**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультеть

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологійь

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ІВТ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Володимир ЄРЕМЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

“\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

за освітньо-професійною програмою

**«**Інформаційні вимірювальні технології та системи**»**

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: Цифровий лазерний тахометр

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ВА-71

Семенов Гліб Олексійович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник к.т.н., доц., Стаценко О.В. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_\_\_\_

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут**

**імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) *приладобудівний факультет*

(повна назва)

Кафедра *інформаційно-вимірювальних технологій*

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма

«Інформаційні вимірювальні технології та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Володимир ЄРЕМЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

*Семенову Глібу Олексійовичу*

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проєкту: *Цифровий лазерний тахометр*

керівник проєкту  *Стаценко Олексій Володимирович, к.т.н., доц.*,

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

затверджені наказом по університету від «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ р. №\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проєкту *10 червня 2021 року*

3. Вихідні дані до проєкту: *1. Діапазон вимірювання частоти обертання –2 об/хв – 10000 об/хв. 2. Похибка вимірювання – не більше 0.1% 3. Живлення приладу автономне.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) *Технічне завдання. Вступ. Огляд існуючих технічних рішень. Розробка структурної, функціональної та принципової схем. Розробка алгоритму роботи пристрою. Розрахунок метрологічних характеристик. Розробка правил техніки безпеки при роботі з пристроєм.*

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслеників, плакатів тощо) *Схема електрична структурна. Схема електрична функціональна. Схема електрична принципова.*

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)[[1]](#footnote-1)\*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада  консультанта | Підпис, дата | |
| завдання  видав | завдання прийняв |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

7. Дата видачі завдання *09 квітня 2021 року*

Календарний план

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/п | Назва етапів виконання  дипломного проєкту (роботи) | Строк виконання  етапів проєкту (роботи) | Примітка |
| 1. | Розробка та узгодження технічного завдання | 20.05.2021 р. |  |
| 2. | Огляд і аналіз існуючих технічних рішень | 24.05.2021 р. |  |
| 3. | Проектування структурної схеми | 25.05.2021 р. |  |
| 4. | Проектування функційної схеми | 27.05.2021 р. |  |
| 5. | Проектування схеми електричної принципової вимірювальних каналів системи | 01.06.2021 р. |  |
| 6. | Аналіз похибок вимірювання | 04.06.2021 р. |  |
| 7. | Оформлення графічних матеріалів | до 07.06.2021 р. |  |
| 8. | Оформлення пояснювальної записки | до 07.06.2021 р. |  |
| 9. | Попередній захист дипломного проєкту | 09.06.2021 р. |  |
| 10. | Рецензування дипломного проєкту | до 14.06.2021 р. |  |
| 11. | Захист дипломного проєкту | до 19.06.2021 р. |  |

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Гліб СЕМЕНОВ

(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник проєкту \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Олексій СТАЦЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

**АНОТАЦІЯ**

В цьому дипломному проекті були проаналізовані існуючі альтернативні рішення на ринку та розглянуті існуючі методи вимірювання частоти обертів. Був розроблений вимірювальний прилад, який дає змогу вимірювати частоту обертів в діапазоні 2…10000 об/хв.

Для цього проекту був розроблений безконтактний тахометр на базі сучасних та недорогих компонентів, а саме мікроконтролеру, дисплею та діоду, які окрім низької вартості також мають і мінімальну похибку. Під час розробки проекту були спроектовані та продемонстровані структурна, принципова та функціональна схеми, а також програмний код, на базі якого відбуваються сам процес обробки даних, був проведений аналіз та розрахунок похибок.

**ANNOTATION**

In this diploma project the existing alternative solutions on the market were analyzed and the existing methods of speed measurement were considered. A measuring device was developed that allows to measure the RPM in the range of 2 … 10.000 rpm.

For this project, a contactless tachometer was developed on the basis of modern and inexpensive components, such us a microcontroller, display and diode, which in addition to low cost also have minimal infelicity. During the development of the project, the structural, basic and functional schemes were designed and demonstrated, as well as the program code, on the basis of which the data processing process itself takes place, the analysis and calculation of infelicity was performed.

**нацІональний технІчНИЙ унІверситет украЇНИ**

**«киЇвсЬкий полІтехнІЧНий Інститут імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІВТ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ проф. Володимир ЄРЕМЕНКО

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт**

«*Цифровий лазерний тахометр*»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| УЗГОДЖЕНО: Керівник дипломного проєкту,  доцент  (Посада)  Стаценко Олексій  Володимирович  (П.І.П)  " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 р. |  | Дипломник:  ВА-71  Семенов Гліб Олексійович(П.І.П)  " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 р.  Залікова книжка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

Київ 2021

**1. Найменування та область використання**

1.1 Вимірювальний прилад призначений для вимірювання кількості обертів за хвилину.

1.2 Область використання – швидкий контроль коректності роботи будь-якого вузла в системах контролю.

**2. Мета і технічне обґрунтування розробки**

Мета розробки – розробка тахометру, який демонструє високу точність при бюджетній вартості розробки.

**3. Джерела розробки**

3.1 Основою для розробки приладу є завдання до дипломного проєкту, видане кафедрою АЕД студенту 4 курсу групи ВА-71 Семенову Глібу Олексійовичу.

3.2 Наявні державні стандарти у сфері тахометрів.

3.3 Альтернативні рішення на ринку.

**4. Технічні вимоги**

4.1 Система повинна складатися з:

* Лазерного-діоду – давача світла.
* Фотодіоду – приймача світла
* Дисплею для виведення показів вимірювання
* Мікро-Контролеру
* Блоку живлення

4.1.1 Технічні та метрологічні характеристики

* Вимірювання кількості обертів в діапазоні 2 … 10.000 об/хв
* Похибка вимірювання не більше 0.1%
* Живлення приладу автономне

4.2 Вимоги до кліматичного виконання

Вимірювальний пристрій повинен зберігати свої робочі характеристики при впливі кліматичних факторів відповідно до ГОСТ 15150-69 – кліматичному виконанню УХЛ 2

Кліматичні фактори, що впливають на роботу приладу, наведені нижче.

Таблиця 1 – Кліматичні умови для робочих умов

|  |  |
| --- | --- |
| Кліматичний фактор | Значення |
| Нормальні умови |
| Робоча температура, ˚С | -60 нижня межа  +60 верхня межа |
| Атмосферний тиск, кПа | 80 – 106,7 |
| Максимальна відносна вологість, %  (при 25 ˚С) | 85 |

4.2.1 Вимоги до захисту від впливу навколишнього середовища

Система має бути тепло-, холодно- стійкою під час транспортування та зберігати функціонування після впливу транспортування.

1. **Етапи розробки**

Етапи розробки і терміни виконання наведені у таблиці 5.1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/п | Назва етапів виконання  дипломного проєкту (роботи) | Строк виконання  етапів проєкту (роботи) | Примітка |
| 1. | Розробка та узгодження технічного завдання | 20.05.2021 р. |  |
| 2. | Огляд і аналіз існуючих технічних рішень | 24.05.2021 р. |  |
| 3. | Проектування структурної схеми | 25.05.2021 р. |  |
| 4. | Проектування функційної схеми | 27.05.2021 р. |  |
| 5. | Проектування схеми електричної принципової вимірювальних каналів системи | 01.06.2021 р. |  |
| 6. | Аналіз похибок вимірювання | 04.06.2021 р. |  |
| 7. | Оформлення графічних матеріалів | до 07.06.2021 р. |  |
| 8. | Оформлення пояснювальної записки | до 07.06.2021 р. |  |

Таблиця 5.1 - Етапи розробки і терміни виконання

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 9. | Попередній захист дипломного проєкту | 09.06.2021 р. |  |
| 10. | Рецензування дипломного проєкту | до 14.06.2021 р. |  |
| 11. | Захист дипломного проєкту | до 19.06.2021 р. |  |

Продовження таблиці 5.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *№рядка* | *Формат* | *Познака* | | | | *Найменування* | | *Аркушів* | | | *№ екз.* | *Примітки* | |
| *1* |  |  | | | | *Альбом 1* | |  | | |  |  | |
| *2* |  |  | | | | *Анотація українською мовою* | | *1* | | | *1* |  | |
| *3* |  |  | | | | *Анотація іноземною мовою* | | *1* | | | *1* |  | |
| *4* |  |  | | | | *Завдання на дипломне проектування* | | *2* | | | *1* |  | |
| *5* | *А4* | *ВА71.090004.001 ТП* | | | | *Відомість технічного проєкту* | | *1* | | | *1* |  | |
| *6* | *А4* | *ВА71.090004.002 ПЗ* | | | | *Пояснювальна записка* | | *52* | | | *1* |  | |
| *7* | *А4* | *ВА71.090004.001 ТЗ* | | | | *Технічне завдання* | | *4* | | | *1* |  | |
| *8* |  |  | | | |  | |  | | |  |  | |
| *9* | *А4* | *ВА71.090004.003 ПЕЗ* | | | | *Цифровий лазерний тахометр* | |  | | |  |  | |
| *10* |  |  | | | | *Перелік елементів* | | *1* | | | *1* |  | |
| *11* |  |  | | | |  | |  | | |  |  | |
| *12* |  |  | | | | *Альбом 2* | |  | | |  |  | |
| *13* |  |  | | | |  | |  | | |  |  | |
| *14* |  |  | | | | *Графічна документація* | |  | | |  |  | |
| *15* |  |  | | | | *Розроблена заново* | |  | | |  |  | |
| *16* | *А1* | *ВА71.090004.001 Е1* | | | | *Цифровий лазерний тахометр* | |  | | |  |  | |
| *17* |  |  | | | | *Схема електрична структурна* | | *1* | | | *1* |  | |
| *18* |  |  | | | |  | |  | | |  |  | |
| *19* | *А1* | *ВА71.090004.002 Е2* | | | | *Цифровий лазерний тахометр* | |  | | |  |  | |
| *20* |  |  | | | | *Схема електрична функціональна* | | *1* | | | *1* |  | |
| *21* |  |  | | | |  | |  | | |  |  | |
| *22* | *А1* | *ВА71.090004.002 Е3* | | | | *Цифровий лазерний тахометр* | |  | | |  |  | |
| *23* |  |  | | | | *Схема електрична принципова* | | *1* | | | *1* |  | |
|  |  | |  |  |  | *ВА71.090004.001 ТП* | | | | | | | |
|  |  | |  |  |  |
| *Зм.* | Арк. | | *№ докум* | *Підпис* | *Дата* |
| *Розроб.* | | | *Семенов Г.О.* |  |  | *Цифровий лазерний тахометр*  *Відомість технічного проєкту* | *Літ.* | | | | *Аркуш* | | *Аркушів* |
| *Перев.* | | |  |  |  | *Т* | |  |  | *1* | | *1* |
| *Тех.контр.* | | |  |  |  | *КПІ ім. Ігоря Сікорського* *Каф. ІВТ, гр. ВА-71* | | | | | | |
| *Н.контр.* | | | *БогомазовС.А.* |  |  |
| *Затвердж.* | | |  |  |  |

**Пояснювальна записка**

**до дипломного проєкту**

на тему:. «Цифровий лазерний тахометр»

Київ – 2021 року

**ЗМІСТ**

[ВСТУП 15](#_Toc74055134)

[1 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ 17](#_Toc74055135)

[1.1 Тахометр та його види 17](#_Toc74055136)

