

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

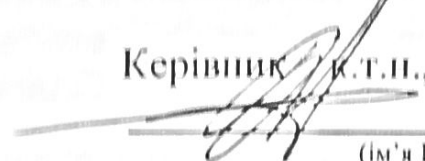
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

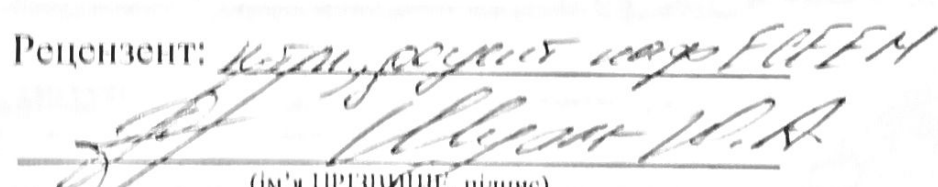
«ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМКНУТИХ СИСТЕМ
КЕРУВАННЯ З ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІЙНИМ РЕГУЛЯТОРОМ»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дмитро СТИФАНЦОВ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник к.т.н., доцент каф. КЕМСК
Дмитро ПРОЦЕНКО
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«20» травня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. КЕМСК
В. А. ВУКОБРАТОВИЧ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«13» червня 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри КЕМСК
д.т.н., доц., доцент каф. Мошпоріс М.М.

«9» червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електромеханічні системи автоматизації

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

д.т.н., доц., доцент каф. Мошноріз М.М.


«12» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Стіфанцову Дмитру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференційним регулятором

Керівник роботи к.т.н., доц., доцент каф. КЕМСК Проценко Д.П.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025р № 97

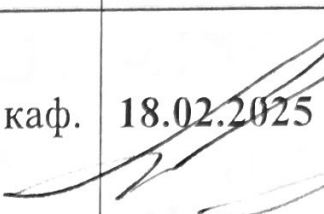
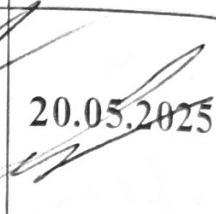
2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Дані двигуна: Номінальна потужність 10Вт, Номінальна напруга 24В, Номінальна швидкість обертання 1000 об/хв., Коефіцієнт корисної дії 80 %, Швидкість обертання датчика вентилятора 1000 об/хв, Діапазон відхилення датчика вентилятора від норми (+-)20 об/хв.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Загальні принципи систем автоматизованого керування з використанням середовища labview. 2. Проектування елементів лабораторного стенда для дослідження замкненої системи ЕП labview. 3. Практична реалізація лабораторної установки. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Титулка. 2. Вступ. 3. Характеристика приводного двигуна та вентилятора. 4. Структурна схема. 5. Схема електрична принципова. 6. Схема електрична монтажна. 7. Зовнішній вигляд лабораторної установки. 8. Розробка алгоритму та програмного забезпечення для роботи установки. 9. Застосування вбудованої бібліотеки ПІД регулятора для рівня в резервуарі. 10. Застосування вбудованої бібліотеки ПІД регулятора для компресора. 11. Структурна схема та передня панель в середовищі LabView. 12. Дослідження реакції системи на зміну заданого значення. 13. Відпрацювання регулятором зовнішнього збурення. 14. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Проценко Д.П., д.т.н., доцент. кафедри КЕМСК	 18.02.2025	 06.05.2025
Охорона праці	Кобилянський О. В. д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ	 18.02.2025	 20.05.2025

7. Дата видачі завдання 18.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	Примітка
		початок	
1	Формування та затвердження завдання БКР	18.02.2025	
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.2025	
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	
6	Нормоконтроль БКР	12.06.2025	
7	Рецензування БКР	13.06.2025	
8	Захист БКР	23.06.2025	

Здобувач освіти

(підпис)

Д.О. Стіфанцов

Керівник роботи

(підпис)

Д.П. Проценко

АНОТАЦІЯ

УДК 629.423.3

Стіфанцов Дмитро Олександрович «Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференційним регулятором». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 131 с. Бібліогр.: 30. Рис. : 54. Табл. : 16

У роботі розглянуто лабораторний стенд, призначений для дослідження замкнутих систем автоматичного керування з використанням ПІ-регулятора. Конструкція стенда складається з двох вентиляторів, розташованих на певній відстані: один вентилятор є активним елементом системи та керується регулятором, інший — пасивний, і приводиться в дію під впливом повітряного потоку, створеного першим вентилятором. Внаслідок взаємодії між елементами стенда, виникає динамічний зв'язок, який моделює поведінку об'єкта керування у реальній замкнутій системі. За допомогою даної установки можна дослідити вплив налаштувань ПІ-регулятора на перехідні процеси, точність стабілізації, стійкість системи, а також її реакцію на різні зовнішні збурення. Проведення експериментів на цьому стенді дозволяє наочно продемонструвати основні принципи автоматичного регулювання, зокрема, регулювання зі зворотним зв'язком. Отримані результати можуть бути використані як для навчальних цілей, так і для моделювання процесів керування в автоматизованих технічних системах. Стенд також надає можливість порівняння ПІ-регулятора з іншими типами регуляторів у схожих умовах.

Ключові слова: точність, вібрації, система зворотного зв'язку, збурення, адаптивне управління, налаштування, повітряний гвинт, електропривод, ПІД-регулятор.

ABSTRACT

Stifantsov Dmitry Alexandrovich. “ laboratory stand for researching closed-loop control systems with a PID-regulator.” Bachelor's Qualification Work. – Vinnytsia: VNTU, 2025. – 131 p. Bibliography: 30. Figures: 54. Tables: 16.

This paper presents a laboratory stand designed to study closed-loop automatic control systems using a PID controller. The setup consists of two fans positioned at a certain distance from each other: the first fan serves as the active element of the system and is controlled by the PID regulator, while the second fan is passive and begins to rotate under the influence of the airflow generated by the first. The interaction between the components creates a dynamic link that models the behavior of a real-world controlled object in a closed-loop system. This installation allows for the investigation of the effects of PID controller settings on transient processes, control accuracy, system stability, and the response to various external disturbances. Experiments conducted on the stand provide a visual demonstration of the basic principles of automatic control, particularly feedback regulation. The obtained results can be used both for educational purposes and for modeling control processes in automated technical systems. The stand also offers an opportunity to compare the performance of the PID controller with other types of controllers under similar conditions.

Keywords: Accuracy, Vibrations, Feedback system, Disturbance, Adaptive control, Tuning, Propeller, Electric drive, PID controller.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ під регулятора в СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW	12
1.1 Структура системи автоматичного керування.....	21
1.2 Засоби інтерфейсу середовища lifa їх використання для побудови сар..	25
1.3 Вимоги які представляються до стенда	27
2 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАБАЛАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМКНЕНОЇ СИСТЕМИ В LABVIEW	29
2.1 Структурна схема лабораторного стенда.....	34
2.2 Вибір МК процесор Arduino Uno	36
2.3 Розробка програмного забезпечення для зв'язку	40
2.4 Розрахунок статичних характеристик двигуна.....	56
2.5 Компонівка лабораторного стенда, розробка схеми електричної принципової стенда.....	61
2.5.1 Вибір діодів.....	61
2.5.2 Вибір транзисторного ключа	63
2.5.3 Вибір резисторів	66
2.5.4 Вибір мікросхеми стабілізатора	67
2.6 Розробка програмного забезпечення для реалізації автоматичного регулювання	71
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ.....	75
3.1 Особливості реалізації апаратної частини установки	75
3.2 Дослідження та тестування роботи розробленого стенда.....	77
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	82
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання.....	82
4.1.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання.....	82
4.1.2 Електробезпека.....	85
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	86

4.2.1 Мікроклімат	87
4.2.2 Склад повітря робочої зони	87
4.2.3 Виробниче освітлення	88
4.2.4 Виробничий шум	89
4.3 Пожежна безпека	90
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	94
Додаток А	97
Додаток Б	100
Додаток В	101

ВСТУП

Актуальність. Удосконалення систем електропривода потребує постійного підвищення технічного рівня навчальних лабораторій. Сучасні лабораторні стенди, що включають електромеханічні системи з контролем параметрів за допомогою аналогових приладів, є недостатньо інформативними. Обґрунтовано необхідність застосування широкого спектра лабораторного обладнання, що включає різноманітні системи електропривода, перетворювальні пристрої, агрегати та регулятори, які забезпечують керування електроприводом при різних випадкових збуреннях системи. Платформа LabVIEW дає змогу розробляти прикладне програмне забезпечення для взаємодії з вимірювальною та керувальною апаратурою, а також забезпечує збір, обробку та виведення інформації. Таким чином, актуальним напрямком є розробка стендів для дослідження регуляторів і їх характеристик.

Взаємозв'язок роботи з науковими програмами, планами та тематиками.

Робота виконувалася на кафедрі комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів в промисловості і на транспорті ВНТУ

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є вдосконалення методів дослідження динамічних характеристик регуляторів у системах електропривода постійного струму.

Щоб досягти мети, потрібно виконати такі завдання:

- огляд і аналіз сучасних методів побудови цифрових систем керування електроприводами постійного струму;
- розробити схеми електричної структурної та монтажної стенда;
- вибрати відповідні елементи та побудувати схему електричну принципову;
- дослідити режими роботи машин постійного струму (статичні та динамічні режими роботи, імітація технологічного режиму);

– дослідити енергетичні режими роботи керованих електроприводів постійного струму.

Об’єктом дослідження є процес керування замкненою системою електропривода постійного струму зі стабілізацією швидкості.

Предмет дослідження - Динамічні характеристики замкнутої системи керування електропривода постійного струму з цифровим регулятором.

Методи дослідження. Для проведення дослідження використовувалися такі методи:

- методи теорії автоматичного керування для структурного аналізу системи електропривода та синтезу регуляторів;
- теорія алгоритмів для написання та налагодження програми роботи мікроконтролера;
- комп’ютерне моделювання для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень
- теорія чисельних методів для синтезу параметрів цифрового регулятора.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень розроблено програмні і машинні засоби, зокрема:

- Розроблено структурну, монтажну та принципову електричні схеми стенда для дослідження динамічних характеристик електропривода постійного струму з цифровим регулятором, що забезпечує цифрове керування моментом досліджуваного двигуна.
- Цифровий регулятор на базі мікроконтролера Arduino Uno для системи керування двигуном постійного струму з можливістю налаштування параметрів регулювання;

Достовірність теоретичних положень бакалаврської кваліфікаційної роботи підтверджується чіткістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів при доведенні наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів,

отриманих за допомогою розроблених методів, з відомими даними, а також збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, отриманими в процесі впровадження розроблених програмних і апаратних засобів.

Апробація результатів роботи.

Ключові результати дослідження були представлені та обговорені на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2025).

1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩ LABVIEW

Середовище розробки віртуальних лабораторних приладів LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) є сучасною платформою прикладного графічного програмування. Воно широко використовується як стандартний інструмент для вимірювань, обробки отриманих даних та керування різними приладами й об'єктами дослідження. LabVIEW сумісне з операційними системами Windows, MacOS, Linux, Solaris та HP-UX, що забезпечує його гнучкість і універсальність. Комп'ютер із встановленим програмним середовищем LabVIEW та відповідним вимірювально-керуючим обладнанням дозволяє повністю автоматизувати експериментальні дослідження. Створення програм (віртуальних приладів) у графічному середовищі LabVIEW є доволі простим, оскільки не потребує знання складного програмного синтаксису.

LabVIEW знаходить дедалі ширше застосування, зокрема й в освітньому процесі — для організації лабораторних практикумів із таких дисциплін, як електротехніка, механіка та фізика.

LabVIEW є одним із найзручніших і найпотужніших програмних інструментів для розробки систем вимірювання та автоматизованого управління, побудованих на принципах технології віртуальних приладів. Це середовище дозволяє ефективно керувати різноманітним обладнанням, зокрема пристроями збору даних, сенсорами, засобами спостереження та виконавчими механізмами, як-от крокові двигуни.

LabVIEW-програми у поєднанні з відповідним апаратним забезпеченням — такими як багатоканальні аналого-цифрові плати, модулі захоплення й синхронізації відеосигналів для систем машинного зору, плати керування рухом та інші виконавчі пристрої — дозволяють створювати повноцінні системи вимірювання, контролю, діагностики та управління. До таких систем можуть підключатися й стандартні прилади через

інтерфейси RS-232, RS-485, USB, GPIB (КОП), PXI, VXI, що забезпечує широку сумісність і масштабованість.

Ефективність середовища LabVIEW у наукових дослідженнях полягає в тому, що в його рамках можна одночасно розробляти математичну модель об'єкта та інтегрувати в неї експериментальні дані, отримані за допомогою апаратних засобів введення-виведення, які взаємодіють з реальним об'єктом.

Графічна мова програмування LabVIEW значно підвищує продуктивність праці. Створення повноцінного додатка за допомогою традиційних мов програмування може займати декілька днів, тоді як у LabVIEW цей процес триває лише кілька годин завдяки спеціалізації пакету на задачах вимірювання, аналізу даних і візуалізації результатів. Завдяки гнучкому графічному інтерфейсу та простоті програмування, LabVIEW також ідеально підходить для моделювання процесів, презентації ідей, розробки універсальних додатків і навчання програмуванню.

Вимірювальна система, створена в LabVIEW, має велику гнучкість в порівнянні зі стандартним лабораторним приладом, тому що вона використовує різноманіття можливостей сучасного програмного забезпечення.

Завдяки своїй графічній основі, LabVIEW є потужним інструментом для ефективного візуального подання та відображення даних, який дозволяє представляти результати вимірювань і розрахунків у будь-якому форматі, що найкраще відповідає потребам конкретного проєкту. Програмне середовище підтримує широкий спектр засобів візуалізації — від стандартних діаграм і графіків до повністю індивідуалізованої графіки, створеної користувачем, що робить LabVIEW зручним засобом для аналізу та інтерпретації експериментальних даних. Крім цього, LabVIEW має низку переваг: є повноцінною мовою програмування з інтуїтивно зрозумілим графічним інтерфейсом, надає широкі можливості для збору, обробки та аналізу даних, керування приладами, генерації звітів і обміну даними через мережеві інтерфейси, підтримує інтерактивну генерацію коду, містить шаблони

додатків та тисячі прикладів, забезпечує високу швидкість виконання компільованих програм і сумісна з операційними системами Windows, Mac OS X, Linux та Solaris.

LabVIEW підтримує величезний спектр обладнання різних виробників і має в своєму складі (або дозволяє додавати до базового пакету) численні бібліотеки компонентів:

- для підключення зовнішнього обладнання по найбільш поширеним інтерфейсам і протоколам (RS-232, GPIB 488, TCP / IP та ін.);
- для віддаленого управління ходом експерименту;
- для керування роботами і системами машинного зору;
- для генерації та цифрової обробки сигналів;
- для застосування різноманітних математичних методів обробки даних;
- для візуалізації даних і результатів їх обробки (включаючи 3D-моделі);
- для моделювання складних систем;
- для зберігання інформації в базах даних і генерації звітів;

Але також є і негативна сторона:

- labview є власницьким ПЗ National Instrument, вимагає активації;
- для запуску програм вимагається встановлення виконавчого(run-time) середовища з відповідними бібліотеками;

Дана програма має широкий спектр застосування.

Вимірювальні системи на основі віртуальних приладів відрізняються своєю багатофункціональністю, гнучкістю і низькою вартістю як з точки зору обладнання, так і з точки зору витрат часу на розробку.

В даний момент LabVIEW широко застосовується в наступних сферах:

- Автомобільна промисловість
- Телекомунікації
- Аерокосмічна промисловість
- Напівпровідникова промисловість

- Розробка і виробництво електроніки
- Управління технологічними процесами
- Біомедицина

Регулятор, або керуючий пристрій, у теорії управління — це пристрій, який контролює стан об'єкта керування як системи та генерує для нього відповідні керуючі сигнали. Регулятори відстежують зміну певних параметрів об'єкта (безпосередньо або за допомогою спостерігачів) і реагують на ці зміни, застосовуючи певні алгоритми керування згідно із заданими критеріями якості управління. В більшості випадків регулятори працюють на основі принципу негативного зворотного зв'язку, щоб компенсувати зовнішні впливи, що діють на об'єкт керування, та забезпечити виконання заданого або закладеного в систему закону управління.

Найбільш розповсюдженими є два типи регуляторів: пропорційний (П-регулятор) (рисунк 1.1, а) та пропорційно-інтегральний (ПІ-регулятор) (рисунк 1.1, б).

