

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)

на тему:

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ  
ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЧІВ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ**  
08-36.МКР.004.00.000 ПЗ

Виконав: ст. 2-го курсу, групи РТ-19м з/в  
Спеціальність 172 – Телекомунікації та  
радіотехніка Освітня програма:  
Радіотехніка

\_\_\_\_\_ Шмигора О.П.

Керівник: к.т.н., доцент каф. РТ  
\_\_\_\_\_ Гаврілов Д.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ  
\_\_\_\_\_ Семенова О.О.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## РЕФЕРАТ

УДК 621.396

Шмигора О.П. Розробка та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей / Магістерська кваліфікаційна робота / Вінниця: ВНТУ, 2021, – 122 с. Укр. мовою.

Бібліограф. найменувань 24, ілюстрацій 41, таблиць 37.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є конструкторсько-технологічне проектування цифрового вимірювача кутових швидкостей, із метою подальшого виготовлення.

Методи дослідження - застосування сучасних САПР, порівняльний аналіз, використання існуючих баз даних для створення конструкції приладу.

Результатом розробки є частина технічної документації, необхідна для виготовлення та експлуатації вимірювальних приладів.

В магістерській кваліфікаційній роботі наводиться необхідний матеріал для підтвердження актуальності розробки, наводиться принцип дії із висвітленням наукової новизни, обраховані основні електричні, конструктивні та технологічні характеристики виробу, а також електромагнітна сумісність та захист. Наведене обґрунтування загального конструкторського рішення, обґрунтування вибору комплектуючих та матеріалів.

Описано технологію виготовлення друкованої плати та порядок складання пристрою. Проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки. Розраховано економічний ефект від розробки та впровадження пристрою. Розглянуті питання безпеки життєдіяльності під час виготовлення пристрою та стійкості його роботи при дії електромагнітного імпульсу та іонізуючого випромінювання.

Ключові слова: кутова швидкість, мікроконтролер, інфрачервоний світлодіод, інфрачервоний фототранзистор.

## ABSTRACT

UDC 621.396

Shmigora O.P. Development and research of digital angular velocity meters / Master's qualification work / Vinnytsia: VNTU, 2021, - 122 p. Ukr. language.

Bibliographer. names 24, illustrations 41, tables 37.

The purpose of the master's qualification work is the design and technological design of a digital angular velocity meter, for further production.

Research methods - the use of modern CAD, comparative analysis, the use of existing databases to create the design of the device.

The result of the development is a part of the technical documentation required for the manufacture and operation of measuring instruments.

The master's qualification work provides the necessary material to confirm the relevance of the development, the principle of operation with coverage of scientific novelty, calculates the basic electrical, structural and technological characteristics of the product, as well as electromagnetic compatibility and protection. The substantiation of the general design decision, the substantiation of a choice of accessories and materials is resulted.

The technology of PCB manufacturing and the procedure of assembling the device are described. Feasibility study of development expediency is carried out. The economic effect of the development and implementation of the device is calculated. The issues of life safety during the manufacture of the device and the stability of its operation under the action of electromagnetic pulse and ionizing radiation are considered.

Keywords: angular velocity, microcontroller, infrared LED, infrared phototransistor.

Вінницький національний технічний університет

Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем

Кафедра Радіотехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма – Радіотехніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри РТ

д.т.н., професор О.В. Осадчук

“ 10 ” 03 2021 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Шмигори Олега Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей»

керівник роботи Гаврілов Дмитро Володимирович, к.т.н., доцент каф. РТ

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 03 2021 року №64

2. Строк подання студентом роботи 06 червня 2021 року.

3. Вихідні дані до роботи: Діапазон вимірюваної частоти обертання - 60-9999 об/хв. Максимальний споживаний струм – 40 мА. Дискретність частоти обертання – 1 об/хв. Абсолютна похибка в діапазоні - 60-9999 об/хв – 20 об/хв. Пристрій має індикатор “захоплення цілі”. Ступінь захисту від зовнішніх впливів – IP54. Габаритні розміри пристрою –145x80x40.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: Вступ. Сучасний стан розвитку цифрових вимірювачів кутових швидкостей. Розробка апаратної частини цифрового вимірювача кутових швидкостей. Схемотехнічна та програмна реалізація цифрового вимірювача кутових швидкостей. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) структурна схема цифрового вимірювача кутових швидкостей, принцип роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей, характеристики та розрахункові формули, електричні схеми функціональних блоків мікропроцесорного цифрового вимірювача кутових швидкостей в програмному пакеті, моделювання функціональних блоків мікропроцесорного цифрового вимірювача кутових швидкостей в програмному пакеті, повна схема пристрою.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	к.т.н., доцент Гаврілов Д.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		
Економічна частина	ст. викл. каф. ЕПВМ к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 11 березня 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел. Вибір, узгодження та затвердження теми МКР	03.09.2020-31.12.2021	
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	07.01.2021-14.02.2021	
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	15.02.2021-10.03.2021	
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	01.03.2021-21.03.2021	
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	22.03.2021-11.04.2021	
6.	Розділ моделювання	12.04.2021-19.04.2021	
7.	Розробка графічної частини МКР	20.04.2021-30.04.2021	
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	01.05.2021-14.05.2021	
9.	Охорона праці (ОП)	15.05.2021-20.05.2021	
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.05.2021-26.05.2021	
11.	Нормоконтроль	27.05.2021-31.05.2021	
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	01.06.2021-06.06.2021	
13.	Захист МКР ЕК	07.06.2021-11.06.2021	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Шмигора О.П.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Гаврілов Д.В.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ У СТАТИЧНОМУ РЕЖИМІ</b> .....	10
1.1 Вимірювання у статичному режимі .....	10
1.2 Розрахунок кута повороту та періоду вихідного сигналу.....	11
<b>2 ОГЛЯД ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ</b> .....	17
2.1 Класифікація мікропроцесорних безконтактних цифрових вимірювачів кутових швидкостей .....	17
2.2 Амплітудні тахометричні перетворювачі .....	19
2.3 Тахометричні перетворювачі просторового кодування.....	23
<b>3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ</b> .....	29
3.1 Принцип дії мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей .....	29
3.2 Алгоритм визначення частоти обертання.....	30
<b>4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ</b> .....	32
4.1 Розробка електричної принципової схеми .....	32
4.2 Визначення характеристик світлодіодного семисегментного індикатора .....	33
<b>5 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ</b> .....	36
5.1 Електричний розрахунок інфрачервоного випромінювача та фотоприймача .....	36
5.2 Електричний розрахунок індикатора “захоплення цілі” .....	37
5.3 Електричний розрахунок тактового генератора мікроконтролера .....	39
5.4 Електричний розрахунок кола скидання мікроконтролера .....	41

<b>6 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b> .....	42
6.1 Розробка алгоритму .....	42
6.2 Розробка програмного забезпечення.....	43
<b>7 КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТОПОЛОГІЇ, НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЮ ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ ВІМІРЮВАННЯ</b> .....	<b>45</b>
7.1 Опис конструкції вимірювача .....	46
7.2 Розрахунок надійності пристрою .....	48
7.3 Розрахунок друкованої плати .....	49
7.4 Метод визначення похибки вимірювання .....	54
7.5 Висновки до сьомого розділу.....	58
<b>8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	59
8.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	60
8.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	64
8.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях .....	71
8.4 Розробка заходів по забезпеченню високої стійкості роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей в умовах надзвичайних ситуацій .....	75
<b>9. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	78
9.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки .....	78
9.2 Оцінювання рівня новизни розробки .....	81
9.3 Розрахунок витрат на проведення НДДКР з дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей .....	85
9.4 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки .....	92
9.5 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності .....	95
9.6 Висновки до розділу .....	99

<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>100</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>101</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>104</b>
Додаток А (обов'язковий) – Технічне завдання.....	104
Додаток Б (обов'язковий) – Схема структурна.....	109
Додаток В (обов'язковий) – Схема електрична принципова.....	111
Додаток Д (обов'язковий) – Алгоритм роботи мікроконтролера .....	113
Додаток Е (обов'язковий) – Класифікація мікропроцесорних безконтактних цифрових вимірювачів кутових швидкостей .....	115
Додаток Ж (обов'язковий) – Принцип роботи мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей .....	117
Додаток К (довідниковий) – Лістинг програмного забезпечення мікроконтролера .....	119



**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

СВМ	–	світловідбиваюча мітка
АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
ЦАП	–	цифро-аналоговий перетворювач
КК	–	канал керування
ФНЧ	–	фільтр нижніх частот
ПЗКД	–	поподільник із змінним коефіцієнтом ділення
ІКФ	–	інфрачервоний фототранзистор
ТЗЗ	–	тракт зворотного зв'язку
БК	–	буферний каскад
ІФД	–	імпульсно-фазовий детектор
Д	–	детектор
ДШ	–	дешифратор
ДЧР	–	давач частотного розузгодження
ДОЧ	–	давач опорних частот
ЛІ	–	лічильник імпульсів
ОЗП	–	оперативний запам'ятовуючий пристрій
ПЗП	–	постійний запам'ятовуючий пристрій
ЦТМЗ	–	цифрові тахометри миттєвого значення
ЦТСЗ	–	цифровий тахометр середнього значення
БМТ	–	безконтактний мікропроцесорний тахометр

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Високоточний контроль та вимірювання кутової швидкості має велике значення не тільки при випробуваннях електричних машин (ЕМ), а в багатьох випадках і під час їх роботи. Це стосується систем точних приводів, систем автоматики, у яких ЕМ є складовими компонентами, систем, у яких відбувається керування електроприводами.

Метою даної магістерської роботи є перегляд існуючих методик проектування цифрових вимірювачів кутових швидкостей, в основі яких лежать мікропроцесори, а також розробка даного пристрою за однією з методик. Дані пристрої знаходять широке застосування в різних галузях сучасного виробництва. Вони можуть виступати окремими завершеними виробами, або функціональними вузлами інших пристроїв.

Специфічною особливістю тахометрії є вимога високої точності вимірювання: в більшості випадків вимірювання швидкостей повинні виконуватись з точністю на один-два порядку вище, ніж вимірювання інших параметрів руху. В останній час ця вимога накладається ще на динамічний режим роботи тахометра, обумовлюючи ще одну вимогу - високу швидкодію.

**Метою роботи** є розробка та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей.

**Об'єктом дослідження** є розробка теоретичних засад, методів та засобів для вимірювання та контролю середнього значення кутової швидкості.

**Предметом дослідження** – цифрові вимірювачі кутових швидкостей різних виробників та різної архітектури.

Для досягнення поставленої мети в магістерській кваліфікаційній роботі розв'язуються такі завдання:

1. Аналіз існуючих типів безконтактних цифрових вимірювачів кутових швидкостей;

2. Розробка повної структурної схеми цифрового вимірювача кутових швидкостей;
3. Реалізація схеми електричної принципової мікропроцесорного цифрового вимірювача кутових швидкостей;
4. Проведення комп'ютерного моделювання;
5. Дослідження питань охорони праці.

**Методи дослідження ґрунтуються на використанні:**

- а) основних положень теорії функції комплексної змінної (створення математичних моделей);
- б) диференціального та інтегрального числення (створення математичних моделей транзисторних структур);
- в) методів розрахунку лінійних електричних кіл з використанням матричного апарату;
- г) ЕОМ для розрахунків та моделювання.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що дуже важливим елементом вимірювального кола кутової швидкості є тахометричний перетворювач. В сучасних вимірюваннях, в основному використовуються два види тахометричних перетворювачів - частотні та амплітудні, інформативними параметрами вихідного сигналу яких є, відповідно, частота (період) та амплітуда.

Нині найточнішими вважаються дискретні методи вимірювання кутової швидкості. Вони ґрунтуються на квантуванні сигналів за рівнем та дискретизації у часі [1].

Для більшості електродвигунів, які працюють у різноманітних пристроях автоматики, системах точних електроприводів, різноманітних побутових пристроях, динамічний режим є основним режимом їх роботи. Велике значення, особливо для апаратури відео та звукозапису, систем автоматики, має високоточне вимірювання відхилень кутової швидкості електродвигуна від номінального значення.

Широке застосування математичних моделей електродвигунів обумовлює необхідність перевірки їх адекватності. Це краще за все робити шляхом порівняння розрахункової динамічної характеристики з експериментальною.

В останній час з'явилося багато наукових праць, що присвячені ідентифікації параметрів електродвигунів за їх математичними моделями, що дозволяє значно скоротити час їх випробувань. Використовуємі при цьому алгоритми обумовлюють необхідність високоточного вимірювання динамічних характеристик електромеханічних перетворювачів енергії (ЕМПЕ).

Незважаючи на те, що відома велика кількість різноманітних цифрових вимірювачів кутових швидкостей, багато з яких може бути застосовано для високоточного контролю середнього значення кутової швидкості, вітчизняна промисловість таких пристроїв не випускає. Це обумовлює необхідність розробки високоточного пристрою для вимірювання та контролю середнього значення кутової швидкості.

**Особистий внесок.** Усі розрахунки, вимірювання, дослідження були проведені самостійно. При розробці програмного коду було використано нові підходи для реалізації продукту. Також застосовувались нові ідеї та рішення для покращення параметрів мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей в цілому.

# 1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

## 1.1 Вимірювання у статичному режимі

В основі побудови сучасних цифрових тахометрів лежить визначення лічильними методами відношення

$$\omega_{\text{сер}} = \frac{\alpha_0}{t_i}, \quad (1.1)$$

де  $\omega_{\text{сер}}$  — середня кутова швидкість;

$\alpha_0$ ,  $t_i$  - відповідно кут та час повороту дискретного перетворювача кута, який встановлено на валу досліджуемого приводу.

Найпоширеними в теперішній час є частотні фотоелектричні дискретні перетворювачі кута, частота вихідного сигналу яких прямо пропорційна кутовій швидкості. У частотний фотоелектричний сенсор входить джерело світла, фотоприймач, модулятор, який уявляє собою диск з прорізами вздовж кола. При обертанні модулятора, світловий потік, що попадає на фотоприймач, змінюється, і на його виході формуються імпульси напруги, частота яких прямо пропорційна кутовій швидкості, тобто здійснюється апаратне диференціювання кута повороту за часом [2].

При вимірюванні за допомогою такого сенсора кутової швидкості у перехідному режимі миттєва кутова швидкість обертання визначається як

$$\omega = \frac{2\pi}{z} \frac{1}{\Delta t}, \quad (1.2)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість;

$\Delta t$  - часовий інтервал між двома слідуючими один за одним імпульсами;

$z$  - кількість прорізів модулятора.

Тобто миттєва кутова швидкість є величиною зворотно пропорційною часовому інтервалу між двома імпульсами та уявляє собою дискретну функцію часу із змінним кроком, який залежить від вхідної величини. Це приводить до того, що при низьких значеннях кутової швидкості похибка первинного перетворення значно збільшується. Крім того сенсор нечутлив до напрямку обертання.

При вимірюванні середнього значення кутової швидкості, тобто коли тахометр працює в режимі частотоміру, кутова швидкість і частота обертання зв'язані між собою співвідношенням [3]

$$\omega = \frac{2\pi f}{z}, \quad (1.3)$$

де  $f$  - частота вихідного сигналу.

При роботі тахометра в такому режимі проведення динамічних вимірювань кутової швидкості неможливе.

## 1.2 Розрахунок кута повороту та періоду вихідного сигналу

В залежності від того, який із указаних у (1.1) параметрів вимірюється, розрізняють цифрові тахометри середнього значення (ЦТСЗ) та цифрові тахометри миттєвого значення (ЦТМЗ).

В ЦТСЗ методом підрахунку імпульсів первинного тахоперетворювача визначають кут повороту валу досліджуемого об'єкту за фіксований інтервал часу, який задається зразковою мірою часу.

В ЦТМЗ здійснюється вимірювання періоду вихідного сигналу первинного тахометричного перетворювача, шляхом заповнення його імпульсами від генератору зразкової частоти.

У першому випадку методом підрахунку імпульсів від частотного тахометричного перетворювача з одночасним кодуванням результату

визначають частоту обертання валу за фіксований зразковий часовий інтервал. Тахометри, реалізуючі такий метод вимірювання ефективно працюють в області високих частот обертання.

Для зменшення похибки таких тахометрів перспективним є застосування вагових методів підвищення точності [4], суть яких полягає у наступному.

Особливістю класичних ЦТСЗ є те, що інформація про фазу досліджуемого сигналу використовується тільки лише в моменти початку та закінчення вимірювань. Інформація про фазу сигналу в проміжних точках не використовується. Це вказує на принципову можливість подальшого підвищення точності вимірювання кутової швидкості шляхом використання інформації про фазу інформативного сигналу на протязі всього інтервалу вимірювання. Таку можливість мають цифрові тахометри у яких інформативний сигнал тахометричного перетворювача додатково квантується за рівнем з метою підвищення розрізнявальної здатності і в яких можливе управління розрізнявальною здатністю по відповідному алгоритму. Це дає можливість одержувати інформацію про фазу сигналу, тобто використовувати осереднюючі вікна.

Більш високими метрологічними характеристиками в області низьких частот наділені методи, що ґрунтуються на інформативності періоду вихідного сигналу тахометричного перетворювача  $T_x$ . Проте при вимірюванні високих частот обертання похибки вимірювання значно зростають [5] і залежать також від динамічних характеристик досліджуемого об'єкту.

Застосування засобів комп'ютерної техніки при вимірюванні кутової швидкості дозволяє поєднати два вище згаданих методи вимірювання. А саме алгоритмічно вибирати необхідний режим роботи — ЦТСЗ чи ЦТМЗ, для чого початково визначається критична кутова швидкість  $\omega_{KP}$ , для якої похибки обох режимів однакові. При досягненні об'єктом вимірювання кутової швидкості  $\omega_{KP}$ , здійснюється перехід на необхідний режим роботи.

Таким шляхом можна досягнути нормування похибки на всьому часі проведення вимірювання, що має особливе значення при проведенні динамічних вимірювань.

Застосування комп'ютерної техніки дозволяє також реалізувати адаптивні тахометри. Значення  $\omega_{KP}$  для різних типів двигунів, тобто для різних сталих часу  $\tau$  записуються у постійний запам'ятовуючий пристрій. При зміні об'єкту дослідження змінюється перший період інформативного сигналу, а звідси, і значення  $\omega_{KP}$ . Тобто цифровий тахометр адаптується під об'єкт дослідження [6].

Якщо  $\omega_x < \omega_{KP}$ , то тахометр працює в режимі ЦВМЗ, а при  $\omega_x > \omega_{KP}$  — в режимі ЦТСЗ.

У роботі [7] наведено аналіз похибок ЦТМЗ. Основним висновком цієї роботи є те, що для кожного значення вимірюваної кутової швидкості є оптимальне число штрихів первинного тахометричного перетворювача, при якому результуюча середньоквадратична похибка вимірювання мінімальна. Оптимальне число штрихів знаходиться із виразу

$$z_{\text{опт}} = \frac{\pi^4 \sqrt{6} \sqrt{2 \varepsilon_{\text{max}} f_0}}{\omega_{\text{сер}}^4 \sqrt{\omega_{\text{сер}}^2 + 6 \Delta \alpha_0^2 f_0^2}}, \quad (1.4)$$

де  $z_{\text{опт}}$  — оптимальне число штрихів модулятора,  $\omega_{\text{сер}}$  — вимірювана кутова швидкість,  $f_0$  — частота опорного генератора,  $\Delta \alpha_0$  — середня результуюча середньоквадратична похибка нанесення штрихів ДПУ,  $\varepsilon_{\text{max}}$  — максимальне прискорення досліджуваного механізму.

З вище сказаного слідує, що змінюючи число штрихів модулятора, тобто змінюючи розрізнявальну здатність ДПУ, можна мінімізувати похибку вимірювання для будь якого значення кутової швидкості. У роботах [8] запропоновано алгоритм зміни розрізнявальної здатності  $Z_{i+1}$  (табл. 1) за умов, коли відоме попереднє значення  $Z_i$ , а також з використанням



інформації, що несе код  $N_T$ . Використання такого алгоритму роботи цифрового тахометру зменшує надлишковість інформації, що, в свою чергу дає змогу більш раціонально використовувати пам'ять комп'ютеру.

Для вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах також часто використовують тахогенератори. Найбільш точне первинне перетворення кутової швидкості в напругу здійснюють тахогенератори постійного струму, але їх використання обмежено за рядом причин. Залежність вихідної напруги тахогенератора постійного струму від кутової швидкості описується виразом [9]

$$U = \frac{k_E \omega - U_{\text{щ}}}{1 + (k k_p \omega + R_{\text{я}}) / R_{\text{нав}}}, \quad (1.5)$$

де  $U$  - вихідна напруга тахогенератора,  $U_{\text{щ}}$  - напруга на щітковому контакті,  $\omega$  - кутова швидкість,  $k_E$  - постійна машини,  $k$  - конструктивний коефіцієнт,  $k_p$  - коефіцієнт пропорційності між струмом якоря та потоком,  $R_{\text{я}}$  - опір обмотки якорю,  $R_{\text{нав}}$  - опір навантаження.

Із аналізу виразу (1.4) випливає, що вихідна напруга тахогенератора нелінійно залежить від кутової швидкості і при нульовій кутовій швидкості не дорівнює нулю, тобто присутня зона нечутливості. Окрім того вихідна напруга тахогенератора постійного струму має пульсуючу складову, яка обумовлює виникнення додаткової похибки первинного перетворення. Наявність щіткового контакту підвищує момент опору на валу тахогенератора, що робить недоцільним їх застосування для вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах електродвигунів малої потужності [10].

Найбільш перспективними для вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах електродвигунів малої потужності є фотоелектричні сенсори з безперервним вихідним сигналом. Відомий фотоелектричний сенсор кутової швидкості [11], у якому використовуються два лінійних

фотоприймача, вихідна напруга яких з високою точністю прямо пропорційна світловому потоку. Схемотехнічно такі фотоприймачі достатньо легко реалізуються на основі пари фотодіод - операційний підсилювач [12]. Модулятор сенсора має прорізи у вигляді кільцевих секторів. Діафрагма, яка розташована перед кожним з лінійних фотоприймачів, має теж таку форму. При такій формі прорізів та діафрагми площа отвору, через який світловий потік падає на фоточутливий шар фотоприймача лінійно залежить від кута повороту модулятора. Оскільки світловий потік прямо пропорційний площі отвору, а вихідна напруга лінійного фотоприймача прямо пропорційна світловому потоку, матиме вихідну напругу, яка прямо пропорційно залежить від кута повороту модулятора. Для уникнення похибки первинного перетворення, що обумовлена неточністю виконання діафрагми та прорізів модулятора, проводиться послідовне підключення до виходу сенсора вихідних сигналів лінійних фотоприймачів, які рознесені між собою на певний кут. При цьому на виході сенсора формується сигнал складної форми, крутизна фронтів якого прямо пропорційна кутовій швидкості. Шляхом обчислення першої похідної вихідного сигналу сенсору отримується напруга, що прямо пропорційна миттєвому значенню кутової швидкості.