[**1.1.1 Контактний тахометр** 18](#_Toc74055137)

[**1.1.2 Механічний тахометр** 20](#_Toc74055138)

[**1.1.3 Лазерний тахометр** 21](#_Toc74055139)

[**1.1.4 Магнітний тахометр** 22](#_Toc74055140)

[**1.1.5 Стробоскопічний тахометр** 24](#_Toc74055141)

[**1.1.6 Висновки теоретичного аналізу типів тахометрів** 25](#_Toc74055142)

[1.2 Аналогічні технічні рішення 26](#_Toc74055143)

[**1.2.1 Тахометр безконтактний BENETECH GM8905** 26](#_Toc74055144)

[**1.2.2 Цифровий безконтактний тахометр MHZ DT-2234C+** 27](#_Toc74055145)

[**1.2.3 Лазерний тахометр Digital PS2234** 29](#_Toc74055146)

[**1.2.4 Безконтактний лазерний тахометр Voltcraft DT-10L** 30](#_Toc74055147)

[**1.2.5 Висновки порівняння аналогічних вимірювальних пристроїв** 32](#_Toc74055148)

[2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ 33](#_Toc74055149)

[2.1 Структурна схема приладу 33](#_Toc74055150)

[2.2 Опис структурної схеми приладу 34](#_Toc74055151)

[3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ 35](#_Toc74055152)

[3.1 Схема електрична функціональна розроблюваної системи 35](#_Toc74055153)

[3.2 Опис функціональної схеми приладу 36](#_Toc74055154)

[4 СТРУКТУРА ТА КОМПОНЕНТИ ДЛЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ 37](#_Toc74055155)

[4.1 OLED дисплей 37](#_Toc74055156)

[4.2 Плата Arduino Nano ATmega328P 38](#_Toc74055157)

[4.3 Лазерний діод 40](#_Toc74055158)

[4.4 Блок живлення 41](#_Toc74055159)

[4.5 Приймач випромінювання - фотодіод BPW34 42](#_Toc74055160)

[5 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ 44](#_Toc74055161)

[5.1 Розробка принципової схеми вимірювального приладу 44](#_Toc74055162)

[5.2 Опис принципової схеми 45](#_Toc74055163)

[6 АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ТА ОКРЕМІ ВУЗЛИ 47](#_Toc74055164)

[6.1 Програмування мікропроцесору ATmega328p 47](#_Toc74055165)

[6.2 Алгоритм роботи мікроконтролеру 52](#_Toc74055166)

[6.3 Піни плати Arduino Nano та короткі відомості 53](#_Toc74055167)

[**6.3.1 Лінійний стабілізатор напруги AMS1117-5.0** 53](#_Toc74055168)

[**6.3.2 Використаний інтерфейс І2С** 53](#_Toc74055169)

[**6.3.4 Піни плати Arduino Nano** 54](#_Toc74055170)

[7 ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ 56](#_Toc74055171)

[8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ 59](#_Toc74055172)

[8.1 Основні застереження щодо використання лазерного діоду 59](#_Toc74055173)

[8.2 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень 61](#_Toc74055174)

[8.3 Техніка безпеки під час використання пристрою 63](#_Toc74055175)

[ВИСНОВКИ 64](#_Toc74055176)

[ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 67](#_Toc74055177)

**Список умовних скорочень**

ГОСТ – (рос.) – Государственный стандарт

RPM – (англ. Revolution Per Minute) – Кількість обертів за хвилину

Е.Р.С. – Електрорушійна сила

МГц – Мегагерц

Гр – Грам

В – Вольт

мА – Міліампер

Кб - Кілобайт

**ВСТУП**

Даний проект виконаний на основі технічного завдання на дипломне проектування, видане кафедрою автоматизації експериментальних досліджень НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Дана дипломна робота розгляне вимірювання частоти обертів та існуючі альтернативні рішення вимірювання даного показнику.

В наш час показник кількості обертів за умовлений проміжок часу може використовуватись в багатьох галузях, починаючи від промислової та медицинської і закінчуючи домашнім використанням. Кількість обертів вимірюється навіть завдяки шматку скотчу, який своїми вібраціями при обертаннях дає змогу розкласти їх в спеціальних додатках та дослідити показник кількості обертів детальніше, проте, зазвичай цей показник вимірюється тахометром. Цими вимірювальними приладами перевіряють та контролюють частоту обертів робочих органів технологічних машин та агрегатів, ті прилади, що використовуються в подібних галузях, як правило, можуть оснастити додатковими функціями, наприклад, функцією аварійного попередження, проте, в нашому випадку, в цьому немає необхідності.

Слово тахометр походить від двох грецьких слів: «тахос» (означає швидкість) та «метрон» (тобто, вимірювати). В загалом, перші тахометри були механічними та сконструйовані на основі вимірювання відцентрової сили, тобто сили інерції, що спрямовується від осі обертання, яка діє на всі об’єкти, дивлячись з обертової системи відліку. Проте, в наш час, цей унікальний прилад має попит навіть у медицинській сфері, адже нові удосконалені вимірювальні прилади – гематахометри розміщуються прямо в артерії або вені та можуть оцінювати швидкість кровотоку, а їх показання дають змогу лікарям оцінювати та проводити діагностику проблем кровообігу у пацієнтів, такі, як, наприклад, закупорка артерій. Тахометри, які обладнані спеціальними реєструючими вимірювання датчиками називаються тахографами.

Зазвичай, даний пристрій широко використовується в автомобілях, літаках чи інших транспортних засобах, завдяки ньому можна відслідковувати безпечний діапазон швидкості обертання колінчастого валу двигуна, внаслідок чого можна обрати оптимальну передачу на коробці передач і швидкість руху автомобіля в різних умовах, адже саме по показам тахометра ми можемо обрати ту передачу, яка буде самою оптимальною в той чи інший момент, своєчасно виявляти несправності в роботі двигуна, які приводять до його нерівномірної роботи, швидкість руху конвеєра на виробництві, тощо.

Область використання безконтактних лазерних тахометрів може бути досить широка, наприклад, цим типом тахометру можна легко проконтролювати коректність роботи того чи іншого вузла в системах контролю, адже для тесту необхідно мати лише світловідбивачі наліпки.

В цій дипломній роботі буде розроблено вимірювальний пристрій на основі мікроконтролеру у досить ергономічному корпусі, що дасть змогу використовувати його навіть в обмежених просторах. В даний момент на ринку існує велика кількість альтернативних тахометрів, проте, отримати дані з відповідною точністю та низькою похибкою можна і простіше, створивши тахометр, який дасть змогу відзначити кількість обертів на тому чи іншому вузлі та досить точно дослідити ці дані завдяки сучасному та дешевому мікропроцесору.

**1 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

Частота обертання (RPM, Revolution Per Minute) – важливий параметр, який може визначити кінематичну характеристику тієї чи іншої машини або пристрою в різній промисловості. Одиницями частоти обертання є секунда в мінус першому ступені (с−1), обертів в секунду. Також, ми можемо вимірювати частоту обертання в обертах за хвилину, обертах за годину та ін. Оберти за хвилину це одиниця вимірювання, яка показує повну кількість обертів здійснених навколо тієї чи іншої фіксованої осі за одиницю часу (секунда/хвилина/година) та, зазвичай, використовується для того, щоб виміряти швидкість обертання того чи іншого об’єкту. Також, говорячи про частоту обертання необхідно підкреслити важливість ще однієї фізичної величини – кутової швидкості, що в системі СІ вимірюється в радіанах в секунду (рад·с−1). Кутову швидкість ω можна знайти за наступною формулою, але тільки у випадку, якщо ми знаємо кут повороту Δθ за одиницю часу Δt: ω = Δθ / Δt, де кутове обертання Δθ відбувається за час Δt. Чим більший кут повороту за певний проміжок часу, тим більша кутова швидкість. Тобто, кутову швидкість можна знайти або за формулою, яка була описана вище (у випадку, якщо ми знаємо кут повороту), або за формулою ω = Δn / Δt, де Δn – кількість обертів за одиницю часу Δt (секунда/хвилина/година).

Серед великої кількості різноманітних тахометрів досить зручним та оптимальним з економічної точки зору є лазерний безконтактний тахометр, більш того, цей вид тахометру являється одним з найбільш точних порівняно з іншими типами тахометрів, наприклад, механічним чи магнітним, всі їх ми і порівняємо далі в розділі. Також, даний тип безконтактних вимірювань дозволяє проводити їх в таких умовах, де застосування інших рішень було б або неможливим або досить незручним.

* 1. **Тахометр та його види**

В загалом, всі тахометри можна розділити на декілька категорій, за методом вимірювання, або збору даних на контактні та безконтактні, за робочим принципом на механічні та електронні, за типом дисплею – на аналогові (які складається з голки та інтерфейсу типу циферблат і не можуть підраховувати середнє значення вимірювань чи зберігати дані) та на цифрові (які, як правило, мають жидкокристалічний екран і пам’ять для зберігання даних). Окремо також варто зауважити, що за вимірювальною технікою існують тахометри вимірювання частоти та часу, більш детально основні класи будуть розглянуті далі, а стисла класифікація основних видів продемонстрована на рисунку 1.1.

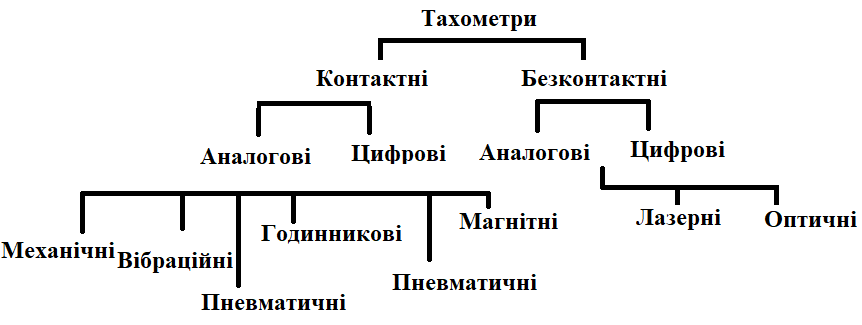


Рисунок 1.1 – Основні види тахометрів

### **1.1.1 Контактний тахометр**

Контактні тахометри – у випадку, якщо тахометр контактує з обертовим валом, він має назву контактний тахометр, або тахометр контактного типу, подібні тахометри, як правило, кріпляться до машин або до електродвигуна. Вони працюють за допомогою оптичного кодера або магнітного датчика, залежно від конкретної моделі. Для точного зчитування необхідно підтримувати прямий контакт із валом або обертовим компонентом. Діапазон вимірювання подібних тахометрів, як правило, складає від 0.5 оберту за хвилину до 10.000 – 20.000 обертів за хвилину, тобто немає можливості виміряти ту чи іншу швидкість обертання, яка була б вище зазначеної, що є великим мінусом цього типу тахометру. Як правило, подібні тахометри також оснащуються додатковими насадками різної форми та діаметру для вимірювання під різними кутами та на різній відстані, а міцний вал тахометру надає можливість витримувати навіть сильні ривки вимірювального об’єкта. Як правило, середня похибка бюджетних контактних пристроїв складає від 0.03% +- 2 одиниць в діапазоні від 5.000 до 10.000 обертів за хвилину. А дискретність в діапазоні, як правило, наступна:

* 0,1 об./хв (0,5...999,9 об./хв);
* 1 об./хв (≥ 1000 об./хв);

Також, подібні тахометри (Рисунок 1.1.1) частіше всього вимірюють и лінійну швидкість, похибка якої, найчастіше коливається приблизно в наступному діапазоні:

* 0,01 м/хв (0,05...99,99 м/хв);
* 0,1 м/хв (≥ 100,0 м/хв)



Рисунок 1.1.1 – Приклад контактного тахометру

Підбиваючи короткі підсумки теоретичного аналізу даного типу тахометру можна вказати на очевидні недоліки – малий діапазон вимірювань та потенційно небезпечний контакт з обертовим валом, також є ймовірність збільшення похибки через потенційний знос елементів після кожного вимірювання.

