Ю.О.			Плата	Літера
Перевірів		Мартинюк В.В.				Аркуш
Реценз.						1
Н. контр.		Кравченко Ю.С.				2
Затверд.		Білинський Й.Й.				ВНТУ зр.МЕ-146



## Додаток Ж

### Допустимі значення виробничих факторів

Таблиця Ж.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	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий	Іб	21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

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

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

Таблиця Ж.3 – Нормовані значення КПО і мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрязряд 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 Ж.4 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця Ж.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	
36	33	33	39	45	51	33

Таблиця Ж.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	
$E_{H_{Гд}}$ , $(В/м)^2 \cdot год$	120000	40000	20000	7000	800	
$H_{Гд}$ , А/м	75	57	50	–	3,0	–
$E_{H_{H_{Гд}}}$ , $(А/м)^2 \cdot год$	675	390	200	–	0,72	–



						Ш И Р И Н И Е В А К О В И Х О Д У							
до 15	Б	2	40	25	15	45	9	9	12	6	н.о.	—	—

Примітки: н.о. – не обмежується.