За допомогою цього сенсору можливе вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах електродвигунів малої потужності, але він має погані частотні властивості. Вихідний сигнал сенсора є періодичним, і його частота дорівнює добутку кількості прорізів модулятора на усталену частоту обертання модулятора. Оскільки смуга пропускання лінійних фотоприймачів обмежена, то при певній частоті обертання модулятора похибка первинного перетворення, що обумовлена частотними властивостями фотоприймачів, значно підвищується. Крім того складна форма вихідного сигналу обумовлює складний алгоритм обчислення його похідної.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок про доцільність і необхідність розробки тахометра на основі фотоелектричного сенсора з

безперервним вихідним сигналом. Однак для покращення його технічних характеристик необхідно розробити сенсор кутової швидкості на виході якого за один оберт валу формується тільки один імпульс пилоподібної форми, за рахунок чого зменшується частота вихідного сигналу та покращуються частотні властивості перетворювача. Це дасть змогу значно розширити частотний діапазон контрольованих кутових швидкостей у порівнянні з існуючими аналогами.

## 2 ОГЛЯД ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

### 2.1 Класифікація тахометричних перетворювачів

Для перетворення неелектричного розміру кутової швидкості (або частоти обертання) в електричний сигнал застосовують тахометричні перетворювачі (ТП), що здебільшого відносять до генераторних вимірювальних перетворювачів. Узагальнена структурна схема ТП подана на рисунку 2.1, із якої видно, що він рекомендується двухвходовим перетворювачем. Енергія до нього підводиться від об'єкта виміру (ОВ) і від внутрішнього джерела енергії (ДЕ), що створює потік  $\Phi$ . Цей потік модулюється модулятором М і надходить на приймач енергії (ПЕ), що відповідає по фізичній суті ДЕ. На виході ПЕ буде модульований сигнал  $y = f(\omega_x; \Phi)$ .

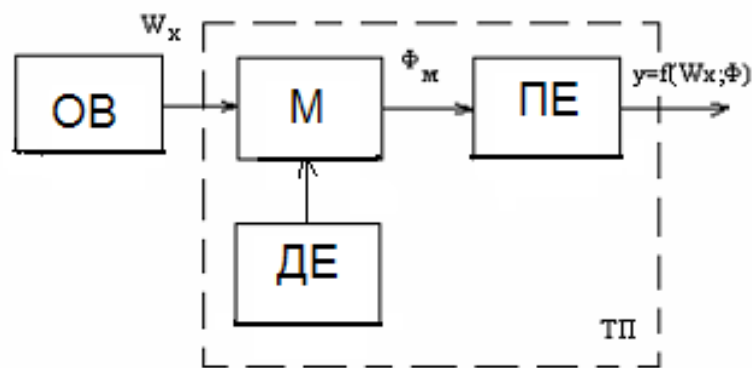


Рисунок 2.1 – Структурна схема ТП

Класифікація тахометрів подана на рисунку 2.2. По виду сполучення з валом ОВ тахометричні перетворювачі діляться на контактні і безконтактні. У бесконтактних ТП на ПЕ надходить відбитий від модулятора (вала) потік, і при цьому засіб виміру не змінює режиму роботи ОВ. У свою чергу по



По виду внутрішнього джерела енергії, що створює потік  $\Phi$  ТП діляться на перетворювачі:

- з джерелом випромінювання перемінного електромагнітного поля, що, у свою чергу, по частотному діапазоні діляться на низькочастотні і постійного струму, радіоволні, оптичні і радіоактивного випромінювання; із джерелом електростатичного поля, які за видом використовуваних перетворювачів діляться на ємнісні, п'єзоелектричні, електретні;

- з джерелом гідроаеродинамічного потоку - імпеллери, гідродинамічні і термодинамічні;

- з джерелом електрохімічної енергії;

- з джерелом механічної енергії, що по засобом її перетворення підрозділяються на диференціальні механічні ТП, електромеханічні, гіроскопічні, фрикційні, вібраційні, вартові й оптико-механічні.

За інформативним параметром сигналу  $y=f(\omega_x; \Phi)$ , який будить вимірюватися повторним пристроєм, тахометри ТП діляться на ТП амплітудного перетворення, ТП частотно-тимчасового перетворення і просторового кодування (кут повороту).

## 2.2 Амплітудні тахометричні перетворювачі

Інформативним вихідним параметром такого ТП служити напруга постійного або змінного струму. До даного класу ТП відносяться тахогенератори змінного і сталого струму, фотоелектричні датчики з просторовими фільтрами, п'єзоелектричні датчики з елементом, що вібрує, (стрижнем). Роздивимося більш докладно два останніх види перетворення.

У фотоелектричному ТП із просторовим фільтром використовується оптична нерівномірність поверхні вала електродвигуна. Знімання інформації здійснюється безупинно двома фотоелементами А і В, сполученими по черзі через  $0,5p$  ( $p$  - крок гребінки фотоелементів). За допомогою системи лінз світло, відбите обертовим валом падає на елементи А і В, що перетворюють

світлові потоки в напруги  $U_A$   $U_B$  однакової форми, але зрушені по фазі (зсув по фазі постійний і визначається кроком елементів А і В). Сигнали з виходів дотоприймача подаються на диференціальний підсилювач, де вони укладаються і на виході його буде напруга яка змінюється періодично при кожному кроці переміщення валу на кроці,  $p$ .

При такому методі вимір ТП не споживає енергії від електродвигуна, що особливо важливо при дослідженні мікродвигунів. Другим представником даного класу є твердотілий датчик кутових швидкостей (VYRO), у якому в якості чутливого елемента використовується сталевий стержень, що вібрує.

Вібрація створюється за допомогою п'єзоелектричних кристалів, прикріплених збоку до стержня, а зміщення, яке наводиться кутовими швидкостями, вимірюються такими же кристалами. Вимірювальний вузол являє собою стержень квадратного перетину зі стороною 3-4 мм і простого трубчастого корпуса кріплення. Довжина 40 - 60 мм. Стержень підвішений у двох головних вузлах згину і з кожухом утворить механічний блок датчика. Порушення в однієї з головних площин провадиться на резонансній частоті згину (4500...10000 Гц).

У площині збудження частки стержня коливаються з лінійним переміщенням, що змінюється синусоїдально з часом. При з'явленні кутової швидкості щодо подовжньої вісі стержня, на частки в стержні діє кориолісова сила, що викликає рух стержня в площині, перпендикулярної площини збудження. Це ортогональне синусоїдальне переміщення пропорційно кутової швидкості. Дана частка буде описувати шлях у виді еліпсоїда, як показано, ширина якого прямо пропорційна кутової швидкості.

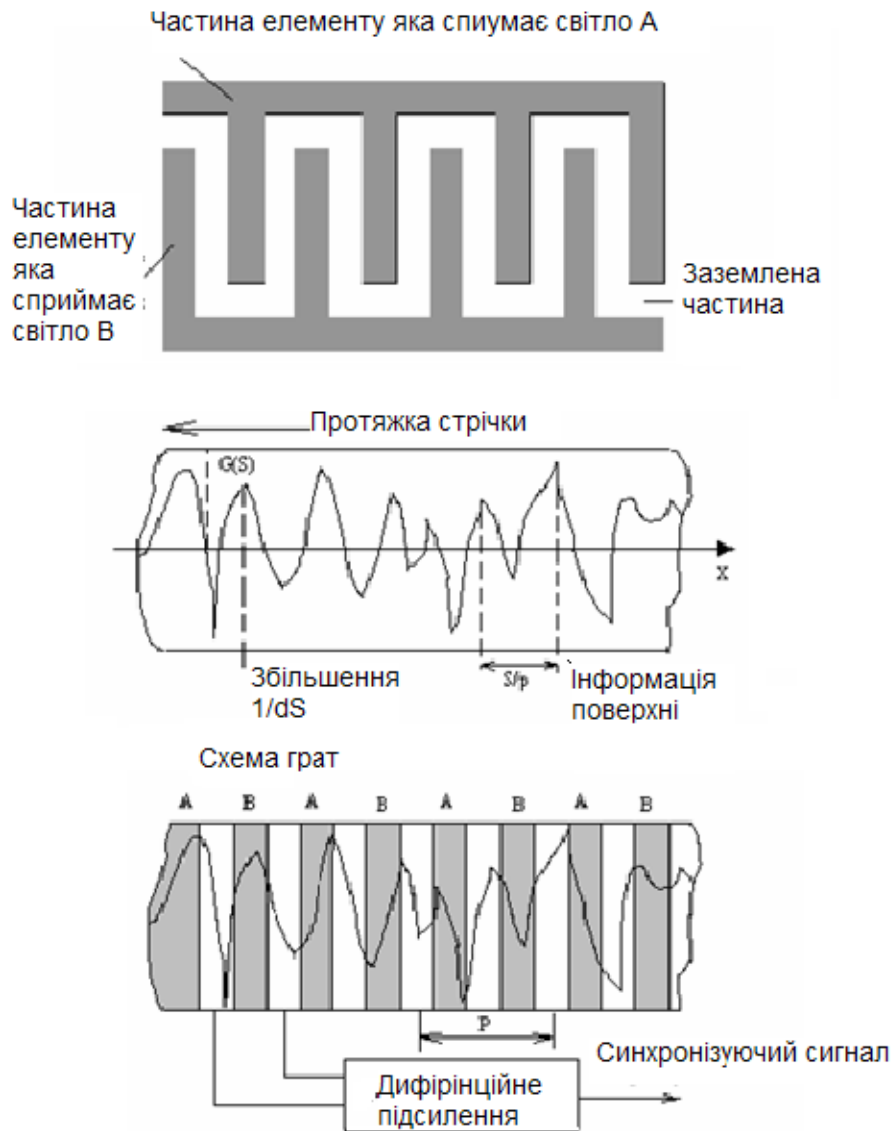


Рисунок 2.2 – Принцип роботи ТП

Збуджуючий кристал виробляє змінні коливання на частоті першої гармоніки збудження ізгибу стрижня. Сигнал порушення генерується кристалом зворотного зв'язку, розташованим на стержні, причому сигнал проходить через дві фазозсуваючі ланцюги і регулятор, перед тим як потрапити на кристал збудження. Для підтримки коливань в площині збудження необхідно мати коефіцієнт замкнутого аонтуру.

Демпфірування ТП необхідно для забезпечення негативного зворотнього зв'язку на частоті демпфірування з метою створення опору руху стержню і завдання коефіцієнта демпфірування до 1,0 інваріантним до



температури (температурна корекція). Контур, що демпфірує, застосовують також для самоперевірки.

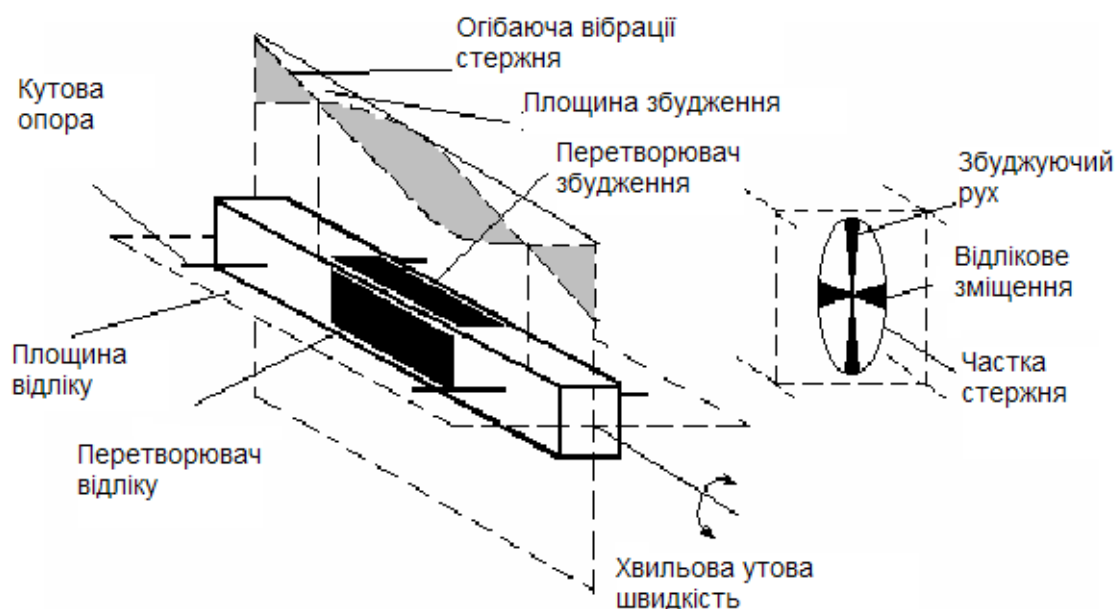


Рисунок 2.3 – Структура стержня обертання ГП

Модуляція визивається швидкісним вхідним сигналом). Сигнал із відлікового кристала після посилення детектується, і на виході буферного пристрою створюється напруга, пропорційна частоті обертання.

При повідомленні ГП обертання уздовж вісі чутливості результуюче, наведений коріолісовими силами, рух, яке є складовою, нормальною до збудливого руху, виявляється відліковим кристалом. Виробляється струм на частоті збудження, зсунутий по фазі на  $90^\circ$ , а придушений амплітудною модуляцією несучої. (Придушена амплітудна модуляція несучої відрізняється від амплітудної модуляції, у котрої несуча

До основних переваг ГП «VYRO» відносять високу надійність, довговічність (час наробітку на відмову 137000ч); високу розрішаючу можливість 0,01 об/с Проте такі ГП мають низьку швидкодію (постійна часу ГП-30 с).

### 2.3 Тахометричні перетворювачі просторового кодування

У ТП просторового перетворення інформація про кутову швидкість утворюється шляхом диференціювання коду кутового переміщення вала за часом. Просторовий параметр (кутове переміщення ос) визначається за допомогою спеціальної кодувочої маски, до якої постачають считуючий пристрій. Простими і зручними кодувочими пристроями, які одержали найбільш широке поширення, є кодувочі диски. Значення розрядних коефіцієнтів (1 або 0) задається в них у вигляді провідних і непровідних, прозорих і непрозорих, магнітних і немагнітних ділянок. Відповідно використовують контактні, фотоелектричні, індуктивні й інші зчитуючі пристрої. На один кодовий розряд потрібна одна кодова «доріжка» і один зчитуючий пристрій.

Існують два основних типи кодових перетворювачів кута: накопичуючі перетворювачі (перетворювачі приросту) і перетворювачі абсолютних значень (перетворювачі зчитування). У накопичуючих перетворювачах використовуються датчики і рахункова система, що сумує окремі прирости. Крім того, необхідний репер, щодо якого прирости повинні підсумовуватися (або відраховуватися).

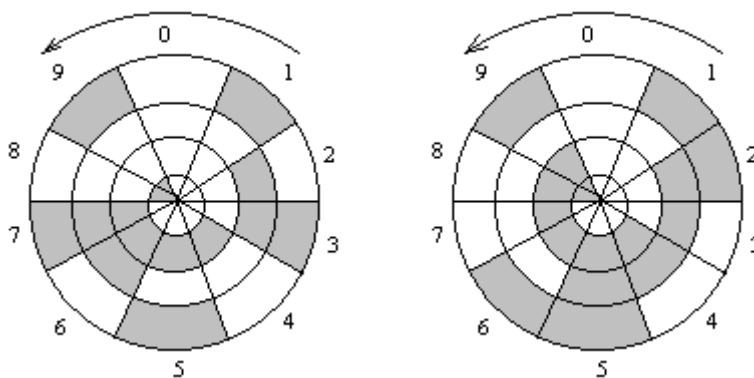


Рисунок 2.4 – Кодуючі диски кодових перетворювачі кута

На рисунку 2.4 показані деякі варіанти кодуєчих дисків абсолютних кодових перетворювачів кута.

Очевидно, що точність ТП просторового кодування визначається точністю виготовлення маски, точністю зчитування інформації і точністю виконання операції диференціювання.

Більшість оптичних дисків виготовляється фотоспособом. Використовується метод контактної печаті з диска-еталона, на якому з високою точністю виконана маска. Кругова ділильна машина, наприклад, Baldwin Electronics Inc (США), виготовляє диски-еталони, радіальні лінії, які наносяться з похибкою 0,067. Цьому відповідає точність більш ніж  $10^8$ .

Для зменшення похибки зчитування застосовують різноманітні циклічні коди, наприклад, код Грея і V-образне зчитування. Основною похибкою ТП просторового кодування є похибка диференціювання. Крім того, операція диференціювання знижує і швидкодію ТП.

Частотні тахометричні перетворювачі. Вони здійснюють перетворення вимірюваної швидкості в імпульсну послідовність, частота якої пропорційна цій швидкості. Частотні ТП сполучають простоту й універсальність, властиві аналоговим пристроям, із точністю і завадостійкістю, характерними и для датчиків із кодовим виходом. До частотних ТП відносяться фотоелектричні тахометри, оптоелектричні, магнітоелектричні й електромагнітні.

У найпростішому фотоелектричному ТП джерело випромінювання 1 оптично пов'язане з приймачем 2 за допомогою . дзеркала 3, закріпленого усередині стакана і при обертанні модулятора 4 відбувається зміна рівномірності світлового потоку. На виході фотоелектричного перетворювача одержують напругу пилообразної форми з рівною крутизною переднього і заднього фронтів. Після формування одержують імпульси, калібровані по амплітуді і тривалості. Такі ТП прості по конструкції, але мають низьку розрішаючу спроможність при обмежених габаритних розмірах модулятора. Підвищити розрішаючу спроможність можливо, використовуючи помножувачі частоти. Проте цей шлях не дуже ефективний, особливо при

динамічному режимі роботи ТП, тому що при цьому виникають великі динамічні похибки.

Більш високою роздільною здатністю характеризуються растрові ТП. Модулятор, що має радіальні штрихи, обертається перед нерухомим растром у вигляді сектора (крок нанесення штрихів на модуляторі і растрі однаковий), породжує муарову картину. Переходячий через растр промінь фотоелектричної системи зчитує число смуг муарової картини. На цьому принципі засновані частотні ТП із числом імпульсів  $Z$  на один оберт, що доходить до 10000. Японська фірма «Ниппон Кочаку» розробила високоточний оптичний датчик із  $Z=360000$  («Знание-сила», 1988, № 2, с. 43).

Другим ефективним частотним ТП є перетворювач про обертове джерело випромінювання, у якій приймач і джерело випромінювання поміщені в барабан обертаємий синхронним електродвигуном у протилежному напрямку з відомою постійною швидкістю. Таке схемне рішення дозволяє при відносно низкій розрішачій спроможності модулятора насаженого на вал випробуваного електродвигуна, змістити спектр низькочастотного сигналу в область більш високих частот, що відповідає множенню частоти. У цьому випадку полегшується режим роботи повторного приладу.

В даний час в області виміру низьких частот обертання, все більше застосування знаходять волоконо-оптичні ТП на основі ефекту Саньяка (інтерферометри Саньяка).

Сутність ефекту Саньяка складається в появі фазового зсуву між двома складовими попередньо розщепленого когерентного світлового потоку і рухаються на зустріч по оптичному шляху, що повертається здекою швидкістю, навколо своєї вісі котушки волоконового світловода.

Поява фазового зсуву обумовлено розходженням швидкостей руху складових (менша - у напрямку обертання світловода, більша - у зустрічному напрямку).

У цій групі виділяють два типи ТП: інтерферометри з одинарною частотою, у яких фазовий зсув хвиль пропорційний частоті обертання і інтерферометри з подвійною частотою, у яких частота биттів пропорційна швидкості. По кожному типі можливі різноманітні варіанти. У основі конструкції обох типів ТП знаходиться оптичне волокно, згорнуте в котушку. У обидва торці котушки за допомогою світлоподільника посилається короткий імпульс лазерного світла. Таким чином, у котушці одночасно в протилежних напрямках поширюються дві світлові хвилі однакової частоти. При повороті котушки завдяки ефекту Саньяка на виході інтерферометру виникає різниця фаз, що реєструється за допомогою детекторного фазометра. Різниця фаз тим більша, чим більше шлях світлової хвилі в котушці, тобто чим більше витків волокна і чим більше частота обертання котушки, яка пов'язана з валом.

Переваги ТП на основі ефекту Саньяка: вимір низьких ЧВ у діапазоні  $10^{-3}$ -1 об/хв із похибкою не більше 0,5%; розрішальною спроможністю по кути повороту  $10^5$ - $5 \cdot 10^6$  імп/об; вимір у важкодоступних місцях, в умовах підвищеної радіації сильних електромагнітних перешкод і високих температур.

Перетворення кутової швидкості в частоту може також реалізуватися в магнітоелектричних і електромагнітних перетворювачах. Деякі види зазначених ТП приведені в таблиці 2.1.

Магнітоелектричні ТП можуть будуватися, наприклад, на ефекті Виганда. У магнітному ланцюзі навколо датчика Виганда створюється зміщене магнітне поле. Модулятор, насажаний на випробуваний вал і який має низький магнітний опір, при обертанні здійснює «форматування поля». Зчитуюча голівка, Виганда складається з модуля (провід Вигаада зі скрученною навколо нього сенсорною обмоткою) і з двох невеличких магнітів, виготовлених із кобальтового самарія, що встановлені в корпусі нерухомо. Вироблювана в результаті обертання модулятора послідовність імпульсів має частоту, пропорційну частоті обертання.

Як правило, у всіх імпульсних генераторах Виганда харчування модулів електричним струмом не потрібно, а отримані сильні імпульси можуть бути спрямовані у віддалене місце. Ці імпульси можуть мати достатній розмір, щоб безпосередньо пускати в хід ТТЛ схеми.

У індуктивних ТП використовується залежність індуктивності котушки від зміни опору магнітного ланцюга. Інформація в індуктивних ТП перетворюється в зміну частоти струму або напруги. Для цього їх включають у послідовні ланцюги перемінного струму, мостові вимірювальні ланцюги, у коливальні контури  $LC$  генераторів.

Принцип дії ТП на основі ефекту Баркгаузена полягає в зміні частоти стрибків Баркгаузена, що виникають у ряді ферромагнітних матеріалів і сегнетоелектриків у залежності від швидкості їх перемагнічування.

Так, наприклад, у деяких ТП постійний магніт кріпиться на валі, а ферромагнетик з обмоткою на статорі. При обертанні валу поле, утворюване постійним магнітом, зміщується уздовж тороїдального каблучка і перемагнічує відповідні його ділянки. При цьому у ферромагнетика виникають стрибки намагніченості (стрибки Баркгаузена), що індують у вимірювальній обмотці імпульси  $\varepsilon.p.c.$

ТП на основі ефекту Баркгаузена знаходять застосування в області виміру низьких частот обертання ( $10^{-2}$ -1 об/хв) і мають похибку не більш 1%.

Гальваномагнітні ТП засновані на фізичних ефектах (Холу і Гаусса), що виникають у твердих тілах при зміні в них траєкторії руху заряджених часток під впливом магнітного поля. У якості ТП цього типу найбільше застосування одержали перетворювачі Холу, магніторезистори і магнитодіоди.