### **1.1.2 Механічний тахометр**

Механічні тахометри – досить простий пристрій, який вже, як правило, не користується особливим попитом, адже на ринку є велика кількість альтернативних удосконалених рішень. В самій основі роботи цього типу тахометру лежить використання троса, який під’єднується безпосередньо до коленвалу, після цього він передає крутний момент на приймальний механізм пристрою зі стрілкою, після того як стрілка відхиляється, ми можемо спостерігати результати вимірювання кількості обертів, проте, по тій причині, що вони використовувались досить давно і двигуни мали досить низьку кількість обертів, ціна позначки складала всього 250 обертів за хвилину. Головна проблема механічних тахометрів та причина, по якій вони зараз не використовується це низька точність, при чому низька точність пов’язана з самим принципом роботи цього приладу, адже він використовує тросик, оскільки він складається з витої проволоки, то може скручуватись, після цього обчислення передавального моменту шестерень буде неточним і матиме велику похибку, при чому ця похибка може досягати до 500 обертів за хвилину. Не можна забувати і про те, що головною проблемою цього виду тахометру є зношування троса, адже чим довше він використовується, тим вище стає похибка. Одним з плюсів цього виду вимірювального пристрою є можливість роботи без акумулятору та будь-якого живлення, що робить його автономним. Як правило, деякі сучасні механічні тахометри мають позиційні перемикачі діапазону вимірювань для максимально можливої роздільної здатності з множниками 1Х-10Х-100Х для зчитування з циферблату. Один з таких аналогових механічних тахометрів продемонстровано на рисунку 1.1.2.



Рисунок 1.1.2 – Механічний аналоговий тахометр

При чому, як правило, при великій частоті обертання в подібних тахометрах використовують гумовий наконечник, а при малій- металічний.

### **1.1.3 Лазерний тахометр**

Один з самих доступних та зручних серед всіх типів тахометр. Лазерні тахометри працюють за наступним принципом - вони мають лазерний чи оптичний датчик на кінці пристрою, що реагує на відбиваючу або кольорову мітку. Цей датчик спрямовується на об’єкт, який обертається зі спеціальною світло відбиваючою накладкою для того, щоб вимірювати частоту обертання за допомогою прямого зчитування, даний вид тахометру є різновидом безконтактного тахометру і зможе підійти для вимірювання у важкодоступних або тісних просторах чи для роботи з промисловими машинами. Міткою для лазерного датчика може послужити будь-яка яскрава поверхня, наприклад, дуже відбивна наліпка, або навіть відполірована головка болта, тощо. При обертанні за один оберт дана позначка потрапляє в випромінювання червоного світлодіода датчика, відбиття від неї приймається фотоприймачем. Після простих підрахувань як часто фотоприймач фіксує відбиття можна порахувати швидкість оберту. Потрібно також зазначити, що однією з головних переваг цього тахометра по відношенню до механічного є те, що в нього відсутній елемент, який може зношуватись, в наслідок чого, лазерний тахометр є більш економічним та ергономічним варіантом для вимірювання кількості обертів. Даний вид тахометру може вимірювати кількість обертів до 99.999 обертів за хвилину при цьому, як правило, показуючи досить низьку похибку.(рисунок 1.1.3)



Рисунок 1.1.3 – Принцип роботи безконтактного лазерного тахометра

### **1.1.4 Магнітний тахометр**

Принцип роботи цього контактного типу тахометру оснований перш за все на явищі електромагнітної індукції, тобто індукована е.р.с. пропорційна швидкості зміни магнітного потоку Ф, зчепленого з котушкою індуктивності з W витків (1.1.4.1).

(1.1.4.1)

В цілому, охарактеризувати дану роботу вимірювального пристрою можна наступним чином, при обертанні приводного вала, магнітні силові лінії постійного магніту перетинають ковпачок, після чого в матеріалі цього ковпачку наводяться вихрові струми. Ці вихрові струми, в момент того, як вони протікають по ковпачку створюють електромагнітне поле, яке при взаємодії з полем магніту викликаються появу рушійного моменту відповідно до осі самого ковпачка, яке захоплює його в напрямку оберту магніту. Стрілка тахометру буде повертатись в ковпачком доки захоплений момент не буде урівноважено протидійним моментом пружини. При синусоїдному розподіленні магнітної індукції в повітряному зазорі генератора діюче значення змінної е.р.с., що індукується в обмотці показане на формулі (1.1.4.2).

(1.1.4.2)

Більш детально розглянути структуру магнітного тахометру можна на рисунку 1.1.4.3

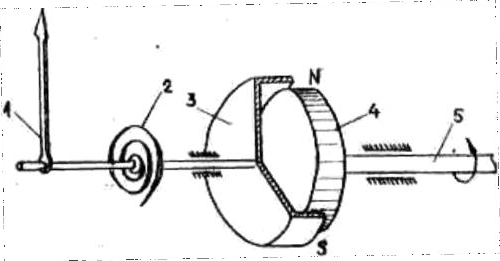


Рисунок 1.1.4.3 – Структура магнітного тахометра

Механізм магнітно-індукційного тахометра складається з наступних елементів:

* 1 - Стрілка покажчика;
* 2 - Спіральна пружина;
* 3 - Циліндричний ковпачок;
* 4 - Постійний магніт;
* 5 - Вісь тахометра.

Стандартна область виміру цього типу тахометру (рисунок 1.1.4.4) складає від 10 до 9999 обертів за хвилину. Середня точність, як правило, складає 5000 ± 2 об / хв; > 5000 ± 3 об / хв



Рисунок 1.1.4.4 – Приклад магнітного тахометру – CF5135C-Z

Одною з головних проблем магнітних тахометрів завжди буде температурна похибка, яка пов’язана з зміною як питомого електричного опору матеріалу ковпачка так і магнітної індукції постійного магніту та модуля пружності пружини. Теоретично, дана похибка може бути зменшена, якщо відібрати температурні коефіцієнти для вищезазначених параметрів, проте, на практиці даний метод компенсації не використовується і на відміну від нього в конструкціях магнітних тахометрів використовується метод компенсації на основі термомагнітного шунта.

**1.1.5 Стробоскопічний тахометр**

Даний вид тахометру майже не використовується і є стаціонарним, принцип роботи даного приладу закладається в тому, що досліджений обертовий вал час від часу освітлюється безенерційним джерелом світла (строботроном). У випадку, якщо частота обертання валу синхронізується з частотою спалахів, вал буде здаватись нерухомим, а для керування спалахами строботрона використовується спеціальний генератор з регульованою частотою, шкала частот якого може градуюватись в одиницях вимірювання частоти досліджуваного обертового механізму або валу. Дослідити отримані результати вимірювання можна за наступною формулою (1.1.5):

(1.1.5)

В цьому рівнянні F – частота прямування світлових імпульсів, Гц; m – коефіцієнт кратності, а n – частота обертання вала двигуна, хв-1

Головною проблемою подібних тахометрів являється те, що вимірювати малі частоти обертання досить складно, а похибка може залежити від стабільності частоти генератора, адже найбільш коректне підрахування відбувається при низьких показах m (m=1), тобто при найбільший частоті, коли спостерігається одне нерухоме зображення.

**1.1.6 Висновки теоретичного аналізу типів тахометрів**

В результаті короткого теоретичного аналізу даного підрозділу, можемо впевнитись в тому, що безконтактний лазерний тахометр є не тільки оптимальним рішенням завдяки його недорогій вартості та простоті експлуатації та зборки, а й завдяки його широкому діапазону вимірювань, що може складати до 99.999 обертів за хвилину та досить великою частотою оновлення значень на дисплеї.

**1.2 Аналогічні технічні рішення**

**1.2.1 Тахометр безконтактний BENETECH GM8905**

Сучасний безконтактний тахометр від компанії Benetech (рисунок 2.1), переглянувши технічні характеристики якого, можна сказати, що вимірювання обертання того чи іншого механізму відбувається в досить широкому діапазоні – від 2.5 до 99.999 обертів за хвилину.



Рисунок 1.2.1 – Безконтактний тахометр BENETECH GM8905

Додатково, необхідно зауважити, що до однієї з особливостей даного вимірювального приладу є можливість точно вимірювати частоту обертання на відстані до 500 мм, або 50 см, герметичний корпус, що дозволяє працювати з ним навіть у надзвичайно пильному приміщені, а автоматичне відключення живлення після п’яти хвилин бездіяльності дозволить зекономити заряд для подальших вимірювань.

Розглянемо його основні характеристики далі:

* Діапазон вимірювання: від 2,5 до 99 999 об / хв
* Крок виміру: 0,1 об / хв для діапазону 2,5 ~ 999,9 об / хв; 1 об / хв при показаннях понад 1000 об / хв
* Похибка: ± (0.1% n + 5) об / хв; (2.5-999.9rpm), ± (1% n + 5) об / хв: (1000-99999 об / хв)
* Відстань до вимірюваної поверхні: 50-500 мм
* Час вимірювання: 0,5 секунди
* Тип живлення: батарейки типу AAA 2 шт
* Робоча температура: від 0 ° C до 50 ° C
* Розрядність дисплея: 5 цифр
* Габарити: 127х55х28 мм.
* Вага: 98 гр

**1.2.2 Цифровий безконтактний тахометр MHZ DT-2234C+**

Прилад від німецької компанії MHZ має більші габарити на відміну від BENETECH GM8905, проте максимальна відстань до вимірювальної поверхні складає лише 200мм, що зобов’язує користувача підносити пристрій ближче до вимірювального валу. Цей пристрій як і альтернативний, оглянутий раніше GM8905 може зберігати мінімальні та максимальні значення частоти обертання. Серед виявлених недоліків даного пристрою (рисунок 2.2) можна підкреслити відсутність підсвічування дисплею, а також (на відміну від пристрою PS2234, який буде розглянуто у розділі 2.3) відсутність автоматичного, або постійного режиму (AUTO). Для вимірювання необхідно кожен раз натискати на TEST.



Рисунок 1.2.2 - Тахометр цифровий лазерний безконтактний MHZ DT2234C+

Далі можемо розглянути його основні характеристики:

* Модель: DT2234C +
* Дисплей: LCD 0.7 ', 5 цифр
* Діапазон виміру: від 2.5 до 99 999 об / хв
* Відстань вимірювання: 50 - 200 мм
* Точність : ± (0.05% + 1)
* Час вимірювання: 0.8 сек
* Робоча температура: від 0 ° C до 50 ° C
* Живлення: 1 х 9 / батарея 6F22
* Розмір виробу: 127x58x25 мм
* Вага виробу: 97 гр

**1.2.3 Лазерний тахометр Digital PS2234**

Цей тахометр вищого цінового сегменту, порівнюючи з минулими альтернативними рішеннями та вважається більш ергономічним та функціональним, адже може зберігати до 60 вимірювань, надає можливість користувачеві обрати між двома режимами лазера, на 25 мА та 40 мА, що може економити заряд батареї. Незважаючи на його більші розміри (145х90х35 мм) даний прилад більш зручно лежить у руці через його витянуту та ручкоподібну форму. Не мало важливим є і перевага над тахометром DT2234C +, адже пристрій ефективно вимірює кількість обертів на відстані до 500мм. Унікальним також є і похибка всього в 0.02%, що робить Digital PS2234 (рисунок 2.3) надзвичайно точним.