Сигнал на виході П регулятора

$$U_{\text{вих}} = kU_{\text{вх}}, \quad (1.1)$$

де k - коефіцієнт П регулятора.

$$k = \frac{R_{33}}{R_1}. \quad (1.2)$$

Сигнал на виході ПІ регулятора.

$$U_{\text{вих}} = \frac{k}{T_0} \int U_{\text{вх}} dt + kU_{\text{вх}}. \quad (1.3)$$

У вигляді передавальних функцій:

$$W(p) = \frac{U(p)}{U(p)} = k \frac{1 + T_0 p}{T_0 p} = \frac{1 + T_0 p}{T_{10} p} = k + \frac{1}{T_{10} p}. \quad (1.4)$$

де T_0 та T_{01} - сталі часу П та ІІ регуляторів.

$$T_0 = R_{33} C, \quad (1.5)$$

$$T_{01} = R_1 C. \quad (1.6)$$

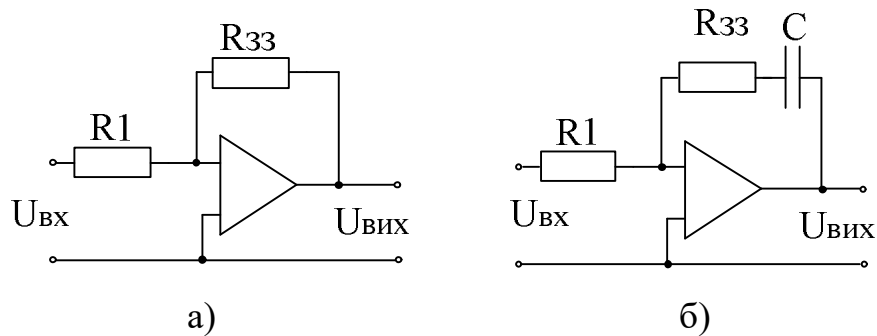


Рисунок 1.1 – Пропорційний (а) та пропорційно-інтегральний (б) регулятори

Слід відмітити, що сигнал на виході ІІ – регулятора перестане змінюватись у часі та буде зберігати деяке постійне значення тільки у разі $U_{ВІХ} = 0$. Якщо на вході регулятора діє різниця сигналу завдання та сигналу зворотного зв'язку, то в усталеному режимі ці сигнали рівні, що відповідає принципу астатичного регулювання.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор - пристрій в колі зворотного зв'язку, який використовується в системах автоматичного управління для створення керуючого сигналу (рисунк 1.2). ПІД-регулятор формує керуючий сигнал, який є сумою трьох складових, перша з яких пропорційна вхідному сигналу, друга - інтеграл вхідного сигналу, третя - похідна вхідного сигналу.

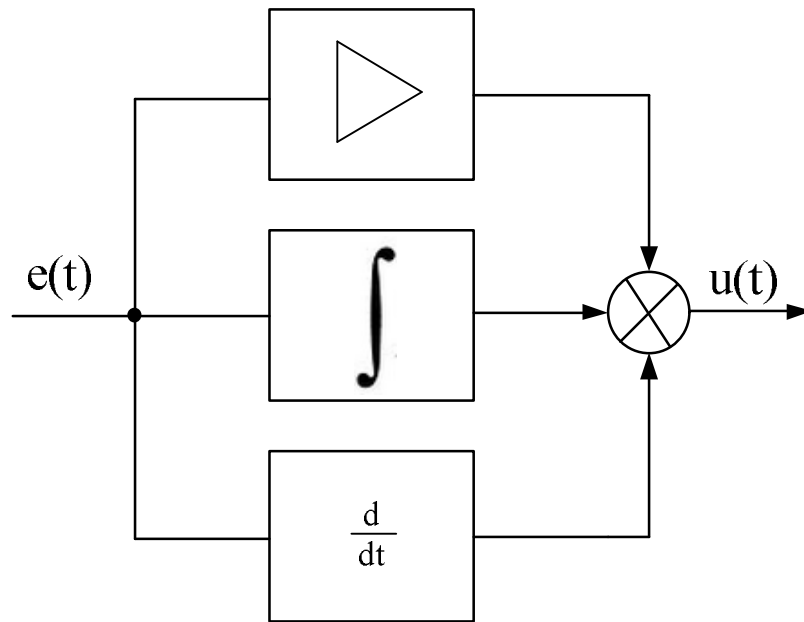


Рисунок 1.2– Структурна схема ПІД регулятора

Пропорційна складова формує вихідний сигнал, який протидіє відхиленню регульованої величини від заданого значення, що спостерігається в поточний момент часу. Застосування лише пропорційного регулятора призводить до появи постійної (стаціонарної) похибки, за винятком випадків, коли керуючий сигнал дорівнює нулю, а значення системного процесу збігається з необхідним. При цьому збільшення коефіцієнта пропорційної складової (Π) може призвести до нестійкості системи.

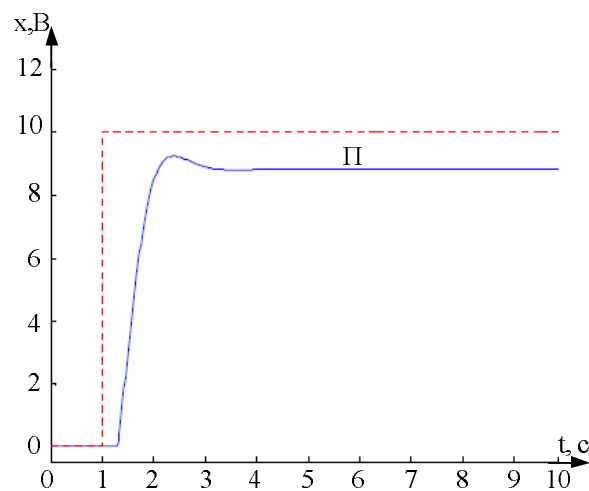


Рисунок 1.3 – Вихідний вплив П регулятора на одиничний сигнал

Інтегральна складова пропорційна інтегралу від помилки регульованої величини. Вона застосовується для усунення статичної похибки, оскільки накопичення помилки триває доти, поки значення системного процесу не досягне заданого рівня. Використання лише інтегральної складової призводить до повільної реакції системи та часто спричиняє її коливання

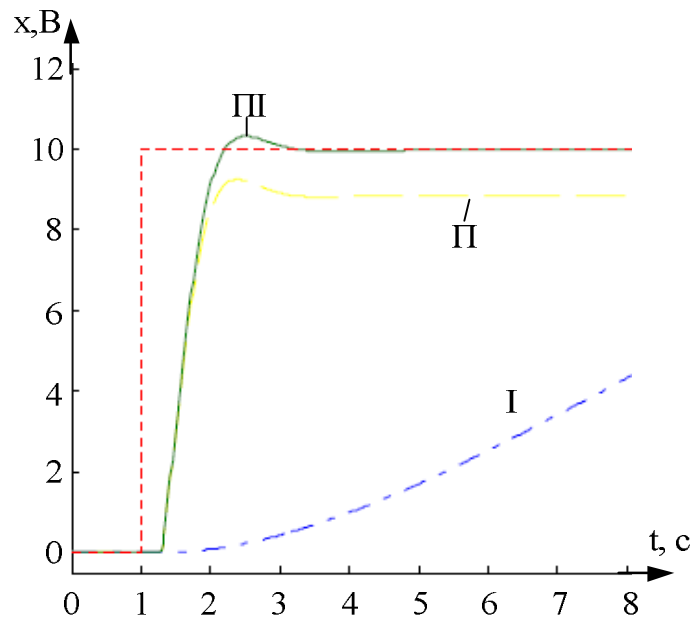


Рисунок 1.4 – Вихідний вплив I, П та ІІ регулятора на одиничний сигнал

Диференціальна складова представляє собою швидкість зміни помилки і призначена для покращення відгуку системи на швидку зміну її стану. Вона веде себе як фільтр верхніх частот для сигналу помилки, і таким чином легко робить систему нестійкою і більш чутливою до шуму.

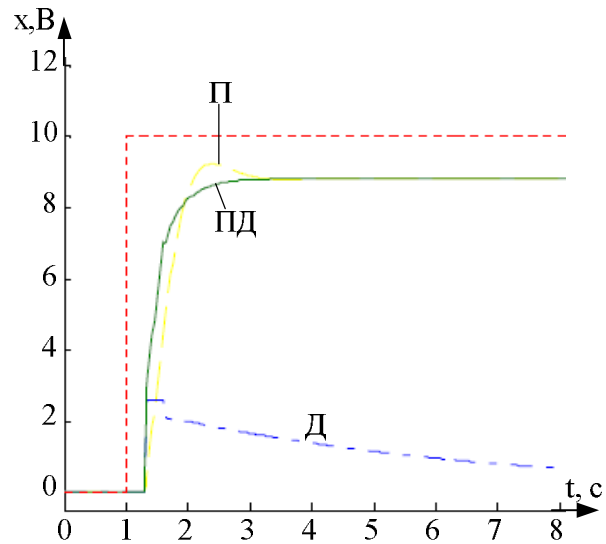


Рисунок 1.5 – Вихідний вплив П, ПД та Д регулятора на одиничний сигнал

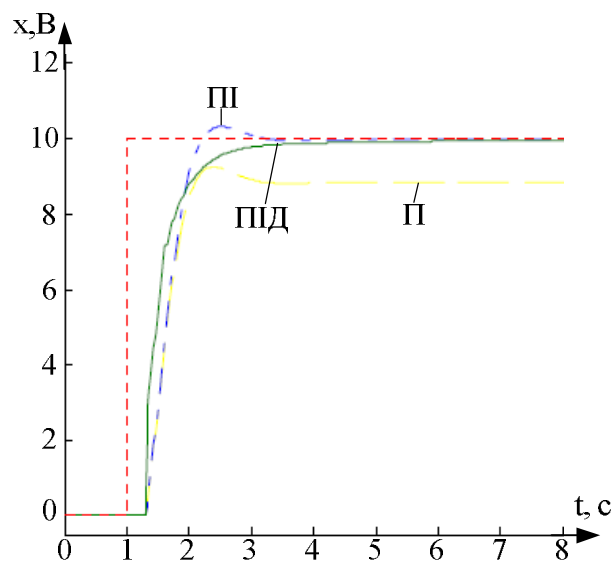


Рисунок 1.6 – Вихідний вплив П, ПІ та ПІД регулятора на одиничний сигнал

Призначення ПІД-регулятора - в підтримці заданого значення x_0 деякої величини x за допомогою зміни іншої величини u . Вихідний сигнал регулятора $u(t)$ визначається трьома складовими:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}. \quad (1.7)$$

$u(t)$ - вихідний сигнал регулятора;

$e(t)$ - відхилення величини від заданої (помилка) $e(t) = (x_0 - x)$;

P, I, D - пропорційна, інтегральна і диференціальна складові;

K_p, K_i, K_d - коефіцієнти ПІД регулятора.

Коефіцієнти регулятора мають відповідні часові константи: інтегральну та диференціальну. Їх розрахунок здійснюється на основі моделі регульованого об'єкта з використанням математичних методів, а також можливе застосування емпіричних методів визначення часових констант. Важливо враховувати період дискретизації, оскільки процес ПІД-регулювання повинен виконуватися в режимі реального часу з фіксованими інтервалами виклику. Зміна періоду оновлення сигналу помилки вимагає відповідної корекції коефіцієнтів ПІД-регулятора.

Процес налаштування ПІД-регулятора полягає в основному у встановленні уставки регульованого параметра та трьох основних коефіцієнтів. У практичних умовах часто відсутнє детальне математичне моделювання системи, тому налаштування регулятора здійснюється емпірично, шляхом досвідчених випробувань. У сучасних системах керування широко застосовуються самоналагоджувальні ПІД-регулятори, які за допомогою подачі одиничного впливу на систему та аналізу її реакції автоматично підбирають, якщо не оптимальні, то принаймні якісні коефіцієнти. Крім того, існують алгоритми адаптивного ПІД-регулювання, які забезпечують автоматичне коригування коефіцієнтів у процесі експлуатації системи.

Велике значення мають особливості роботи самої системи та умови, в яких вона працює. Наприклад, у деяких випадках не можна допускати, щоб значення сильно виходило за межі заданого. В інших ситуаціях важливо, щоб система споживала якомога менше енергії. Також дуже важливо, щоб система була стабільною — тобто не коливалась і досягала потрібного значення за певний час.

1.1 Структура системи автоматичного керування

Системи автоматичного керування можна поділити за різними ознаками: за тим, як вони передають інформацію; скільки параметрів і контурів вони контролюють; які у них особливості в поведінці з часом; та за їхньою будовою.

Один з найпоширеніших способів поділу систем автоматичного керування (САК) — це за тим, як у них використовується інформація. Це особливо актуально зараз, коли швидко розвиваються інформаційні технології. За цим принципом САК ділять на два типи: з повною та з неповною початковою інформацією.

Перший тип — це звичайні САК, які вже з самого початку мають всю потрібну інформацію для роботи. Вони можуть виконувати своє завдання без потреби в нових даних під час роботи. Другий тип — це САК з неповною інформацією (їх ще називають кібернетичними). Вони у процесі роботи самі отримують додаткову інформацію, аналізують її і вже на основі цього приймають рішення, що робити далі.

До прикладу, системи водопостачання та водовідведення — це типові САК з повною початковою інформацією. Їх можна поділити на дві основні групи. Перша — це замкнуті системи, які реагують на відхилення певного параметра від норми. Вони працюють за принципом зворотного зв'язку: побачили зміну — відреагували. Друга група — це розімкнуті системи, які працюють не за фактом відхилення, а на основі передбачуваних зовнішніх впливів (тобто збурень). Збуренням вважається будь-яка дія, яка може змінити бажану роботу системи або вплинути на керовану величину.

Збуренням може виступати, наприклад, момент навантаження на вал двигуна. Часто такі збурення мають випадковий характер, не підлягають прямому контролю і залежать від властивостей вихідної сировини, що надходить у технологічний процес. Спектр збурення — це розподіл збурень у частотному діапазоні за енергетичними або іншими характеристиками, притаманними технологічним процесам. Принцип керування з урахуванням

збурення, або принцип компенсації збурень, передбачає формування керуючого впливу в системі на основі даних про збурення, що впливають на об'єкт. Інакше кажучи, у таких системах керуючий сигнал визначається як функція збурюючого впливу.

Величина та напрям керуючого впливу мають бути такими, щоб повністю або значною мірою нейтралізувати дію збурюючого фактора на об'єкт. Системи, створені за цим принципом, функціонують у режимі розімкненого контуру, тобто без використання зворотного зв'язку.

Сьогодні керування за збуренням рідко використовується у практиці збагачення. Основна причина в тому, що дуже складно, а іноді й неможливо, точно виміряти всі збурення, які впливають на систему. Зазвичай враховують тільки одне або кілька найважливіших збурень — ті, які можна реально виміряти за допомогою спеціальних приладів.

Приклад реалізації САР за збуренням показано на рисунку 1.



Рисунок 1.7 – Приклад реалізації за збуренням

На цій схемі не показані деякі проміжні елементи, такі як блок порівняння та пристрій для задання потрібного значення.

Як видно з рисунка, принцип роботи схеми полягає в тому, що вибирається керуючий канал, який компенсує вплив збурень на виході системи.

Перевага такого підходу в тому, що система дуже швидко реагує — регулятор починає діяти ще до того, як збурення встигне вплинути на результат. Тобто реакція йде одразу на причину.

Проте є і недолік: такі системи (розімкнуті) можуть враховувати тільки ті збурення, які можна виміряти, а інші — менш значущі, але все ж важливі, можуть залишатися поза увагою.

Якщо на об'єкт діє кілька основних збурень, потрібно стільки ж локальних САР, що значно ускладнює систему керування. Тому розімкнуті системи застосовують здебільшого при одному збуренні та здатності об'єкта до самовирівнювання.

Замкнуті системи автоматичного керування (САК) поділяються на три основні типи: системи стабілізації, програмні та слідкуючі.

Системи стабілізації підтримують керовану величину на постійному рівні, наприклад, температуру повітря в кімнаті чи тиск у трубі. У таких системах значення параметра має бути незмінним — $Y = \text{const}$.

Програмні САК навпаки — змінюють параметр за певною заздалегідь заданою програмою. Тобто значення має змінюватися у часі — $Y = \text{var}$, але за чітко визначеним сценарієм.

Слідкуючі САК теж змінюють параметр ($Y = \text{var}$), але відмінність у тому, що вони не знають наперед, як саме має змінюватись значення. Система сама «слідкує» за тим, що відбувається, і змінює керований параметр у процесі роботи.