Принцип дії перетворювача Холу полягає у виникненні поперечної різниці потенціалів ( $\varepsilon.p.c.$  Холу) на бічних гранях пластин із напівпровідника при зміні магнітної індукції поля, у якому він знаходиться.

ТП на основі перетворювачів Холу прості по конструкції, мають похибку 0,5 - 1% і діапазон виміру до 1000 об/хв.

Недоліками їх є низька надійність, чутливість до перешкод і впливів навколишнього середовища, що потребує екрановки.

Ефект Гаусса, або магніторезистивний ефект, виявляється в зміні електричного опору напівпровідникової пластини, що знаходиться в змінне магнітному полі. Прикладом ТП цього типу може служити схема, у якій магніторезистор знаходиться проти диска з магнітними елементами.

Магніторезисторні ТП мають більш високу чутливість, ніж ТП на основі перетворювачів Холу, і можуть працювати при сверхнизьких температурах.

Їх перевагою є висока чутливість. Серед недоліків слід зазначити нелінійність характеристики і чутливість до зміни температури.

### 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ТАХОМЕТРА

3.1 Принцип дії мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей

На рисунку 3.1 та в графічній частині дипломного проекту наведено структурну схему безконтактного фотоелектричного мікропроцесорного тахометра.

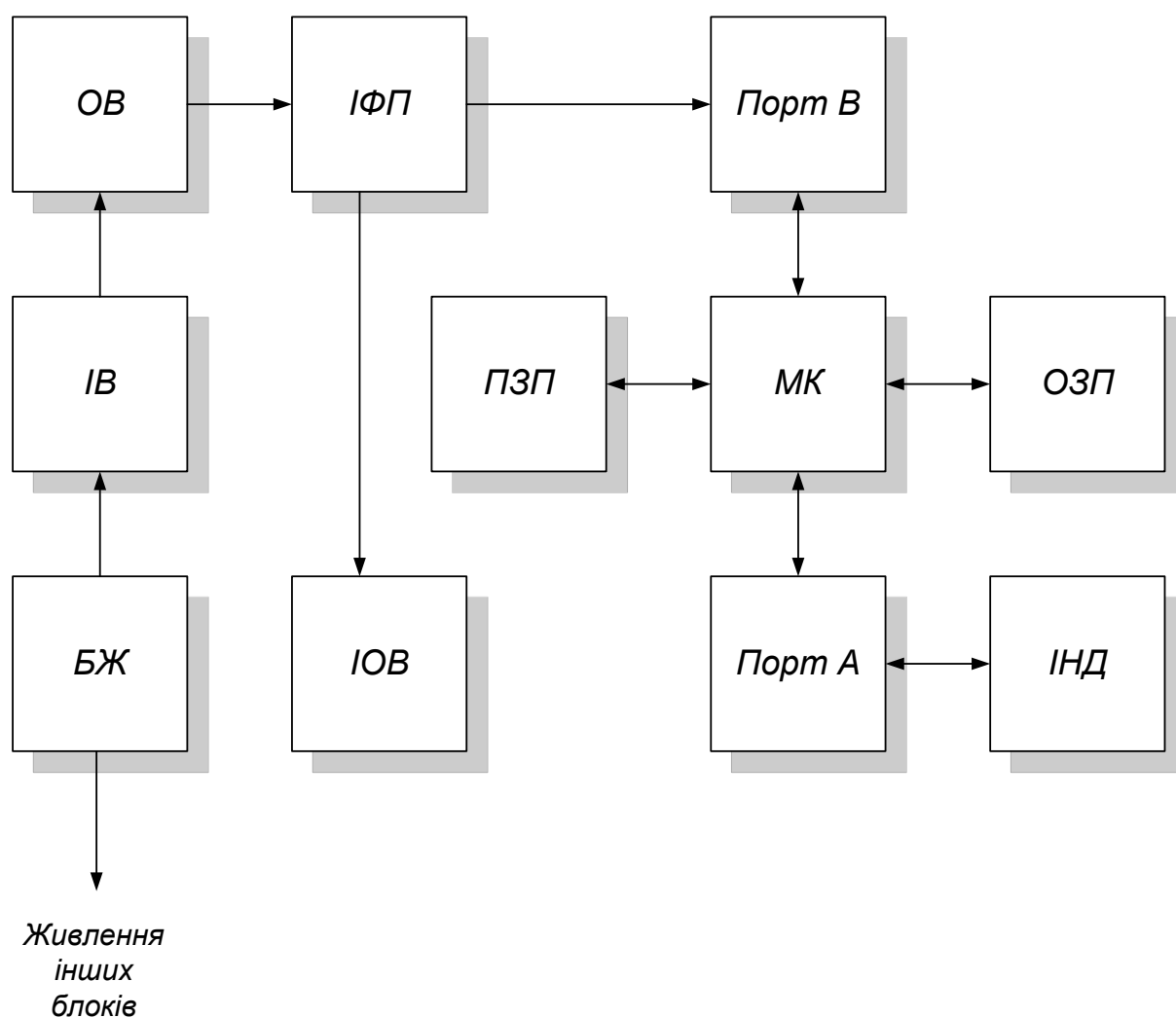


Рисунок 3.1 - Структурна схема пристрою: ОВ – об’єкт вимірювання; ІВ – інфрачервоний випромінювач; ІФП – інфрачервоний фотоприймач; БЖ – блок живлення; ІОВ – індикатор захоплення цілі; МК – мікроконтролер; ІНД – чотирирозрядний індикатор; Порт А/В – порт введення-виведення; ОЗП - пам’ять RAM; ПЗП - пам’ять FLASH



### 3.2 Алгоритм визначення частоти обертання

Принцип дії пристрою полягає в наступному. На вал об'єкту наноситься світловідбиваюча мітка (за допомогою білої фарби або спеціальної стрічки на клейовій основі).

Під час обертання валу, він опромінюється інфрачервоним випромінювачем. Інфрачервоне випромінювання відбивається від світловідбиваючої мітки і поглинається поверхнею вала. Відбите від мітки інфрачервоне випромінювання попадає на фотоприймач.

Внаслідок цього, на виході фотоприймача формується послідовність імпульсів, частота яких дорівнює частоті обертання вала. Часовий проміжок між двома сусідніми імпульсами дорівнює часу, за який здійснюється один оберт вала.

Вихідні імпульси фотоприймача поступають на вбудований в мікроконтролер компаратор і на схему індикатора захоплення цілі.

Схема індикації захвату цілі призначена для того, щоб користувач міг контролювати якість приймання відбитого інфрачервоного випромінювання.

Мікроконтролер, при наявності на виході фотоприймача імпульсів належного рівню, розраховує частоту обертання і виводить її значення на чотирьохрозрядний світлодіодний індикатор. Живлення всіх структурних частин пристрою здійснюється від стабілізованого джерела живлення з вихідною напругою 5 В. Як було вказано вище, при обертанні вала на виході фотоприймача формується імпульс при кожному оберті вала. Визначивши час між фронтами вихідних імпульсів фотоприймача можна розрахувати частоту обертання. Визначення цього часу здійснюється шляхом підрахунку імпульсів зразкової частоти в період між двома сусідніми імпульсами. Роль зразкової частоти виконує тактовий генератор мікроконтролера. Алгоритм визначення пояснюється рисунком 3.2.

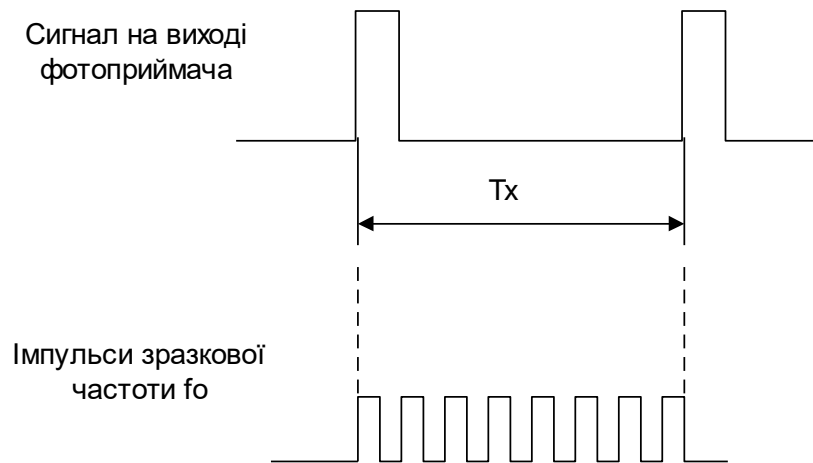


Рисунок 3.2 - Алгоритм визначення частоти обертання

Якщо відома частота імпульсів  $f_0$  і відповідно їхній період  $T_0$ , те часовий проміжок  $T_x$  розраховується за допомогою формули :

$$T_x = (N-1)T_0 , \quad (3.1)$$

де  $N$  – підрахована за час  $T_x$  кількість імпульсів.

Відповідно частота обертання розраховується за формулою :

$$n(\text{об/хв}) = \frac{60}{T_x} = \frac{60 \cdot f_0}{N-1} \quad (3.2)$$

У даному пристрої здійснюється п'ятиразове послідовне визначення частоти обертання за вищевказаним алгоритмом з подальшим усередненням. На чотирирозрядний індикатор виводиться середнє значення частоти обертання, отримане на основі десяти вимірювань.

## 4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ

### 4.1 Розробка електричної принципової схеми

Електрична принципова схема мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей наведена на рис. 4.1 та у графічній частині магістерської кваліфікаційної роботи.

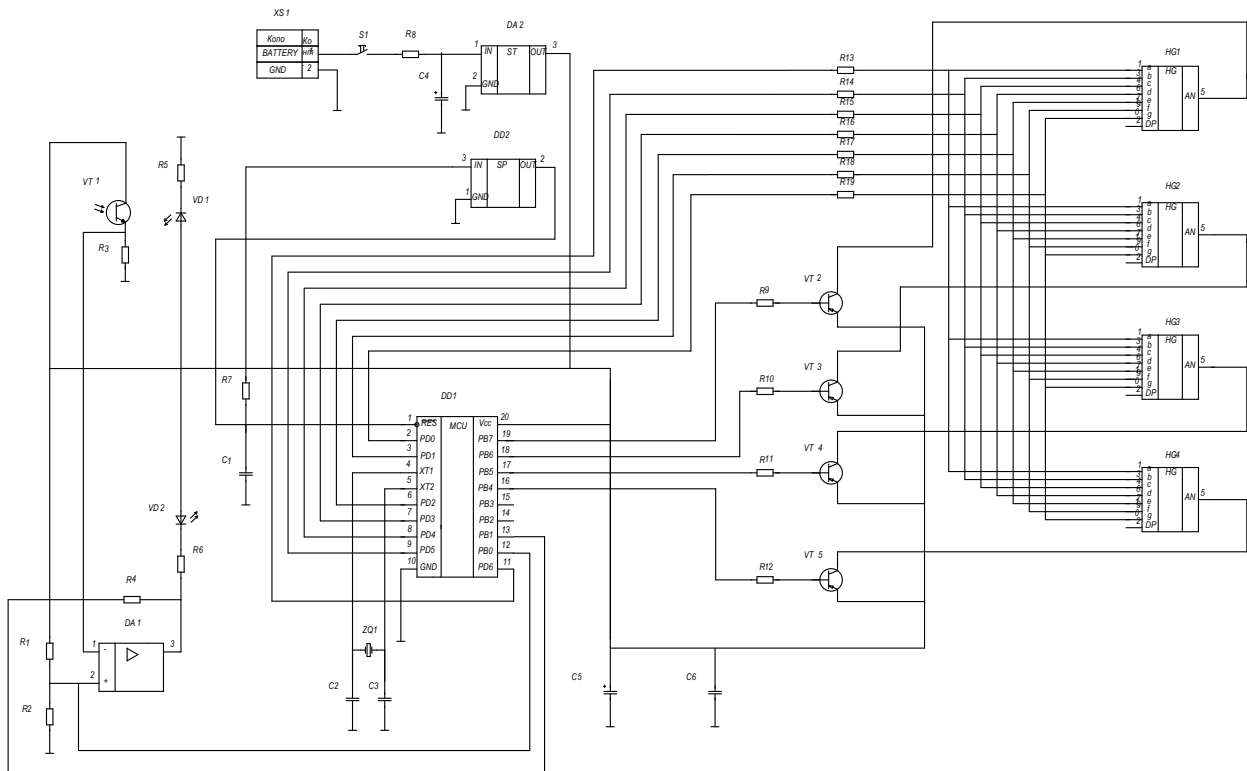


Рисунок 4.1 - Електрична принципова схема мікропроцесорного  
безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей

Мікропроцесорний безконтактний цифровий вимірювач кутових швидкостей, який розробляється у магістерській кваліфікаційній роботі, є портативним приладом з батарейним живленням. Дана обставина зумовлює використання елементної бази з малим енергоспоживанням.

Основне енергоспоживання, як правило, мають індикаторні прилади, окрім рідкокристалевих, але їх використання у даному випадку недоцільне, тому як прилад може використовуватись при невеликій освітленості. Тому будемо використовувати світлодіодні семисегментні індикатори.

#### 4.2 Визначення характеристик світлодіодного семисегментного індикатора

Обираємо світлодіодні семисегментні індикатори з низьким енергоспоживанням фірми KINGBRIGHT SA52-11LSRWA, які мають наступні електричні характеристики:

- номінальний струм – 2 мА;
- яскравість при номінальному струмі – 500 мкКд;
- колір – червоний;
- довжина хвилі – 530 нм;
- схема увімкнення світлодіодів – з загальним анодом.

Внаслідок того, що верхня межа вимірювання, у відповідності з технічним завданням – 9999 об/хв, нам необхідно чотири таких індикатори.

У якості джерела живлення обираємо батарею типу “Крона” з номінальною напругою 9 В.

Для обчислення значення кутової швидкості і виконання усіх функцій процесора обираємо AVR мікроконтролер AT90S2313 [ X ]. Ця мікросхема має наступні характеристики:

- тактова частота до 10 МГц;
- 2 КБ внутрішньої флеш-пам’яті з можливістю 1000-разового перепрограмування;
- 128 байт пам’яті даних з можливістю 100000-разового перепрограмування;
- 1 8-бітовий таймер-лічильник;
- 1 16-бітовий таймер-лічильник;

- 1 аналоговий компаратор;
- вбудований синхронно-асінхронний прийомо-передавач;
- струм споживання – 2.8 мА;
- 15 програмованих ліній уведення-виведення;
- напруга живлення –4-6 В;
- вбудований сторожевий таймер.

Для живлення мікроконтролера, перетворювача рівнів та мультиплексора необхідно використовувати стабілізовану напругу 5 В. Тому необхідно використати інтегральний стабілізатор напруги, який знизить напругу батареї до рівню 5В і забезпечить стабілізоване живлення.

Для цієї мети можна використати інтегральний стабілізатор напруги фірми MOTOROLA MC7805LC. Цей інтегральний стабілізатор має наступні електричні характеристики:

- вхідна напруга від 7.2 В до 35 В;
- вихідна напруга 5 В;
- максимальний струм навантаження – 1.5 А;
- трививідний корпус.

Вхідний конденсатор цієї мікросхеми необхідний для того, щоб виключити можливість самозбудження. До виходу мікросхеми необхідно паралельно підключити два конденсатори – електролітичний та керамічний. Електролітичний – для згладжування низькочастотних пульсація, керамічний – високочастотних.

Для надійного запуску мікроконтролера необхідно використати мікросхему генератора сигналу “Скидання”. Обираємо мікросхему КР1172СП42, яка має наступні технічні характеристики:

- напруга живлення – 5-20 В
- напруга зпрацьовування – 4.2 В
- струм споживання – 5 мкА
- тип корпусу ТО-92

Для керування світлодіодними індикаторами використовуємо транзисторні каскади по схемі з загальним емітером на транзисторах КТ3107.

Для реалізації індикатора “захоплення цілі” обираємо мікросхему КР1446УД2А. Детально індикатор “захоплення цілі” буде розглянуто у наступному розділі магістерської кваліфікаційної роботи роботи.

Схема електрична принципова наведена у додатку В.

## 5 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

### 5.1 Електричний розрахунок інфрачервоного випромінювача та фотоприймача

Схема електрична принципова інфрачервоного випромінювача та фотоприймача наведена на рис. 5.1.

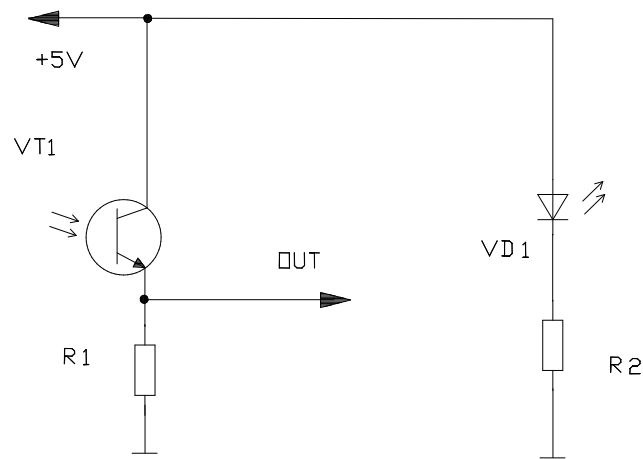


Рисунок 5.1 – Інфрачервоний випромінювач та фотоприймач

В якості інфрачервоного випромінювача обираємо інфрачервоний світлодіод фірми Kingbright L-934SRWA [10], який має наступні характеристики:

- номінальний струм,  $I_n$  – 10 мА
- яскравість при номінальному струмі – 1500 мкКд;
- падіння напруги при номінальному струмі,  $U_n$  – 1.5 В;
- кут випромінювання –  $30^\circ$ ;
- довжина хвилі випромінювання – 980 нм.

Розраховуємо номінальне значення резистора  $R_2$  при умові номінального струму і напрузі живлення  $E=5$  В

$$R_2 = \frac{E - U_n}{I_n} = 350 \text{ (Ом)} \quad (5.1)$$

Обираємо резистор С2-23 – 330 Ом  $\pm$  10%

В якості інфрачервоного приймача обираємо інфрачервоний фототранзистор фірми Kingbright L-932WE, який має наступні характеристики:

- напруга насичення,  $U_s - 0.3 \text{ В}$ ;
- фотострум насичення,  $I_s - 100 \text{ мкА}$ ;
- максимум спектральної чутливості – 980 нм;
- максимальна напруга колектор-емітер – 20 В.

Розраховуємо номінальне значення резистора  $R_1$  при умові номінального струму і напрузі живлення  $E=5 \text{ В}$

$$R_1 = \frac{E - U_s}{I_s} = 47 \text{ (кОм)} \quad (5.2)$$

Обираємо резистор С2-23 – 47 кОм  $\pm$  10%

## 5.2 Електричний розрахунок індикатора “захоплення цілі”

Принцип дії індикатора “захоплення цілі” полягає у тому, що він запалює світлодіод, якщо фотоприймач приймає відбите від валу з нанесеною на нього міткою інфрачервоне випромінювання. Тобто він представляє компаратор, який порівнює вихідну напругу фотоприймача з фіксованою напругою, яка встановлюється резистивним подільником напруги. Коли на виході компаратора рівень логічного нуля, через світлодіод протікає струм і він світиться. Схема електрична принципова індикатора “захоплення цілі” наведена на рисунку 5.2.

Принцип дії індикатора “захоплення цілі” полягає у тому, що він запалює світлодіод, якщо фотоприймач приймає відбите від валу з нанесеною



на нього міткою інфрачервоне випромінювання. Тобто він представляю компаратор, який порівнює вихідну напругу фотоприймача з фіксованою напругою, яка встановлюється резистивним подільником напруги. Коли на виході компаратора рівень логічного нуля, через світлодіод протікає струм і він світиться.

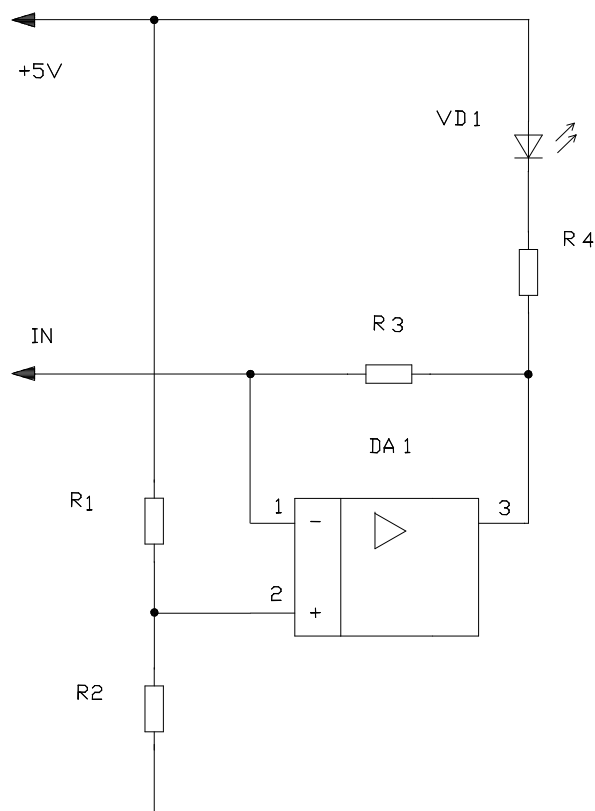


Рисунок 5.2 – Індикатор “захоплення цілі”

Для побудови компаратора обираємо мікросхему операційного підсилювача КР1446УД2А. Ця мікросхема побудована на полевих транзисторах і може працювати з однополярним джерелом живлення.

Основні технічні характеристики цієї мікросхеми наступні:

- коефіцієнт підсилення – 1000000;
- вхідний опір 1 ГОм;
- споживаний струм – 2 мА;
- гранична частота – 100 кГц;
- діапазон однополярної напруги живлення – 2-18 В.

Розрахуємо індикатор “захоплення цілі” при умові однополярної напруги живлення 5 В.

У відповідності з рекомендаціями, які наведено у технічній документації на цю мікросхему, обираємо резистор R3 зворотнього зв'язку C2-23 – 47 кОм  $\pm$  10%.

Задаємося значенням опорної напруги компаратора 3 В. У цьому випадку, при обраній напрузі живлення, номінальне значення резистора R2 буде 3 кОм, а R1 – 2 кОм. Обираємо відповідно резистори C2-23 – 3 кОм  $\pm$  10% та C2-23 – 2 кОм  $\pm$  10%.

Обираємо світлодіод фірми Kingbright L-930LSRWA, який має наступні характеристики:

- номінальний струм,  $I_n$  – 2 мА;
- яскравість при номінальному струмі – 500 мкКд;
- падіння напруги при номінальному струмі,  $U_n$  – 1.5 В;
- кут випромінювання -  $60^\circ$ .

Розраховуємо номінальне значення резистора R4 при умові номінального струму і напрузі живлення  $E=5$  В

$$R_2 = \frac{E - U_n}{I_n} = 1750 \text{ (Ом)} \quad (5.3)$$

Обираємо резистор C2-23 – 1.8 кОм  $\pm$  10%

### 5.3 Електричний розрахунок тактового генератора мікроконтролера

Робота мікроконтролера AT90S2313 тактується генератором тактової частоти з кварцевою стабілізацією. Саме генератор знаходиться в корпусі мікросхеми, зовні встановлюється кварцевий резонатор та конденсатори.