Рисунок 1.2.3 – Лазерний безконтактний тахометр Digital PS2234

Даний тахометр може економити заряд батареї, адже автоматично виключається, якщо ним не користуватись 15 та більше секунд. Серед режимів роботи самого тахометру є як автоматичний (AUTO), який буде вимірювати кількість обертів до тих пір, поки користувач не натисне кнопку для припинення, що може бути зручним для довгого виміру при умові фіксації приладу та усередненням результатів, так і ручний, при якому для зняття показів необхідно тримати кнопку під вказівним пальцем, що дозволяє вимірювати лише необхідну кількість часу та призупиняти вимірювання на тому чи іншому етапі.

Характеристики тахометру PS2234 приведені нижче:

* Діапазон вимірювання: від 2,5 до 99 999 об / хв
* Похибка: + / - 0,02%
* Пам'ять: 60 вимірювань
* Час відгуку: 0,5 секунди (більш 120RPM)
* Ефективна відстань вимірювання: 50мм ~ 500мм
* Потужність: 25 мА при низькій потужності лазера / 40 мА при високій потужності лазера
* Живлення: 1 батарея типу Крона (9 В)
* Розміри: 145х90х35 мм
* Вага: 120 гр

**1.2.4 Безконтактний лазерний тахометр Voltcraft DT-10L**

Для контрольної оцінки альтернативних рішень, розглянемо тахометр німецької компанії Voltcraft з найвищого цінового сегменту, DT-10L це висококласний вимірювальний прилад, діапазон вимірювання якого складає від 2 до 99.999 обертів за хвилину при похибці в 0.05%, з основних переваг німецького приладу це, по-перше вологостійкий корпус, який був розроблений спеціально для роботи в екстремальних умовах на підприємствах, тому висока вологість, концентрація пилу та значні коливання температури не зможуть його пошкодити. По-друге, тахометр (рисунок 2.4) має функцію підрахування переривань, завдяки чому є можливість виміряти точну кількість обертів.



Рисунок 1.2.4 – Лазерний безконтактний тахометр Voltcraft DT-10L

Під час прямого порівняння вимірювальних даних між німецьким пристроєм DT-10L та PS2234 в діапазоні від 1000 до 4000 обертів за хвилину різниця між показами складає не більше 7 обертів за хвилину. В цьому вимірювальному приборі, як і в раніше розглянутих альтернативних рішеннях є можливість зберігати максимальне, мінімальне та останнє числове значення вимірювання.

Технічні характеристики пристрою зазначені далі:

* Діапазон вимірювання: від 2 до 99 999 об / хв
* Дискретність: до 999,9 об / хв - 0,1 об / хв; понад 1000 об / хв - 1 об / хв
* Похибка: ± 0,05% + 1 одиниця
* Час відгуку: 0,5 с при кількості оборотів понад 120
* Автоматичне відключення: через 10 с при бездіяльності
* Робоча температура: від 0 до +50 С
* Живлення: Крона 9В (або адаптер мережевої 9V DC 100 mA)
* Габарити: 160х58х39 мм
* Вага: 151 г

**1.2.5 Висновки порівняння аналогічних вимірювальних пристроїв**

Після теоретичного аналізу всіх доступних безконтактних лазерних тахометрів на ринку, можна зробити наступні висновки: абсолютна більшість пристроїв працює в діапазоні до 99.999 обертів за хвилину, похибка може складати від 0.02% до 1%, при цьому ефективна відстань вимірювання складає, як правило 50 – 500 мм. Серед поставлених технічних вимог до приладу, що буде розроблятись можна виділити вимірювання в межах від 2 до 10.000 обертів за хвилину, оновлення значень на екрані в межах від 3 до 5 значень за секунду. За характеристикою живлення: повинне бути незалежним від стаціонарного джерела живлення.

Прилад має бути досить ергономічним, його розміри не мають перевищувати наступні розміри: 130х60х20мм.

1. **РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ**

**2.1 Структурна схема приладу**

Була розроблена структурна схема, лазерного тахометру, яка показана на рисунку 2.1

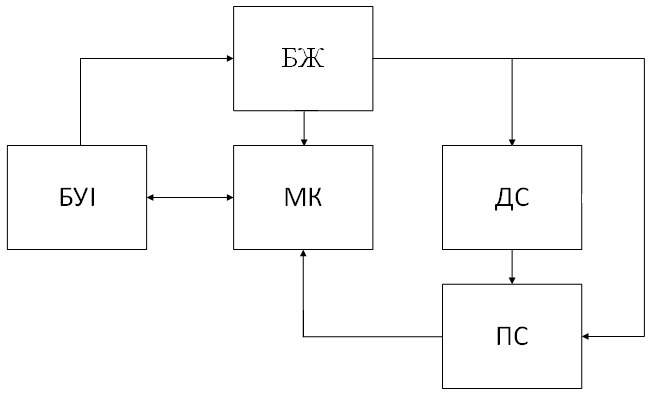


Рисунок 2.1 – Структурна схема безконтактного лазерного тахометру

Позначення, які були використані на структурній схемі зазначені нижче:

* БУІ – Блок індикації та управління;
* БЖ – Блок живлення;
* МК – Мікроконтролер;
* ДС – Давач світла;
* ПС – Приймач світла.

**2.2 Опис структурної схеми приладу**

Відповідно до технічного завдання, структурна схема вимірювального пристрою має включати лазерний діод – давач світла та фотодіод - приймач світла.

Пристрій буде запускатись та записувати вимірювання під час натискання на єдину доступну кнопку, режим роботи буде аналогічний до режиму роботи “TEST” на розглянутих раніше тахометрах. Після натискання на кнопку, активується лазерний діод, який необхідно направити на об’єкт вимірювання. Обов’язковим є нанесення яскравої мітки або наліпки на рухомий вимірювальний об’єкт для фіксації кількості обертів. Модуль лазерного сенсору (фотодіод) використовує приймач немодульованого лазерного випромінювання, по цій причині рекомендується максимально уникати попадання сонячного світла або іншого джерела світла на сенсор для коректного відображення результатів.

Після того, як лазерний діод буде направлено на яскраву наліпку або мітку, розташовану на об’єкті, що вимірюється, відбито від неї та зафіксовано модулем лазерного датчику, на виході “OUT” з’явиться високій рівень, відповідно, в тих моментах, коли фотодіод не зафіксує відбиття та фіксацію випромінювання, на виході “OUT” буде низький логічний рівень, дані будуть надходити на мікроконтролер і оброблені завдяки програмному коду (розглянутому пізніше), результат виміру надійде на дисплей OLED.

1. **РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ**

**3.1 Схема електрична функціональна розроблюваної системи**

Відповідно до розробленої структурної схеми тахометру була розроблена схема електрична функціональна. (рисунок 3.1)

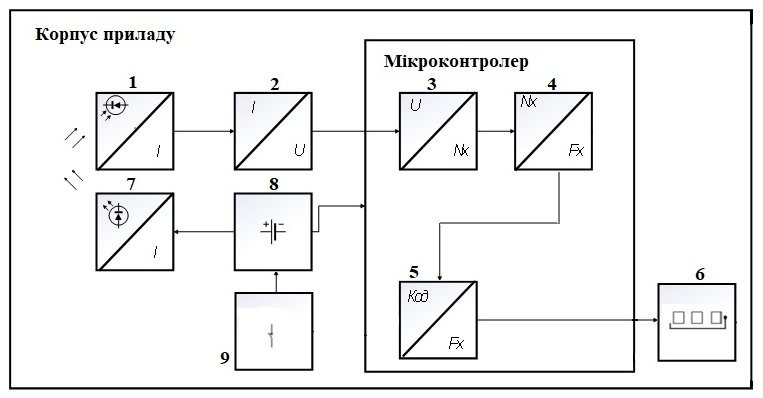


Рисунок 3.1 - Схема електрична функціональна лазерного безконтактного тахометру

Позначення використані на функціональній схемі:

* Блок 1 – Фотодіод, або перетворювач світло-напруга;
* Блок 2 – Перетворювач струм-напруга, виконаний за допомогою резистора, який послідовно включений з фотодіодом;
* Блок 3 – Перетворювач напруга – кількість імпульсів підраховує кількість зовнішніх переривань;
* Блок 4 – Перетворення кількість імпульсів - частота;
* Блок 5 – Перетворення частота - код;
* Блок 6 – OLED дисплей.
* Блок 7 – Лазерний випромінювач - діод.
* Блок 8 – Блок живлення.
* Блок 9 – Кнопка включення та вимірювання.

**3.2 Опис функціональної схеми приладу**

Проведемо короткий аналіз функціональної схеми розробленого пристрою. Фотодіод працює за рахунок внутрішнього фотоефекту, іншими словами, даний напівпровідниковий елемент трансформує отриманий світловий потік в електро-сигнал, даний фотодіод буде підключено до мікроконтролер через резистор, ємність якого розрахується пізніше. На самій платі, яка буде використана також присутній елемент, який відповідає за зовнішнє переривання, перетворивши кількість імпульсів в частоту та код мікроконтролер дасть можливість підрахувати завдяки розробленому коду такі змінні, як час останнього прийнятого імпульсу та завдяки цьому точно підрахувати частоту обертання валу.

Варто зазначити, що живити всю схему буде блок-живлення крона 9В, яка буде підключена до лінійного стабілізатора напруги плати, завдяки чому мікроконтролер не буде виведено з строю. Кнопка необхідна для початку живлення схеми, завдяки чому лазерний діод почне випромінювати пучок світла, а мікроконтролер, дисплей та фотодіод отримають живлення для роботи.

Лазерний діод, який буде являтись єдиним вихідним елементом мікроконтролеру, працює наступним чином, при подачі напруги до p-n переходу діода виникає інжекція, або іншими словами – концентрація нерівноважних носіїв збільшується, та в процесі чого дірки з області p рухаються назустріч електронам та рекомбінуються, при цьому виділяючи енергію у вигляді частки – фотона та квазічастинки – фонона, таким чином і відбувається спонтанне випромінювання, те, що ми бачимо під час світіння лазерного діода.

1. **СТРУКТУРА ТА КОМПОНЕНТИ ДЛЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ**

В цьому розділі проведемо коротку характеристику компонентів, які будуть використані для розробленого безконтактного тахометру, також проведемо короткий аналіз доступних мікроконтролерів та виберемо оптимальний варіант.

* 1. **OLED дисплей**

Як вже було досліджено раніше, принцип роботи лазерного тахометру побудований на вимірюванні частоти оберту завдяки лазерному променю, який відбивається від яркої поверхні (наліпки/стрічки), яка наклеєна на обертовий вал або предмет. Відповідно до вимог, для дисплею був обраний модуль OLED дисплей з інтерфейсом підключення i2c і розширенням 128х32 пікселів на контролері SSD1306 (рисунок 4.1)



Рисунок 3.1 - OLED дисплей 0.91" I2C 128x32

Головні перевагу цього дисплею – досить малий розмір, який ідеально підійде під маленький розмір приладу та також його низька вартість. Окремо варто зазначити, що під дисплей на даному контролері можна легко знайти бібліотеку на Arduino IDE для зручної роботи з дисплеєм.