Розімкнуті САК поділяються на компенсаційні та системи програмного керування. Перші формують сигнали, що компенсують збурення на вході об'єкта. Другі, окрім розімкнутої структури, забезпечують зміну режиму роботи відповідно до заданої програми. Наприклад, у ліфтах кінцеві вимикачі керують електроприводом залежно від положення кабіни.

У системах водопостачання та водовідведення часто використовують комбінований спосіб керування. Це означає, що є два канали управління. Один канал працює за принципом керування за збуренням — тобто реагує на зовнішні впливи, ще до того, як вони вплинуть на результат. Цей канал має розімкнуту схему. Інший канал працює за принципом керування за

відхиленням — він спостерігає за тим, чи відхилилося значення від заданого, і коригує його. Цей канал уже замкнутий.

Головна перевага такого підходу — це висока точність керування, адже система реагує і на збурення, і на сам результат.

Коротко зупинимося на класифікації САК за іншими критеріями та їх основними особливостями.

Статичні та астатичні САК відрізняються видом керувальної характеристики — залежністю керованої величини УУУ у сталому стані від витрат робочого середовища. У статичних САК при дії зовнішніх збурень величина УУУ після завершення перехідного процесу може змінюватись у допустимих межах, залежно від характеру збурення.

$$Y = \bar{Y} + \Delta(Y), \quad (1.8)$$

де $\bar{Y}$ - середнє значення керованої величини Y ; $\Delta(Y)$ - функція збурення, що визначає відхилення керованої величини від її середнього значення залежно від величини збурення в межах зони керування. Умовою якісного керування має бути $\bar{Y} \gg \Delta(Y)$. Точність підтримки заданого значення керованої величини в цих системах визначається коефіцієнтом нерівномірності, або статизмом δ . Величину статизму визначають відношенням відхилення керованої величини в межах ($Y_{\max} - Y_{\min}$) до її середнього значення ($\bar{Y}$) у відсотках:

$$\delta = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{\bar{Y}} \cdot 100\%. \quad (1.9)$$

Астатичною системою автоматичного керування (САК) називають таку систему, в якій керована величина Y після того, як система адаптується до змін зовнішніх впливів, завжди стабільно тримається на одному і тому ж рівні, навіть якщо ці зовнішні впливи змінюються. У такої системи керувальна характеристика виглядає як рівна горизонтальна лінія.

1.2 Засоби інтерфейсу середовища lifa їх використання для побудови сар

LabVIEW Інтерфейс для Arduino LIFA дозволяє користувачам управляти датчиками і отримувати дані через Arduino мікроконтролер за допомогою графічної середовищем програмування LabVIEW. Використовуючи обчислювальну потужність LabVIEW працює на настільному комп'ютері з I / O і розширюваність платформи Arduino, користувачі можуть створювати складні додатки швидше, ніж раніше. LIFA забезпечує інтерфейс між LabVIEW і Arduino. LIFA була розроблена і випробувана за допомогою Arduino Uno, але повинен працювати з більшістю Arduino сумісного обладнання [4].

LIFA є прив'язаним рішення і вимагає підключення даних між LabVIEW і Arduino в будь-який час. Зазвичай це досягається за допомогою USB, але також може бути здійснено з використанням Xbees або Bluetooth. LIFA не дозволяє користувачеві розгорнути LabVIEW код Arduino.

Функція `syncLV()` виконується під час налаштування і забезпечує встановлення зв'язку між Arduino та програмним забезпеченням LabVIEW. Цю функцію необхідно викликати лише один раз, коли відбувається ініціалізація коридорного Arduino.

Команда `checkForCommand()` викликається багаторазово в основному циклі програми Arduino. Вона відповідає за перевірку послідовного буфера Arduino на наявність даних від LabVIEW. Якщо в буфері знаходиться повний пакет даних, функція обробляє його та відправляє відповідну відповідь назад до LabVIEW.

Функція `checkForCommand()`, реалізована у файлі `LabVIEWInterface.ino`, здійснює перевірку наявності повного пакета даних (за замовчуванням 15 байт) у послідовному буфері Arduino. У разі наявності повного пакета ця функція виконує виклики наступних процедур:

Функція `ProcessCommand()` читає пакет з послідовного буфера Arduino, перевіряє коректність отриманих даних і обробляє пакет на основі байта

CMD (другий байт пакета) за допомогою конструкції розгалуження (*switch-case*). Кожен випадок відповідає певній команді від LabVIEW і виконує відповідні функції Arduino, після чого повертає очікуване значення назад до LabVIEW.

LIFA включає в себе більше 100 LabVIEW ВП. LabVIEW сторона LIFA ділиться на команди низького рівня, наприклад аналоговим входом, цифровий вхід / вихід, ШІМ, SPI і I2C і ВП для конкретних датчиків, таких як фотоелемент, термистор, символьний ЖК, BlinkM т.д. Огляд можливостей LIFA може знайти на LabVIEW Інтерфейс для Arduino Особливості сторінку.

Обидва низьких рівнів і високий рівень використання VI в Отримуйте VI передавати дані в Arduino і отримати відповідь. Отримуйте VI обчислює заголовок і контрольну суму і забезпечує належну форму пакета LIFA полегшуючи створення користувальницької LIFA ВП.

Щоб скористатися LIFA потрібно завантажити бібліотеку і запустити.

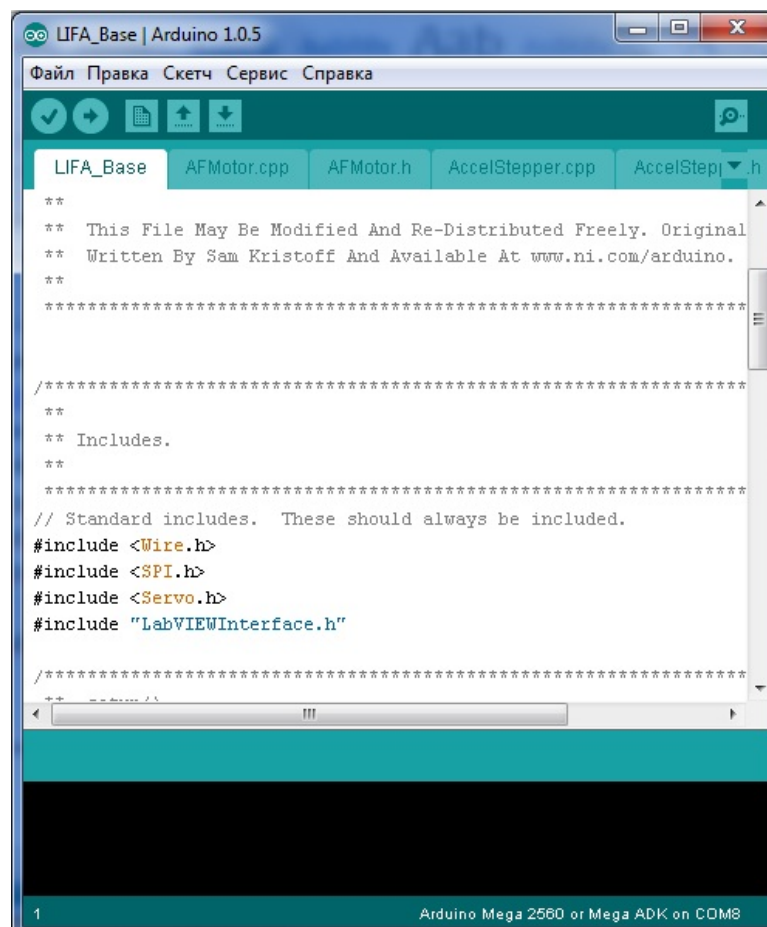


Рисунок 1.8 – Завантаження прошивки LIFA

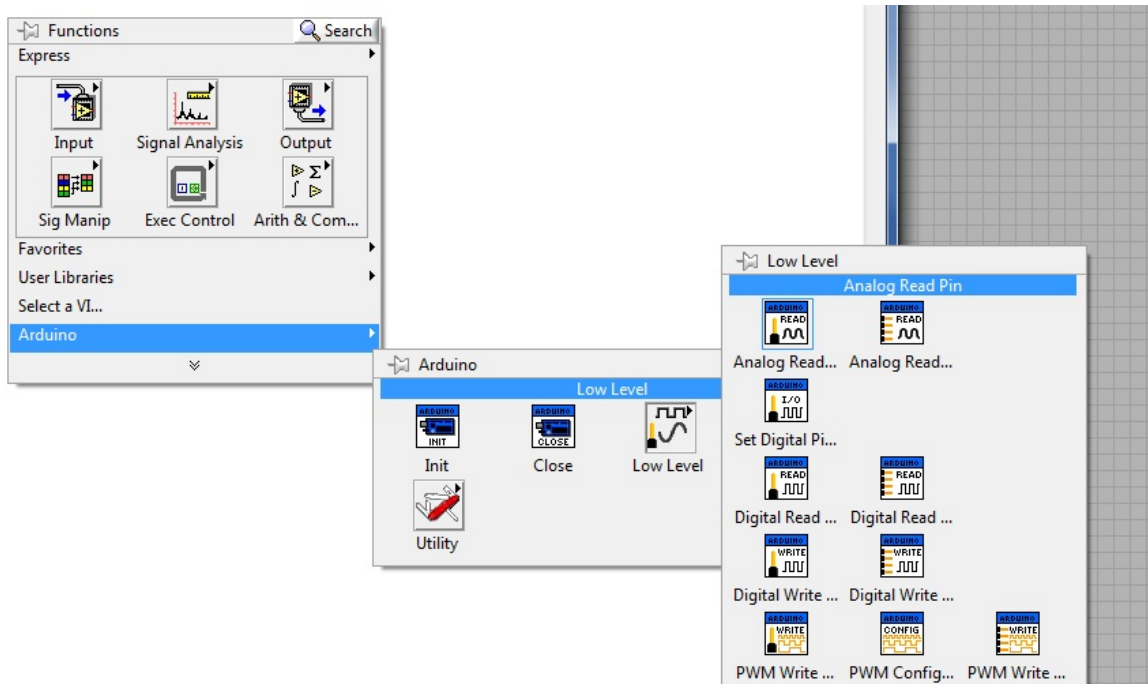


Рисунок 1.9 – Бібліотека LIFA

1.3 Вимоги які представляються до стенда

Для цього стенда необхідні: програмований контролер для зміни режимів, параметрів керування та роботи, а також зв'язок у реальному часі з персональним комп'ютером для збору даних, зокрема швидкості та напруги.

Зв'язок в реальному часі — режим роботи автоматизованої системи обробки інформації і керування, при якому враховуються обмеження на часові характеристики функціонування.

Система керування в реальному часі повинна здійснювати збір даних, їх обробку згідно із заданими алгоритмами та формувати керуючі впливи у межах часу, достатнього для ефективного виконання поставлених завдань.

Основною особливістю є необхідність використання спеціалізованих програмних, апаратних та алгоритмічних рішень.

При виникненні збурення система має через регулятор виходити на стабільний нормальний режим роботи. Контур самоналагодження — це процес автоматичного налаштування регулятора за поточною інформацією про умови роботи для досягнення цілей керування.

Висновок: В даному розділі було розглянуто особливості регуляторів, та дослідили їх вплив на одиночний сходишковий сигнал, та було знайдено передаточну функцію регуляторів. А також було проведено розгляд структури системи автоматичного керування, і перегляд вимог які представляються для лабораторної установки.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАБАЛАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМКНЕНОЇ СИСТЕМИ В LABVIEW

У LabVIEW програмні модулі називають «Віртуальні Інструменти» або просто VI. Вони зберігаються у файлах з розширенням *.vi. Саме з таких VI складається вся програма LabVIEW — це ніби цеглинки. Кожна програма в LabVIEW має хоча б один VI.

Якщо порівнювати з мовою Cі, то VI — це щось схоже на функцію, але з тим відмінністю, що у LabVIEW одна функція знаходиться у окремому файлі (можна ще створювати бібліотеки для зручності). Один VI може викликати інший.

Кожен VI складається з двох частин: Блок-діаграма — це програмний код, але у вигляді графічного зображення, а Передня панель — це користувацький інтерфейс, де можна бачити кнопки, індикатори тощо.

Ось так виглядає класичний приклад «Hello, World!» у LabVIEW:

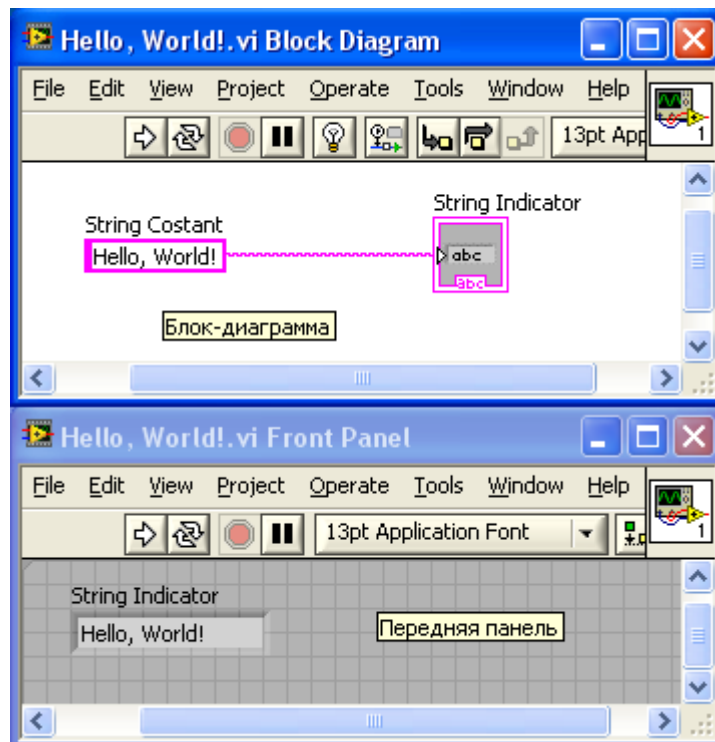


Рисунок 2.1 – Блок діаграм

LabVIEW включає в себе багаті набори елементів для побудови користувацьких інтерфейсів. Вже на що швидко «накидалися» інтерфейси в Дельфі, а в LabVIEW цей процес відбувається ще стрімкіше.

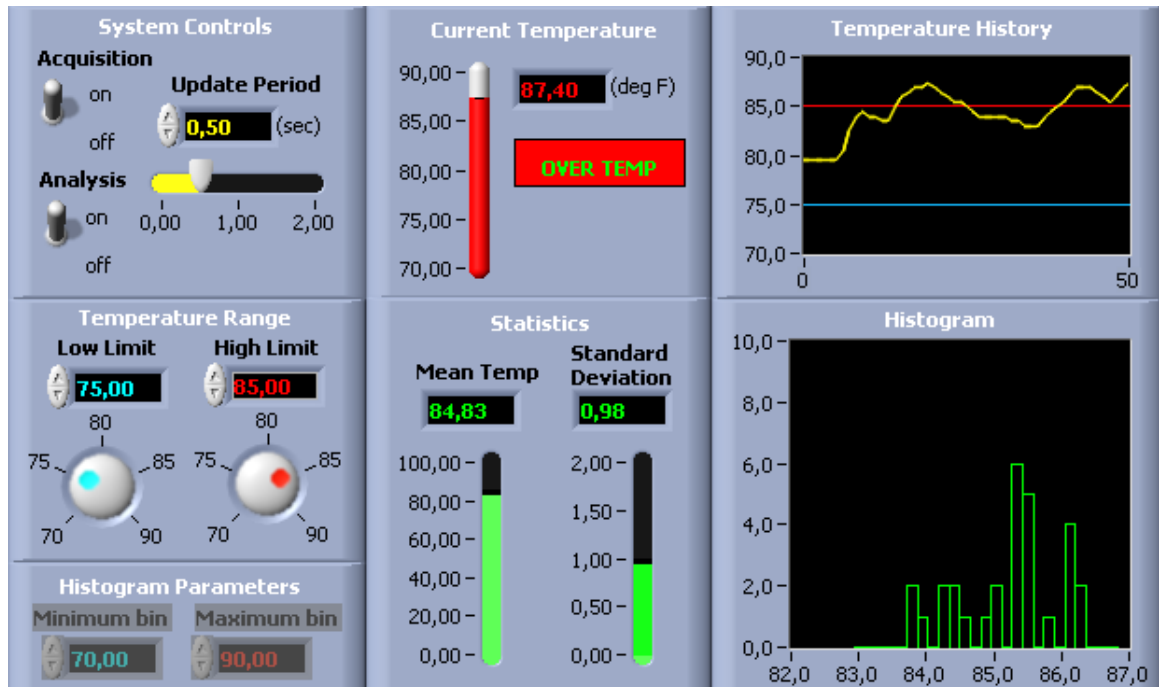


Рисунок 2.2 – Передня панель

Віртуальні прилади у LabVIEW будуються ієрархічно і модульно. Їх можна використовувати як окремі програми (вищого рівня), або як частини інших ВП — тобто віртуальні підприлади. Це означає, що LabVIEW працює за принципом модульного програмування. Спочатку велику задачу розбивають на кілька простіших частин. Для кожної такої підзадачі створюють окремий віртуальний прилад, а потім об'єднують їх на блок-діаграмі вищого рівня, щоб вирішити всю задачу цілком.