Схема включення мікроконтролера AT90S2313 наведена на рисунку 5.1.

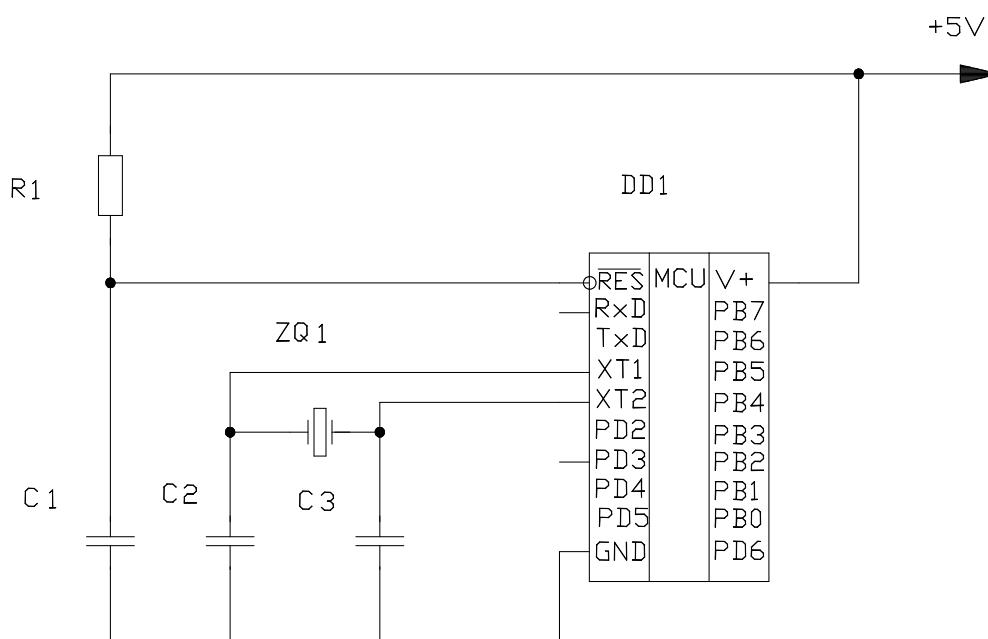


Рисунок 5.3 – Схема включення мікроконтролера AT90S2313

RC – коло побудоване на R1 і C1 призначене для формування сигналу скидання.

Послідовний порт ПЕОМ здатний працювати на фіксованій кількості швидкостей передачі даних, а саме 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 33600, 5600, 115200 біт/с. Синхронізація роботи послідовного порта мікроконтролера забезпечується шляхом ділення тактової частоти тактового генератора мікроконтролера на ціле число.

Похибка синхронізації не повинна перевищувати 10 відсотків.

Обираємо кварцовий резонатор з частотою 3.6864 МГц і ємністю 2 пФ фірми GEYER.

Значення ємності конденсаторів C2 і C3 обираємо виходячи із співвідношення [9]

$$C > 10 \cdot C_{zq}, \quad (5.4)$$

де  $C_{zq}$  - ємність кварцевого резонатора.

Обираємо конденсатори 39 пФ x 16 В.

#### 5.4 Електричний розрахунок кола скидання мікроконтролера

Для запуску мікроконтролера необхідно, щоб на протязі 1 мс після включення живлення напруга на вході RESET була рівня логічної одиниці. Для цього, як правило, використовують RC-кола (R1 та C1 на рисунку 5.1).

При ввімкненні напруги живлення напруга на вході RESET при використанні RC-кола на рисунку 5.1 змінюється за експоненціальним законом, який визначається виразом

$$U_{RES} = U_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (5.5)$$

де  $U_0$  - напруга живлення;

$\tau$  - постійна часу RC – кола;

$t$  – поточний час.

Напруга, яка сприймається мікроконтролером як рівень логічного нуля дорівнює  $0.3 U_0$ . Підставивши це значення в рівняння (5.2) і вирішивши отримане рівняння відносно  $t$  отримуємо

$$t = -\tau \cdot \ln 0.7 = -R1 \cdot C1 \cdot \ln 0.7. \quad (5.6)$$

Обираємо значення опору R1 1 кОм, значення  $t$  повинно бути не менше 1 мс, виходячи з цього, значення ємності C1 можна вибрати користуючись виразом

$$C1 \geq \frac{-t}{R1 \cdot \ln 0.7} = 2.8 \text{ (мкФ)}. \quad (5.6)$$

Обираємо ємність к50-35 4.7 мкФ х 16 В.

## 6 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 6.1 Розробка алгоритму

Схема розробленої програми, під управлінням якої працює мікроконтролер, наведена на рисунку 6.1 і графічній частині магістерської кваліфікаційної роботи у додатку Д.

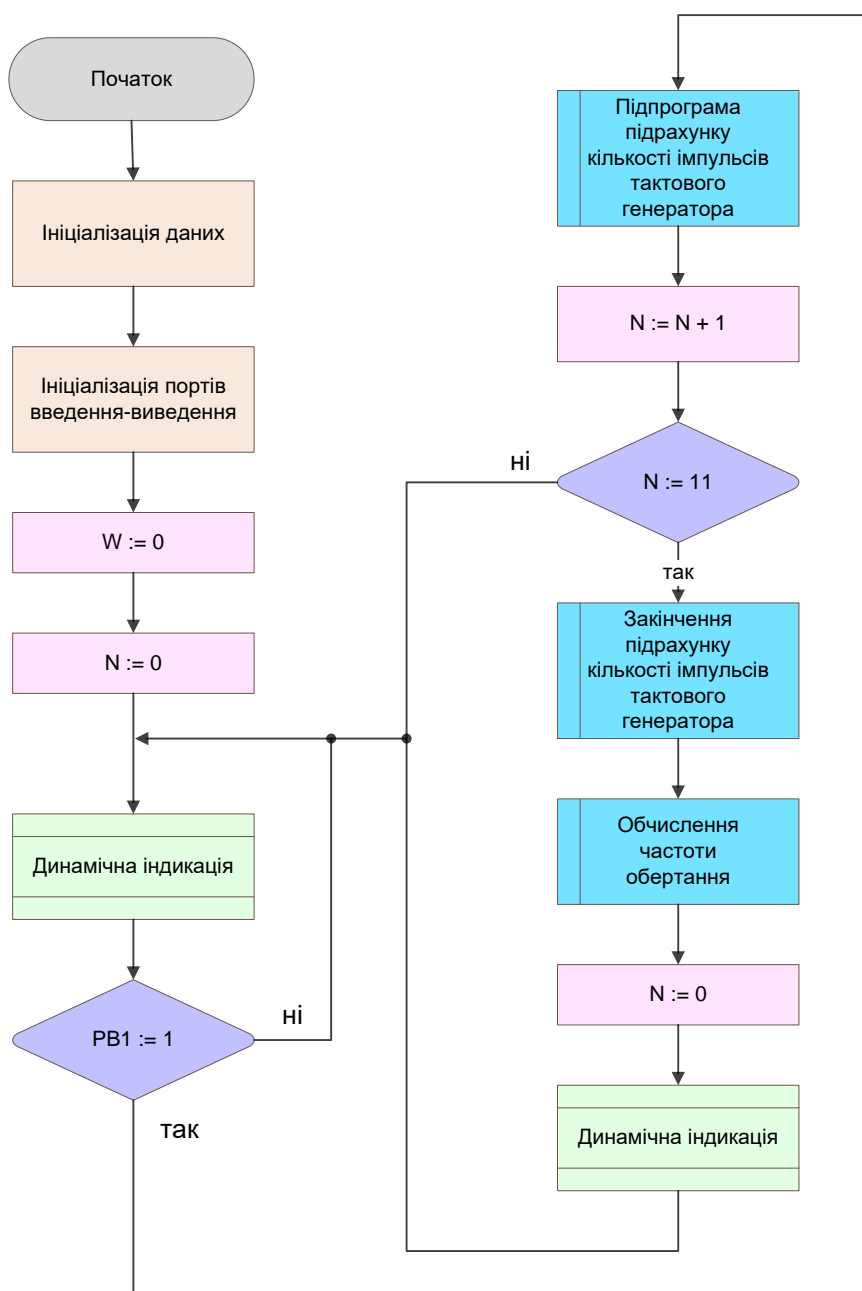


Рисунок 6.1 - Схема програми, під управлінням якої працює мікроконтролер

Спочатку відбувається ініціалізація мікроконтролера і портів уведення виведення. Значенню частоти обертання присвоюється значення 0, значенню лічильника періодів також присвоюється значення 0.

Після цього відбувається перехід до підпрограми динамічної індикації, яка забезпечує вивід значення кутової швидкості на світлодіодний індикатор.

Далі відбувається циклічне опитування першого біту порта PB, на який поступає вихідний сигнал інфрачервоного фотоприймача. Якщо вихідний сигнал фотоприймача має рівень логічної одиниці, лічильник періодів інкрементується.

Процес продовжується циклічно до тих пір, поки число записане у лічильник періодів не буде дорівнювати 11.

Після цього закінчується підрахунок імпульсів тактового генератора мікроконтролера і обчислюється значення частоти обертання.

Розраховане значення частоти обертання за допомогою підпрограми динамічної індикації виводиться на світлодіодний індикатор, лічильник періодів обнулюється і процес вимірювання починається спочатку.

Алгоритм роботи наведено у додатку Д.

## 6.2 Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення мікроконтролера написано на мові програмування IAR C for AVR. Для програмування мікроконтролера використовується спеціалізований програматор або налагоджувальний набір ATSTK500. Програма працює у відповідності зі схемою, яка наведена у попередньому підпункті. Лістинг цієї програми наведений у додатку К.

Ядром програмного забезпечення є основна програма, програмна підтримка процесів накопичення і представлення результатів вимірювання.

У програму входить підпрограма підрахунку періодів, підпрограма динамічної індикації, підпрограма підрахунку імпульсів тактового генератора. Окрім того програмне забезпечення здійснює підрахунок

вихідних імпульсів первинного тахометричного перетворювача за допомогою лічильника-таймера, розрахунок частоти обертання.

Побудова і функції програмного забезпечення пристрою визначаються високим рівнем проблемної орієнтації, яка характерна для пристроїв контролю з мікропроцесорним управлінням і архітектурою побудови пристрою.

Лістинг програми мікроконтролера наведено у додатку К.

## **7 КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТОПОЛОГІЇ, НАДІЙНОСТІ ПРИБОРУ ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ**

### **7.1 Опис конструкції вимірювача**

У основу розробки сучасної РЕА покладений модульний принцип конструювання, що ґрунтується на функціонально-вузловому методі проектування.

У дипломному проекті розробляється конструкція першого рівня.

Технологічною слід вважати конструкцію, що задовольняє із заданою надійністю технологічним і експлуатаційним вимогам при вибраному типі виробництва, виготовляється із застосуванням прогресивних технологічних процесів, забезпечує найменші витрати на пошук несправностей і ремонт при обслуговуванні.

Технологічність конструкції можна оцінювати кількісно і якісно. Якісна оцінка в процесі проектування передуює кількісною.

При аналізі конструкції розглядаємо вимоги до технологічності складальних одиниць і деталей.

Технологічність деталі оцінюється наступними вимогами:

- конструкція деталі повинна складатися із стандартних конструктивних елементів;
- збиратися із стандартних або уніфікованих заготовок;
- розміри і поверхня деталі повинні мати оптимальну міцність і шорсткість;
- конструкція деталі повинна забезпечити можливість вживання типових і стандартних технологічних процесів виготовлення;
- деталь повинна прагнути до простої форми.

Вимірювач на мікроконтролері виконано за електричною принциповою схемою, має функціональну завершеність



Компоновка виконана із стандартних комплектуючих промислового виготовлення, встановлених на підставі плати друкарської.

Проаналізувавши технічне завдання і враховуючи умови експлуатації виробу нормальні, а значення впливаючих чинників, що так само допускаються, по 4 групам жорсткості відповідно до ГОСТ 23752-79 «Друковані плати - плата повинна відповідати ГОСТ 23752-79 група жорсткості 1.

Забезпечити простоту збірки і зменшити масогабарити конструкції, використовувати можливість автоматизації і механізації у виробництві при збірці і монтажі, нам допоможе вибір друкарського монтажу.

При монтажі на друковану плату електричні з'єднання елементів електричного модуля виконані за допомогою доріжок. Такий монтаж є груповим монтажем, що дозволяє отримати всі з'єднання (електричні) за один технологічний цикл, забезпечуючи технологічність конструкції. Тому вибираємо основним елементом конструкції деталь: плата друкована.

Використання друкованої плати дозволяє отримати значне підвищення щільності міжз'єднань і можливість мініатюризації конструкції. Друкована плата гарантує стабільну повторюваність електричних параметрів від зразка до зразка, відсутність монтажних помилок, високу ідентичність електричних і конструктивних параметрів, підвищує надійність і якість апаратури, зменшує трудомісткість і собівартість виробу, підвищує продуктивність праці за рахунок використання механізованого і авторизованого устаткування при її виготовленні по типових технологічних процесах. Таким чином, технологічність конструкції забезпечується.

Використовуючи державні і галузеві стандарти ГОСТ 29137-91 «Формування виводів і установка виробів електронної техніки на друковані плати. Загальні вимоги і норми конструювання», виконуємо компоновку одним з вибраних методом. Виконувану електричне з'єднання провідниками-доріжками, умовно змальовує і у вигляді ліній. Трасування з'єднань на друкованій платі виконуємо відповідно до вимог ГОСТ 2.417-91 «Плати

друкованій. Правила оформлення креслень». Вибираємо габаритні розміри і конфігурацію плати друкованої, враховуючи вимоги ГОСТ 10317-79 «Плати друковані. Основні розміри».

В результаті компоновки отримана друкована плата простої прямокутної форми, мінімальними для нашої схеми габаритними розмірами (120 x 60), розміри сторін кратні 2:1.

Вибираємо товщину плати з врахуванням навантаження по ГОСТ 23751- 86, вона рівна 1,5 мм. Вибираємо матеріал для друкованої плати по ГОСТ 10316-78 «Гетинакс і склотекстоліт фольговані. ТУ».

При підвищеній вологості і теплових діях доцільно використовувати не дорого, але таку, що володіє хорошими експлуатаційними характеристиками, - склотекстоліт фольгований СФ-1(2)-35-1,5.

Ці матеріали стандартизовані, мають промисловий випуск і гарантію якості, вони недефіцитні, недорогі, мають задовільну оброблюваність. Їх вживання підвищують технологічність конструкції.

По конструктивних особливостях друкарські плати з жорсткою підставою діляться на такі типи: односторонні (ОДП – односторонні друковані плати), двосторонні (ДДП) і багатошарові (БДП). Виконуючи компоновку, необхідно прагнути розмістити провідники так, щоб отримати ОДП.

При розробці виробу застосовується одностороння друкарська плата. Односторонні друковані плати мають низьку вартість, високу надійність, компоненти встановлюються на стороні плати, вільної від монтажу і корпусу та не вимагають додаткової ізоляції від плати (зазору або деталі - прокладки), точність виконання рисунка висока, не потрібна металізація отворів, і є модливість використовувати хімічний метод виготовлення друкованої плати.

По точності виконання елементів провідного рисунку друковані плати діляться на 5 класів ГОСТ 23751-86 «Плати друковані. Основні параметри конструкції». Вибираємо клас точності 3, що є характерним для друкованих плат з мікросхемами. Плата середньої насиченості. Є вузькі місця.

Друкарські плати 3-го класу точності порівняно прості у виготовленні, надійні в експлуатації, мають невисоку вартість.

В разі використання спроектованого виробу в умовах підвищеної вологості, для захисту зовнішніх паяльних з'єднань від корозії застосовуємо лак ЗП-730 В2.4, безбарвний, ГОСТ20824-81. Це покриття володіє високою стійкістю до атмосферних дій. Габаритний розмір друкованої плати 120x60x1,5 мм.

## 7.2 Розрахунок надійності пристрою

Надійність - властивість об'єкту, яка полягає в його здатності виконувати визначені задачі в умовах експлуатації. В залежності від призначення об'єкту та умов його експлуатації. Поняття надійність може включати в себе: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність або сполучення цих властивостей об'єкту

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot \alpha_i \cdot K_i, \quad (7.1)$$

де  $\lambda_0$  – базова інтенсивність відмов;

$\alpha_i$  – коефіцієнт, що враховує температурні характеристики і коефіцієнти навантаження;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує умови експлуатації

$$K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (7.2)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, що враховує дію механічного навантаження,  $K_1 = 1,46$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує дію вологості,  $K_2 = 1$ ;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує атмосферний тиск,  $K_3 = 1$ .

Отже,  $K_i = 1,46$ .

Показники  $\lambda_0$  і  $\alpha_i$  для кожного елемента обираємо з таблиць і зведемо їх в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Перелік елементів та інтенсивність їх відмови

Назва елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$	$\alpha_i$
Конденсатор	10	0,1	1,15
Резистор	3	0,1	1,15
Мікросхеми	5	0,6	1,27
Єкран	1	2	1,6
Кварц	1	0,01	0,04
Плата	1	0,5	1

Сумарне значення інтенсивності відмов буде дорівнювати

$$\lambda_{\Sigma} = (\lambda_{0ZQ} \cdot \alpha_{ZQ} + 1\lambda_{0ПЛ} \cdot \alpha_{ПЛ} + 5\lambda_{0МК} \cdot \alpha_{МК} + 3\lambda_{0R} \cdot \alpha_R + 10 \cdot \lambda_{0КОНД} \cdot \alpha_{КОНД} + 1\lambda_{0LCD} \cdot \alpha_{LCD}) \cdot K_i = 7,0 \cdot 10^{-8} \text{ (год}^{-1}\text{)} .$$

Напрацювання на відмову можна знайти наступним чином

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma i}} = \frac{1}{7 \cdot 10^{-8}} = 595 \text{ 238 дн} .$$

### 7.3 Розрахунок друкованої плати

Вихідні дані:

- максимальні значення діаметрів виводів навісних елементів, що встановлюються на друкарську плату, мм

$$d_{e1} = 0,8;$$

$$d_{e2} = 1,1.$$

- клас точності друкарської плати – 3;
- тип друкарської плати – однобічна з металізованими монтажними отворами;
- креслення «Плата друкарська» з розмірами сторін 120x60мм;

Таблиця 7.2 - Розміри елементів доріжок для різних класів щільності

Параметри елементів друкарського монтажу	Розміри елементів доріжок для класів щільності		
	1	2	3
Ширина провідників, t	0.75	0.45	0.25
Відстань між провідниками, l	0.75	0.45	0.25
Контактний поясок, b	0.3	0.2	0.3

Визначаємо номінальне значення діаметрів монтажних отворів

$$d = d_c + r + \Delta d_{\text{нв}}, \quad (7.3)$$

де:  $d_c$  – максимальне значення діаметру виведення навісного елемента, мм;

$r$  – різниця між мінімальним значенням діаметру отвору і максимальним значенням діаметру виведення встановлюваного елемента,  $r = (0,1 \dots 0,4)$  мм;

$\Delta d_{\text{нв}}$  – нижнє граничне відхилення діаметру отвору,  $\Delta d_{\text{нв}} = 0,1$  мм.

$$d_1 = 0,8 + 0,3 + 0,1 = 1,2 \text{ мм};$$

$$d_2 = 1,1 + 0,3 + 0,1 = 1,5 \text{ мм}.$$

Вибираємо діаметри з ряду широкорозповсюджених розмірів монтажних отворів



$$d_1 = 1,1\text{мм};$$

$$d_2 = 1,5\text{мм}.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 5.3.

Кількість однотипних діаметрів отворів підраховуємо по кресленню «Плата друкована».

Таблиця 7.3 - Параметри отворів

Умовне позначення отворів	Діаметр отвору, мм	Ном. діаметр, мм	Наявність металізації отворів	Кількість отворів	Мін. діаметр контак. пл., мм
	1,2	2,25	Немає	62	1,8
	1,5	2,35	Немає	3	2,1

Визначаємо номінальне значення ширини провідника

$$t = 2 t_{\text{мд}} + |\Delta t_{\text{нв}}| \quad (7.4)$$

де:  $t_{\text{мд}}$  – мінімально допустима ширина провідника,  $t_{\text{мд}} = 0,25\text{мм}$ ;  $\Delta t_{\text{нв}}$  – нижнє граничне відхилення ширини провідника  $\Delta t_{\text{нв}} = \pm 0,05\text{мм}$ ,

$$t = 2 \cdot 0,25 + 0,05 = 0,55\text{мм}.$$

Ширина провідника склала:  $t = 0,55\text{мм}$ ,

Визначаємо номінальне значення відстані між сусідніми елементами на рисунку провідників

$$S = 2S_{\text{мд}} + |\Delta t_{\text{вв}}|, \quad (7.5)$$

де  $S_{\text{мд}}$  – мінімальна допустима відстань між сусідніми елементами рисунка провідників,  $S_{\text{мд}} = 0,25\text{мм}$ ;  $\Delta t_{\text{вв}}$  – верхнє граничне відхилення ширини провідника

$$S = 2 \cdot 0,25 + 0,05 = 0,55.$$

Визначаємо номінальний діаметр контактного майданчика

$$D = (d + \Delta d_{\text{во}}) + 2b + \Delta t_{\text{во}} + 2\Delta d_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_p^2 + \Delta t_{\text{не}}}, \quad (7.6)$$

де:  $\Delta d_{\text{во}}$  – верхнє граничне відхилення діаметру отвору;  $b$  – гарантійний поясочок,  $b = 0,1$  мм;  $\Delta d_{\text{тр}}$  – величина підтравлення діелектрика (0 для ДДП);  $T_d$  – діаметральна величина позиційного допуску розташування центрів отворів відносно номінального положення вузла координатної сітки;  $T_p$  – величина діаметрального значення позиційного допуску розташування контактних площадок відносно номінального положення,  $T_p = 0,15$  мм

$$D_1 = (1,2 + 0,1) + 2 \cdot 0,1 + 0,05 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,08^2 + 0,05^2} = 1,73 \text{мм};$$

$$D_2 = (1,5 + 0,1) + 2 \cdot 0,1 + 0,05 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,08^2 + 0,05^2} = 2,05 \text{мм}.$$

Враховуючи данні

$$D_{1\text{табл}} = 2,25 \text{мм};$$

$$D_{2\text{табл}} = 2,35 \text{мм}.$$

Можна зробити висновок, що розрахунок доріжок і контактних площадок проведений правильно, так як виконуються нижчезазначені нерівності

$$D_{1\text{розрах}} < D_{1\text{табл}} ;$$

$$D_{2\text{розрах}} < D_{2\text{табл}} .$$

Відповідно до обрахунків та вибору елементів реалізовано плату друковану, що представлена на рис. 7.4.