Короткі характеристики дисплею вказані нижче:

* Розмір екрану 0.91 "
* Тип екрану OLED
* Роз'єм 4-пін
* Напруга живлення 3.3В - 6В
* Роздільна здатність дисплея 128 \* 32
* Розмір 12х12х38 мм
* Вага 3.0 грама

**4.2 Плата Arduino Nano ATmega328P**

Для початку, варто зауважити, що розглянувши існуючі альтернативні рішення на ринку, яких в наш час дуже багато, було прийняте рішення використати мікроконтролер 8-бітний AVR – ATmega328p, його особливості по-перше в тому, що він досить дешевий та при цьому його можна легко запрограмувати використовуючи Arduino. За один тактовий цикл, цей мікроконтролер досягає пропускної здатності, яка наближається до одного MIPS на МГц (з англійської мови - Million instructions per second, величина, яка показує число мільйонів інструкцій, яку здатний виконувати мікроконтролер за одну секунду під час деякого тесту), при цьому ідеально балансуючи між енергоспоживанням та швидкістю обробки. Вибравши сам мікроконтролер, оберемо плату, на якій будемо розроблювати проект.

В якості самої плати, на якій і буде реалізовано тахометр була обрана Arduino Nano ATmega328P, на її основі ми реалізуємо сам алгоритм роботи використовуючи додаткові бібліотеки для роботи з OLED дисплеєм. Особливість цієї плати складається в тому, що на відміну від Arduino Uno (53х69 мм) ця плата менше майже в 2.5 рази та її розміри складають приблизно 19х43 мм, а завдяки інтерфейсу USB-UART, який був реалізований на базі мікросхеми CH340G, дана версія Arduino Nano сильно дешевше, ніж її аналог на базі мікросхеми FT232RL. Серед розглянутих та проаналізованих альтернатив Arduino, також була переглянута плата Arduino Mini, яка є однією з найкомпактніших, проте, головна її проблема закладається в тому, що на платі відсутній USB-порт, а значить, що прошивати її необхідно через додатковий USB-Serial адаптер. Обрана плата продемонстрована на рисунку 4.2.

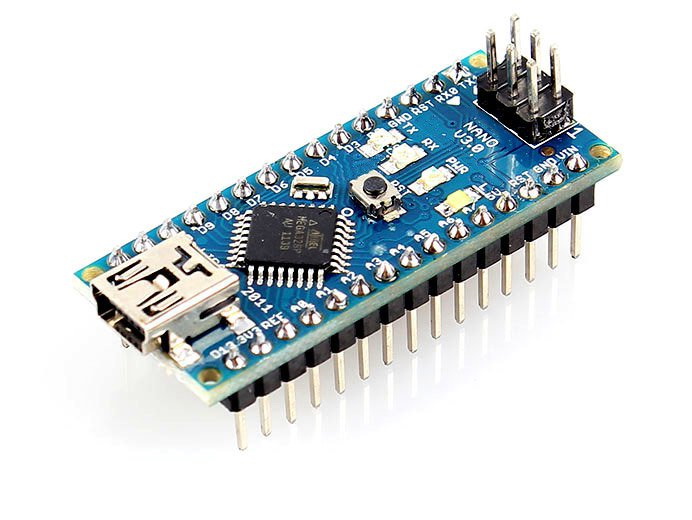


Рисунок 4.2 - Arduino Nano AVR ATmega328P

Характеристики Arduino Nano AVR ATmega328P:

* Мікроконтролер: ATmega328P
* Тип корпусу: TQFP-32
* Робоча напруга: 5В
* Вхідна напруга (рекомендована): 7-12В
* Цифрових входів / виходів: 14 (з яких 6 можуть бути використані як ШІМ)
* Аналогових входів: 8
* Сила струму на входах / виходах: 40 мА
* Сила струму для 3.3В виходу: 50 мА
* Пам'ять: 32 кБ з яких 2кб використовується бутлоадер
* SRAM: 2 кБ
* EEPROM: 1 кБ
* Частота: 16 МГц
* Розміри: 45х18 мм

Плата може живитись через mini-USB або micro-USB для підключення до комп’ютеру або через зовнішнє джерело живлення, яке має напругу від 6 до 20 В з низьким рівнем пульсації. Arduino Nano працює на програмному середовищі Arduino IDE, яке використовує мову С++ з використанням спеціальних правил структурування коду. Arduino IDE складається з простого текстового редактору коду, компілятора, спеціального модулю для завантаження прошивки в мікроконтролер та менеджеру проектів. Інтегроване джерело Arduino IDE було розроблено на Java.

**4.3 Лазерний діод**

Під час розробки пристрою буде використано модуль лазерного випромінювача. В наш час, електрона промисловість створює мініатюрні напівпровідники, які можуть генерувати лазерний промінь, такими напівпровідниками і стали лазерні діоди. Завдяки відмінним функціональним параметрам та високій оптичній потужності, лазерні діоди можна легко застосовувати в вимірювальних приладах підвищеної точності. Застосований модуль лазерного випромінювача (модуль лазерного діода F&D) має номінальну напругу живлення 5 В, довжина хвилі складає 650 нм, а потужність до 5 мВт. Споживаний лазером струм становить не більше 40 мА, тому допустимо його підключення до виходу 5 В плати Arduino (вихід вбудованого в плату Arduino регулятора напруги 5 В), робочий кут складає від 0.1 до 1 мрад. Температура для коректної роботи лазерного діоду повинна складати від -10 до +40 градусів по Цельсію. (рисунок 4.3).

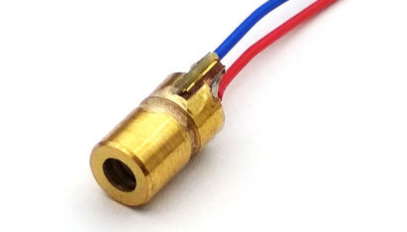


Рисунок 4.3 – Червоний лазерний діод компанії F&D

**4.4 Блок живлення**

Блок живлення являє собою гальванічний елемент типу **«**Крона**»** (6F22), напруга якого складає 9В, а ємність приблизно 625 мА/г. Використана батарейка є цинково-вугільною за електрохімічною системою (ZnCa). За системою це одні з самих поширених типів батарейок, які, як правило, використовується в різних побутових приладах. Позитивним електродом (+) є вугільний стрижень, в той час як негативним (-) є цинковий стакан. Вугільний стрижень оточений сумішшю діоксиду марганцю MnO2 і вугілля. Перевагами цього блоку живлення є, перш за все велика ємність, високий ресурс роботи та велике значення вихідного струму. Для живлення схеми від 5 В, ця напруга стабілізується стабілізатором живлення AMS1117-5.0 (даний стабілізатор знаходиться безпосередньо на самій платі Arduino Nano). Крона продемонстрована на рисунку 4.4

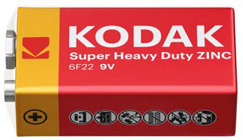


Рисунок 4.4 – Блок живлення, крона

Цей блок живить всі елементи структурної схеми. Його характеристиками є:

* Тип: Цинково-вугільний (Zn-Ca);
* Напруга: - 9 В;
* Ємність: номінальна - 625 мА/г / мінімальна - 610 мА/г;
* Розмір: Крона (6F22);
* Вага: 28 гр;

**4.5 Приймач випромінювання - фотодіод BPW34**

Компактний фотодіод для реалізації різноманітних проектів на платформі Arduino. Даний фотодіод (рисунок 4.5.1) має мініатюрний корпус та високу світлочутливість, а також швидкий час відклику (до 20 нс).



Рисунок 4.5.1 - Фотодіод

Характеристики фотодіоду відповідно до технічної документації описані нижче:

* Тип фотодіоду – PIN;
* Діапазон спектральної чутливості – 400…1100 нм;
* Максимальна зворотня напруга – 60 В;
* Вугол напівчутливості – 65о;
* Максимальна розсіювана потужність – 215 мВт;
* Вихідний високий рівень при отриманні лазерного сигналу;
* Вихідний низький рівень, коли не фіксується лазерний сигнал.

На рисунку 4.5.2 буде показаний спадаючий графік - відношення ємності фотодіода (y) до зворотної напруги (x).

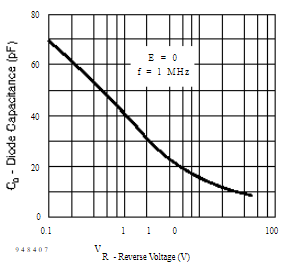


Рисунок 4.5.2 – Відношення діодної ємності до зворотної напруги

Також, відповідно до технічної документації, графічний аналіз відносної спектральної чутливості (y) до довжини хвилі (x) буде продемонстровано на рисунку 4.5.3

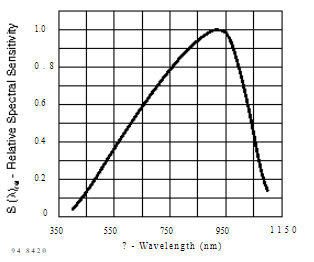


Рисунок 4.5.3 – Відношення спектральної чутливості до довжини хвилі

1. **РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ**
   1. **Розробка принципової схеми вимірювального приладу**

Після теоретичного аналізу компонентів та розробки структурної та функціональної схем приладу, розробимо схему електричну принципову.

Перш за все, підрахуємо номінал обмежуючого резистору R2, так як робочим струм лазера дорівнює 40 мА, необхідно обрати обмежуючий резистор виходячи з формули (5.1.1)

(5.1.1)

Де - обмежуючий струм резистор, – напруга живлення, - падіння напруги на переході емітер – колектор, – Струм живлення. Виходячи з даної формули, Відповідно до номінального ряду резисторів Е12 (Рисунок 5.1.2), зможемо обрати підходящий резистор номіналом 120 Ом.

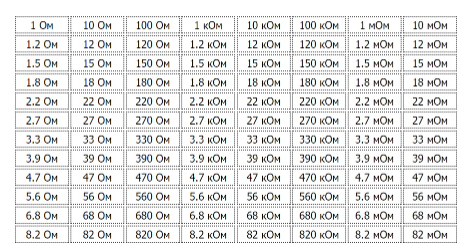


Рисунок 5.1.2 – Ряд номіналів резисторів Е12

.