Технологія модульного програмування дуже зручна, бо дозволяє працювати з кожним віртуальним приладом окремо — це значно спрощує налагодження програми. Крім того, віртуальні прилади нижчого рівня часто виконують типові завдання, які можуть знадобитися у багатьох різних додатках, тому їх можна використовувати повторно в різних проектах.

У таблиці 2.1 наведено основні терміни LabVIEW та їхні загальноприйняті відповідники у традиційних мовах програмування.

Таблиця 2.1 – Терміни LabVIEW та їх еквіваленти для традиційних мов програмування

LabVIEW	Традиційні мови програмування
Віртуальний прилад (ВП)	Програма
Функція	Функція або метод
Віртуальний підприбор (ВПП)	Підпрограма, об'єкт
Лицьова панель	Інтерфейс користувача
Блок-діаграма	Програмний код
G або LabVIEW	C, C ++, Java, Basic і ін

Для розробки коду віртуального приладу використовується палітра компонентів, що містить стандартний набір готових віртуальних приладів, які дозволяють реалізовувати складні алгоритми. Панель інструментів представлена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Панель інструментів призначена для створення та редагування блок-діаграм.



Рисунок 2.4 – Панель інструментів призначена для створення лицьової панелі.

Для створення лицьової панелі використовується окрема панель інструментів, що містить набір цифрових індикаторів, задавачів, кнопок, світлодіодів, рукояток, графічних індикаторів та інших елементів. Ця панель представлена на рисунку 2.4.

Графічна мова програмування «G», яка використовується в LabVIEW, працює за принципом потоків даних. Це означає, що порядок виконання команд залежить не від їх послідовності в коді, а від того, коли з'являються потрібні дані на входах цих команд. Команди, які не залежать одна від одної, можуть виконуватися одночасно і в будь-якому порядку.

У LabVIEW основою є Віртуальні прилади (Virtual Instruments, або просто VI). На лицьовій панелі розташовані елементи керування — кнопки, графіки, вимикачі та інше. А блок-схема — це сама програма. При створенні програми використовується концепція «потoku даних» (Data Flow). Це означає, що всі частини програми, які показані у вигляді блоків, з'єднуються між собою проводами — і саме по них передаються дані.

Пояснити це словами складно, тому краще подивитися на рисунок 2.5 для наочного прикладу.

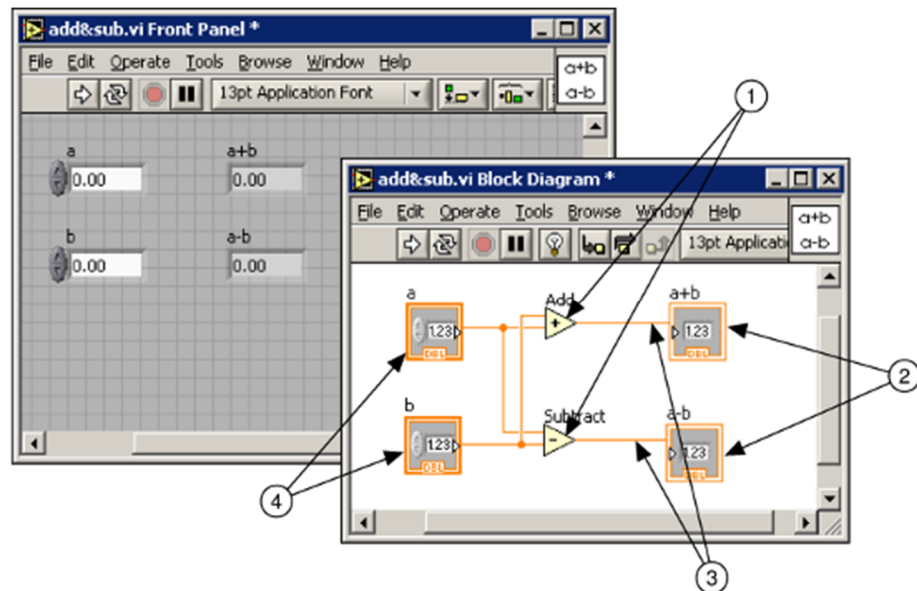


Рисунок 2.5 – Найпростіший прилад

1. Точки, елементи програми (Nodes)
2. Термінали індикаторів (Indicator Terminals)
3. Зв'язки (Wires)
4. Термінали керуючих елементів (Control Terminals)

Отже, у LabVIEW ви спочатку робите користувацький інтерфейс — лицьову панель, де розміщуєте елементи керування і індикатори. Елементи керування — це тумблери, кнопки, поля для введення даних та інші пристрої, з допомогою яких користувач керує програмою. Індикатори — це різні графіки, шкали, лампочки, текстові поля, які показують результати роботи. Після створення цього інтерфейсу ви додаєте програмний код, який керує всіма цими елементами на лицьовій панелі. Код розташований у так званій блок-схемі (block diagram). Він схожий на звичайну блок-схему, але має свої особливості.

LabVIEW можна використовувати для керування різним обладнанням, наприклад, пристроями збору даних, датчиками, камерами спостереження, руховими механізмами, як-от крокові мотори. Крім того, LabVIEW підтримує підключення до різних інтерфейсів, таких як GPIB, PXI, VXI, RS-232 і RS-484. У LabVIEW також є вбудовані можливості для роботи в мережі —

можна підключати програми через LabVIEW Web Server та використовувати стандартні протоколи, наприклад TCP/IP і ActiveX.

Використовуючи LabVIEW, можна створювати додатки для тестування і вимірювань, збору даних, управління різними зовнішніми пристроями, генерації звітів. Так само можна створити незалежні виконувані файли і бібліотеки функцій, такі як DLL, так як LabVIEW - це повноцінний 32-бітний компілятор.

2.1 Структурна схема лабораторного стенда

Структурна схема лабораторної установки представлена на рисунку 2.6

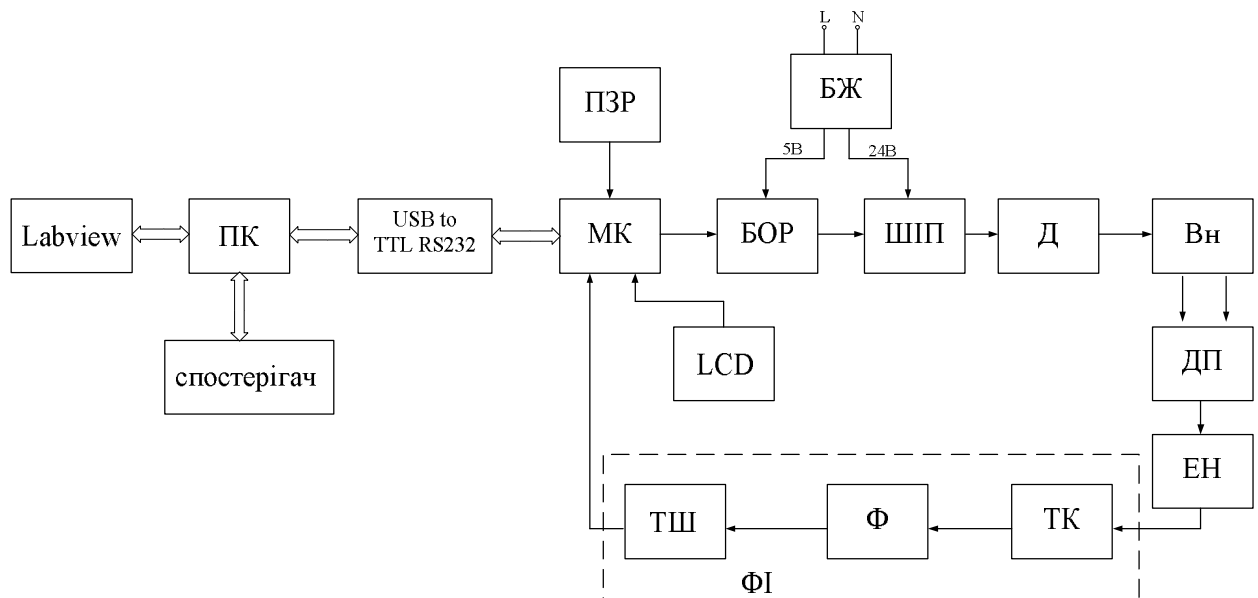


Рисунок 2.6 - Структурна схема лабораторного стенда

Схема (Рисунок 2.6) містить наступні елементи:

ПК – персональний комп’ютер;

МК – мікроконтролер;

ПЗР – задавач режимів;

БОР – блок опторозвязки;

БЖ – блок живлення;

ШП – широтно імпульсний перетворювач;

Д – двигун;

Вн – вентилятор;

ДП – датчик потоку;

ЕН – енкодер;

ТК – транзисторний ключ;

Ф – фільтр;

ТШ – тригер Шмітта;

ФІ – формувач імпульсів.

Дана схема працює наступним чином система електроприводу живиться від мережі. Напруга подається на блок живлення БЖ лабораторної установки і подається на мікроконтролер, а також на широтно імпульсний перетворювач ШПП який в свою чергу подає напругу на двигун Д.

На вхід мікроконтролера надходять сигнали з ПК, де працює програма LabVIEW, що задає коефіцієнти ПД-регулятора та виводить графіки напруги і швидкості. Для розділення логічних і силових сигналів використовується блок опторозв'язки (БОП). Потім широтно-імпульсний перетворювач керує двигуном за заданими значеннями напруги. Керування здійснюється в одному напрямку — реверс відсутній.

Двигун приводить у рух вентилятор, який створює повітряний потік і впливає на датчик потоку (ДП). Через зворотний зв'язок по швидкості система виходить на стабільний режим. Транзисторний ключ (ТК) працює як керований перемикач струму. Фільтр (Ф) пропускає електричні коливання у заданій смузі частот, ослаблюючи інші складові.

Тригер Шмітта ТШ являє собою підсилювач. Тригер Шмітта використовується для відновлення цифрового сигналу, спотворених у лініях зв'язку після фільтра. Інформація по швидкості двигуна та регулятора виводиться на LCD екран.

2.2 Вибір МК процесор Arduino Uno

Для автоматизації лабораторної установки використана апаратна платформа Arduino. Arduino — це популярна електронна платформа для швидкої розробки різних пристроїв. Вона користується великою популярністю у всьому світі завдяки простій архітектурі та зручному програмному забезпеченню.

Середовище розробки Arduino включає текстовий редактор для написання коду, поле повідомлень, консоль для виводу тексту та панель з найчастіше використовуваними командами і меню.

У цій роботі використовується плата Arduino Uno. Arduino Uno побудована на базі мікроконтролера ATmega328. Плата має 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можна використовувати для широтно-імпульсної модуляції — ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор на 16 МГц, USB-роз'єм, роз'єм для живлення, ICSP-роз'єм і кнопку перезавантаження.

Для роботи плату підключають до комп'ютера через USB-кабель або живлять від адаптера або батареї. На відміну від попередніх моделей, де для USB-зв'язку використовувався мікроконтролер FTDI, в Arduino Uno цю функцію виконує контролер ATmega8U2.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд Arduino Uno

Arduino Uno створена так, щоб перед записом нового коду плата перезавантажувалась автоматично за допомогою програми Arduino на комп'ютері, а не вручну натисканням кнопки. Для цього одна з ліній

мікросхеми ATmega8U2, яка відповідає за обробку даних по USB, підключена через невеликий конденсатор до входу перезавантаження мікроконтролера ATmega328. Коли ця лінія активується (подається сигнал низького рівня), мікроконтролер перезавантажується.

Завдяки цьому під час завантаження коду в середовищі Arduino достатньо натиснути кнопку «Upload», і плата сама виконає перезавантаження і почне запис програми. Сигнал подається точно у потрібний момент, що дозволяє скоротити час очікування завантажувача.

Ще одна особливість: при підключенні Arduino Uno до комп'ютера з Mac OS X або Linux через USB плата автоматично перезавантажується. Після цього завантажувач працює близько півсекунди, тому, якщо ви надсилаєте дані або відлагоджуєте програму, варто почекати близько секунди перед тим, як почати передавати інформацію, щоб уникнути помилок.

Якщо потрібно, автоматичне перезавантаження можна вимкнути. Для цього розривають відповідну лінію, яка називається «RESET-EN». Після цього її можна знову з'єднати для відновлення автоматичної функції. Також автоматичне перезавантаження відключається, якщо підключити резистор на 110 Ом між 5 В і цією лінією.

Для зручності програмування та ініціалізації портів входу виходу можна використовувати карту розпіновки зображену на рисунку 2.8.

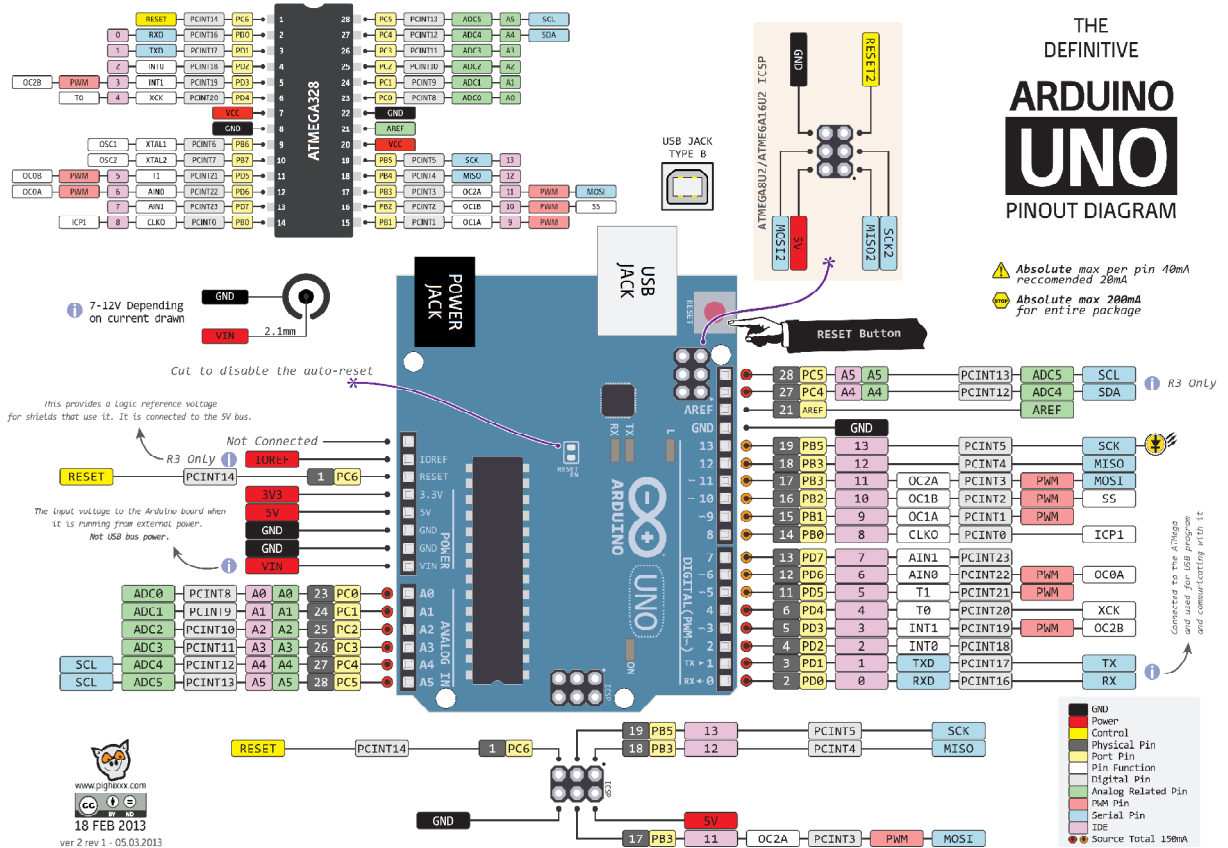


Рисунок 2.8 – Апаратна платформа Arduino Uno

За допомогою функцій **pinMode()**, **digitalWrite()** і **digitalRead()** можна налаштувати кожен з 14 цифрових виводів Arduino як вхід або вихід. Напруга на цих виводах не повинна перевищувати 5 В. Максимальний струм, який може пройти через один вивід, — до 40 мА.