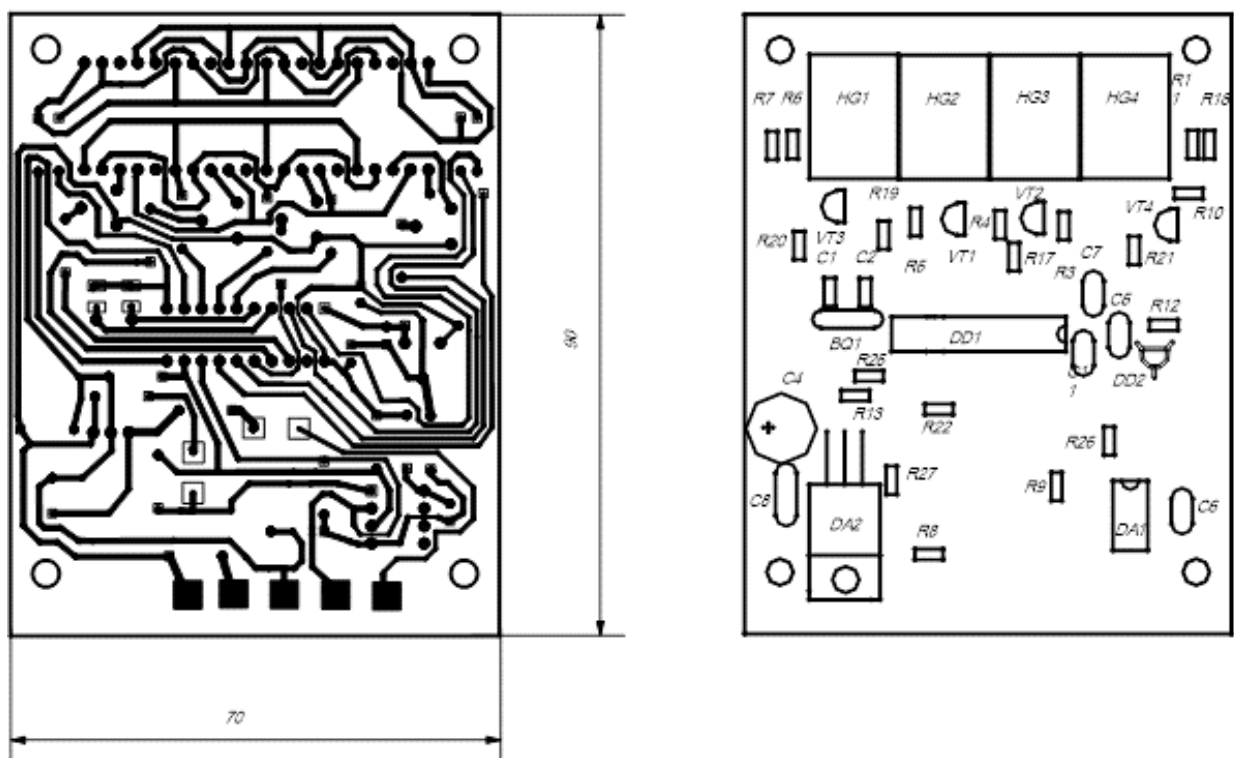


Рисунок 7.4 – Плата друкована

Також відповідно до розмірів плати було розроблено корпус, що представлено на рисунку 7.5



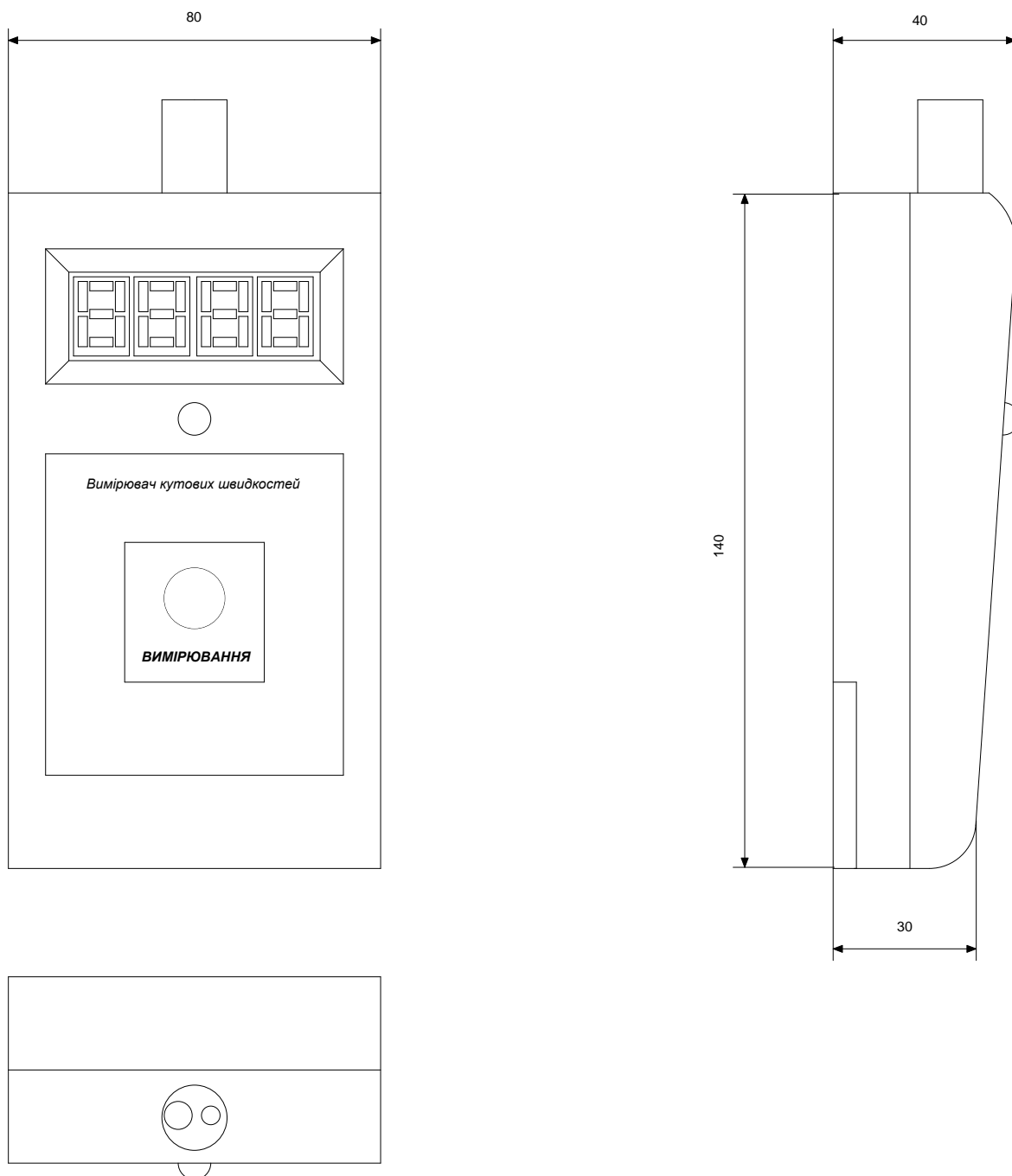


Рисунок 7.5 – Зовнішній вигляд пристрою

#### 7.4 Метод визначення похибки вимірювання

При обертанні вала на виході фотоприймача формується імпульс при кожному оберті вала. Вимірявши час між фронтами вихідних імпульсів фотоприймача можна розрахувати частоту обертання. Вимірювання

здійснюється шляхом підрахунку імпульсів зразкової частоти в період між двома сусідніми імпульсами. Роль зразкової частоти виконує тактовий генератор мікроконтролера.

Якщо відома частота імпульсів зразкової частоти  $f_0$  і відповідно їхній період  $T_0$ , то часовий проміжок  $T_x$  розраховується за допомогою формули

$$T_x = (N-1)T_0, \quad (7.7)$$

де  $N$  – підраховане за час  $T_x$  число імпульсів.

Відповідно частота обертання розраховується по формулі

$$n(\text{об/мин}) = \frac{60}{T_x} = \frac{60 \cdot f_0}{N-1} \quad (7.8)$$

Розбіжність фронтів приводить до похибки вимірювання, що обумовлена погрішністю квантування часового інтервалу. У гіршому випадку, максимальна теоретично можлива похибка, обумовлена цим фактором, складає два періоди імпульсів зразкової частоти (один період спочатку й один період наприкінці вимірюваного часового інтервалу). Варто помітити, що існують ще складові похибки вимірювання кутової швидкості, а саме:

- складова похибки, обумовлена випадковими перешкодами;
- динамічна похибка, обумовлена відмінним від нуля кутовим прискоренням;
- складова похибки, обумовлена нестабільністю частоти опорного генератора і її відхиленням від номінального значення;
- процесорні похибки.

Однак слід зазначити, як вказується в численних літературних джерелах, що домінує саме складова похибки, обумовлена квантуванням

тимчасового інтервалу. Тому, при проектуванні даного приладу, іншими складовими погрішності можна зневажити.

Таким чином, результат вимірювання в гіршому випадку може бути розрахований по формулі

$$n_1(\text{об/мин}) = \frac{60}{T_x} = \frac{60 \cdot f_0}{N-3} \quad (7.3)$$

Максимально теоретично можлива похибка вимірювання частоти обертання

$$\Delta_{\text{MAX}} = n - n_1 = 60 \cdot f_0 \left( \frac{1}{N-1} - \frac{1}{N-3} \right) \quad (7.4)$$

Відповідно до ДСТУ, терміну «частота обертання» не існує, варто використовувати термін «кутова швидкість», що вимірюється в рад/с. Але при практичному застосуванні приладу це дуже незручно, тому доцільно показання виводити в одиницях загальноприйнятого внесистемного поняття «частота обертання» – об/хв.

У таблиці наведені розраховані значення максимальної абсолютної і відносної похибки а також необхідної розрядності лічильника для підрахунку імпульсів зразкової частоти в залежності від різних значень кутової швидкості і частоти генератора.

Як впливає з аналізу таблиці, оптимальним варіантом є використання кварцового резонатора з частотою 3.6864 МГц. У цьому випадку, діапазон вимірюваних частот обертання складе 15 – 9999 про/хв, і при вимірюванні максимальної частоти обертання (коли похибка вимірювання найбільша), вона не перевищить одиниці молодшого розряду.

Таблиця 7.1 – Похибка вимірювання частоти обертання

Частота кварцового резонатора	Частота обертання, про/хв				Характеристики
	5	15	1000	9999	
32768 Гц	0.00002	0.0002	1.01	104.48	$\Delta_{MAX}$ , об/хв
	0.0005	0.0015	0.1	1.04	$\Delta_{MAX}$ , %
	19	18	11	8	Розрядність лічильника
3.6864 МГц	$0.2 \cdot 10^{-6}$	$0.2 \cdot 10^{-5}$	0.009	0.9	$\Delta_{MAX}$ , об/хв
	$0.4 \cdot 10^{-5}$	0.00001	0.0009	0.009	$\Delta_{MAX}$ , %
	26	24	18	15	Розрядність лічильника
8 МГц	$0.1 \cdot 10^{-6}$	$0.9 \cdot 10^{-6}$	0.004	0.41	$\Delta_{MAX}$ , об/хв
	$0.2 \cdot 10^{-5}$	$0.6 \cdot 10^{-5}$	0.0004	0.004	$\Delta_{MAX}$ , %
	27	25	19	16	Розрядність лічильника

Слід зазначити, що використання кварцового резонатору з частотою 8 МГц у нашому випадку неможливе, тому як використаний мікроконтролер AT90S2313 не має лічильника з розрядністю, необхідною для забезпечення вимірювання низької частоти обертання.

У розробленому приладі визначення частоти обертання відбувається шляхом усереднення десяти результатів вимірювання, тому фактична похибка вимірювання буде нижче розрахованої.

## 7.5 Висновки до сьомого розділу

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено конструктивний розрахунок топології та надійності пристрою. Напрацювання на відмову повністю задовольняє технічним вимогам так як більш ніж в 100 разів перевищує гарантійний термін роботи, який складає 3 роки. Проведений розрахунок елементів друкованої плати показав, що і діаметри отворів які потрібні для кріплення і безпосередньо доріжки на самій платі повністю задовольняють технічним вимогам, а обраний тип фольгованого текстоліту є одним з найрозповсюджених, легко обробляється і забезпечує потрібну роботоздатність. Плата друкована пристрою наведена в додатку Ж. Складальне креслення пристрою представлено в додатку К.

## **8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

У суспільстві із соціально орієнтованою економікою охорона праці має бути одним з найважливіших завдань соціально-економічної політики як держави, так і кожного підприємства й організації. У центрі уваги охорони праці знаходиться людина як об'єкт, на який впливають небезпечні та шкідливі виробничі фактори, такі як суб'єкт, що повинен розробляти й впроваджувати методи та засоби захисту від цих факторів. Інтеграція України до Європейської спільноти передбачає насамперед, зростання уваги до таких питань як безпека людини в різних сферах діяльності.

Під час розробки та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей на працівника, згідно ГОСТ 12.0.003-74, могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

### 1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена чи понижена вологість повітря;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищена чи понижена іонізація повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена яскравість світла; понижена контрастність;
- пряма і відбита блискість.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

## 8.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

### 8.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Роботодавець повинен забезпечити відповідність їхніх робочих місць комфортним та безпечним умовам. Розмір одного робочого місця має становити не менше 6 квадратних метрів. При необхідності, суміжні робочі місця співробітників, що працюють з комп'ютером, слід розділити перегородками висотою до 2 метрів. При визначенні достатнього розміру приміщення і робочого місця на одну особу необхідно додатково враховувати шафи, сейфи, тумби або інші предмети меблів чи обладнання, які знаходяться в кімнаті.

На рис. 8.1 зображена схема приміщення, де відбувалася розробка та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей.

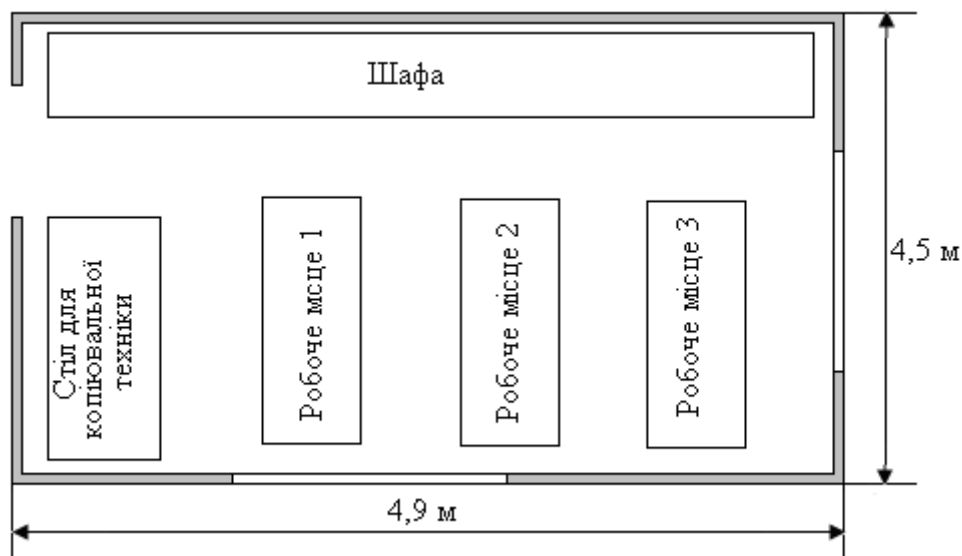


Рис. 8.1. Схема досліджуваного приміщення

Площа даного приміщення становить  $22,05 \text{ м}^2$ , об'єм –  $70,56 \text{ м}^3$ . в приміщенні працює 3 працівника, тому площа на одну особу становить  $7,35 \text{ м}^2$ , а об'єм –  $23,52 \text{ м}^3$ , що відповідає встановленим вимогам.

На столі працівника можливо розмістити допоміжні для роботи пристрої (принтери, колонки, сканери), а також місця для зберігання документів, за

умови, що це не обмежуватиме видимість екрану і не заважатиме працівнику. У разі надмірного шуму чи вібрації технічного обладнання, роботодавець повинен забезпечити працівників антивібраційними килимками.

Робочий стілець співробітника має бути підйомно-поворотним, легко регульованим за висотою та забезпечувати належну підтримку та зручне положення спини і хребта особи. Щодня необхідно проводити вологе прибирання приміщення, та очищати робоче місце та безпосередньо монітор комп'ютера від запиленості.

На підприємстві забороняється: проводити ремонт та технічне обслуговування комп'ютера за робочим місцем працівника; самочинно ремонтувати або намагатись здійснити технічне налагодження комп'ютера без залучення компетентних спеціалістів; складувати на робочому місці зайві документи, деталі та предмети, що не потрібні для роботи; використовувати монітори з нечітким зображенням та монітори, у яких наявні поламки екрану; працювати з матричним принтером без антивібраційного покриття та зі знятою кришкою.

Допускати до роботи осіб, які не пройшли затвердження на підприємстві курс охорони праці для роботи з комп'ютером, не дозволяється.

Створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць на виробництві має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення його привабливості та позитивного впливу на продуктивність праці.

Оптимальна робоча поза:

– ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг (застосування підставки є обов'язковим для тих, у кого ноги не дістають до підлоги, коли робоче сидіння знаходиться на висоті, потрібній для забезпечення оптимальної робочої пози);

– стегна – в горизонтальній площині;

– передпліччя – вертикально;

– лікті – під кутом 70-90<sup>0</sup> до вертикальної площини;



– зап'ястя зігнуті під кутом не більше  $20^{\circ}$  відносно горизонтальної площини;

– нахил голови –  $15-20^{\circ}$  відносно вертикальної площини.

При прийнятті на роботу кожна особа має пройти лікарський огляд. Окрім того, при подальшій трудовій діяльності в компанії, така особа підлягає регулярному лікарському огляду не рідше ніж раз на 2 роки. Обов'язковим є проходження таких лікарів як терапевта, невропатолога та офтальмолога.

В компанії мають бути чітко встановлені перерви для відпочинку працівників (окрім обідньої), як правило, тривалістю 10-15 хвилин раз на годину або дві, в залежності від складності роботи. В будь-якому випадку, роботодавець повинен передбачити такий розпорядок роботи на підприємстві, щоб час неперервної роботи з комп'ютером був не більше ніж 4 години.

Додатково, для збереження належного рівня здоров'я та професійної придатності робітників, рекомендується виділити на підприємстві окреме побутове приміщення для перепочинку працівників і зняття ними нервово-емоційного напруження, що виникає при роботі з комп'ютером

#### 8.1.2. Електробезпека приміщення

Електробезпека приміщення забезпечується відповідно до ПУЕ. Основними причини поразки працівника в процесі розробки та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей можуть бути:

1. Дотик до металевих неструмоведучих частин (корпусу, периферії комп'ютера), які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

2. Нерегламентоване використання електричних приладів.

3. Відсутність інструктажу співробітників за правилами електробезпеки.

Для уникнення можливих аварій та замикань, поряд з приміщеннями, де здійснюється робота з комп'ютером (над чи під ними), також не дозволяється

проведення робіт, що потребують здійснення надмірно вологих технологічних процесів.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Електробезпека в приміщенні забезпечується технічними способами і засобами захисту, а також організаційними і технічними заходами. Так як всі струмоведучі частини ПК ізолювані, то випадковий дотик до струмоведучих частин виключено.

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, використовується захисне заземлення.

Основним організаційним заходом електробезпеки є інструктаж і навчання безпечним методам праці, а так само перевірка знань правил

безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади стосовно до виконуваної роботи.

## 8.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 8.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – це сукупність параметрів повітря у виробничому приміщенні, які діють на людину у процесі праці, на його робо-чому місці, у робосій зоні. Значні коливання параметрів мікроклімату можуть привести до порушення терморегуляції організму (здатність організму утримувати постійну температуру), що приводить до порушення системи кровообіг, загальної слабкості тощо.

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час розробки та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей – 1а (табл..8.1).

Таблиця 8.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

Для підтримання у виробничих приміщеннях необхідних параметрів мікроклімату використовують загальну систему опалення та систему вентиляції. На кожну вентиляційну установку складений паспорт з технічною характеристикою та схемою установки.

### 8.2.2. Склад повітря робочої зони

Навколишнє повітряне середовище є найважливішим фактором існування людини і має визначені фізичні і хімічні властивості. Фізичні властивості можуть бути представлені параметрами мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря, барометричний тиск), іонним складом, електромагнітними і акустичними полями тощо. Іншим найважливішим показником якості повітряного середовища є його хімічний склад, обумовлений природним складом повітря і різними забрудненнями. У виробництві природні (фонові) параметри повітря додатково забруднюються викидами різних технологічних процесів (в основному при спалюванні палива, термічній і механічній обробці матеріалів, хімічних процесах).

ГДК шкідливих речовин, згідно ДСН 3.3.6.042-99, які можуть знаходитися знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	0,085	0,085	2
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Під час роботи на ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл. 8.3).

Таблиця 8.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup>	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

### 8.2.3 Виробниче освітлення

Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати таким вимогам:

- створення на робочій поверхні освітленості, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- відсутність засліплюючої дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що є в полі зору;
- забезпечення достатньої рівномірності та постійності рівня освітленості у виробничих приміщеннях з метою уникнення частої переадаптації органів зору;
- відсутність на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);
- достатній для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються;
- надійність і простота освітлення в експлуатації, економічність та естетичність.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – дуже високої

точності згідно з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення») зазначені у таблиці 8.4:

Таблиця 8.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, $e_n$ , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для максимального використання природного освітлення в приміщенні слід систематично очищувати вікна від пилу та встановити жалюзі. Віконні прорізи не затемнюються іншими будівлями.

Як джерела світла для штучного освітлення в приміщенні застосовуються люмінесцентні лампи. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення

#### 8.2.4 Виробничий шум

Шум є загальнобіологічним подразником і чинить дію не лише безпосередньо на слуховий аналізатор, але також і на центральну нервову систему, що спричиняє порушення функцій різних систем організму. Зміни в організмі людини, що виникають унаслідок дії шуму на нього, можуть бути умовно поділені на специфічні, що виникають в органах слуху, і неспецифічні, які виникають в інших органах і системах організму.

Основним джерелом шуму в приміщенні, де проводиться розробки та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей є працююча офісна техніка. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та

еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 (табл.8.5).

Таблиця 8.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі та стін;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори;
- дотримання раціонального режиму праці та відпочинку.

#### 8.2.5. Виробничі випромінювання

Джерелами змінних електричних і магнітних полів у ПК є вузли, у яких присутня висока змінна напруга, і вузли, що працюють з великими струмами. Рівні напруженості електромагнітних полів за електричними складовими та густиною магнітних потоків (індукції) у цих піддіапазонах регламентуються чинним в Україні нормативним актом ДСанПіН 3.3.2.007-98 та загальноєвропейським стандартом MPR II, відомим під назвою «шведський стандарт». Ці ж діапазони розглядаються в універсальному рекомендаційному стандарті ТСО'99. У випадку неправильної організації електроживлення робочого місця джерелами електричних і магнітних полів можуть бути не тільки дисплей ПК, імпульсне джерело живлення системного блоку ПК і мережні кабелі електроживлення, але і периферійні пристрої ПК (клавіатура, принтер, модем і т.п.).