Принципова схема безконтактного лазерного тахометру продемонстрована на рисунку 5.1.3

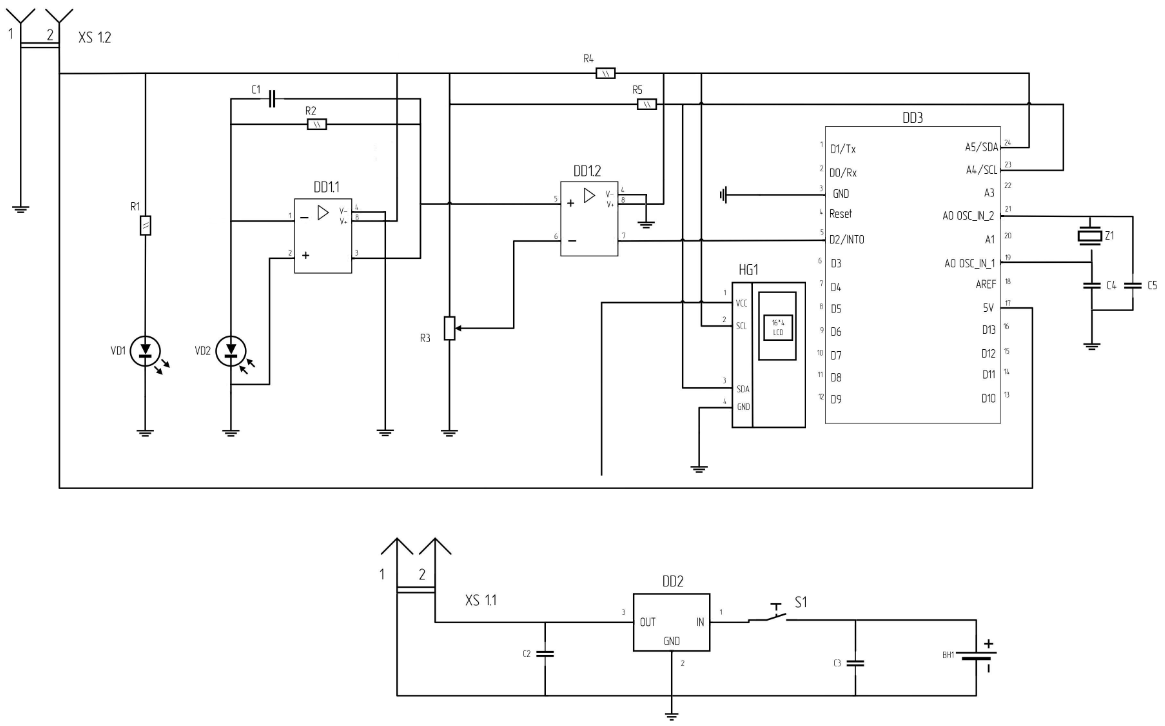


Рисунок 5.1.3 – Схема електрична принципова безконтактного тахометру

**5.2 Опис принципової схеми**

На даній принциповій електричній схемі зображений мікроконтролер ATmega328P (DD3), OLED ‘0.91 дисплей 128х32 пікселів (HG1), стабілізатор напруги Arduino Nano AMS1117-5.0 (DD2), цинково-вугільна батарея постійного струму (BH1), фотодіод BPW34 (VD2), лазерний діод (VD1), кнопку (SA1), також на схемі позначені резистори (R1, R2, R3, R4, R5), компаратор (DD1.2) та трансімпендансний підсилювач (DD1.1) .

Резистори (R4) та (R5) є підтягуючими резисторами OLED дисплею, один резистор на шину SDA та один на шину SCL.Ставляться вони для того, щоб логічний вхід не залишався в підвішеному стані при розімкнутому контакті кнопки, його через резистор з’єднують із землею. Саме такий резистор і називають підтгягуючим, адже від забезпечує підтяжку сигналу до землі.   
Кварцевий резонатор (Z1) в корпусі HC-49Е, який знаходиться на Arduino Nano, та два конденсатори (C1 – 100 нФ відповідно до технічної документації Arduino Nano), (C2 – 100 нФ) необхідні для того, щоб резонатор почав резонувати. Частота цього резонатору 8МГц, а використовується він для тактування стабільною частотою певного значення. Разом з конденсаторами, цей кварцевий резонатор утворює коливальний контур. Компаратор (DD1.2) порівнює напругу на 5 і 6 контакті, і у випадку, якщо на 5 більше, ніж на 6, то в такому випадку, підсилює і передає на вихід 7 напругу в 5В, в іншому випадку, він передає напругу в 0В. Резистори (R3, R2) є резисторами змінного опору. Ємність конденсаторів C4 та C5 вказана в технічній документації стабілізатора напруги AMS1117-5.0. Трансімпендансний підсилювач (DD1.1) потрібен для того, щоб перетворити струм в напругу, його рівень напруги залежить від того, чи отримуємо ми щось на фотодіод.

1. **АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ТА ОКРЕМІ ВУЗЛИ**

В цьому розділі буде розглянуто та проаналізовано програмний код, який було написано на Arduino IDE, завдяки якому ми отримуємо кінцевий результат вимірювання. Також, буде проаналізовано короткий алгоритм роботи вимірювального пристрою і розглянуто распіновку плати Arduino Nano.

**6.1 Програмування мікропроцесору ATmega328p**

Для поставленої задачі було розроблено програмний код використовуючи Arduino 1.8.15 IDE. Завдяки даній среді можна завантажити запрогромований код на плату використовуючи USB вихід. Додатково необхідно завантажити програмні бібліотеки, які будуть використовуватись в програмі. Всього цих бібліотек буде дві, одна з них - Adafruit\_SSD1306, а інша - Adafruit GFX. Adafruit GFX – це основна графічна бібліотека, яка може забезпечити набір графічних функцій та залаьний синтаксис, який використовується в LCD та OLED дисплеях. Для того, щоб дана бібліотека працювала коректно та відображувала необхідні значення, необхідно завантажити додаткову бібліотеку, яка буде унікальною в залежності від типу дисплею. По цій причині, також була встановлена бібліотека Adafruit\_SSD1306, адже обраний раніше дисплей було розроблено на контролері SSD1306. Відповідно до декларації дисплеїв, які були розроблені на базі цього контролеру, дисплей підключений до I2C (тобто двох пінів, SDA та SCL), на процесорі Arduino Nano, цим пінам відповідають входи A4(SDA) та A5(SCL) на платі (рисунок 6.1).

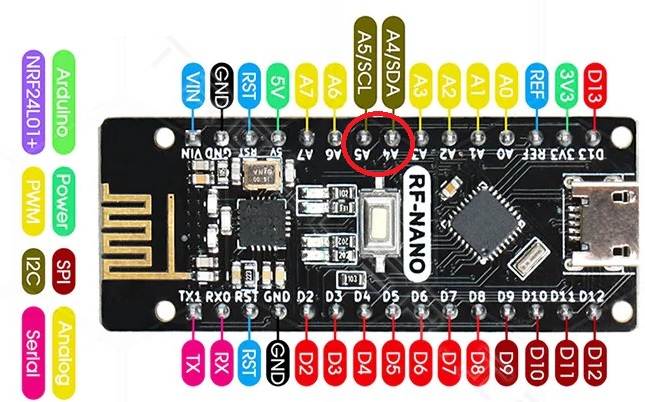


Рисунок 6.1 – Демонстрація пінів SDA та SCL для підключення дисплею

Розглянемо початок коду та підключення бібліотек:

#include <SPI.h> // бібліотека для взаємодії з приладами, які підтримують SPI протокол, тобто вона необхідна для роботи з периферійними пристроями (кнопкою)

#include <Wire.h> // бібліотека, яка використовується для зв’язку мікроконтролеру з модулями, використовуючи інтерфейс I2C

#include <Adafruit\_GFX.h>

#include <Adafruit\_SSD1306.h> // дві додатково завантажені бібліотеки, які були описані раніше

#define SCREEN\_WIDTH 128 // довжина дисплею в пікселях

#define SCREEN\_HEIGHT 32 // висота дисплею в пікселях

#define OLED\_RESET 4 // номер піну на мікропроцесорі, де було підключено OLED

Adafruit\_SSD1306 display(SCREEN\_WIDTH, SCREEN\_HEIGHT, &Wire, OLED\_RESET); // створюємо об’єкт «дисплей», завдяки протоколу зв’язку I2C, який позначається як (&Wire), OLED\_RESET в цьому випадку це пін сбросу

unsigned long lastflash; // змінна, яка буде зберігати час в макросекундах, коли був останній оберт

int RPM; // змінна, яка буде використовуватись для підрахування та виводу кількості обертів за хвилину (Revolution Per Minute)

Весь розроблений код можна поділити на чотири функції – setup(), sens(), loop() та updatedisplay(). Розглянемо по-черзі кожну з них, почнемо з setup() – це така функція, яка викликається всього один раз під час старту проекту (скетчу), використовується, як правило, для визначення режимів роботи вводів та виводів.

void setup() {

pinMode(2, INPUT);

attachInterrupt(0, sens, RISING);

if(!display.begin(SSD1306\_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {

for(;;);

}

}

Завдяки оператору if перевіряється чи підключено дисплей до мікроконтролеру. Необхідно зауважити, що відповідно до технічної документації 0x3C – це адреса для дисплею 128х32 пікселів. SSD1306\_SWITCHCAPVCC генерує напругу на дисплеї від 3.3В. У випадку, якщо підключення до дисплею не відбулось з якоїсь причини – даний фрагмент коду виводить повідомлення про це на послідовний монітор і переходить в постійний цикл без подальшої роботи. В раніше зазначеному тілі setup() в перших двох строчках функцією pinMode ми встановлюємо режим роботи сенсору як вхід. Завдяки функції attachInterrupt в Arduino IDE ми можемо працювати з перериванням. Дана строчка коду може визначити яку функцію викликати, коли відбувається зовнішнє переривання. На платі Arduino Nano ATmega328P за переривання відповідають два цифрові піни – D2 та D3, при чому в коді їх номера не співпадають з цими номера та дорівнюють 0 для D2 та 1 для D3. Під час переривання у режимі RISING (спрацьовує коли сигнал змінюється з низького на високий) викликається функція sens. Дані строчки коду і надають можливість зафіксувати отримання сигналу.

Розглянемо функцію sens(), яка викликається як тільки ми отримуємо зовнішнє переривання завдяки отриманню імпульсу фотодіодом.

void sens() {

RPM = 60 / ((float)(micros() – lastflash) / 1000000);

Lastflash = micros();

}

Micros() повертає кількість мікросекунд типу unsigned long з початку виконання програми. Тобто спочатку ми віднімаємо це значення від значення змінної, яка зберігає значення в мікросекундах (починаючи від початку роботи процесору), при чому для першого циклу значення lastflash виходячи з ініціалізації буде нульовим, адже в цей момент ми ще не отримували імпульс. Ділення на 1000000 необхідно для відображення змінної RPM саме в обертах на хвилину, адже в 1 секунда = 1.000.000 мікросекундам. Після цього ділимо 60 на дане значення і отримуємо кількість обертів за хвилину, після чого передаємо значення в мікросекундах останнього оберту змінній lastflash, ця інформація нам знадобиться в циклі loop().

Далі розглянемо тіло функції loop(). Дана функція робе те, що і зазначено в її назві – тобто циклічно виконує всі команди, які вказані в її тілі. Всі основні підрахування програми виконуються саме в цій функції.

void loop() {

if ((micros() – lastflash) > 300000000){

RPM = 0;

updatedisplay();

}

В тілі цієї функції розглянемо оператор if. Якщо сигнал відсутній більше 30 секунд, на екрані тахометру буде відображено те, що в даний момент значення обертів за секунду 0 RPM. 30 секунд вказані з розрахунку технічного завдання, адже діапазон вимірювання розробленого пристрою має бути в межах 2…10000 об/хв, відповідно 2 оберти за хвилину – 1 оберт в 30 секунд. Також ми звертаємось до функції updatedisplay(), яка виводить всі значення показів тахометру на дисплей.