Усі цифрові виводи підключені до внутрішніх підтягуючих резисторів (вони за замовчуванням вимкнені), номіналом приблизно 20–50 кОм. Це означає, що за потреби можна активувати резистор, щоб уникнути «плаваючого» стану входу. Крім основних функцій, деякі виводи Arduino можуть виконувати додаткові спеціальні завдання.

На платі Arduino Uno є 6 аналогових входів, позначених як A0 до A5. Вони мають роздільну здатність 10 біт — це означає, що можуть вимірювати сигнал з 1024 різними рівнями. За замовчуванням ці входи вимірюють напругу від 0 до 5 В по відношенню до землі. Але можна змінити максимальне значення вимірювання, використовуючи вивід AREF і функцію

analogReference(). Крім того, деякі з цих виводів можуть виконувати додаткові спеціальні функції.

Світлодіод: 13. Вбудований світлодіод, приєднаний до виходу 13. При відправці значення HIGH світлодіод включається, при відправці LOW - вимикається.

Таблиця 2.2 – Характеристики Arduino Uno

параметри	характеристика
мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга (рекомендований)	7-12 В
Вхідна напруга (граничне)	6-20 В
Цифрові Входи / Виходи	14 (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ)
аналогові входи	6
Постійний струм через вхід / вихід	40 мА
Постійний струм для виводу 3.3 В	50 мА
Флеш-пам'ять	32 Кб (ATmega328) з яких 0.5 Кб використовуються для завантажувача
ОЗУ	2 Кб (ATmega328)
EEPROM	1 Кб (ATmega328)
тактова частота	16 МГц

Для зручності програмування та ініціалізації портів входу виходу можна використовувати карту розпіновки мікроконтролера ATmega328 зображену на рисунку 2.9.

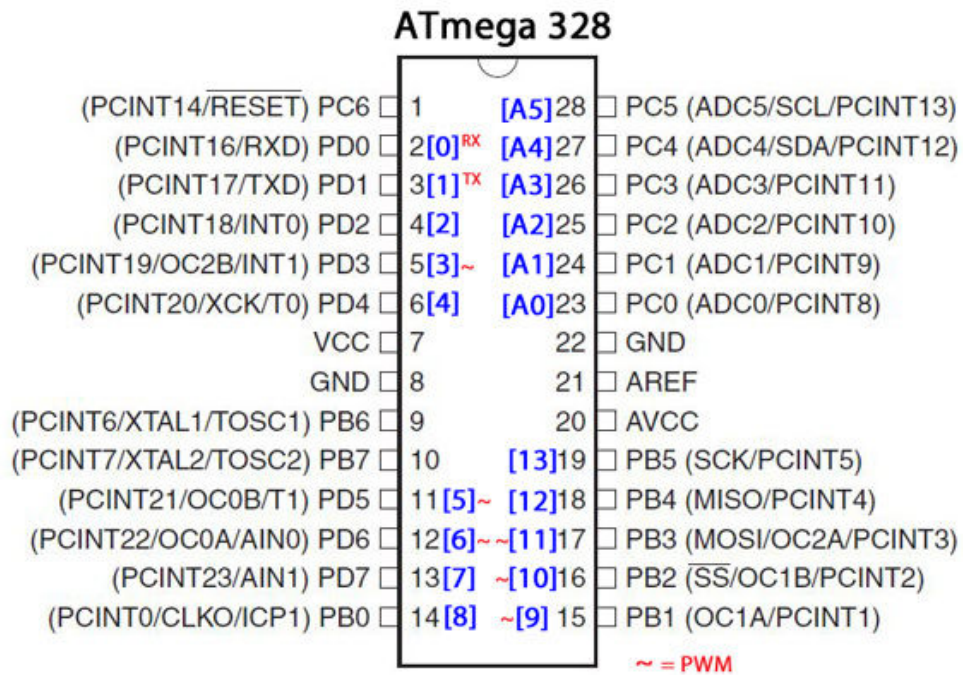


Рисунок 2.9 - Карта розпіновки мікроконтролера ATmega328

2.3 Розробка програмного забезпечення для зв'язку

Кросплатформений інтерфейс LabVIEW для мікропроцесорних систем

Було розроблено і протестовано кросплатформений інтерфейс LabVIEW для мікропроцесорних систем. Цей інтерфейс дозволяє динамічно передавати потрібну кількість даних, не заважаючи роботі основної програми мікропроцесора. Завдяки цьому можна легко додати зв'язок з LabVIEW до вже існуючих мікропроцесорних систем.

Сьогодні персональні комп'ютери часто використовують для обробки та збереження результатів вимірювань, а також для керування лабораторними установками в режимі реального часу. Якщо підключити до комп'ютера зовнішній модуль збору даних, він перетворюється на багатофункціональний лабораторний стенд.

Для програмування таких пристроїв можна використовувати універсальні мови, як C чи Pascal, але це складно і вимагає високої кваліфікації. Щоб спростити процес, створено спеціалізовані системи з візуальним графічним програмуванням, які містять готові модулі для

автоматизації наукових вимірювань і експериментів. Вони виконують багато функцій автоматично, звільняючи користувача від роботи з низькорівневими деталями.

Однією з найпопулярніших таких систем є LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench), розроблена компанією National Instruments. Її широко застосовують у навчанні в багатьох провідних університетах світу — для автоматизації лабораторних експериментів, практичних занять, моделювання та створення комп'ютерних демонстрацій. У наукових дослідженнях LabVIEW використовують у провідних центрах, таких як CERN, Lawrence Livermore, Oak Ridge, а також у великих високотехнологічних компаніях, наприклад NASA та Jet Propulsion Laboratory.

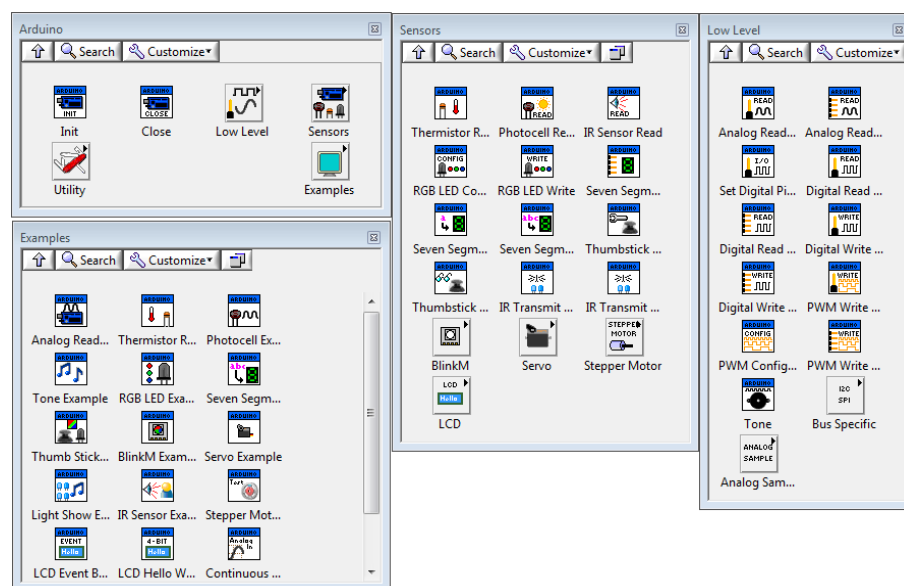


Рисунок 2.10 – Інструментальні блоки бібліотеки LIFA

Для зв'язку LabVIEW з зовнішніми пристроями зазвичай використовують системи збору даних від National Instruments, наприклад USB-600X. Але в роботі [6] запропонували використовувати для збору даних і керування лабораторним обладнанням платформу Arduino. Arduino обмінюється даними з LabVIEW через драйвер послідовного порту NI-VISA. Для цього застосовують спеціальну бібліотеку LIFA (LabVIEW Interface for

Arduino), яка стала дуже популярною для створення віртуальних приладів [7-9]. Інструментальні блоки цієї бібліотеки показані на рисунку 1.

Незважаючи на дешевизну та простоту, підхід із використанням інтерфейсу LIFA має низку недоліків:

Підтримує лише мікропроцесорні платформи Arduino типу Uno та Mega, що обмежує вибір апаратного забезпечення.

Не використовує апаратні ресурси локального мікроконтролера, оскільки працює як проста плата вводу-виводу. Через це динамічні властивості системи знижуються і обмежуються швидкістю передачі даних.

Дозволяє доступ лише до обмеженого набору апаратних регістрів вводу-виводу; значення внутрішніх змінних і проміжних даних недоступні.

Відсутня можливість інтеграції інтерфейсу LabVIEW у вже існуючі мікропроцесорні системи.

Метою роботи є розробка кросплатформенного комунікативного інтерфейсу LabVIEW для мікропроцесорних систем, який інтегрувався б у основну програму мікроконтролера та забезпечував динамічний обмін даними без впливу на основне функціонування системи.

Результати дослідження

Запропоновано алгоритм роботи мікропроцесорної системи з підпрограмою обміну даними з LabVIEW, що виконується в одному циклі з основною програмою. Алгоритм (рисунок 2) передбачає зчитування команд і числових значень з порту та виконання відповідних функцій у циклі. Функції поділяються на прийом даних з LabVIEW та відправку значень з мікропроцесора.

Як мікропроцесорний пристрій використана апаратна платформа Arduino. Обмін даними здійснюється через послідовний інтерфейс RS232 модуля UART, який є стандартним для сучасних мікропроцесорних систем. На рисунку 3 наведено фрагмент коду зчитування команди та даних у середовищі Arduino IDE. Перший символ вхідних даних — команда, що

записується в змінну `in_comand`, наступні — дані у форматі рядка, які записуються у змінну `com_data`.

```

//*****
//          Підпрограма зчитування та обробки даних порта
//*****
int readSerial() {
    String inData = "";
    if (Serial.available() > 0) {
        delay(5);
        int h = Serial.available();
        in_comand = (byte)Serial.read() ;
        for (int i = 1; i < h; i++) {
            inData += (char)Serial.read();
            com_data = inData.toInt();
        }
    }
}

```

Рисунок 2.11 – Фрагмент лістингу програми зчитування команди та даних в середовищі розробки Arduino IDE

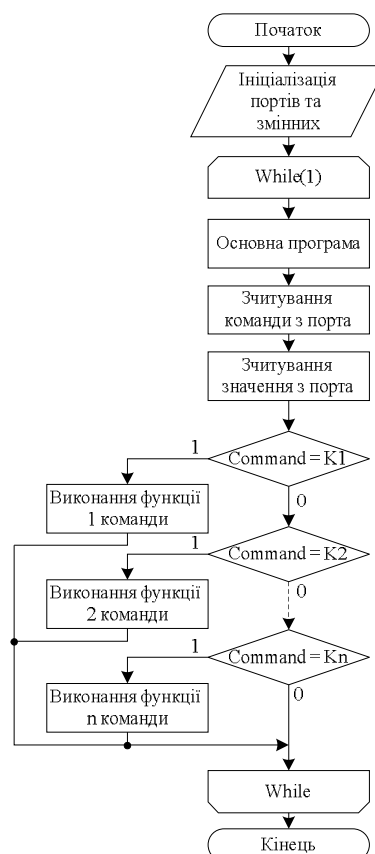


Рисунок 2.12 – Алгоритм функціонування мікропроцесорної системи з інтегрованою підпрограмою обміну даними з середовищем LabVIEW

На рисунку 2.13 представлено фрагмент лістингу програми запису

Для тестування обміну даними проведено запис двох змінних у регістри керування 8-розрядним ШІМ на виводах з номерами 10 та 3, яким відповідають символічні команди «К» і «М». Також відбувається зчитування двох аналогових і одного цифрового входів. Команда з LabVIEW має вигляд, наприклад: **K123 M25** — це означає, що коефіцієнт заповнення ШІМ-сигналу на виводах 10 та 3 відповідно становитиме 123 і 25.

$$D_{10} = \frac{k_{10} \cdot 100\%}{2^n - 1}, \quad D_3 = \frac{k_3 \cdot 100\%}{2^n - 1}, \quad (1.10)$$

де D_{10} , D_3 – значення коефіцієнту заповнення сигналу на виводах 10 та 3 відповідно, %;

k_{10} , k_3 – значення керувуючих змінних що визначають ширину імпульсу на виводах 10 та 3 ($k_{10} = 123$, $k_3 = 25$) ;

n – розрядність ШІМ ($n = 8$).

Отже згідно формули (1) коефіцієнт заповнення сигналу на виводах 10 та 3 становитимуть 48,2% та 9,8% відповідно.

На рисунку 5 наведено фрагмент лістингу програми, який реалізує зчитування стану цифрового входу та двох аналогових сигналів на виводах A0 і A1. Отримані значення передаються по протоколу RS232 у відповідь на команди **R**, **T** та **A** відповідно.

```

//*****
//          Запис змінних зчитаних з порта
//*****
if(in_comand == 'K')
{
    analogWrite(10, com_data);
}
if(in_comand == 'M')
{
    analogWrite(3, com_data);
}

```

Рисунок 2.13 – Фрагмент лістингу програми запису двох змінних в регістри керування 8-розрядним ШІМ виходами

```

//*****
//  Запис змінних в порт зчитаних з цифрових та аналогових датчиків
//*****
if(in_comand == 'R')
{
    int buttonState = digitalRead(pushButton);
    Serial.println(buttonState);
    in_comand = ' ';
}
if(in_comand == 'T')
{
    int sensorValue = analogRead(A0);
    Serial.println(sensorValue);
    in_comand = ' ';
}
if(in_comand == 'A')
{
    int sensorValue1 = analogRead(A1);
    Serial.println(sensorValue1);
    in_comand = ' ';
}

```

Рисунок 2.14 – Фрагмент лістингу програми зчитування стану цифрового входу та двох аналогових сигналів на виводах A0 та A1

З боку середовища LabVIEW використовується драйвер NI-VISA (Virtual Instrument Software Architecture) — стандартизований інтерфейс вводу-виводу, широко застосовуваний у тестуванні та вимірюваннях для керування приладами з персонального комп'ютера. NI-VISA підтримує

символів. Отримані дані зчитуються та конвертуються у числовий формат, що доступний для подальшої обробки в LabVIEW.

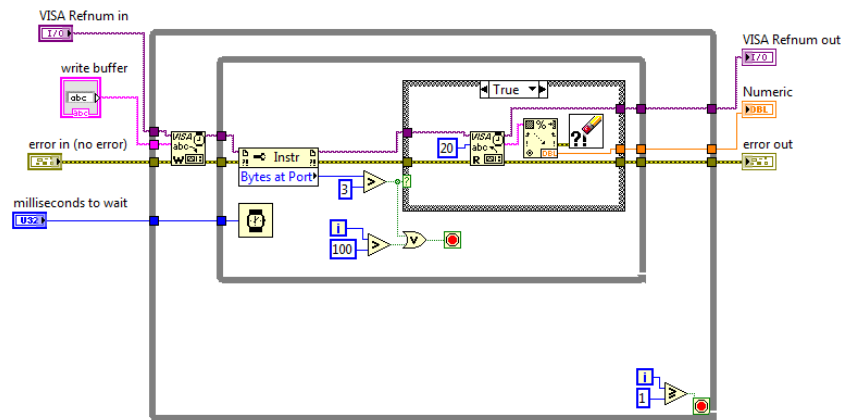


Рисунок 2.16 – Структурна схема блоку зчитування COM READ в середовищі LabVIEW

На рисунку 2.17 представлена структурна схема блоку запису даних у мікропроцесорну систему (COM WRITE) в середовищі LabVIEW.

Вхідні сигнали блоку:

VISA Refnum in — дескриптор послідовного порту; error in — вхідний параметр помилки; command — знакова команда, що відправляється; char_data — дані (у вигляді символів), які записуються в порт; millisecond to wait — константа, що визначає час очікування завершення операції запису.

Вихідні сигнали блоку:

VISA Refnum out — оновлений дескриптор послідовного порту після операції; error out — вихідний параметр помилки.