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих за ДСанПіН 3.3.2.007-98 (табл.8.6).

Таблиця 8.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів комп'ютерних випромінювань необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту очей та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат. Для зменшення впливу ЕМП на працівника необхідно дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку, встановленого нормативними вимогами.

#### 8.2.6 Психофізіологічні фактори

Оцінка психофізіологічних факторів під час розробки та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій



позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни;

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;.

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6год.

Навантаження на голосовий апарат ( протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

Тривалість робочого дня – більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

### 8.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей розуміють здатність пристрою виконувати задані функції в умовах надзвичайних ситуацій, а також пристосованість цього пристрою до відновлення в умовах його ушкодження.

На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи пристрою і оцінки стійкості елементів проти уражаючих факторів стихійних лих і виробничих аварій, необхідно завчасно організувати і провести організаційні, інженерно-технічні й технологічні заходи для підвищення стійкості роботи. Тож, в даній частині розділу необхідно виконати дослідження стійкості роботи та розробку заходів по підвищенню стійкості роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

В РЕА застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали (в основному діелектрики), провідники і різноманітні органічні сполуки (смоли). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

В радіоелектронній апаратурі іонізуючі випромінювання, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінювань створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою.

При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи систем радіоелектроніки і електроавтоматики. В

результаті опромінення у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробою та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів.

В органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат. Неорганічні матеріали не так чутливі до впливу іонізуючих випромінювань.

Вплив ЕМІ являє велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Тому слід пам'ятати також, про такий захист апаратури від ЕМІ, який би забезпечив стійку роботу цифрового вимірювача кутових швидкостей.

### 8.3.1 Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $D_{грi}$ , для елементної бази цифрового вимірювача кутових швидкостей, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 8.7.

Таблиця 8.7 – Граничні значення експозиційних доз цифрового вимірювача кутових швидкостей

Блоки схеми	Елементи вимірювача	$D_{грi}$ , Р	$D_{гр}$ , Р
Блок частотного аналізу	Мікросхема LM317	$10^5$	$10^4$
	Діод 1N4004	$10^4$	
	Резистор С2-23	$10^7$	
Блок формування сигналу	Діоди кремнієві	$10^4$	
	Резистор С2-33	$10^7$	
	Транзистор 2SA1271	$10^4$	
Блок обробки	Резистор С2-29В	$10^8$	
	Транзистор 2SA1271	$10^4$	

Проаналізувавши дані таблиці 8.7, визначили, що самим уразливим елементом вимірювача з мінімальною дозою  $D_{\text{грі}} = 10^4 \text{P}$  є такі як транзистори та різні діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_{\text{к}}} - \sqrt{t_{\text{п}}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (8.1)$$

де  $P_1$  – максимальне значення рівня радіації ( $P_1 = 5,48 \text{P/год}$ );

$t_{\text{к}}$  – час кінця опромінення ( $t_{\text{к}} = 43800 \text{ год}$ );

$t_{\text{п}}$  – час початку опромінення ( $t_{\text{п}} = 4 \text{ год}$ ).

$K_{\text{осл}}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{\text{осл}} = 1$ ).

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot 5,45 (\sqrt{43800} - \sqrt{4})}{1} = 2259,4 \text{ (P)}.$$

Оскільки  $D_{\text{грі}} > D_{\text{м}}$ , то даний пристрій стійкий до дії радіації.

Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою

$$t_{\text{д}} = \frac{D_{\text{зр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (8.6)$$

$$t_{\text{д}} = \frac{10^4 \cdot 4 + 2 \cdot 5,45 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,45} = 3670,72 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази  $D_{\text{м}} = 2259,4 \text{P}$ , а допустима -  $10^4 \text{P}$ . Отже, розроблений пристрій є стійким в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей в заданих умовах становить 3670,72 год., при рівні радіації 5,45 P/год.

### 8.3.2 Дослідження стійкості роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля

$$E_r = 11,12 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 11,12 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки.

$$U_r = 11,12 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 5560 \text{ (В)}.$$

$$U_b = 11,12 \cdot 0,78 = 8,67 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (8.7)$$

де N – відсоток допуску.

$$U_d = 3 + \frac{3}{100} \cdot 5 = 3,15 \text{ (В)},$$

$$U_d = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,25 \text{ (В)},$$

$$U_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки

$$K_b = 20 \cdot \lg \frac{U_d}{U_{в(г)}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (8.8)$$

де  $U_d$  - допустиме коливання напруги живлення, В;

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

Горизонтальної

$$K_{a1} = 20 \cdot \lg \frac{3,15}{4600} = -63,2 \text{ (дБ)},$$

$$K_{b_{г2}} = 20 \cdot \lg \frac{5,25}{4600} = -58,85 \text{ (дБ)},$$

$$Кб_{г3} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4600} = -51,25 \text{ (дБ)}.$$

Вертикальної:

$$Кб_{в1} = 20 \cdot \lg \frac{3,15}{4,6} = -3,2 \text{ (дБ)},$$

$$Кб_{в2} = 20 \cdot \lg \frac{5,25}{4,6} = 1,15 \text{ (дБ)},$$

$$Кб_{в3} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4,6} = 8,75 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 8.8.

Таблиця 8.8 – Значення коефіцієнтів безпеки блоків цифрового вимірювача кутових швидкостей

№	Найменування	Кб <sub>г</sub> , дБ	Кб <sub>в</sub> , дБ	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-63,2	-3,2	Нестійкий
2	Блок керування, 5 В	-58,85	1,15	Нестійкий
3	Блок зберігання, 3 В	-51,25	8,75	Нестійкий

Границя стійкості цифрового вимірювача кутових швидкостей керування  $Кб_{\min} = -63,2$  дБ, а  $Кб_{\max} = 8,75$ . Отже, вимірювач частотної характеристики є нестійким в умовах дії електромагнітного імпульсу.

8.4 Розробка заходів по забезпеченню високої стійкості роботи цифрового вимірювача кутових швидкостей в умовах надзвичайних ситуацій

При радіоактивному зараженні пристроїв використовують протирадіаційний захист:

- плівки;
- зміна приміщень;

- протирадіаційне екранування - полягає в тому, що між джерелом небезпеки і людиною встановлюється перешкода, яка гарантує захист від небезпеки. Застосовуються, як правило, різноманітні за конструкцією суцільні екрани.

Для підвищення стійкості роботи пристрою необхідно використовувати екранування РЕА.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі

$$A = 40 - Kb_{\text{мін}}, \quad (8.8)$$

Для БЖ:

$$A_1 = 40 + 63,2 = 103,2 \text{ (дБ)};$$

Для БК:

$$A_2 = 40 + 58,85 = 98,85 \text{ (дБ)};$$

Для БЗ:

$$A_3 = 40 + 51,25 = 91,25 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів виготовлених з алюмінію

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (8.9)$$

де  $f$  - найбільш характерна частота, ( $f = 15$  кГц).

Для БЖ

$$t_1 = \frac{103,2}{1,03 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)};$$

Для БК

$$t_2 = \frac{98,85}{1,03 \cdot \sqrt{15000}} = 0,11 \text{ (см)};$$

Для БЗ

$$t_3 = \frac{91,25}{1,03 \cdot \sqrt{15000}} = 0,098 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення з використанням мідного екрану товщиною 1,2 мм, і 1,1 мм та 0,098 мм відповідно для блоків

керування та зберігання інформації, вимірювач частотної характеристики буде стійким в умовах дії електромагнітного імпульсу.

До загальних інженерно-технічних заходів по захисту цифрового вимірювача можна віднести: розміщення пристрою в заглиблених приміщеннях, а також використання спеціальних захисних пристосувань, закріплення пристрою, застосування контрфорсів для підвищення стійкості проти перекидання стійки обладнання.

Також в даному розділі було проведено ряд розрахунків та на основі них визначено, що стійкість роботи пристрою при заданому рівні радіації 5,45 Р/год. До дії електромагнітного імпульсу вимірювач частотної характеристики виявився нестійким. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує його стійкість в умовах дії електромагнітного випромінювання.

В результаті застосування екранів пристрій буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 11,12 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії випромінювання є зменшення струмопровідних провідників (їх довжини) шляхом вдосконалення схемоустаткування РЕА. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення.



## 9 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 9.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу результатів НДДКР. В результаті оцінювання можна зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого впровадження результатів з врахуванням встановленого рейтингу.

Рекомендується здійснювати оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 9.1. [11]

Таблиця 9.1 - Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в	Експлуатаційні витрати на рівні експлуа-	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в
Ринкові перспективи					

6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо до таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	експерт		
	1	2	3
	Бали, виставлені експертами:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	2	2
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	2	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	2	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	3	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	2	2	2
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	3	3
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	3	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	2	3
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	32	30	31
Середньоарифметична сума балів <u>СБ</u>	<b><u>31,0</u></b>		

За даними таблиці 9.2 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу дослідження. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в таблиці 9.3. [11]

Таблиця 9.3 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 31,0 бала, що, згідно таблиці 9.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки **вище середнього**).

## 9.2 Оцінювання рівня новизни розробки

Виводячи на ринок новинку виробник вважає, що тієї новизни, якою наділений новий товар є достатньо для того, щоб він був сприйнятий споживачем як новий. Але це не завжди так, в силу того, що споживач і виробник неоднозначно визначають її рівень новизни.

Саме визначення рівня і ступеня інтегральної новизни товару є найбільш актуальним, оскільки її рівень визначає ступінь однакового позитивного сприйняття новизни товару як виробником, так і споживачем, а отже і ринком в цілому, а це, у свою чергу, є гарантією того, що новинка знайде своє місце на ринку, користуватиметься попитом у споживачів і забезпечить відшкодування витрат, зазнаних товаровиробником під час розроблення та виробництва інноваційного продукту [12].

Рівень новизни нової продукції пропонується розраховувати експертним методом шляхом протиставлення нової продукції та її аналогів, що існують в даний час на ринку, за чинниками що визначають її значення, в системі «краще-гірше». Рівень новизни пропонується встановлювати відносно рівня аналога (або товару, що досить близький до аналога).

Для визначення  $i$ -го виду новизни, застосуємо чинники, які впливають на її рівень. Кожен чинник  $i$ -го виду новизни розраховуємо в балах. Більша кількість набраних балів свідчить про більший рівень новизни. Для оцінювання рівня новизни використаємо думки експертів, які встановлюють визначені бали відповідним чинникам. Бал відповідності проставляється в діапазоні від (-5 – значно гірше аналога до +5 – значно краще аналога). Результати попереднього оцінювання зведемо до відповідного листа оцінювання (таблиця 9.4).

Таблиця 9.4 – Лист оцінювання рівня новизни

Види та чинники		Бали та експерти		
		Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
<i>I</i>		2	3	4
<b>Споживча новизна</b>	<b>Питома вага 0,25</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>25</b>
		<small>MAX</small>		
1. Зміна поведінкових звичок споживача		3	3	3
2. Ступінь задоволення потреб і запитів		3	3	3
3. Спосіб задоволення потреби		2	3	2
4. Формування нової потреби		2	2	3
5. Формування нового споживача		2	2	2
Середній бал експертів $B_{i\text{отр}}$		13		
<b>Товарна новизна</b>	<b>Питома вага 0,24</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>30</b>
		<small>MAX</small>		
1. Параметричні зміни показників продукції				
1.1. Якісні		3	3	3
1.2. Технічні		4	4	3
1.3. Економічні		4	4	4
1.4. Сервісні		3	2	3
2. Якість продукції по відношенню до конкурентів		3	2	3
3. Функціональні зміни		3	3	3
Середній бал експертів $B_{i\text{отр}}$		19		
<b>Виробнича новизна</b>	<b>Питома вага 0,037</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>25</b>
		<small>MAX</small>		
1. Рівень унікальності товару для підприємства		4	5	5
2. Рівень унікальності для галузі		2	1	2
3. Рівень унікальності товару для країни		-1	0	-1
4. Зміна виробничої системи		0	0	0
5. Відносно існуючого асортименту		2	2	2
Середній бал експертів $B_{i\text{отр}}$		8		

<b>Прогресивна новизна</b>	<b>Питома вага 0,147</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>25</b>
		<small>MAX</small>		
1. Зміна технології виготовлення		1	1	1
2. Рівень застосування нових компонентів і матеріалів		1	1	1
3. Зміна технологічного принципу дії виробу		1	1	1
4. Зміна конструктивного виконання		3	4	3
5. Рівень застосування інновацій		2	2	2
Середній бал експертів $B_{i\text{ отр}}$		8		
<b>Ринкова новизна</b>	<b>Питома вага 0,1</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>20</b>
		<small>MAX</small>		
1. Новий виріб на новому ринку		0	0	0
2. Новий виріб на відомому ринку		0	0	0
3. Модернізований виріб		1	1	1
4. Нова модель		2	2	2
Середній бал експертів $B_{i\text{ отр}}$		3		
<b>Екологічна новизна</b>	<b>Питома вага 0,038</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>20</b>
		<small>MAX</small>		
1. Рівень екологічної чистоти технології виробництва		1	1	1
2. Рівень впровадження мало- та безвідходних технологій		2	2	2
3. Рівень екологічно небезпечних режимів експлуатації продукції		0	0	0
4. Рівень забруднення навколишнього середовища		0	0	0
Середній бал експертів $B_{i\text{ отр}}$		3		
<b>Соціальна новизна</b>	<b>Питома вага 0,038</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>20</b>
		<small>MAX</small>		
1. Використання нового товару приводить до покращення стану здоров'я нації		1	1	1
2. Використання нового товару приводить до зростання доходів населення		0	0	0
3. Виробництво нового товару приводить до збільшення (зменшення) кількості робочих місць на підприємстві		0	0	0
4. Виробництво нового товару приводить до підвищення кваліфікації персоналу		1	1	1
Середній бал експертів $B_{i\text{ отр}}$		2		
<b>Маркетингова новизна</b>	<b>Питома вага 0,15</b>	<b>Максимальний бал <math>B_i</math></b>		<b>20</b>
		<small>MAX</small>		
1. Нові методи маркетингових досліджень		1	1	1
2. Вживання нових стратегій сегментації ринку		-1	0	1
3. Вибір нової маркетингової стратегії обхвату і розвитку цільового сегмента		1	1	1
4. Побудова нових каналів збуту		0	0	0
Середній бал експертів $B_{i\text{ отр}}$		2		

Значення  $i$ -го виду новизни пропонується розрахуємо за формулою [12]

$$I_i = \frac{B_{i\text{отр}}}{B_{i\text{MAX}}}, \quad (9.1)$$

де  $B_{i\text{отр}}$  – отримана кількість балів за шкалою оцінок чинників, що визначають  $i$ -й вид новизни;

$B_{i\text{MAX}}$  – максимальна кількість балів, що може бути отримана за  $i$ -м видом новизни.

Загальний рівень інтегральної новизни розраховується шляхом перемноження отриманого значення  $i$ -го виду новизни на її вагомість, причому вагомість  $i$ -го виду новизни визначається експертним методом, за формулою [12]

$$N_{\text{инт}} = \sum_i^n W_i \cdot I_i, \quad (9.2)$$

де  $N_{\text{инт}}$  – рівень інтегральної (сукупної) новизни;

$W_i$  – вагомість (питома вага)  $i$ -го виду новизни;

$n$  – загальна кількість видів новизни.

$$N_{\text{инт}} = (0,25*13/25)+(0,24*19/30)+0,037*8/25+(0,147*8/25)+(0,1*3/20)+ \\ (0,038*3/20)+(0,038*2/20)+(0,15*2/20) = 0,38$$

Отримане значення інтегрального рівня новизни зіставляємо зі шкалою, що наведена в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 – Рівні новизни нового товару та їхня характеристика

Рівні новизни товару	Значення інтегральної новизни	Характеристика товару	Вид нового товару
Найвища	1,00	Абсолютно новий товар	Новий товар, що наділений ознаками інноваційності (інноваційний товар)
Висока	0,8...0,99	Товар, який не має аналогів	
Значуща	0,6...0,79	Принципова зміна споживчих властивостей товару	
Достатня	0,4...0,59	Принципова технологічна	

		модифікація товару	
Незначна	0,2...0,39	Кардинальна зміна параметрів	Новий товар
Помилкова	0,00...0,19	Малоістотна модифікація	

Згідно таблиці 9.5 розробка відповідає рівню - новий товар, що наділений ознаками інноваційності (інноваційний товар), а значення інтегральної новизни 0,38, що є кардинальна зміна параметрів (новий товар).

### 9.3 Розрахунок витрат на проведення НДДКР з дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей

В техніко-економічному обґрунтуванні представленому в першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи було приблизно обґрунтовано доцільність проведення НДДКР. Тому в даному розділі будуть проведені більш детальні розрахунки витрат на проведення НДДКР стосовно дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей.

Для економічного розрахунку проведення НДДКР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок визначених основних статей витрат.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою [11]

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (9.3)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

$T_p$  – число робочих днів в місяці, 21 дн;

$t$  – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.



Таблиця 9.6 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	11550,00	550,00	21	11550,00
2. Інженер-конструктор радіоелектронної апаратури	10650,00	507,14	18	9128,57
3. Науковий співробітник	10750,00	511,90	8	4095,24
4. Технік 1-ї категорії	7400,00	352,38	10	3523,81
Разом				28297,62

Витрати на основну заробітну плату працівників ( $Z_p$ ), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей, підготовку та формування баз даних, підготовку та монтаж обладнання, макетів, виготовлення дослідних зразків тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [11]

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (9.4)$$

де  $t_i$  - норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

$n$  - число робіт по видах та розрядах;

$K_c$  - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками,  $K_c = 1,5$ ;

$C_i$  - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

$C_i$  визначається за формулою [11]

$$C_i = \frac{M_n \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (9.5)$$

де,  $M_n$  – прожитковий мінімум працездатної особи, грн.,  $M_n = 2270,00$  грн.;

$K_i$  - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

$T_p$  - число робочих днів в місяці,  $T_p = 21$  дн;

$T_{зм}$  - тривалість зміни,  $T_{зм} = 8$  годин.

Проведені розрахунки винесемо до таблиці.

Таблиця 9.7 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Встановлення обладнання	5,50	2	1,1	22,29	122,62
2. Інсталяція програмного забезпечення	5,50	4	1,5	30,40	167,21
3. Налаштування цифрових блоків	5,50	5	1,7	34,46	189,50
4. Відлагодження датчиків приймача	3,30	5	1,7	34,46	113,70
5. Формування структурної схеми	2,20	3	1,35	27,36	60,20
6. Підбір характеристик компонентів блоку	5,50	6	2	40,54	222,95
Разом					876,18

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДДКР розраховується як 12% від основної заробітної плати розробників та працівників

$$Z_d = Z_o \cdot 12 / 100\% , \quad (9.6)$$

$$Z_d = (28297,62 + 876,18) \cdot 12 / 100\% = 3500,86 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату дослідників та працівників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22% від суми основної та додаткової заробітної плати

$$H_3 = (Z_0 + Z_d) \cdot 22\% / 100\% \quad (9.7)$$

$$H_3 = (28297,62 + 876,18 + 3500,86) \cdot 22\% / 100\% = 7188,42 \text{ (грн.)}$$

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДДКР пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних блоків і компонентів, тому дані витрати формуються на основі як офісних витратних матеріалів так і обмеженого переліку матеріалів.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [11]

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (9.8)$$

де, -  $H_i$  - витрати матеріалу  $i$ -го найменування, кг;

$C_i$  - вартість матеріалу  $i$ -го найменування, грн./кг.;

$K_i$  - коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = 1,1$ ;

$n$  - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 9.8 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір канцелярський офісний А4-500	уп.	100,00	4	400,00
Папір креслярський	шт.	19,00	10	190,00
Начиння канцелярське	шт.	142,00	4	568,00
Органайзер офісний	шт.	186,00	4	744,00
Картридж для графічного принтера	шт.	250,00	2	500,00
Картридж для принтера	шт.	798,00	2	1596,00
Диск оптичний	шт.	12,00	4	48,00
FLASH-пам'ять	шт.	219,00	2	438,00
Всього				4484,00

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 4484,00 * 1,12 = 5022,08 \text{ грн.}$$

Витрати на комплектуючі (основне обладнання, емулятори, моделі, комплектуючі макетів), що були використані при дослідженні цифрових вимірювачів кутових швидкостей, розраховуються за формулою

$$H = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i , \quad (9.9)$$

де:  $H_i$  - кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;

$C_i$  - покупна ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн.;

$K_i$  - коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = 1,12$ ;

$n$  - кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 9.9 – Витрати на комплектуючі для формування компонентів для НДДКР

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Корпус пристрою	1	120,00	120,00
Плата	1	155,00	155,00
Інші комплектуючі	1	130,00	130,00
Всього			405,00

Витрати на комплектуючі з урахуванням транспортних витрат складають

$$H = 405,00 * 1,12 = 453,60 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання для проведення досліджень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути

розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (9.10)$$

де  $Ц_{б}$  – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

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

$T_{в}$  – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці.

Таблиця 9.10 - Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Графічно-обчислювальний комплекс	20000,00	5	1	333,33
Програмне забезпечення	10000,00	3	1	277,78
Генератор сигналу (обертання)	7100,00	4	1	147,92
Осцилограф	8000,00	5	1	133,33
Офісна техніка	8800,00	4	1	183,33
Лабораторія	300000,00	25	1	1000,00
Всього				2075,69

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [11]

$$B_e = B \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (9.11)$$

де,  $B$  – вартість 1 кВт-години електроенергії,  $B = 3,5$  грн./кВт –година;

$P$  – встановлена потужність обладнання, кВт.;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

$K_n$  – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 9.11 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Графічно-обчислювальний комплекс	160	0,9	0,95	478,80
Генератор сигналу	80	0,12	0,95	31,92
Осцилограф	80	0,36	0,95	95,76
Офісна техніка	20	1,5	0,95	99,75
Всього				706,23

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

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників. Величина інших витрат складе

$$I = (28297,62 + 876,18) * 200\% / 100\% = 58347,60 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

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

$$B = 28297,62 + 876,18 + 3500,86 + 7188,42 + 4484,00 + 453,60 + 2075,69 + 706,23 + 58347,60 = 105930,20 \text{ (грн.)}$$

Загальна (повна) вартість всієї НДДКР визначається за формулою

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha}, \quad (9.12)$$

де  $\alpha$  - частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даної НДДКР, у відносних одиницях.

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha} = \frac{105930,00}{0,9} = 117700,00, \text{ грн.}$$

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної НДДКР здійснюється за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta}, \quad (9.13)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної НДДКР (від 0,1... до 0,9).

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta} = \frac{117700,00}{0,9} = 130778,00, \text{ грн.}$$

#### 9.4 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

В умовах ринку узагальнюючим позитивним результатом, що його отримує підприємство (організація) від впровадження результатів тієї чи іншої розробки, є збільшення чистого прибутку підприємства (організації). Зростання чистого прибутку ми можемо оцінити у теперішній вартості грошей.