В наступній частині коду, функції updatedisplay() продемонстровано принцип виведення значення на екран тахометру, значення X змінюється в залежності від того, наскільки довге число RPM буде виведено на екран, таким чином, чим більше буде число, тим менше відступ від лівої частини екрану в пікселях.

updatedisplay();

}

void updatedisplay() {

display.clearDisplay();

display.setTextSize(3);

if(RPM < 10) x = 80;

if(RPM >= 10 && RPM < 100) x = 62;

if(RPM >= 100 && RPM < 1000) x = 44;

if(RPM >= 1000 && RPM < 10000) x = 26;

if(RPM >= 10000 && RPM < 100000) x = 8;

display.setTextColor(SSD1306\_WHITE);

if(RPM < 100000){

display.setCursor(x, 6);

display.print(RPM);

display.setTextSize(1);

display.setCursor(104, 20);

display.print(F("RPM"));

display.display();

} else {

display.setTextSize(2);

display.setCursor(13, 8);

display.print(F("MAX LIMIT"));

display.display();

}

}

**6.2 Алгоритм роботи мікроконтролеру**

Відповідно до розробленого програмного коду, був розроблений алгоритм роботи мікроконтролеру, який продемонстровано на рисунку 6.2

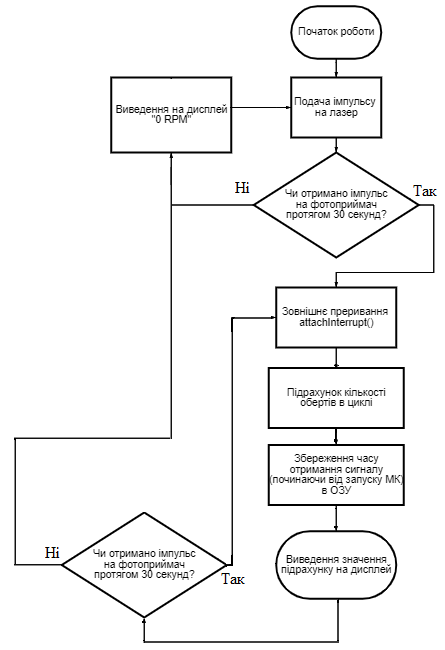


Рисунок 6.2 – Алгоритм роботи мікроконтролеру

**6.3 Піни плати Arduino Nano та короткі відомості**

**6.3.1 Лінійний стабілізатор напруги AMS1117-5.0**

Плата Arduino Nano, яка використовується в проекті може живитись використовуючи різні входи, як, наприклад, живитись від USB виходу, (що є досить поганим способом живити плату), так і входів в пін VIN та GND або 5V і GND. Якщо розглядати живлення використовуючи пін 5V, то можна сказати, що максимальне живлення, відповідно до технічної документації на мікроконтролер – 5.5 В, відповідно все, що вище цього значення може вивести мікроконтролер з строю. В нашому випадку система живиться від піну VIN, це досить універсальний спосіб живлення Arduino, адже саме цей пін заводить живлення на бортовий стабілізатор напруги AMS1117-5.0. Рекомендований діапазон живлення в такому випадку може складати від 7 до 12 В, проте в цілому, живлення може досягати до 20 В. Стабілізатор влаштований таким чином, що видає хорошу рівну напругу з мінімальними пульсаціями, а всю зайву напругу переводить в тепло. Рекомендується живитись через цей пін у випадку, якщо не використовуються модулі високого живлення току, такі як моторчики, адресні світлодіодні стрічки, тощо. Відповідно до технічної документації, при 12 В напрузі, з піна 5V можна зняти не більше, ніж 500мА без ризику перегріву стабілізатора.

**6.3.2 Використаний інтерфейс І2С**

Послідовний протокол обміну даними, або як його ще іменують І2С (Inter-Integrated Circuits (IIC)) використовує для передачі даних всього дві лінії зв’язку (або шини). В розробленому пристрої даний протокол було використано для підключення дисплею і виводу значень на екран. Використані шини називаються SDA (Serial data – шина послідовних даних) та SCL (Serial Clock – шина такту). Ці шини підтягуються до шини живлення через спеціальні підтягуючі резистори, в нашому випадку – два резистора ємністю по 4.7 кОм. З особливостей даного інтерфейсу можна підкреслити те, що до однієї шини можна підключити до 127 пристроїв, при чому підключати їх можна навіть в процесі роботи.

**6.3.4 Піни плати Arduino Nano**

Розглянемо піни плати та проведемо короткий аналіз які піни за що відповідають, адже деякі піни мають більше однієї функції. Піни плати Arduino Nano продемонстровані на Рисунку 6.3.4

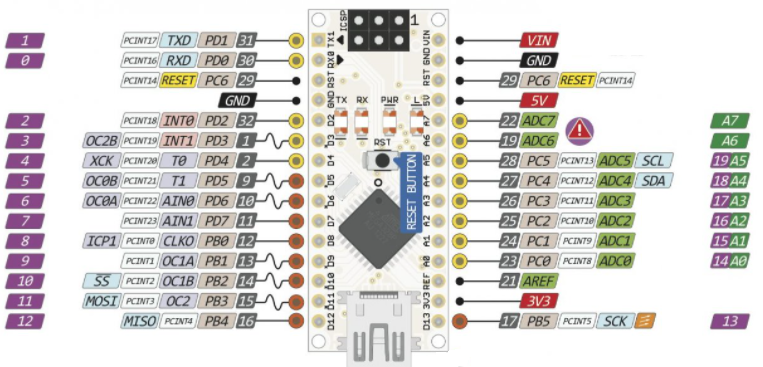


Рисунок 6.3.4 – Піни плати Arduino Nano

Проведемо короткий аналіз пінів плати, почавши з GPIO (піни загального значення, на платі вони відображені буквами D та A з індексом), на схемах найчастіше всього дані піни відображаються саме як PD, PB, PC по тій причині, що піни об’єднані в порти по декілька штук, в Arduino Nano таких порти всього три, тобто D, B та C. Ці піни здатні видавати логічний сигнал – 0 або VCC та зчитувати абсолютно такий же логічний сигнал. VCC – це напруга живлення мікроконтролеру, яка, зазвичай, не перевищує показання в 5 В. Ці піни мають два основних типи роботи, такі як вхід та вихід. Тобто в ці піни можна підключити як модуль, який буде служити як прймач, так і модуль, який буде видавати ту чи іншу характеристику. Також деякі піни мають додаткові можливості, які продемонстровані на рисунку, де ADC це аналогово-цифровий перетворювач та відображено зеленим кольором, UART – інтерфейс зв’яку, який показано голубим кольором та підписами TXR, RXD, виводи таймерів (лічильників, які працюють паралельно з мікроконтролером) відображені світло фіолетовим кольором та підписами OC\*A та OC\*B, де \* - це номер лічильнику. Інтерфейс зв’язку I2C та SPI продемонстровані голубим кольором та підписані як SS, MOSI, MISO та SCK (для SPI) та SDA, SCL для I2C. INT0 та INT1 – апаратні переривання, які використовувались в програмному коді. Вивід землі стандартно показано чорним кольором та літерами GND. VIN – раніше розглянутий пін для підключення зовнішнього джерела живлення в діапазоні від 7 до 12 В.

1. **ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ**

Відповідно до технічного завдання, граничні покази вимірювання мають складати від 2 до 10000 об/хв. Розглянемо принцип підрахування кількості обертів з програмної точки, в розробленому коді є наступні строки:

void sens() {

RPM = 60 / ((float)(micros() – lastflash) / 1000000);

Lastflash = micros();

}

В нашому випадку, вся точність підрахування залежить від точності команди micros(), тому необхідно підрахувати похибку фіксації часу в мікросекундах від початку роботи мікроконтролеру. Arduino має генератор сигналів 16 МГц. Генератор 16 МГц призводить до того, що мікроконтролер має тактовий цикл один раз на 16-мільйонну секунди. Тактовий цикл - це один цикл генератора, який управляє логікою процесора. Отже, на Arduino кожен тактовий цикл становить 1/16 000 000 секунди, а це: 0,0625 мікросекунд (мкс)

Arduino на базі Atmel ATmega168 / 328 має 3 таймери, з яких функція micros використовує таймер № 0 мікроконтролера. Перед використанням будь-якого таймера необхідно встановити кілька регістрів. Якщо ми перевіримо, як Arduino встановлює таймер № 0, ми зможемо підкреслити, що він встановлює коефіцієнт попереднього масштабу 64 (Рисунок 7.1).

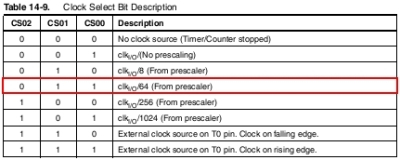


Рисунок 7.1 – Технічна документація ATMEL ATMega328 визначає коефіцієнт попереднього масштабування таймера # 0

Відповідно, якщо тактовий цикл Arduino відбувається кожні 1/16 000 000 секунди, застосування 64 prescaler означає, що таймер № 0 цокає в 64 рази від базової частоти генератора сигналів, або 64 \* 1/16 000 000, тобто кожні: 0,000004 секунди. Prescaler- це електронна рахункова схема, яка використовується для зменшення високочастотного електричного сигналу до більш низької частоти шляхом цілочисельного ділення. Таймер # 0 має 8-бітний регістр лічильника (TCNT0), який збільшується на 1 кожні 0,004 мілісекунди. Максимальне 8-бітове значення, яке може утримувати таймер, - 255 (шістнадцяткове 0xFF). Отже, коли таймер намагається підрахувати до 256, він "перевертається" до 0. Це "перекидання" називається "переповненням". Лічильник стартує 256 разів, а не 255 разів (оскільки 0 + 255 = 256). Тому "переривання переповнення" таймера № 0 відбувається кожного разу, коли лічильник таймера (TCNT0) перевертається. Відповідно до зазначених раніше підрахунків, це відбувається кожні 1/16 000 000 (генератор) \* 64 (попередній масштаб) \* 256 (перекидання) = 0,001024 секунди або кожні 1024 мкс. Підрахуємо граничні значення micros(). Розглянемо рівняння, в якому micros() буде змінною x. Для 2 об/хв рівняння буде 2х = 60, відповідно значення х = 30 сек, в мікросекундах це значення буде дорівнювати 30000000 мкс. Для 100000 об/хв, рівняння відповідно буде 10000х = 60, значення х = 0.006 сек, або 6000 мкс. Отримавши значення, підрахуємо відносну похибку в мікросекундах визначення командою micros() часу від початку роботи мікроконтролера. Ми знаємо, що абсолютна похибка складає 4 мікросекунди, таким чином максимальна відносна похибка для максимального значення RPM буде складати (4 / 6000) \* 100% = 0.06%

Покази тахометра, у випадку відображення функції micros значення в 5996 або 6004 мкс можуть складати від 9993 до 10006 об/хв, таким чином, максимальна можлива похибка в цьому діапазоні може складати до 7 об/хв. Відносна похибка вимірювання в такому випадку складе 0.07%.

При чому, слід зазначити, що на мінімальних значеннях, під час показів в 30000004 мкс або 29999996 мкс, показ тахометра складатиме 1.9999997333 або 2.0000002667, в обох випадках заокруглення буде до двійки, а відносна похибка вимірювання складатиме (0.0000002667 / 2) \*100% = 0.00001%.