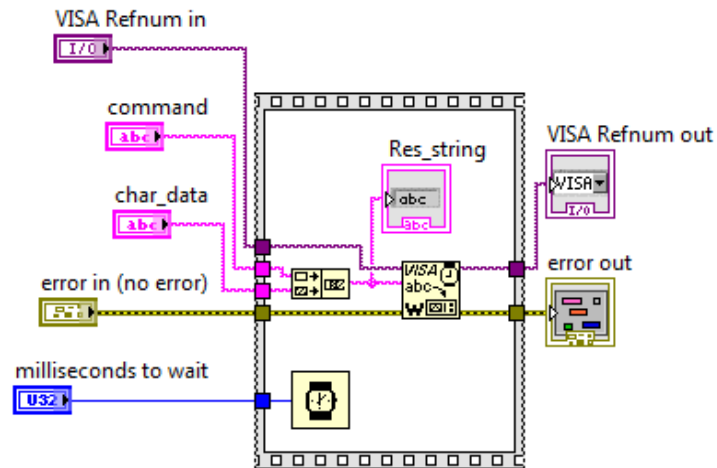


Рисунок 2.17 – Структурна схема блоку запису даних COM WRITE в середовищі LabVIEW

Лицьова панель розробленої системи, представлена на рисунку 2.18, містить елементи інтерфейсу для візуалізації та керування:

Графіки Analog1 та Analog2 відображають аналогові сигнали, що відповідають напрузі на виводах A0 та A1 відповідно. До цих виводів підключені потенціометр (Analog1) та генератор синусоїдального сигналу (Analog2). Графік Digital демонструє стан цифрового входу, зокрема кнопку, підключену до відповідного виводу мікроконтролера. Меню Serial дозволяє вибрати активний послідовний порт для обміну даними між мікропроцесорною системою та середовищем LabVIEW. Повзунки PWM_1 та PWM_2 призначені для регулювання ширини імпульсів сигналів ШІМ на виводах 3 та 10 відповідно. Як показує робота системи, значення, що зчитуються з апаратної платформи, коректно відображаються на графіках, що підтверджує адекватність передачі та обробки даних.

Вихідні сигнали системи були зафіксовані за допомогою двоканального осцилографа Instrustar ISDS205B. Осцилограма сигналів PWM_1 та PWM_2, що відповідно підключені до першого та другого вимірювальних каналів, наведена на рисунку 10. З графіків видно, що коефіцієнт заповнення сигналів становить приблизно 7% для PWM_1 та 73% для PWM_2, що повністю відповідає значенням, заданим на лицьовій панелі системи.

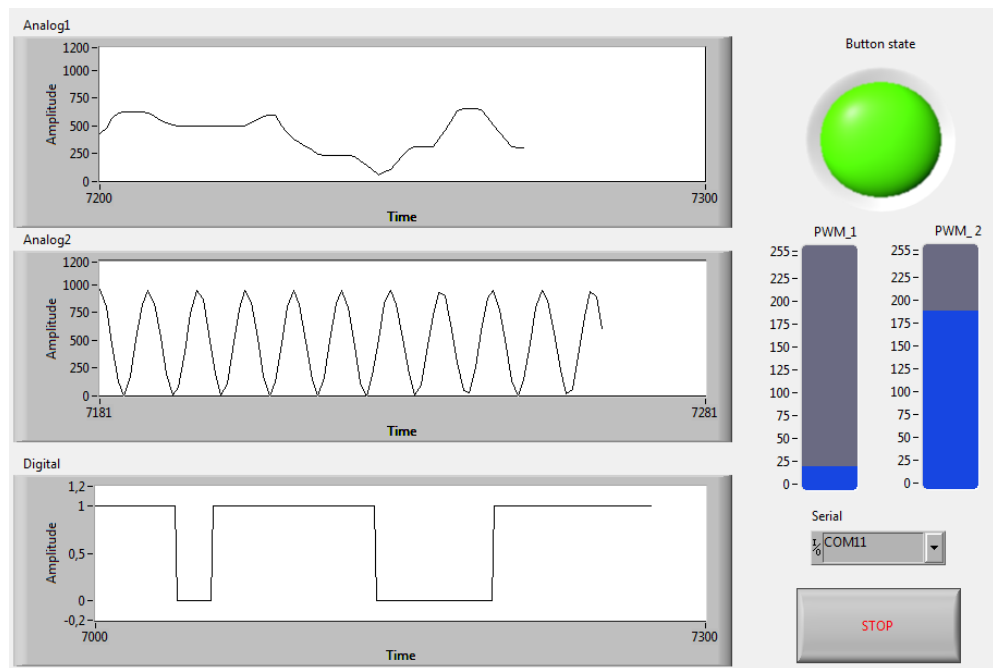


Рисунок 2.18 – Лицьова панель розробленої системи обміну даними в середовищі LabVIEW

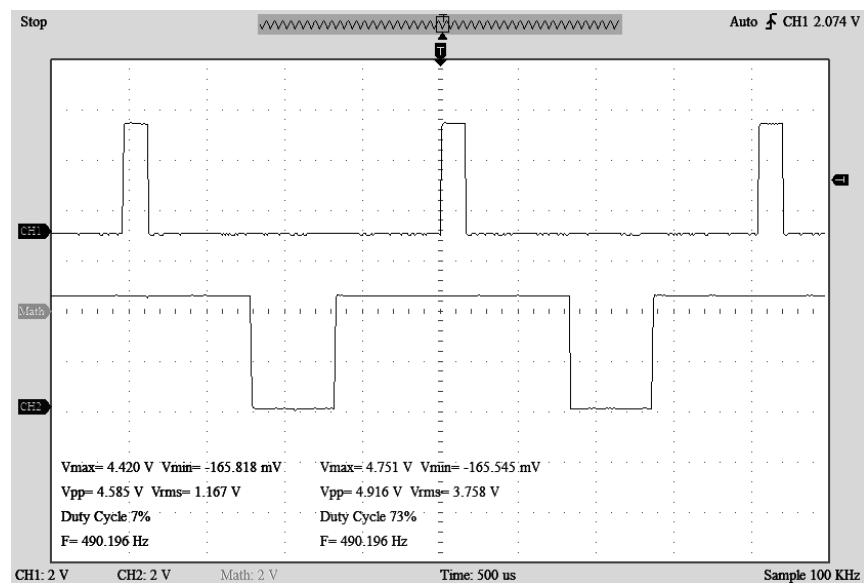


Рисунок 2.19 – Осцилограма вихідних сигналів ШІМ виводів

Розроблений інтерфейс зв'язку LabVIEW з мікропроцесорними системами використовує стандартний послідовний порт RS232, що забезпечує сумісність з різним апаратним забезпеченням. Запропоновано алгоритмічне та програмне забезпечення для інтеграції LabVIEW з МП-системами, реалізоване на платформі Arduino, що підтвердило ефективність

рішення. Кросплатформенний інтерфейс дозволяє динамічно передавати дані без впливу на основну роботу МП-системи, що спрощує додавання LabVIEW до існуючих систем. Вибір та дослідження характеристик робочого органу та сенсора

Вентилятор — пристрій для перемішування чи переміщення під певним тиском повітря, газів або сумішей їх з дрібними частинками.

У промисловості застосовують, зокрема, для провітрювання приміщень, підтримання (створення) рудникової (шахтної) атмосфери, очищення повітря в приміщеннях та на шахтах і застійних зонах кар'єрів, для створення штучної тяги в топках котлів, для створення потоку газу (повітря) в технологічних апаратах, пневмотранспортних установках тощо.

На рисунку 2.20 представлена будова осьового вентилятора

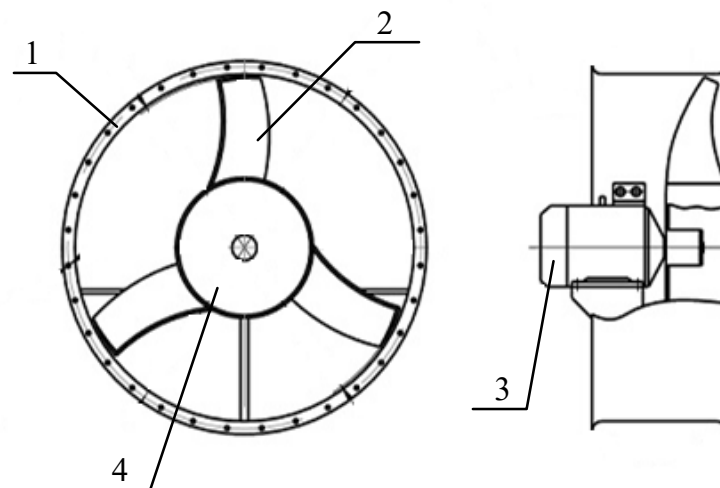


Рисунок 2.20 – Будова вентилятора

1 - корпус вентилятора; 2 - робоче колесо; 3 - електродвигун; 4 – кронштейн.

Існують три основні типи вентиляторів, які застосовуються для переміщення повітря: осьові, відцентрові та діаметральні.

Вентилятори осьового потоку мають лопаті, які переміщують повітря паралельно осі обертання. Такі пристрої, що створюють повітряний потік

уздовж осі, називаються осьовими вентиляторами. Вони відзначаються простотою конструкції та застосовуються у широкому діапазоні — від малих охолоджувальних вентиляторів для електроніки до великих агрегатів, що використовуються у повітряних тунелях.

Відцентровий вентилятор має ротор з центральною віссю і спіральними лопатками. Повітря входить біля осі і під прямим кутом рухається до виходу через спіральний кожух. Він створює більший тиск для заданого об'єму повітря і широко використовується в промисловості, але зазвичай працює гучніше, ніж осьові вентилятори.

Вентилятор діаметрального потоку має ротор типу «біляча клітка» з лопатками, розташованими по периферії. Повітря надходить уздовж периферії ротора і рухається до виходу, подібно до відцентрового вентилятора. Такі пристрої забезпечують рівномірний повітряний потік по всій ширині, працюють безшумно, але мають великі габарити та низький тиск. Зазвичай їх використовують для охолодження в копіювальних апаратах (ксероксах). Підвищення тиску в процесі роботи вентилятора є основою нагнітальної вентиляції.

Вентилятори зазвичай приводяться в рух електричним двигуном, який обертає лопаті у корпусі. Для великих промислових вентиляторів використовують трифазні асинхронні двигуни. Менші вентилятори працюють на двигунах змінного струму з екранованим полюсом, а також на щіткових або безщіткових двигунах постійного струму. Вентилятори змінного струму підключаються безпосередньо до мережі, тоді як вентилятори постійного струму живляться від низьковольтних джерел (12V, 24V, 5V). У комп'ютерних системах для охолодження зазвичай застосовують безщіткові двигуни, які забезпечують менший рівень електромагнітних завад. У автомобілях та великих системах охолодження вентилятор часто жорстко з'єднують з двигуном.

Обертове робоче колесо за допомогою лопаток передає енергію приводу переміщуваному повітрю. Лопатки робочих коліс виготовляються зі сталі або пластмас (для вентиляторів малих розмірів).

Вентилятори з несиметричними лопатками не мають однакової продуктивності при зміні напрямку руху повітря — при зворотному русі їхня ефективність суттєво знижується. Втім, вони відзначаються кращими аеродинамічними характеристиками та вищим коефіцієнтом корисної дії (ККД). Спрямовуючий апарат вентилятора забезпечує плавний перехід повітря від лопаток до вихідного отвору дифузора або повітряної мережі, а також частково перетворює динамічний тиск потоку в статичний, що підвищує ефективність роботи системи.

Для зниження аеродинамічних втрат, що виникають через різкі зміни швидкості руху повітря, у конструкції шахтних вентиляторів застосовують два обтічники:

Передній обтічник розміщується у вхідному колекторі, перед робочим колесом або напрямним апаратом.

Задній обтічник встановлюється після спрямовуючого апарату, перед дифузором або входом у вентиляційну мережу.

Обтічники забезпечують більш плавний рух повітря і покращують аеродинамічні характеристики вентилятора.

У осьових вентиляторах повітряний потік рухається вздовж осі обертання робочого колеса. Повітря засмоктується через колектор, проходить між лопатками обертового колеса, далі потрапляє у спрямляючий апарат, потім у дифузор і викидається в атмосферу (при роботі на всмоктування).

Осьові вентилятори бувають двох основних типів:

Одноступінчасті — оснащені одним робочим колесом, яке забезпечує рух повітря.

Двоступінчасті — містять два послідовно розташованих робочих колеса в корпусі вентилятора, що дозволяє збільшити тиск і продуктивність.

Між робочими колесами розташований проміжний направляючий апарат (НА), який складається з нерухомих або регульованих профільних лопаток. Його призначення — направляти повітря до наступного робочого колеса під оптимальним кутом та перетворювати частину кінетичної енергії потоку в потенційну (статичний тиск). Направляючий апарат встановлюється після другого робочого колеса за напрямком руху повітря. Обидва ступені можуть бути змонтовані на одному валу або на різних (наприклад, у вентиляторі ВОД-16). Наявність двох ступенів дозволяє вентилятору розвивати більший тиск.

Повну характеристику зазвичай отримують експериментальним шляхом при постійній частоті обертання робочого колеса. Перерахунок параметрів роботи на інші частоти обертання проводиться за відомими залежностями. Форма характеристики визначається конструкцією і аеродинамічними властивостями вентилятора. На відміну від радіальних характеристика тиску осьових нагнітачів часто має сідлоподібну форму.

На основі повних характеристик рисунку 2.21 Використовуючи формули перерахунку, отримують універсальні характеристики осьових вентиляторів - індивідуальні, суміщені і безрозмірні.

Безрозмірні параметри (коефіцієнти), що характеризують вентилятор, відносяться до його зовнішнього діаметра або до окружної швидкості на зовнішньому діаметрі. Ці параметри міняються уздовж радіуса. Наприклад, коефіцієнт тиску γ_1) змінюється обернено пропорційно радіусу. На рисунку 2.22 показано розподіл тисків уздовж радіуса лопастного колеса при $\psi = 0,05 \div 0,8$. Точки перетину кривих з віссю координат відповідають випадку, коли $\Delta p_s = 0$.

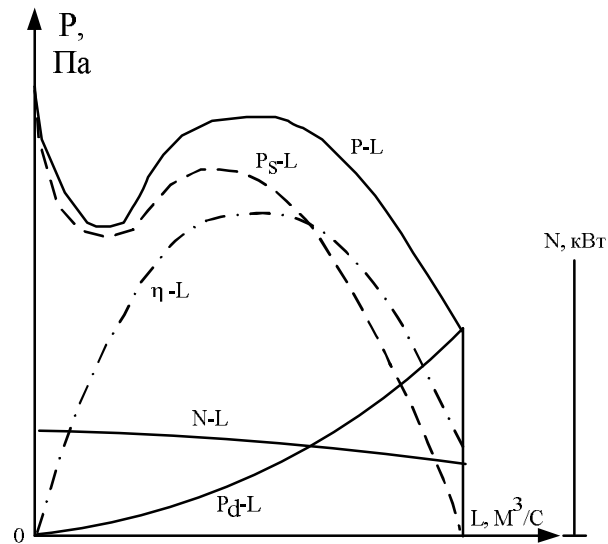


Рисунок 2.21 – Повна аеродинамічна характеристика осьового вентилятора

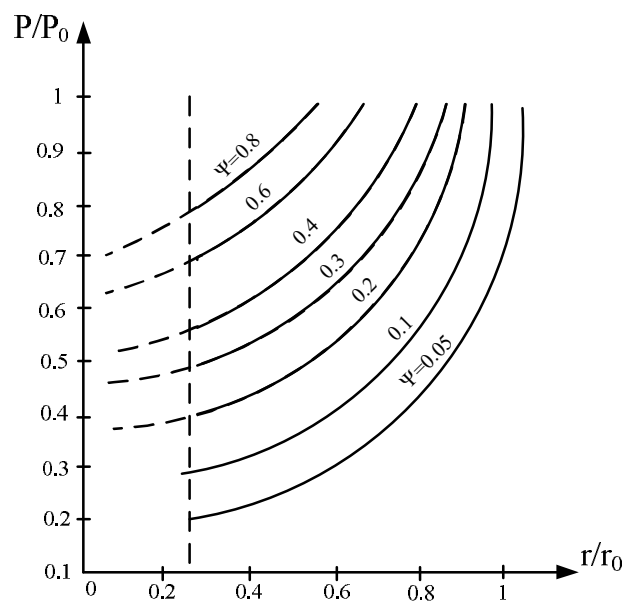


Рисунок 2.22 – Розподілення тиску вздовж радіусу за колесом осьового вентилятора

У зв'язку з осьовим напрямком потоку безпосереднє приєднання нагнітача до трубопроводу є найпростішим конструктивним рішенням. При вході в корпус найчастіше встановлюється окреслене плавною кривою колектор. Якщо ж перед нагнітачем мається досить довгий трубопровід (такого ж діаметру, що і корпус), то колектор, природно, стає непотрібним. Слід зауважити, що при дуже довгих трубопроводах ($L_{Tr} > 5d$)

Для вентиляторних установок, що працюють на всмоктування, приєднувальними елементами до мережі можуть бути.