Саме зростання чистого прибутку забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності та виплатити кредити (якщо вони потрібні для впровадження результатів розробки).

При проведенні даної розробки не можливо прямо оцінити зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (9.14)$$

де  $\Delta C_0$  - покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки;

$N$  - основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

$\Delta N$  - покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$C_0$  - основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

$n$  - кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

$\lambda$  - коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2021 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ .

$\rho$  - коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати  $\rho = 0,2 \dots 0,3$ ;

$v$  - ставка податку на прибуток. У 2021 році  $v = 18\%$ .

В результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість нашої розробки, що дозволяє підвищити ціну її реалізації на 150 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року - на 300 шт., протягом другого року -



ще на 500 шт., протягом третього року - ще на 500 шт., а протягом четвертого року – на 100 шт. Орієнтовно: реалізація аналогічного пристрою до впровадження результатів наукової розробки складала 4500 шт., а її ціна - 880 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом першого року складе

$$\Delta\Pi_1 = [150 \cdot 4500 + (880 + 150) \cdot 300] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 168093,00 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta\Pi_2 = [150 \cdot 4500 + (880 + 150) \cdot (300 + 500)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 256069,00 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta\Pi_3 = [150 \cdot 4500 + (880 + 150) \cdot (300 + 500 + 500)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 344045,00 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом четвертого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе

$$\Delta\Pi_4 = [150 \cdot 4500 + (880 + 150) \cdot (300 + 500 + 500 + 100)] \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 361640,00 \text{ грн.}$$

## 9.5 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

1. Розраховують теперішню вартість інвестицій, що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю ми можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат  $ZB=130778,00$  грн. на виконання та впровадження результатів НДДКР.
2. Розраховують очікуване збільшення прибутку, що його отримає підприємство (організація) від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження.
3. Для спрощення подальших розрахунків будують вісь часу, на яку наносять всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.

Платежі показуються у ті терміни, коли вони здійснюються.

Проведемо відповідні розрахунки.

У першому році підприємство отримає збільшення чистого прибутку на **168093** грн відносно базового року.

У другому році - збільшення чистого прибутку на **256069** грн (відносно базового року).

У третьому році - збільшення чистого прибутку на **344045** грн (відносно базового року),

У четвертому - на **361640** грн (відносно базового року).

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рис. 9.1.

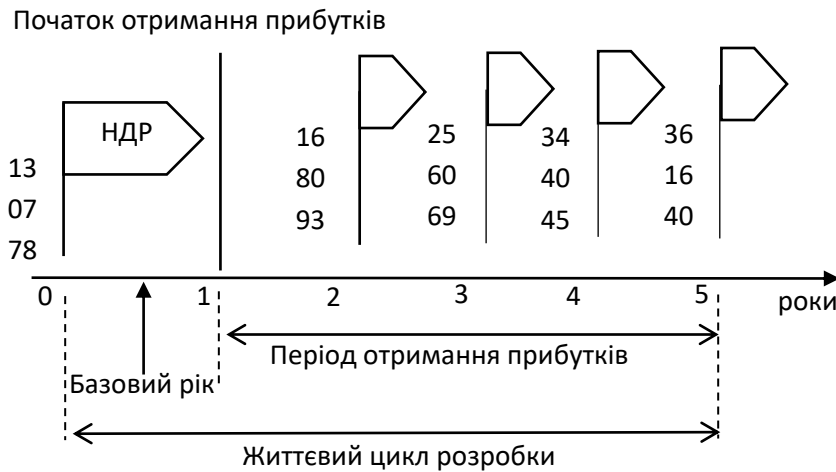


Рисунок 9.1 - Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

4. Розраховують абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{абс}$ . Для цього використаємо формулу [11]

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (9.15)$$

де  $ПП$  - приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;  
 $PV$  - теперішня вартість інвестицій  $PV = 3B$ , грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків  $ПП$  розраховується за формулою

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (9.16)$$

де  $\Delta\Pi$  - збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

$T$  - період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

$\tau$  - ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,12;

$t$  - період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$\begin{aligned} \Pi\Pi &= \frac{168093}{(1+0,12)^2} + \frac{256069}{(1+0,12)^3} + \frac{344045}{(1+0,12)^4} + \frac{361640}{(1+0,12)^5} = \\ &= 134002 + 182264 + 218646 + 205204 = 740118,00 \end{aligned}$$

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Отримаємо

$$E_{abc} = (740118,00 - 130778,00) = 609340,00 \text{ грн.}$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$ , то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_s$ . Для цього використаємо формулу

$$E_s = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (9.17)$$

де  $E_{abc}$  - абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

$PV$  - теперішня вартість інвестицій  $PV = 3B$ , грн;

$T$  - життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 = \sqrt[5]{1 + \frac{609340,00}{130778,00}} - 1 = 0,41$$

Розраховану величину  $E_{\epsilon}$  порівнюємо з мінімальною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування визначається за формулою

$$\tau = d + f, \quad (9.18)$$

де  $d$  - середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні (0,08...0,12);

$f$  - показник, що характеризує ризикованість вкладень (0,05...0,1).

$$\tau = d + f = 0,1 + 0,1 = 0,2.$$

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{ок}$  можна розрахувати за формулою

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}. \quad (9.19)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}} = \frac{1}{0,41} = 2,41 \text{ року.}$$

Якщо  $T_{ок} < 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

## 9.6 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 31,0 балів, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього). Також розробка відповідає рівню - новий товар, що наділений ознаками інноваційності (інноваційний товар), а значення інтегральної новизни 0,38, що є кардинальна зміна параметрів (новий товар). Отже можна зробити висновок про доцільність проведення НДДКР з дослідження та розробки цифрових вимірювачів кутових швидкостей.

Зростання чистого прибутку забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності та виплатити кредити. Зростання чистого прибутку для даної розробки складе 740118,00 грн.

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Абсолютна ефективність вкладених коштів для даної розробки складе 609340,00 грн., а відносна ефективність забезпечить прибутковість в межах 41%, що більше мінімальної яка складає 20%.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій  $T_{ок}=2,41$  року, що менше нормативного терміну.

Враховуючи наведені показники діяльності можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи з дослідження та розробки цифрових вимірювачів кутових швидкостей.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі розроблено безконтактний мікропроцесорний тахометр, який дозволяє оперативно вимірювати кутову швидкість об'єктів при відсутності їх безпосереднього контакту з датчиком.

Для вимірювання частоти обертання, необхідно на рухому частину нанести мітку, яка добре відбиває інфрачервоне випромінювання. Це може бути мітка, яка нанесена білою фарбою на поверхню, або шматок білого паперу, наклеєний на рухому частину. Під час обертання валу мітка опромінюється інфрачервоним випромінювачем. Інфрачервоне випромінювання відбивається від світловідбиваючої мітки і поглинається поверхнею вала. Відбите від мітки інфрачервоне випромінювання попадає на фотоприймач. Внаслідок цього, на виході фотоприймача формується послідовність імпульсів, частота яких дорівнює частоті обертання вала. Часовий проміжок між двома сусідніми імпульсами дорівнює часу, за який здійснюється один оберт вала. Мікроконтролер, при наявності на виході фотоприймача імпульсів належного рівню, розраховує частоту обертання і виводить її значення на чотирьохрозрядний світлодіодний індикатор.

Усі технічні характеристики розробленого у роботі пристрою відповідають умовам технічного завдання.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблена електрична структурна і принципова схеми приладу, схема програми і програмне забезпечення, а також зовнішній вигляд і друкована плата. Розраховано похибку вимірювання частоти обертання.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі проведений розрахунок економічного ефекту від впровадження пристрою у виробництво і розглянуті питання охорони праці і екології.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Шрюфер Е. Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизованных сигналов / За ред В.П.Бабака. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.
2. Андрощук В.В. Анализ погрешностей цифровых тахометров // Измерительная техника. – 2001. – №7. – С. 32-34.
3. Поджаренко В.О., Кулаков П.І., Поджаренко А.В Цифровий тахометричний перетворювач із змінною розрізнявальною здатністю // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1998. – Випуск 53. – С. 84-90.
4. В.И.Зубчук, В.П.Сигорский, А.Н.Шкуро Справочник по цифровой схемотехнике. – К.: Техніка, 1990. – 448 с.
5. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 320 с.
6. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов. – Л.: Энергоатомиздат, 2000. – 192 с.
7. Чмых М.К. Весовой метод повышения точности и помехоустойчивости цифровых измерителей частоты // Автометрия. – 1979. – №4. – С.135-137.
8. Monagan M.B., Geddes K.O., Heal K.M., Labahn G., Vorkoetter S.M., Maple V. Programming Guide, Springer Verlag, 1996.
9. Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1991. – 360 с.
10. Калінін В. І., Костюк О. А., Грудін А. А. Математичні моделі та методика оцінки експлуатаційної надійності елементів і виробів електронної техніки. Частина I, II, III. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 71с.
11. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.



12. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

13. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.

14.

15. Сакевич В.Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах. Навч. посібник: - Вінниця: ВДТУ, 2001- 109с.

16. Сакевич В.Ф., Буров В. М. Организационно-методические указания по разработке вопросов гражданской обороны в дипломных проектах. Для студентов всех специальностей.- Винница: ВПИ 1987.- 113 с.

17. Атоманюк В.Г. Ширшнев А.Г. Акимов Н.И. Гражданская оборона. Учебник для вузов.Под ред. Михайлика Д.И.- М: Высш. Шк., 1986-207с.

18. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Безпека життєдіяльності” в дипломних проектах і роботах студентів радіотехнічних спеціальностей /Уклад. О.П. Терещенко, О.В. Кобилянський. – В .: ВНТУ, 2004.- 45 с.

19. СНиП 2.09.04-87 – «Адміністративні і побутові будинки і приміщення виробничих підприємств»

20. Долин Петро Олександрович. Основи техніки безпеки у електроустановках. – М.: Энергоатомиздат. 1984. - 448 с.

21. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

22. ГОСТ 12.04.05-86 Отопление вентиляция и кондиционирование.

23. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14.\\_nakazy\\_ta\\_rozpor\\_183575/248+58074-detail.html](http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html)

24. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

25. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://sop.zp.ua/norm\\_npaop\\_0\\_00-7\\_15-18\\_01\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php)

26. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=71028](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028)

27. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

28. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

29. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] – Режим доступу до сторінки: [http://hrliga.com/index.php?module=norm\\_base&op=view&id=819](http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819)

30. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

31. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

32. СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>

Додаток А  
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри РТ  
д.т.н., професор О.В. Осадчук

« 15 » 03 2021 р.  
(підпис)

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**  
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ**  
**ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЧІВ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ**  
08-36.МКР.004.00.000 ТЗ

Керівник МКР к.т.н., доцент  
Д.В. Гаврілов  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.  
(підпис)

Розробив студент гр. РТ-19м з/в  
Гаврілов Д.В.  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.  
(підпис)

## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету № 64 “09 ” 03 2021 року та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: “03 ” 09 2020 р.

Дата закінчення: “ 06 ” червень 2021 р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

### Мета і задачі дослідження

*Метою роботи* є розробка та дослідження цифрових вимірювачів кутових швидкостей.

*Об’єктом дослідження* є розробка теоретичних засад, методів та засобів для вимірювання та контролю середнього значення кутової швидкості.

*Предметом дослідження* – цифрові вимірювачі кутових швидкостей різних виробників та різної архітектури.

Для досягнення поставленої мети у магістерській кваліфікаційній роботі розв’язуються такі *задачі*:

- аналіз існуючих типів безконтактних цифрових вимірювачів кутових швидкостей;
- розробка повної структурної схеми цифрового вимірювача кутових швидкостей;
- реалізація схеми електричної принципової мікропроцесорного цифрового вимірювача кутових швидкостей;
- проведення комп’ютерного моделювання;
- дослідження питань охорони праці.

*Методи дослідження* ґрунтуються на використанні:

- технічного опису протоколів передачі даних USB, UART та SPI;
- теорії розрахунку електричних кіл з використанням законів Ома для розрахунку номіналів елементів схеми;
- теорії ймовірності для оцінки похибок вимірювання.

## 4 Джерела розробки

1. Шрюфер Е. Обробка сигналів: цифрова обробка дискретизованих сигналів / За ред В.П.Бабака. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.
2. Андрощук В.В. Анализ погрешностей цифровых тахометров // Измерительная техника. – 2001. – №7. – С. 32-34.
3. Поджаренко В.О., Кулаков П.І., Поджаренко А.В Цифровий тахометричний перетворювач із змінною розрізнявальною здатністю // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1998. – Випуск 53. – С. 84-90.
4. В.И.Зубчук, В.П.Сигорский, А.Н.Шкуро Справочник по цифровой схемотехнике. – К.: Техніка, 1990. – 448 с.

5. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхеми ЦАП и АЦП: функціонування, параметри, застосування. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 320 с.
6. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов. – Л.: Энергоатомиздат, 2000. – 192 с.
7. Чмых М.К. Весовой метод повышения точности и помехоустойчивости цифровых измерителей частоты // Автометрия. – 1979. – №4. – С.135-137.
8. Патюков В.Г., Чмых М.К. Оптимальный алгоритм измерения частоты // Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение. – 1996. – №3. – С. 21-24.
9. Манзон. Б.М. Maple V Power Edition – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 1998. – 240 с.
10. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
11. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

## ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра радіотехніки, студент групи РТ-19м з/в Шмигора Олег Петрович.

### 5 Технічні вимоги

#### 5.1 Варіанти виконання

Пристрій має бути виконаний у вигляді окремого функціонального блоку та з'єднуватись за допомогою роз'ємів з іншими пристроями. У варіанті виконання із застосуванням МК повинен використовуватись Atmel.

#### 5.2 Вид цифрових елементів

В якості цифрових елементів використовується мікроконтролер STM32.

#### 5.3 Джерело електроенергії номінальна напруга +5 В; +3,3 В.

#### 5.4 Споживана потужність

Споживана потужність не повинна перевищувати 0,05 Вт.

#### 5.5 Час готовності до роботи

Час готовності до роботи, не більше 1 с

#### 5.6 Параметри джерела живлення:

Номінальна напруга живлення +5 В; 3,3 В. Струм споживання знаходиться в межах 1-15 мА.

#### 5.7 Вимірювана частота обертання:

Діапазон вимірюваної частоти обертання 60-9999 об/хв ;

#### 5.8 Діапазон робочих температур:

Діапазон робочих температур складає 0...+60 °С.

## 6. ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
1.	Огляд літературних джерел. Вибір та узгодження теми МКР	03.09.2020	31.12.2021	Проведено огляд літературних джерел. Вибрана тема	Узгодження теми МКР на кафедрі
2.	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	07.01.2021	14.02.2021	Проведений аналіз літературних джерел по даній тематиці. Підготовлений матеріал основних розділів	Вступ
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	15.02.2021	06.03.2021	Розроблене ТЗ	Наказ ВНТУ про затвердження теми. Додаток А
4.	Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми	01.03.2021	21.03.2021	Проведений аналіз. Розроблені схеми пристрою	Звіт по переддипломній практиці Вступ Розділ 1-2
5.	Електричні розрахунки. Експериментальне дослідження	22.03.2021	11.04.2021	Проведені розрахунки та дослідження	Розділ 3
6.	Розділ моделювання	12.04.2021	19.04.2021	Проведено моделювання	Результати моделювання
7.	Розробка графічної частини МКР	20.04.2021	30.04.2021	Плакати. Структурні та електричні схеми	Графічна частина
8.	Аналіз економічної ефективності розробки	01.05.2021	14.05.2021	Економічна частина	Розділ 4
9.	Охорона праці (ОП)	15.05.2021	20.05.2021	Частина БЖДПБ	Розділ 5
10.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.05.2021	26.05.2021	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
11.	Нормоконтроль	27.05.2021	31.05.2021	Підпис нормоконтроля	Оформлена ПЗ та графічна частина
12.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	01.06.2021	06.06.2021	Позитивні відзиви	Відзив. Рецензія
13.	Захист МКР ЕК	07.06.2021	11.06.2021	Позитивний захист	Протокол ЕК

## 7. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи буде виконано:

- огляд методів та засобів вимірювання значення кутової швидкості.
- визначення методики проектування мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей.
- згідно з однією з методик проектування синтезувати мікропроцесорний безконтактний цифровий вимірювач кутових швидкостей. Навести таблиці відповідності, принципову електричну схему.
- виконання аналізу функціонування пристрою та довести його самовідновність.
- виконання автоматичного проектування пристрою на доцільному рівні (тригерні примітиви, макрофункції, мегафункції) у САПР. Дати стисле тлумачення результатів, порівняти їх з результатами проектування.
- виконання автоматичного проектування пристрою на тому самому або вищому структурному рівні у САПР.
- розділ безпеки життєдіяльності.
- розділ економічної частини.

## 8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

## 9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

## 10. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- структурні та принципові схеми мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей;
- проведення математичного моделювання компонентів мікропроцесорного цифрового вимірювача кутових швидкостей;
- експериментальне дослідження компонентів мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача кутових швидкостей;
- розділ безпеки життєдіяльності;
- розділ економічної частини.

## 11. ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

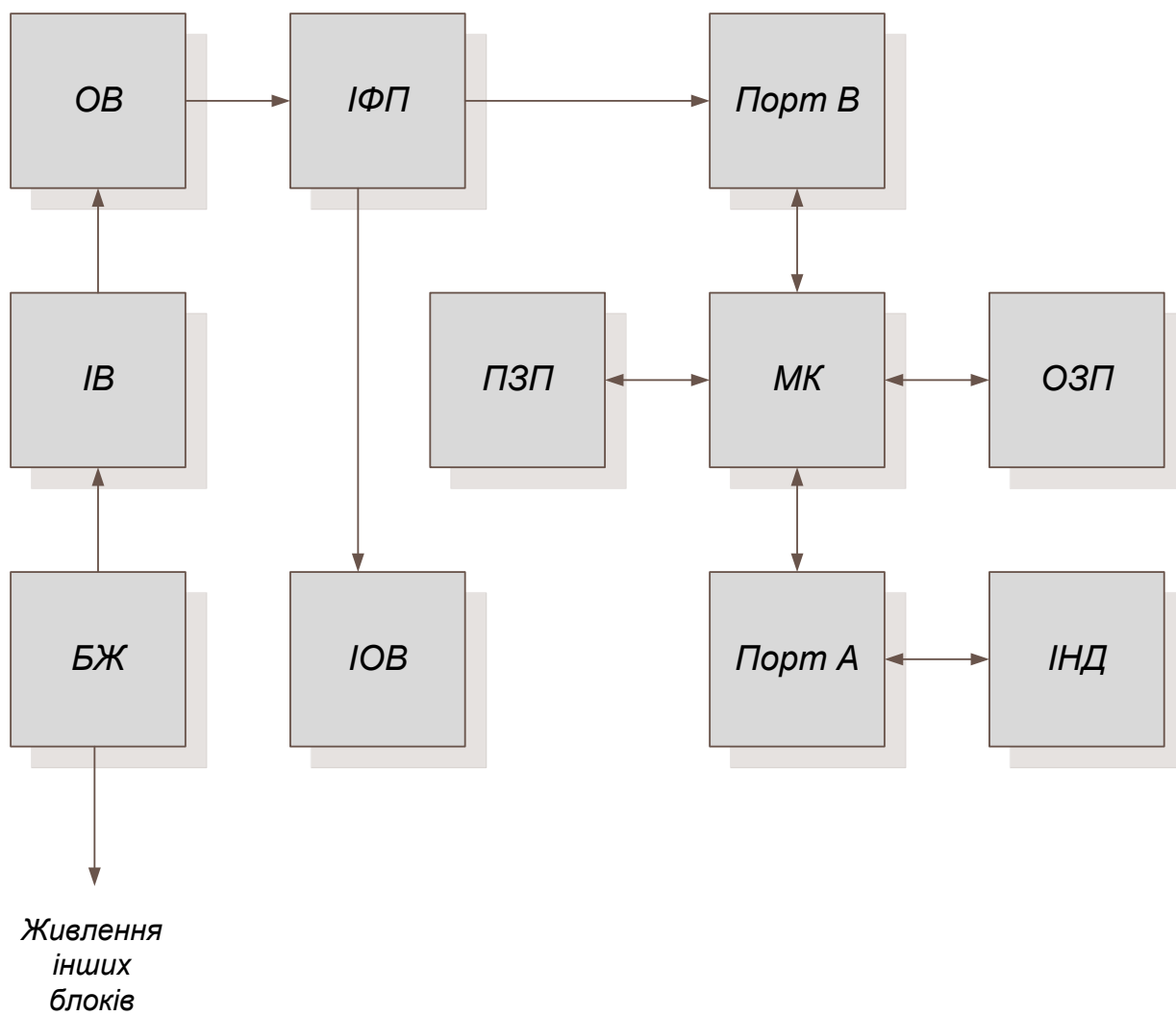
У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б  
(обов'язковий)

**Розробка мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача  
кутових швидкостей**

Схема структурна

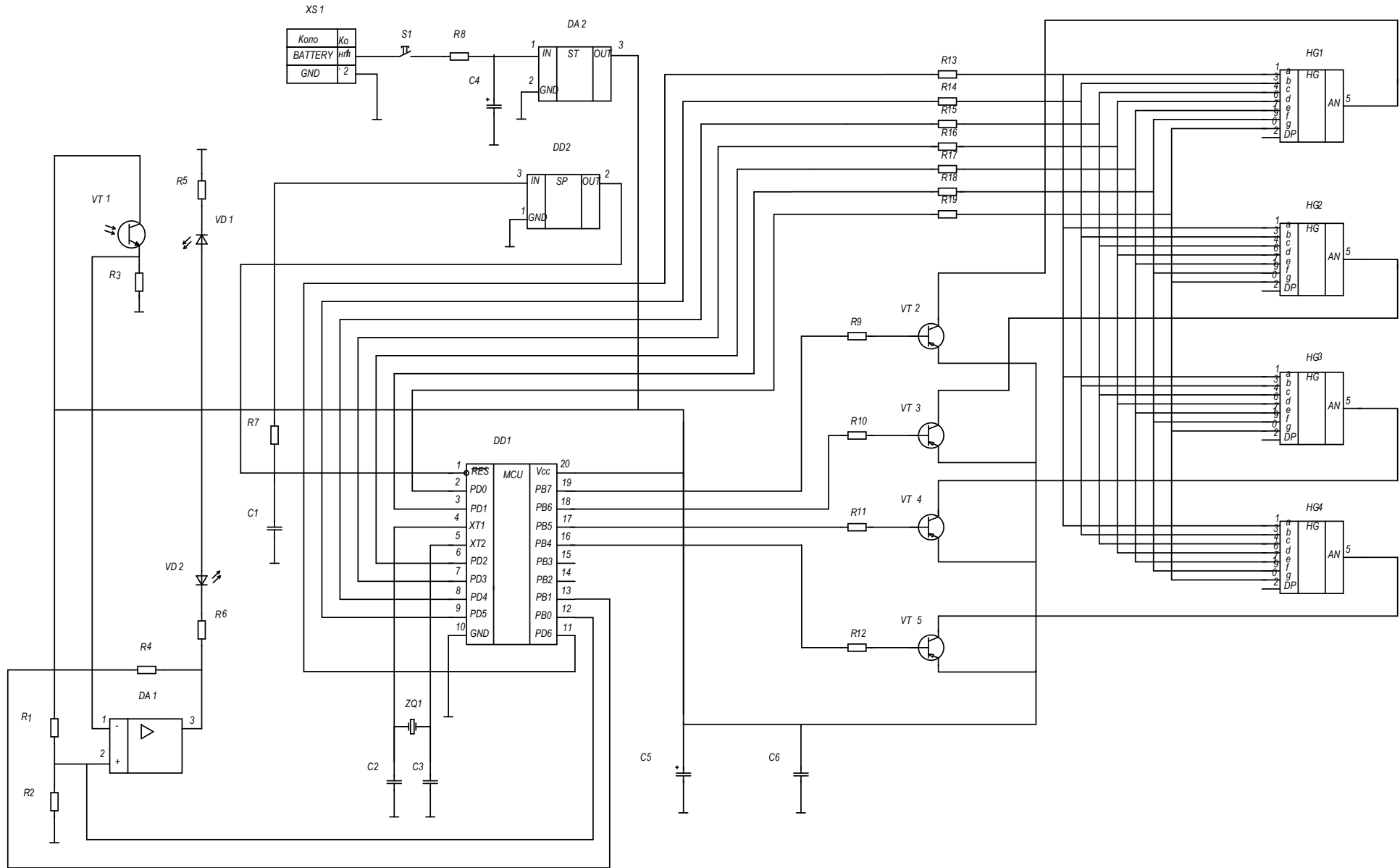




Додаток В  
(обов'язковий)