1. **ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ**

Даний дипломний проект являє собою розробку вимірювального приладу на основі мікропроцесору. Окрім проаналізованих існуючих рішень, розроблених схем, які змогли задовільнити поставленим умовам виміру та метрологічним оцінкам, буде розглянуто і техніку безпеки для роботи з пристроєм. Можна виділити декілька основних показників для безпечної роботи з вимірювальним прибором, а саме:

* Безпека вимірювального обладнання
* Безпека процесу вимірювання

До першої складової можуть входити основні заходи щодо підвищення рівня безпеки, такі як: не світити лазерним діодом в очі, адже це може призвести до тимчасового осліплення та є шкідливим для сітчатки ока. Звісно, додатковою вимогою для безпечного користування приладом може служити дотримання герметичності корпусу та користування ним виключно сухими руками.

**8.1 Основні застереження щодо використання лазерного діоду**

Відповідно до ГОСТ IEC 60825-1-2013 (Безпека лазерної апаратури). Даний стандарт використовується для надання безпечних умов для роботи з лазерною апаратурою, яка випускає лазерне випромінювання в діапазоні 180 нм…..1 мм. При опрацюванні даного стандарту можна підкреслити, що лазерне випромінювання відрізняється від більшості інших відомих типів випромінювань коллімірованістю пучка (тобто малою розходимістю пучка, коли майже всі лучі є паралельними), саме цей фактор призводить до передачі великої кількості енергії на тканину, біологічна структура поглинає пучок лазеру на молекулярному рівні або на атомарному, а серйозність травми залежить, як правило, від довжини хвилі. Вплив випромінювання на тканини людини більш детально продемонстровано на рисунку 8.1

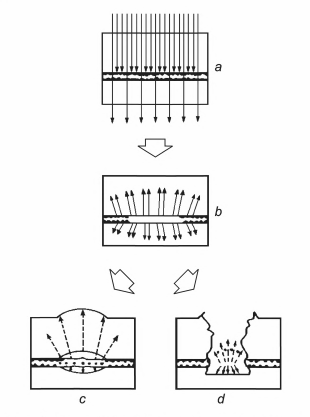


Рисунок 8.1 – Схема пошкодження біологічної тканини лазерним випромінюванням

Використані позначки на цій схемі зазначені далі:

* A – Біологічна тканина поглинає випромінювальний пучок лазерної енергії;
* B – Тканина, яка поглинула енергію нагрівається та створює тепло, яке поширюється в навколишні тканини;
* C – При впливі лазерного випромінювання з довгими імпульсами або безперервних лазерів, поступово збільшується область пораження, яка розповсюджується на навколишню тканину більш старанно;
* D – У випадку, якщо випромінювання було не з довгими імпульсами, а з короткими, висока щільність потужності провокує руйнування клітин і пошкодження в результаті фізичного впливу.

Додатково, відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 можна підкреслити, що існують деякі небезпечні фізичні фактори, які можуть зашкодити здоров’ю людини, частина з них наступна:

1. Понижена або підвищена температура поверхонь обладнання чи/та матеріалів;
2. Понижена або підвищена температура повітря робочої зони;
3. Розташування робочого місця дуже високо відносно полу;
4. Занадто підвищене значення напруги в електричному ланцюзі вимірювального пристрою, замикання якого може пройти та уразити тіло людини.

Для того, щоб убезпечити себе від травми на робочому місці, необхідно притримуватись основним заходам техніки безпеки.

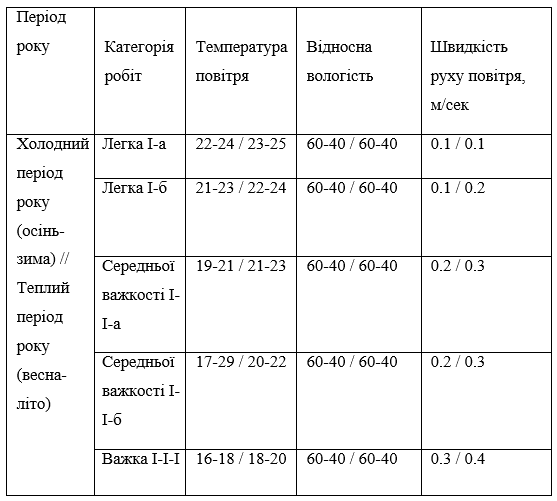
**8.2 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень**

Перш за все варто зауважити, що відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 існують як оптимальні так і допустимі мікрокліматичні умови, які впливають на тепловий стан людини при її діяльності на робочому місці.

Відповідно до використаних термінів в цій постанові, робоче місце – площа, на якій особа веде робочий процес перебуваючи там постійно чи тимчасово.

Оптимальні – такі умови, при яких під час опрацювання у людини не виникають ушкодження або погіршення самопочуття, тобто забезпечене відчуття теплового комфорту на робочому місці.

Допустимі – такі умови на робочому місці, при яких при умові тривалого чи систематичного впливу на людину можуть викликати погіршення самопочуття через дискомфортні тепловідчуття, в цьому стані у людини в такому стані може не тільки понизитись здатність працювати, а в цілому загальне самопочуття. На таблиці 8.2 зазначені такі показники, як найбільш оптимальна швидкість руху повітря, відносна вологість та температура повітря на робочому просторі в залежності від категорії робіт та періоду року.



Таблиця 8.2 – Оптимальні показники на робочому місці

**8.3 Техніка безпеки під час використання пристрою**

Для безпечного використання розробленого тахометру необхідно дотримуватись основних правил безпеки під час його експлуатації, а саме:

1. До ремонту тахометру та експлуатації повинні допускатися виключно ті особи, які мають кваліфікаційну групу по техніці безпеки.
2. При вимірюванні тахометром кількості обертів того чи іншого обертового механізму, необхідно дотримуватись безпечної відстані від валу, яка має бути, щонайменше, 7-10 сантиметрів.
3. Відповідно до розділу 8.1 категорично забороняється світити лазером в очі, адже це може призвести до тимчасових або постійних проблем із зором, також забороняється світити в тварин та в будь-які дзеркальні відбиваючі поверхні, які не відносяться до вимірювального компоненту.
4. У випадку ремонту або заміни тих чи інших компонентів тахометру, необхідно перш за все вимкнути його від джерела живлення.
5. Категорично забороняється вимірювати кількість обертів обертового механізму під водою.
6. Будь-які вимірювання та випробування повинні проводитись відповідно до ГОСТ 12.3.019-80.
7. Не використовувати абразиви, кислоту або будь-який розчинник для очистки приладу або будь-яких його компонентів.
8. Не вимірювати показання в вибухонебезпечних або вогненебезпечних середовищах.
9. Після вимірювання, прилад має зберігатись в сухому приміщені, температура якого не має бути підвищеною.

Дотримання цих основних правил безпеки під час вимірювання є обов’язковим. Порушення або недбале використання приладом може спричинити його поломку або заподіяти шкоду здоров’ю користувача.

**ВИСНОВКИ**

В цій дипломній роботі були проаналізовані відомі технічні рішення для вимірювання кількості обертів, проаналізовані безконтактні лазерні тахометри та їх характеристики, розроблено програмний код, структурну, принципову та функціональні схеми. Додатково були проаналізовані сучасні компоненти для можливості створення даного вимірювального приладу.

В цьому проекті були також проаналізовані похибки вимірювання, після чого можна стверджувати, що поставлена в технічному завданні точність була досягнута, при чому розробка даного вимірювально приладу може бути досить значно дешеве, ніж існуючи бюджетні аналоги на ринку.

Також було написано розділ з технічної безпеки, який надає змогу не тільки проаналізувати санітарні умови приміщень для вимірювання, а й прослідити за технікою безпеки під час використання безконтактного тахометру.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Как работает автомобильный тахометр? - autolirika.ru [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://autolirika.ru/teoriya/kak-rabotaet-avtomobilnyj-tahometr.html>
2. Тахометр. Виды и устройство. - tehpribory.ru [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://tehpribory.ru/glavnaia/pribory/takhometr.html>
3. Contact/Non-Contact Tachometer - calright.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://calright.com/product-category/tachometers-stroboscopes/handheld-tachometers/contact-non-contact-tachometer/#:~:text=Contact%20Tachometers%20are%20used%20to,the%20component%20you%20are%20measuring>.
4. What is Tachometer and its uses? - shakedeal.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.shakedeal.com/blog/what-is-tachometer-and-its-uses/>
5. What are mechanical tachometers? - quora.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.quora.com/What-are-mechanical-tachometers>
6. Reviews of the Best Digital Photo Laser Tachometer - nerdtechy.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://nerdtechy.com/best-laser-tachometer>
7. Магнитный тахометр - mash-xxl.info [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mash-xxl.info/info/27437/>
8. Стробоскопический тахометр - usefulmobileapps.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://usefulmobileapps.com/ru/strobe-light-tachometer.php>
9. Бесконтактный лазерный тахометр BENETECH GM8905 - electronoff.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/beskontaktnyy-lazernyy-takhometr-benetech-gm8905.php>
10. Тахометр цифровий лазерний безконтактний DT2234C+ - prom.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1100402187-tahometr-tsifrovij-lazernij.html?&primelead=MC4y>
11. Тахометр Digital PS2234 Лазерный бесконтактный - rozetka.com.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/49846374/p49846374/>
12. Бесконтактный лазерный тахометр Voltcraft DT-10L - electronoff.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/beskontaktnyy-lazernyy-takhometr-voltcraft-dt-10l.php>
13. OLED дисплей 0.91" I2C 128x32 (білий) - arduino.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1795-oled-displei-modyl-0-91-i2c-128x32-belii>
14. Arduino Nano V3.0 AVR ATmega328P з розпаяними роз'ємами - arduino.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-s-raspayannimi-razemami>
15. Лазерный диод модуль точка 5мВт 5В красный 650нм - povnyiykit.com.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://povnyiykit.com.ua/p1193589850-lazernyj-diod-modul.html?source=merchant_center&gclid=Cj0KCQjwh_eFBhDZARIsALHjIKdJLV0S0M132iVkd7ZprAyBF0m6vplaIVTzEJD1r2iKVHvyEO2rnjIaAhnFEALw_wcB>
16. Батарея «Крона» - ru.wikipedia.org [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%8F_%C2%AB%D0%9A%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0%C2%BB>
17. Батарейка KODAK EXTRA HEAVY DUTY 6F22 - rozetka.com.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/234402073/p234402073/>
18. BPW34 (Vishay) - Активные компоненты - Фотодиоды, фототранзисторы, фоторезисторы - rcscomponents.kiev.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/bpw34_25387.html>
19. Adafruit\_SSD1306 - github.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306>
20. Режимы работы стабилизатора питания в Arduino Nano - arduino.ru [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://arduino.ru/forum/apparatnye-voprosy/rezhimy-raboty-stabilizatora-pitaniya-v-arduino-nano>
21. Arduino Nano I2C связь между контроллерами - geekmatic.in.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://geekmatic.in.ua/arduino_nano_i2c>
22. Arduino Nano: распиновка, схема подключения и программирование - wiki.amperka.ru [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:arduino-nano>
23. Examination of the Arduino micros() Function - ucexperiment.wordpress.com [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ucexperiment.wordpress.com/2012/03/17/examination-of-the-arduino-micros-function/>
24. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Безопасность лазерной аппаратуры - docs.cntd.ru [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.cntd.ru/document/1200107020>
25. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Система стандартов безопасности труда - docs.cntd.ru [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://docs.cntd.ru/document/5200224

1. \* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту (роботи) [↑](#footnote-ref-1)