Вхідна коробка або вхідний коліно для приєднання вентилятора до каналу, що йде від гирла вентиляційної шахти.

Вихідна частина, що складається з сусіднього до вентилятора дифузора і поворотного ділянки за ним. Іноді за дифузоре встановлюється шумоглушник.

Насоси з діаметром лопатей більш мають підвід у вигляді коліна, невеликі насоси – камерний підвід.

При побудові ефективної робочої характеристики нагнітача слід враховувати наявність різних колін і коробок, за допомогою яких нагнітач приєднується до мережі.

Залежно від схеми вентиляторів, кута установки лопатей їх робочих коліс та відносного діаметра втулки їх характеристики можуть мати різну форму рисунок 2.23. При малих кутах установки лопатей ($10 - 15^\circ$) характеристики тиску звичайно монотонні (крива 1).

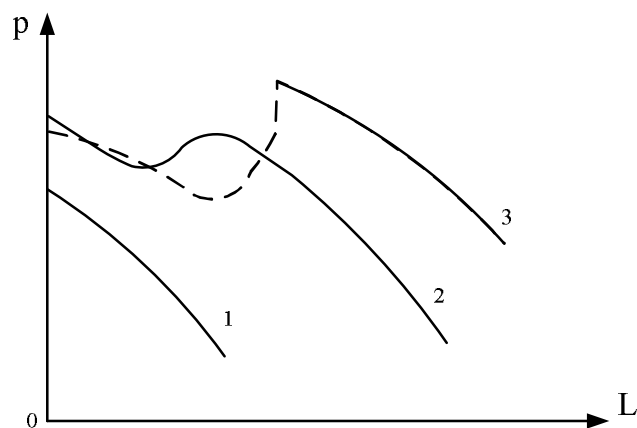


Рисунок 2.23 – Різні види характеристик тиску осьового вентилятора

При збільшенні кута установки характерно поява максимуму тиску та сідловини крива 2 від чого вся характеристика ділиться на ліву неробочу і праву робочу гілки. При роботі на лівій гілці можуть утворюватися обертові зривні зони, кутова швидкість яких відрізняється від швидкості обертання

робочого колеса, що призводить до виникнення змінних навантажень на лопості і вібрації. При ще великих кутах установки відбувається розрив характеристики тиску крива 3.

2.4 Розрахунок статичних характеристик двигуна

Оскільки електропривод стенда працює в тривалому номінальному режимі роботи (S1), то потужність двигуна визначимо із виразу:

$$P_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} \cdot \omega_{\text{ном}}. \quad (1.11)$$

Номінальна кутова швидкість якоря:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n}{60}, \quad (1.12)$$

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60} = 104,7 \text{ (рад / с)},$$

$$P_{\text{ном}} = 0,09 \cdot 104,7 = 9,42 \text{ (Вт)}.$$

Потужність двигуна вибирається з урахуванням коефіцієнта запасу K_z :

$$P_{\text{дв}} = K_z \cdot P_{\text{ном}} = 1,04 \cdot 9,423 = 9,8 \text{ (Вт)},$$

де K_z – коефіцієнт запасу двигуна ($K_z = 1,04$).

По отриманим значенням потужності двигуна з каталожних даних вибираємо двигун з умови $P_{\text{ном.кат}} \geq P_{\text{дв}}$. Обираємо з довідника двигун постійного струму з постійним магнітом з технічними характеристиками приведеними в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики двигуна

P_H ,	$U_{\text{ном}}$,	$n_{\text{ном}}$,	$M_{\text{ном}}$,	ККД,
---------	--------------------	--------------------	--------------------	------

Вт	В	об/хв	Н·м	%
10	24	1000	0,09	80

Під механічною характеристикою електричного двигуна розуміють залежність швидкості від моменту.

Запишемо рівняння механічної характеристики двигуна постійного струму з постійними магнітами:

$$\omega = \frac{U_{\text{ном}}}{c\Phi} - M \cdot \frac{R_{\Sigma}}{c\Phi^2}. \quad (1.13)$$

Під електромеханічною характеристикою електричного двигуна розуміють залежність швидкості від струму.

Запишемо рівняння електромеханічної характеристики двигуна постійного струму з постійними магнітами:

$$\omega = \frac{U_{\text{ном}}}{c\Phi} - I \cdot \frac{R_{\Sigma}}{c\Phi}. \quad (1.14)$$

Номинальний струм двигуна:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}}, \quad (1.15)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{10}{24 \cdot 0,8} = 0,521(\text{А}).$$

Номинальний опір двигуна:

$$R_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}}, \quad (1.16)$$

$$R_{\text{ном}} = \frac{24}{0,521} = 46(\text{Ом}).$$

Внутрішній опір якірного кола ЕД:

$$R_{\text{дв}} = 0,5 \cdot (1 - \eta_{\text{дв}}) \cdot R_{\text{ном}}, \quad (1.17)$$

$$R_{\text{дв}} = 0,5 \cdot (1 - 0,8) \cdot 46 = 4,6 (\text{Ом}).$$

Спад напруги в якірному колі при номінальному струмі:

$$\Delta U_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} \cdot R_{\text{дв}}, \quad (1.18)$$

$$\Delta U_{\text{ном}} = 0,521 \cdot 4,6 = 2,4 (\text{В}).$$

Номінальна ЕРС:

$$E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - \Delta U_{\text{ном}}, \quad (1.19)$$

$$E_{\text{ном}} = 24 - 2,4 = 21,6 (\text{В}).$$

Потужність, споживана ЕД з мережі, при номінальному навантаженні:

$$P_1 = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (1.20)$$

$$P_1 = \frac{10}{0,8} = 12,5 (\text{Вт}).$$

Номінальні втрати потужності в двигуні:

$$\Delta P_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}})}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (1.21)$$

$$\Delta P_{\text{ном}} = \frac{10 \cdot (1 - 0,8)}{0,8} = 2,5 (\text{Вт}).$$

Номінальний коефіцієнт ЕРС:

$$c\Phi = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} \cdot R_{\Sigma}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (1.22)$$

$$c\Phi = \frac{24 - 0,521 \cdot 4,6}{104,7} = 0,206 (\text{В} \cdot \text{с}).$$

Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{ном}}}{c\Phi}, \quad (1.23)$$

$$\omega_0 = \frac{24}{0,206} = 116,3 (\text{рад} / \text{с}).$$

Номинальний електромагнітний момент:

$$M_{\text{е.ном}} = c\Phi \cdot I_{\text{ном}}, \quad (1.24)$$

$$M_{\text{е.ном}} = 0,206 \cdot 0,521 = 0,107 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Номинальна кутова швидкість якоря у відносних одиницях:

$$\omega_{\text{ном.в.о}} = \frac{\omega_{\text{ном}}}{\omega_0}, \quad (1.25)$$

$$\omega_{\text{ном.в.о}} = \frac{104,7}{116,3} = 0,9 (\text{в.о.}).$$

Момент холостого ходу (момент втрат):

$$M_{\text{xx}} = M_{\text{е.ном}} - M_{\text{ном}}, \quad (1.26)$$

$$M_{\text{xx}} = 0,107 - 0,09 = 0,017 (\text{Нм}).$$

Швидкість холостого ходу:

$$\omega_{\text{xx}} = \frac{U_{\text{ном}}}{c\Phi} - M_{\text{xx}} \cdot \frac{R_{\text{дв}}}{c\Phi^2}, \quad (1.27)$$

$$\omega_{\text{xx}} = \frac{24}{0,206} - 0,017 \cdot \frac{4,6}{0,206^2} = 114,4 (\text{рад} / \text{с}).$$

Струм короткого замикання для природньої електро-механічної характеристики:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_{\text{дв}}}, \quad (1.28)$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{24}{4,6} = 5,208 (\text{А}).$$

Момент короткого замикання для природньої механічної характеристики:

$$M_{кз} = \frac{M_{ном} \cdot I_{кз}}{I_{ном}}, \quad (1.29)$$

$$M_{кз} = \frac{0,09 \cdot 5,208}{0,521} = 0,9 (\text{Нм}).$$

За координатами точок:

- 1) $\omega = \omega_0 = 116,3 (\text{рад / с}), M=0$;
- 2) $\omega_{ном} = 104,7 (\text{рад / с}), M_{ном} = 0,09 (\text{Нм})$.

Будуємо природню механічну характеристику двигуна, рисунок 3.1.

За координатами точок:

- 1) $I=0, \omega_0 = 116,3 (\text{рад / с})$;
- 2) $\omega=0, I_{кз} = 5,208 (\text{А})$.

Будуємо електромеханічну характеристику двигуна, рисунок 3.2.

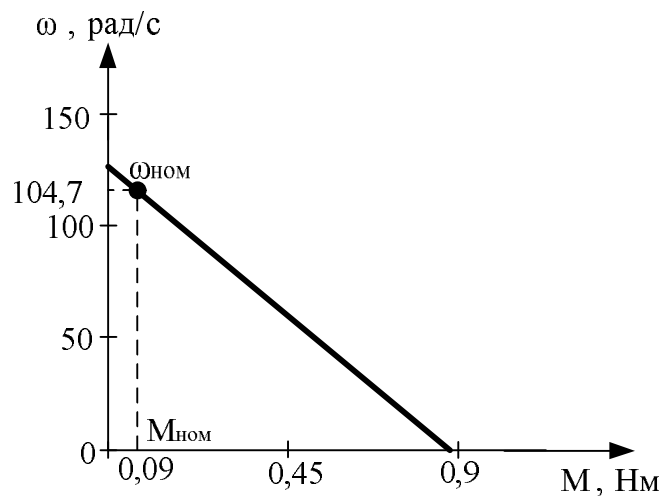


Рисунок 3.1 – Природна механічна характеристика двигуна

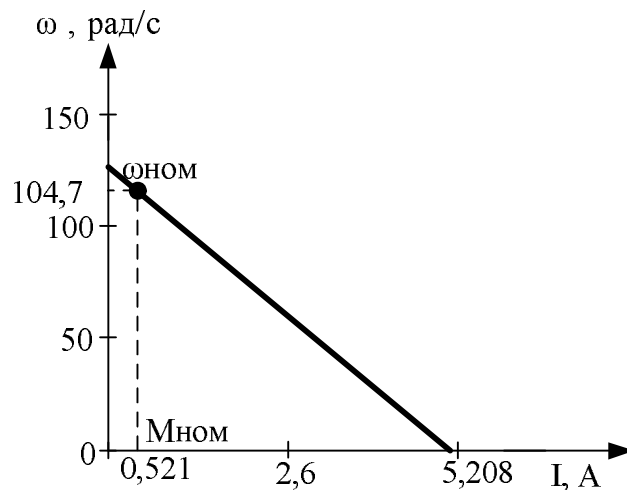


Рисунок 3.2 – Електромеханічна характеристика двигуна

2.5 Компоновка лабораторного стенда, розробка схеми електричної принципової стенда

2.5.1 Вибір діодів

Швидкодіючі діоди оптимізовані для роботи з великими динамічними навантаженнями, що характеризуються швидким переходом від провідного до непровідного стану. Вони застосовуються в пристроях, які перетворюють постійний струм у змінний. Кожен ключовий елемент (GTO, IGCT або IGBT) потребує додаткового діода (наприклад, для компенсації зворотної реактивної потужності) з метою забезпечення ефективного перетворення постійного струму в змінний при індуктивних навантаженнях.

Визначимо струм діода:

$$I_d = K_{zc} \cdot \frac{K_i \cdot I}{m}, \quad (1.30)$$

де K_{zc} , K_i – коефіцієнти запасу по струму ($K_{zc} = 1,5 \div 2$, $K_i = 5 \div 7,5$);

m – кількість фаз ($m=1$).

$$I_d = 2 \cdot \frac{7,5 \cdot 0,015}{1} = 0,225 \text{ (A)}.$$

Вибір діода виконується з умови:

$$\begin{cases} U_{3B\max} \geq U_{3C\max} \\ I_{\text{дод}} \geq I_d \end{cases}, \quad (1.31)$$

$$\begin{cases} 600 \geq 50,911 \\ 2 \geq 0,225 \end{cases}.$$

Для реалізації лабораторного стенда, застосованих в принципові схемі, використаємо діоди SF28 параметри яких наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4– Параметри діода

Параметр	Значення
Максимальна постійна зворотна напруга, В	600
Максимальний прямий (випрямлений за напівперіод) струм, А	2
Максимально допустимий прямий імпульсний струм, А	75
Максимальне пряма напруга, В	1.25
Максимальний зворотний струм, мкА	5
Максимальний час зворотного відновлення, мкс	0.035

Діоди типу SF28 застосовані в схемі захисту від імпульсів іншої полярності. Їх вистачає для роботи в слабкострумових ланцюгах.

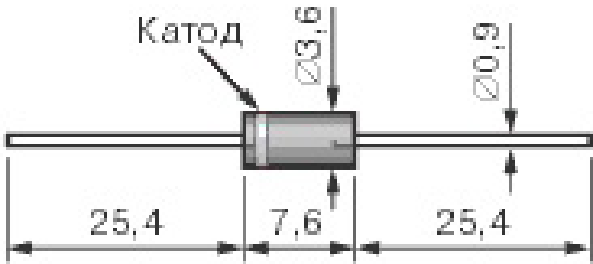


Рисунок 2.24 – Діоди SF28

2.5.2 Вибір транзисторного ключа

Електронний ключ пристрій, призначений для комутації навантаження під впливом керуючого сигналу.

Транзисторний ключ для керування двигуном

Визначимо струм бази:

$$I_{\text{б}} = \frac{I_{\text{к}}}{h_{21\text{e}}^{\text{min}}}, \quad (1.32)$$

$$I_{\text{б}} = \frac{0,51}{750} = 0,00068(\text{A}).$$

Визначимо статичний коефіцієнт передачі струму:

$$h_{21\text{e}} = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{б}}}, \quad (1.33)$$

$$h_{21\text{e}} = \frac{0.51}{0.00068} = 750.$$

Визначимо номінальний опір бази транзистора:

$$R_{\text{б}} = \frac{(U_{\text{кер}} - U_{\text{бе}}) \cdot h_{21\text{e}}^{\text{min}}}{I_{\text{к}}}, \quad (1.34)$$

$$R_{\text{б}} = \frac{(5 - 0,7) \cdot 750}{0,51} = 6,3(\text{кОм}).$$

Вибір транзисторів здійснюють по максимальному струму перехід емітер колектор у відкритому стані:

$$I_{\text{max}} = \lambda \cdot I_{\text{сер}} \cdot K_{\text{охл}} \cdot K_{\text{зс}}, \quad (1.35)$$

де значення струму що протікає в схемі ($I_{\text{сер}} = I_{\text{н}}$);

$K_{\text{охл}}$ – коефіцієнт охолодження ($K_{\text{охл}} = 1,1 \div 2,5$).

$$I_{\text{max}} = 2 \cdot 0,012 \cdot 1,8 \cdot 2 = 0,086 (\text{A}).$$

Величина максимальної зворотної напруги переходу емітер колектор:

$$U_{\text{звmax}} = K_{\text{зн}} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{н}}, \quad (1.36)$$

$$U_{\text{звmax}} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 24 = 50,911 (\text{В}).$$

Для реалізації в принциповій схемі, використаємо транзистори типу КТ 972 А.

Його технічні дані представлені в таблиці 2.5

Таблиця 2.5 – Технічні дані транзистора типу КТ 972 А.