**Розробка мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача  
кутових швидкостей**

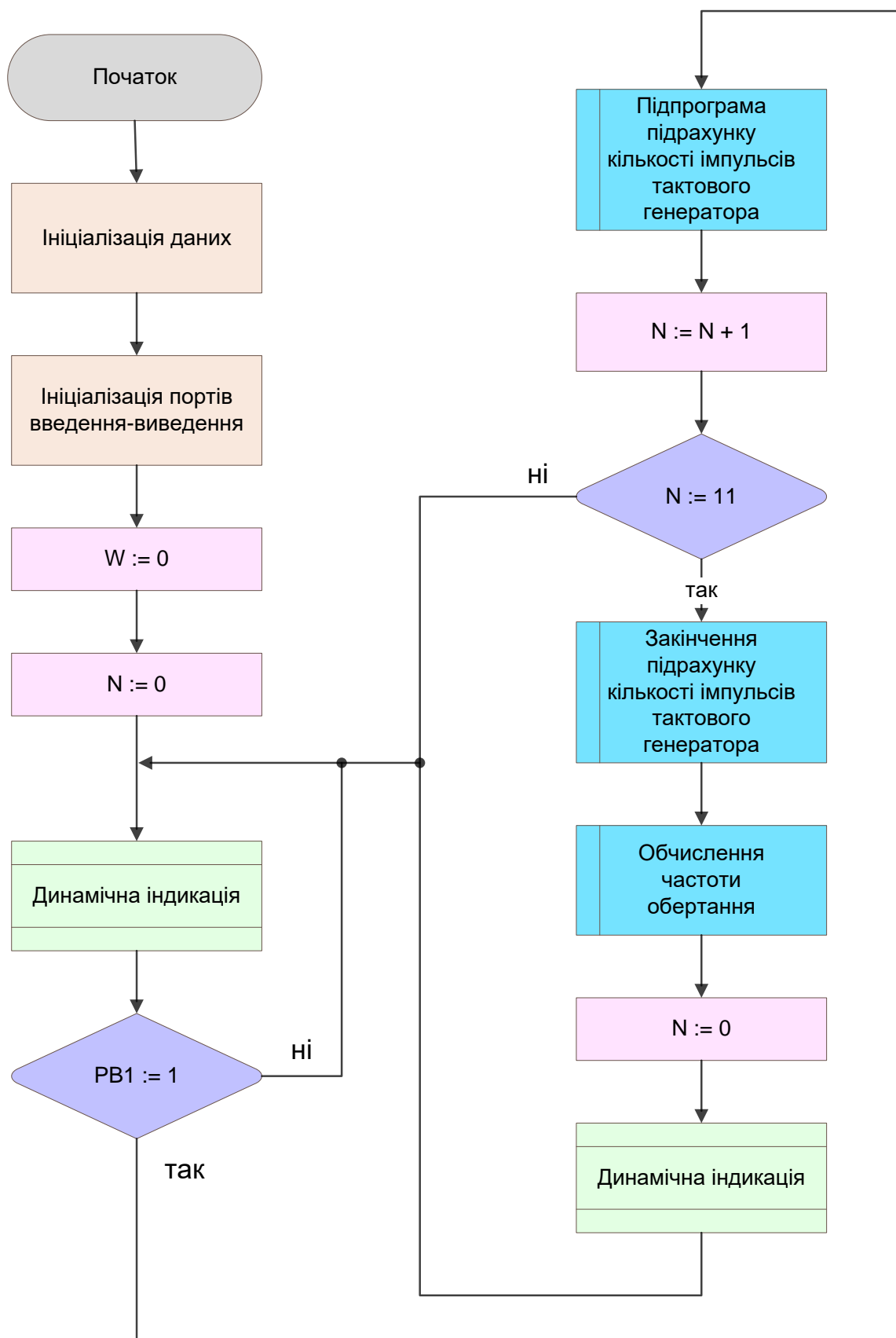
Схема електрична принципова



Додаток Д  
(обов'язковий)

**Розробка мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача  
кутових швидкостей**

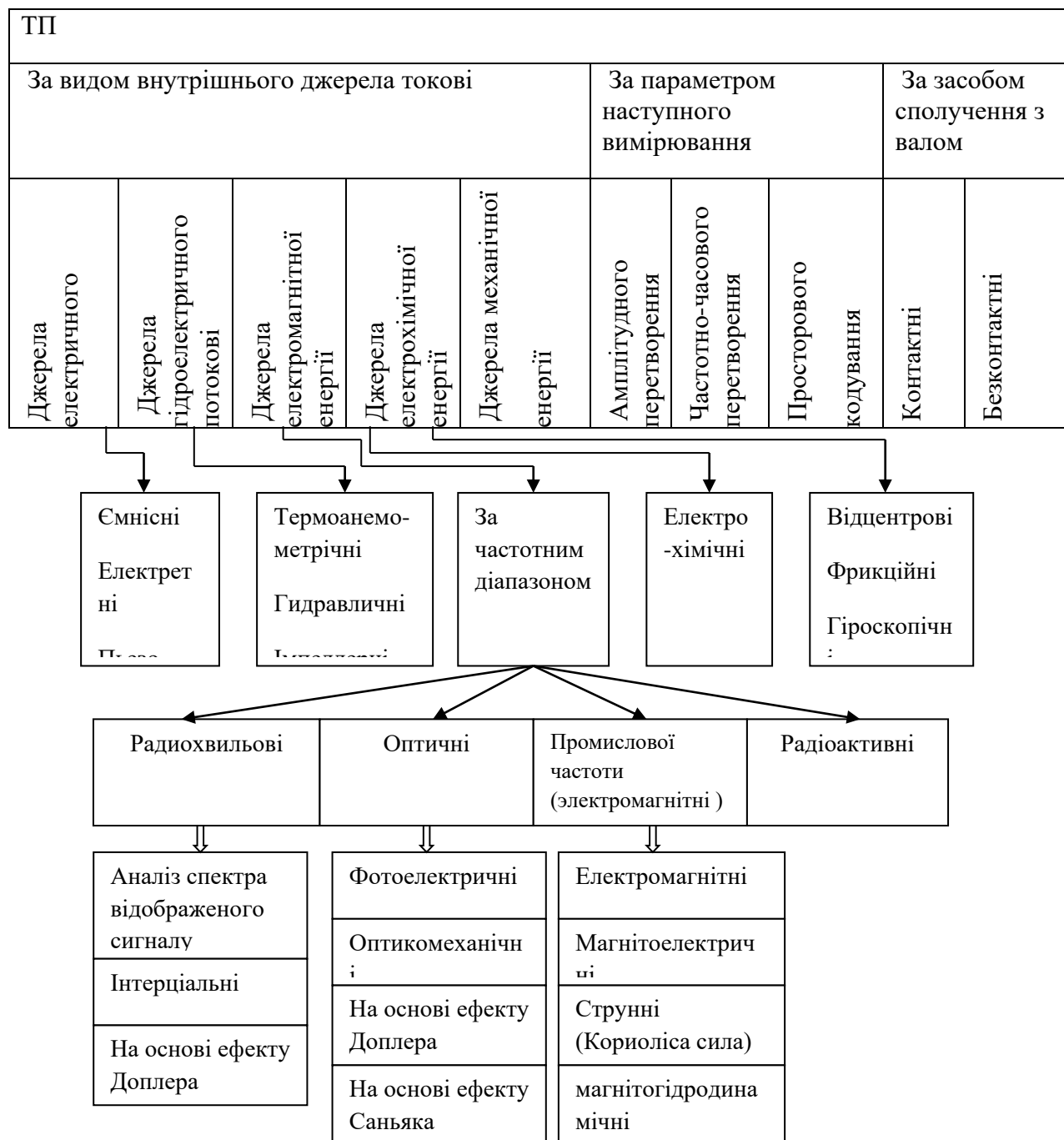
Алгоритм роботи мікроконтролера



Додаток Е  
(обов'язковий)

**Розробка мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача  
кутових швидкостей**

Класифікація тахометрів



Додаток Ж  
(обов'язковий)

**Розробка мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача  
кутових швидкостей**

Принцип роботи тахометрів



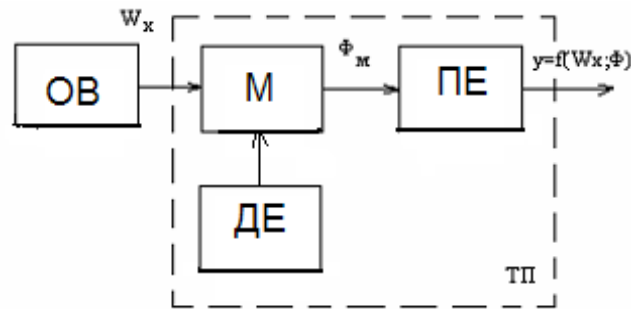


Рисунок Ж.1 – Структурна схема ТП

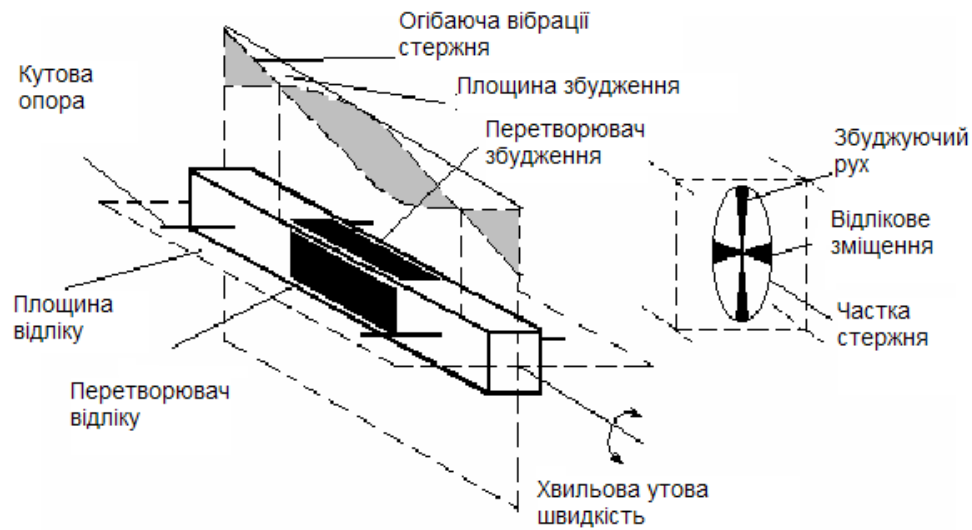


Рисунок Ж.3 – Структура стержня обертання ТП

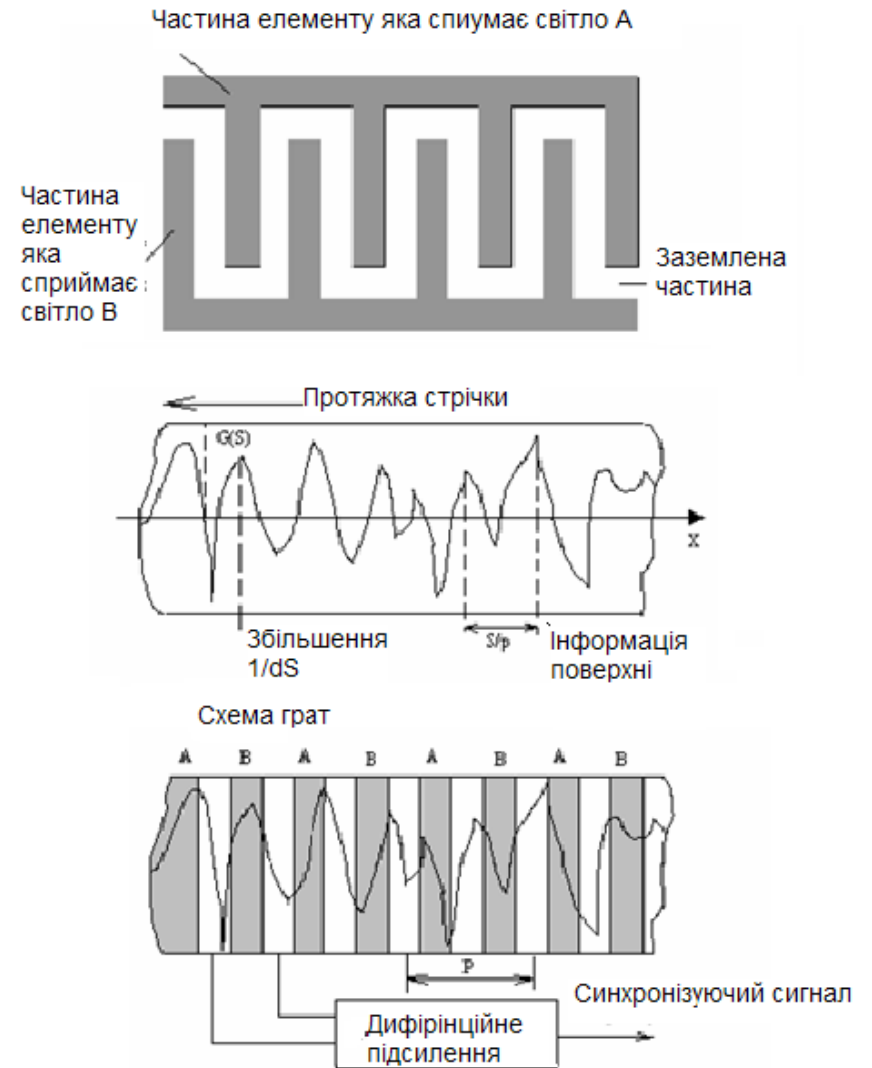


Рисунок Ж.2 – Принцип роботи ТП

Додаток К  
(довідниковий)

**Розробка мікропроцесорного безконтактного цифрового вимірювача  
кутових швидкостей**

Лістинг програмного забезпечення мікроконтролера

## Лістинг програмного забезпечення мікроконтролера

```

#include <io2313.h>
#include <ina90.h>
#define SetBit(Address, Bit) (Address |= (0x01<<Bit))
#define ClearBit(Address, Bit) (Address &= ~(0x01<<Bit))
#define CheckBit(Address, Bit) (Address & (0x01<<Bit))
#define ComparLen 3600
#define TimeReac_30 30
#define TimeReac_60 60

#define _EEPROM_GET(VAR, ADR)      \
{ \
    while (EECR & 0x02);          \
    EEAR = (ADR);                  \
    EECR |= 0x01;                  \
    (VAR) = EEDR;                  \
}
char digit[10] = {
    0xc0, // 0
    0xf9, // 1
    0xa4, // 2
    0xb0, // 3
    0x99, // 4
    0x92, // 5
    0x82, // 6
    0xf8, // 7
    0x80, // 8
    0x90 // 9
};
char Razrad[3] = {
    0xd7, // Razrad 0
    0xdb, // Razrad 1
    0xcf, // Razrad 2
};

char Di0, Di1, Di2, FlagHH, First2Min, Count2Min, Indicator,
Delayer;
unsigned int Nx, TimeInt;

void initialization(void) // Initialization
{
// WDTCR = 0x0f; // Initialize of Watch-Dog Timer

```

```

DDRB = 0x3c; // Set Port B as output
DDRD = 0xff; // Set Port D as output
MCUCR = 0x30; // Set sleep mode in MCUCR
ACSR |= 0x80; // Analog Comparator disable
Di0 = Di1 = Di2 = TimeInt = First2Min = Count2Min = 0;
Delayer = 20;

TIMSK = 0x42; // Set of Timer/Counter Interrupt Mask
Register
TCCR1A &= 0x00; // Configure the Timer/Counter1

OCR1H = (ComparLen >> 8);
OCR1L = ComparLen; // 3906 = 1 sec on 4MHz, 3600 = 1 sec
on 3.6864MHz
ClearBit(PORTB, 5);

TCCR0 = 0x05; // Configure the Timer/Counter0
}

void StartTimer(void)
{
    TCNT1H &= 0x00; // Clear of Timer/Counter1
    TCCR1B = 0x0d; // set count of CK/1024 and start
}

void SoftDelay(unsigned int tempD) // Producing a
software delay for LED-indications
{
    unsigned int temp;
    for (temp=0; temp<tempD; temp++);
}

void ClearDisplay(void)
{
    PORTD |= 0xff;
}

void DetectLV(void)
{
    if (!CheckBit(PINB, 6))
    {
        EEAR = 0x00;
        EEDR = Nx;
        EECR |= 0x02;
    }
}

```

```

while (EECR & 0x02);
EEAR = 0x01;
EEDR = (Nx>>8);
EECR |= 0x02;

while (EECR & 0x02);
EEAR = 0x02;
EEDR = FlagHH;
EECR |= 0x04;
EECR |= 0x02;

while (EECR & 0x02);
_SLEEP();
}
}

void GET_EEPROM(void)
{
char NxL, NxH;

_EEPROM_GET(NxL, 0x00);
_EEPROM_GET(NxH, 0x01);
Nx = (NxH << 8) + NxL;
if (Nx > 999) Nx = 0;

_EEPROM_GET(FlagHH, 0x02);
switch (FlagHH)
{
case 1: { FlagHH = 2; break; }
case 2: { FlagHH = 2; break; }
default: { FlagHH = 0; break; }
}
}

void PrintDigit(char number, char Adress) // Function
PrintDigit
{
switch (FlagHH)
{
case 0: { PORTB = Razrad[Adress]; break; }
case 1: { PORTB = Razrad[Adress] + Indicator; break; }
case 2: { PORTB = Razrad[Adress] + 0x20; break; }
}
}

```

```

    PORTD = digit[number];
}

void PrintLED4_Dig0(void) // Print LED4
{
    PrintDigit(Di0, 0);
    SoftDelay(Delayer);
    ClearDisplay();
}

void PrintLED4_Dig1(void) // Print LED4
{
    PrintDigit(Di1, 1);
    SoftDelay(Delayer);
    ClearDisplay();
}

void PrintLED4_Dig2(void) // Print LED4
{
    PrintDigit(Di2, 2);
    SoftDelay(Delayer);
    ClearDisplay();
}

void ConvertToLED4(unsigned int Meas) // Producing Integer
Value to LED4
{
    Di0 = Di1 = Di2 = 0;
    while (Meas >= 100) { Meas -= 100; Di2++; } //
Decode of Digit2
    while (Meas >= 10) { Meas -= 10; Di1++; } //
Decode of Digit1
    Di0 = Meas; // Decode of Digit0
}

void Displayer(void)
{
    DetectLV();
    ConvertToLED4(Nx);
    DetectLV();
    PrintLED4_Dig0();
    DetectLV();
    PrintLED4_Dig1();
    DetectLV();
}

```

```

    if (Di2 != 0) PrintLED4_Dig2();
    DetectLV();
    if (!CheckBit(PINB, 7)) { Nx = FlagHH = Count2Min =
First2Min = TimeInt = 0; } // Reset
// _WDR();
}

void main(void)
{
char DetectorIncr, SetFront;
int temp;

initialization();
DetectorIncr = 0;
ClearDisplay();
for (temp=0; temp <= 60; ++temp) SoftDelay(5000);

GET_EEPROM();
_SEI();
StartTimer();
SetFront = CheckBit(PINB, 0); // Test of Gercon

while(1)
{
    Displayer();
    switch (SetFront)
    {
        case 0:
        {
            if (CheckBit(PINB, 0) == 1)
            {
                if (DetectorIncr == 0)
                {
                    for (temp=0; temp <= 600; ++temp) Displayer();
                    if (CheckBit(PINB, 0) == 1)
                    { Nx++; TimeInt = 0; StartTimer(); }
                }
                DetectorIncr = 1;
            }
            else DetectorIncr = 0;
            break;
        }
        case 1:
        {

```

```

if (CheckBit(PINB, 0) == 0)
{
  if (DetectorIncr == 0)
  {
    for (temp=0; temp <= 600; ++temp) Displayer();
    if (CheckBit(PINB, 0) == 0)
    { Nx++; TimeInt = 0; StartTimer(); }
  }
  DetectorIncr = 1;
}
else DetectorIncr = 0;
break;
}
}

if (Nx == 1000) Nx = 0;

if ((TimeInt > TimeReac_30) && (First2Min == 1))
{
  switch (FlagHH)
  {
    case 0: {FlagHH = 1; break;}
    case 1: {FlagHH = 2; break;}
  }
  TimeInt = 0;
}
// if ((TimeInt > TimeReac_30) && (FlagHH == 0) &&
(First2Min == 1)) {FlagHH = 1;TimeInt=0;}
// if ((TimeInt > TimeReac_30) && (FlagHH == 1) &&
(First2Min == 1)) {FlagHH = 2;TimeInt=0;}
  Displayer();
}
// While
}
// End of main program

// interrupt handlers
interrupt [TIMER1_COMP1_vect] void
TIMER1_COMP1_vect_interrupt(void)
{
  TimeInt++; // increment every 1 second
  if (First2Min == 0) Count2Min++;
  if (Count2Min == 120) { First2Min = 1; TimeInt = 0;
Count2Min = 0; }
}

```



```
interrupt [TIMER0_OVF0_vect] void
TIMER0_OVF0_vect_interrupt(void)
{
    TCCR0 = 0x00;
    TCNT0 = 0x00;
    if (Indicator == 0x00) { Indicator = 0x20; } else {
Indicator = 0x00; }
    TCCR0 = 0x05;
}
```