Параметр	Значення
Провідність	npn
Макс. напр. к-б при заданому зворотному струмі до і розімкнутої ланцюга е. (Uкбо макс), В	60
Максимально допустимий струм до (Ik макс.)	4
Статичний коефіцієнт передачі струму h21е хв	750
Гранична частота коефіцієнта передачі струму fгр.МГц	200
Максимальна розсіює потужність, Вт	8

Зовнішній вигляд транзистора представлений на рисунку 2.25

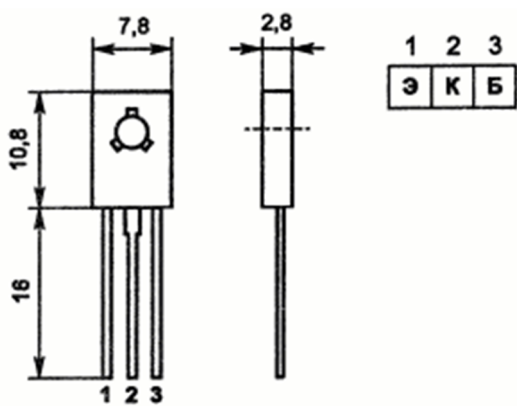


Рисунок 2.25 – Зовнішній вигляд транзистора

Транзисторний ключ для керування датчиком швидкості

Визначимо струм колектора:

$$I_k = \frac{U_{ж}}{R_7}, \quad (1.37)$$

$$I_k = \frac{5}{200} = 0,025.$$

Визначимо струм бази:

$$I_6 = \frac{I_k}{h_{21e}}, \quad (1.38)$$

$$I_6 = \frac{0,025}{110} = 0,00023(A).$$

Визначимо статичний коефіцієнт передачі струму:

$$h_{21e} = \frac{I_k}{I_6}, \quad (1.39)$$

$$h_{21e} = \frac{0.025}{0,00023} = 108$$

Визначимо номінальний опір бази транзистора:

$$R_6 = \frac{(U_{кер} - U_{6e})}{I_k}, \quad (1.40)$$

$$R_6 = \frac{5 - 0,7}{0,025} = 172(Ом).$$

Вибираємо найближчий опір з стандартного ряду на 220 Ом

Для реалізації у принциповій схемі використовуються транзистори типу BC547. Цей транзистор широко застосовується як у ключових схемах, так і в ролі підсилювального елемента в різноманітних блоках і модулях радіоапаратури. Компонент зарекомендував себе як надійний і рекомендований до застосування.

Його технічні дані представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні дані транзистора типу BC547.

Параметр	Значення
Провідність	npn
Напруга колектор-емітер макс., В	45
Напруга колектор-база макс., В	50
Напруга емітер-база макс., В	6
Струм колектора макс., МА ... 100	100
Максимальна розсіюваність потужності Р	0.5
Ємність колекторного переходу (C _c), пф	6
Статичний коефіцієнт передачі струму h _{21е} хв	110

Зовнішній вигляд транзистора представлений на рисунку 2.26

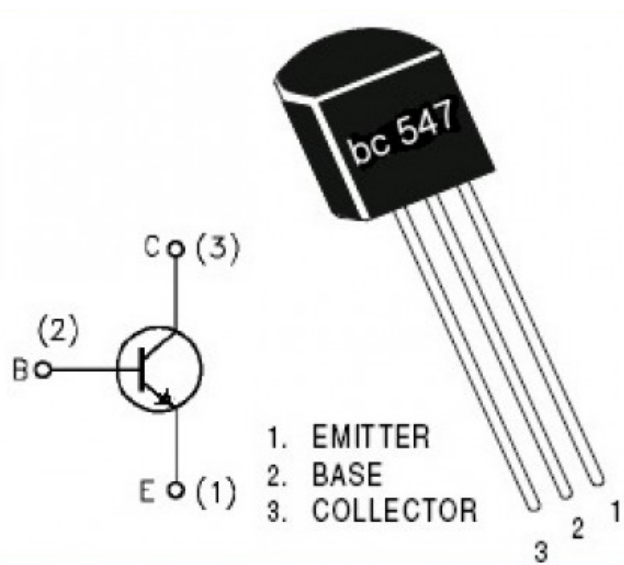


Рисунок 2.26 – Зовнішній вигляд транзистора

2.5.3 Вибір резисторів

Як обмежуючий резистор для пристрою оптопари розрахунок буде проводитися за такою формулою.

$$R_1 = \frac{U_K - U_{vd}}{I_{vd}}, \quad (1.41)$$

$$R_1 = \frac{5-1,5}{15} \cdot 10^3 = 233,3(\text{Ом}).$$

Вибираємо найближчий опір з стандартного ряду на 220 Ом.

Інші резистори вибираємо резистори типу С2-23 різної потужності.

Ці резистори мають широке поширення, низьку вартість і задовольняють нашим вимогам.

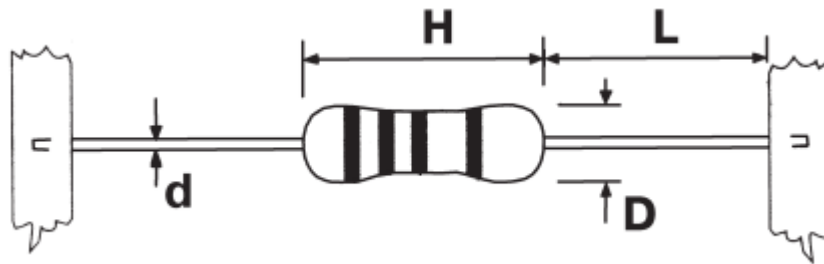


Рисунок 2.27 – Резистор типу С2-23

2.5.4 Вибір мікросхеми стабілізатора

Стабілізатор в даному випадку потрібен щоб стабілізувати постійну напругу і забезпечити роботу в нормальному режимі. Стабілізатор 78L05 має тепловий захист, а також вбудовану запобіжну систему стабілізатора від перевантаження по струму.

Вихідні дані:

Вхідна напруга: від 7 до 20 вольт.

Вихідна напруга: від 4,5 до 5,5 вольт.

Вихідний струм (максимальний): 100 мА.

Струм споживання (стабілізатором): 5,5 мА.

Допустима різниця напруг вхід-вихід: 1,7 вольт.

Робоча температура: від -40 до +125 ° С.

Схема стабілізатора показана на рисунку 2.28

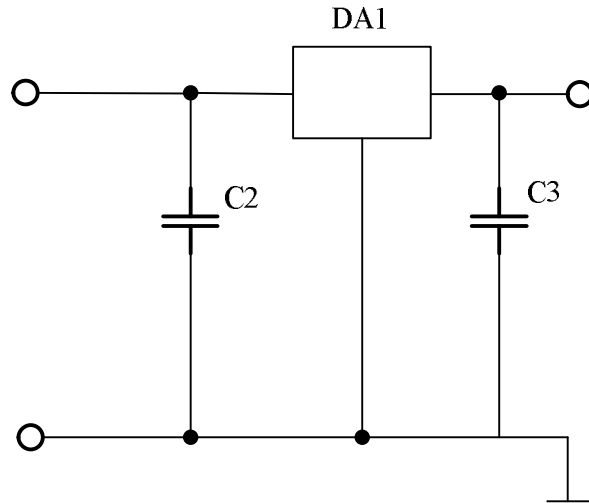


Рисунок 2.28 - Схема стабілізатора

Конденсатор C1 на вході необхідний для ліквідації високо частотних перешкод при подачі вхідної напруги. Конденсатор C2 на виході стабілізатора, як і в будь-якому іншому джерелі живлення, забезпечує стабільність блоку живлення при різкій зміні струму навантаження, а так же зменшує ступінь пульсацій.

Для контролю швидкості вентилятора прикріплюємо до нього оптичний датчик положення в просторі типу RPR220 з такими технічними характеристиками які наведені в таблиці

Таблиця 2.7 – Технічні дані оптичного датчика

Параметр	Значення
Режим роботи	відображення
Тип виходу	фототранзистор
Робоча відстань, мм	6
Метод зчитування	світло відбивання
час відгуку, мкс	10
струм випромінювача (ном), мА	30
Напруга, що комутується (макс), В	30

Діодна оптопара в даному випадку для реалізації схеми застосовується як гальванічна розв'язка провідників з малим струмом комутації. В діодній оптопарі в якості фотоприймального елемента використовується фотодіод а як випромінювач - інфрачервоний випромінюючий діод.

Таблиця 2.8 – Технічні дані діодної оптопари

Параметр	Значення
Кількість каналів	1
Тип виходу	фотодіод
Напруга ізоляції, кВ	0,1
Максимальна вихідна напруга, В	15

Тригер Шмітта застосовується для відновлення цифрового сигналу, спотвореного в лініях зв'язку. Крім того, він функціонує як підсилювач з високим коефіцієнтом підсилення. Пристрій має один аналоговий вхід і один цифровий вихід. Технічні характеристики наведені нижче.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики тригера Шмітта

Параметр	Значення
Тип логіки	CMOS
Вихідний струм високого рівня, mA	5,2
Вихідний струм низького рівня, mA	5,2
Час затримки поширення, ns	25
Напруга живлення, В	6

Електрична принципова схема представлена на рисунку 2.29

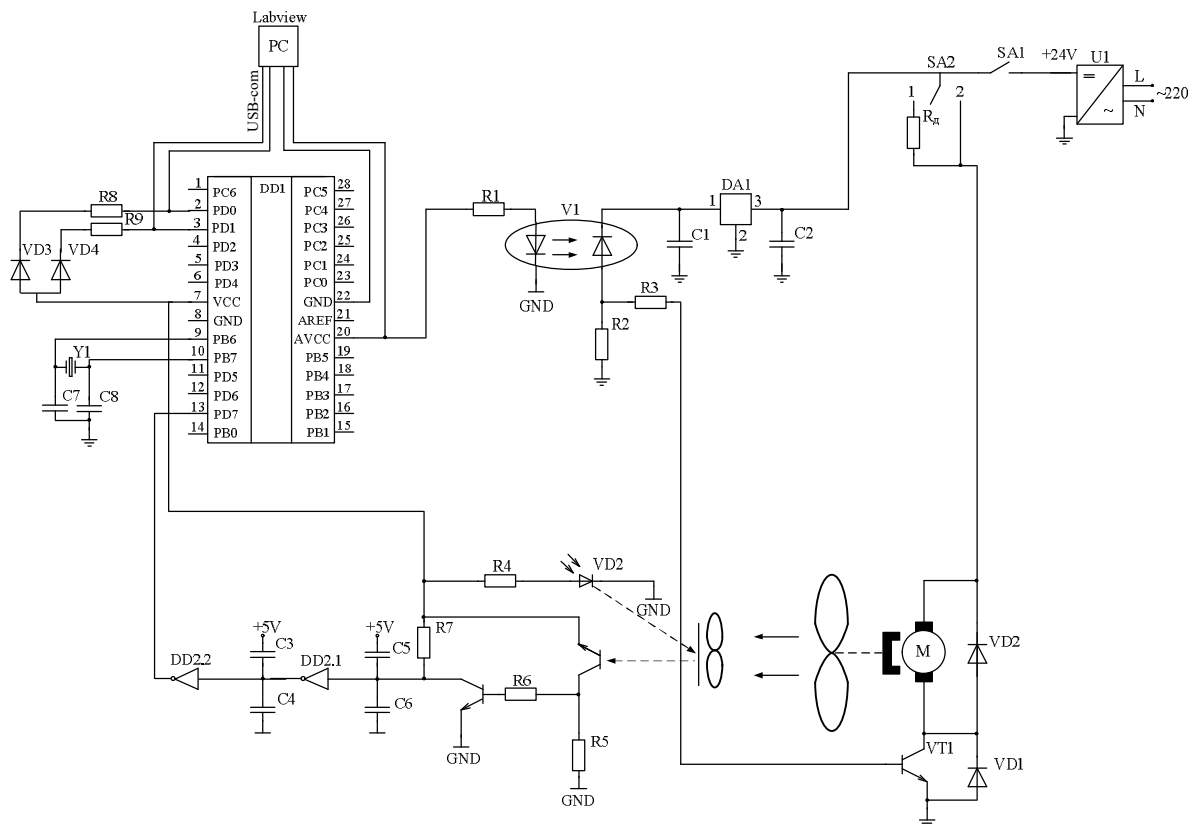


Рисунок 2.29 – Електрична принципова схема

Дана схема працює наступним чином:

Контролер підключається до персонального комп'ютера на якому встановлене програмне забезпечення LabVIEW з'єднання проходить через інтерфейс USB RS232, обмін даними сигналізується світло діодами VD3 та VD4. Також через USB проводиться живлення 5В. контролер тактується кварцовим резонатором який працює на частоті 16 МГц. Для гальванічної розв'язки силових кіл використовується діодна оптопара. Діоди VD1 та VD2 приходять на силовий ключ керування, дані діоди призначенні для захисту транзистора від перенапруг. Двигун живиться від змінної напруги що далі перетворюється з 220В на постійну 24В. Тумблер SA2 при здійсненні перемиканні протікає струм через резистор номіналом $R=10\text{ Ом}$, і швидкість стає менша. В іншому напрямку перемикання тумблера струм на двигун подається на пряму і двигун працює з більшою швидкістю. Зчитування швидкості обертання здійснюється за допомогою оптичного фотодатчика швидкості який складається з джерела освітлюваного потоку роль якого виконує діод що випромінює світло в інфрачервоному спектрі. Відбитий

світловий потік сприймається фото транзистором, світло відбивається тільки на білій поверхні сектора диску, а пр. проходженні світлового потоку через сектор диску з чорним кольором світловий потік переривається. Отже на виході сенсора швидкості отримуємо сигнал частота якого пропорційна обертанню швидкості датчика вентилятора, за один оберт білого сектору ми отримаємо один імпульс. Тригер Шмітта відновлює цифровий сигнал який спотворився в лініях зв'язку і підсилює сигнал. Далі сигнал проходить через фільтр який очищує сигнал який йде на мікроконтролер.

2.6 Розробка програмного забезпечення для реалізації автоматичного регулювання

У даній магістерській роботі використовується мікроконтролер фірми Atmel типу Atmega 328.

Мова програмування пристроїв Arduino базується на мові C/C++.

Середа розробки Arduino складається з вбудованого текстового редактора програмного коду, поля повідомлень, вікна виводу тексту (консолі) та панелі інструментів найчастіше вживаних команд та декількох меню.

```
void setup() {
    lcd.begin(16, 2); // ініціалізація LCD
    Serial.begin(115200); // Швидкість передачі інтерфейсу
    pinMode(RPMpin, INPUT); // Датчик швидкості вхід
    pinMode(PWMPin, OUTPUT); // ШІМ вихід
    pinMode(Tumbler, INPUT); // Тумблер керування вхід
    digitalWrite(RPMpin, 1); // Вмикаємо підтягуючий резистор до входу датчика
    attachInterrupt(1, RPM, FALLING); // Вмикаємо переривання по зрізу сигналу на INT1 (вив. 3)
    detachInterrupt(0); // Заборона переривання на INT0 (вив. 2)
```

```

lcd.noCursor(); // вимк. курсор на LCD

}

ПІД регулювання

void Pid(){

    error = Zадание - rpm; //знаходимо помилку

    error1=error;

    pTerm = Kp * error;// пропорційна складова

    integrated_error += error;// накопичувальна помилка

    iTerm = Ki * constrain(integrated_error, -(GUARD_GAIN),
GUARD_GAIN);//інтегральна складова (її значення обмежується)

    dTerm = Kd * (error - last_error);// диференційна складова

    last_error = error; // поточна помилка стає попередньою для наступного
кроку регулювання

    speed_pid = constrain(K*(pTerm + iTerm + dTerm), 0, 255);// Значення
напруги на двигуні оюмежене 8 разрядним регістром керування

    //      Підпрограма зчитування та обробки даних порта

    void read_Serial() {

        String inData = "";//Стрічку даних обнуляєм перед прийомом

        if (Serial.available() >0) {//Якщо щось прийняли

            delay(1); // прохи почекаєм

            int h = Serial.available(); // запишемо кількість прийнятих символів
(байт)

            in_comand = (byte)Serial.read() ; // зчитаємо перший байт -- це
команда

            for (int i = 1; i < h; i++) {

                inData += (char)Serial.read();// записуємо всі інші символи в стрічку -
- це дані

```


`com_data = inData.toInt();` // перетворюємо стрічку в числову змінну
та виходимо з підпрограми

```
    }
  }
}
```

Лістинг програми наведений в додатку Б

На початку алгоритму відбувається ініціалізація змінних та портів вводу/виводу підключення бібліотек.

В наступному етапі йде зчитування команд керування з порта, записуємо змінні зчитані з порта. Далі йде перевірка умов якщо так то двигун повинен вимкнутися і повинні обтулитися а також обнуляємо інтегральну помилку щоб в подальшому програма її рахувала з початку всі дані системи а якщо ні то програма працює далі.

Далі йде ще одна перевірка якщо тумблер в положенні «НІ» то система переходить в ручний режим керування системи і задане значення регулюється потенціометром а якщо тумблер в положенні «ТАК» то система працює за допомогою програмного забезпечення labview.

Потім йде ПД регулятор в якому задаємо значення коефіцієнтів для нормальної роботи програми, якщо є виникає помилка то регулятор її усуває.

Далі визначається швидкість обертання на датчику системи.

Далі основні показники системи виводимо на рідкокристалічний дисплей.

В кінці алгоритму виконується перевірка ввімкненого стану стенду.

Якщо «НІ» то програма завершує свою роботу.

Якщо «ТАК» то програма працює спочатку.

Алгоритм програми приведений на рисунку 2.30

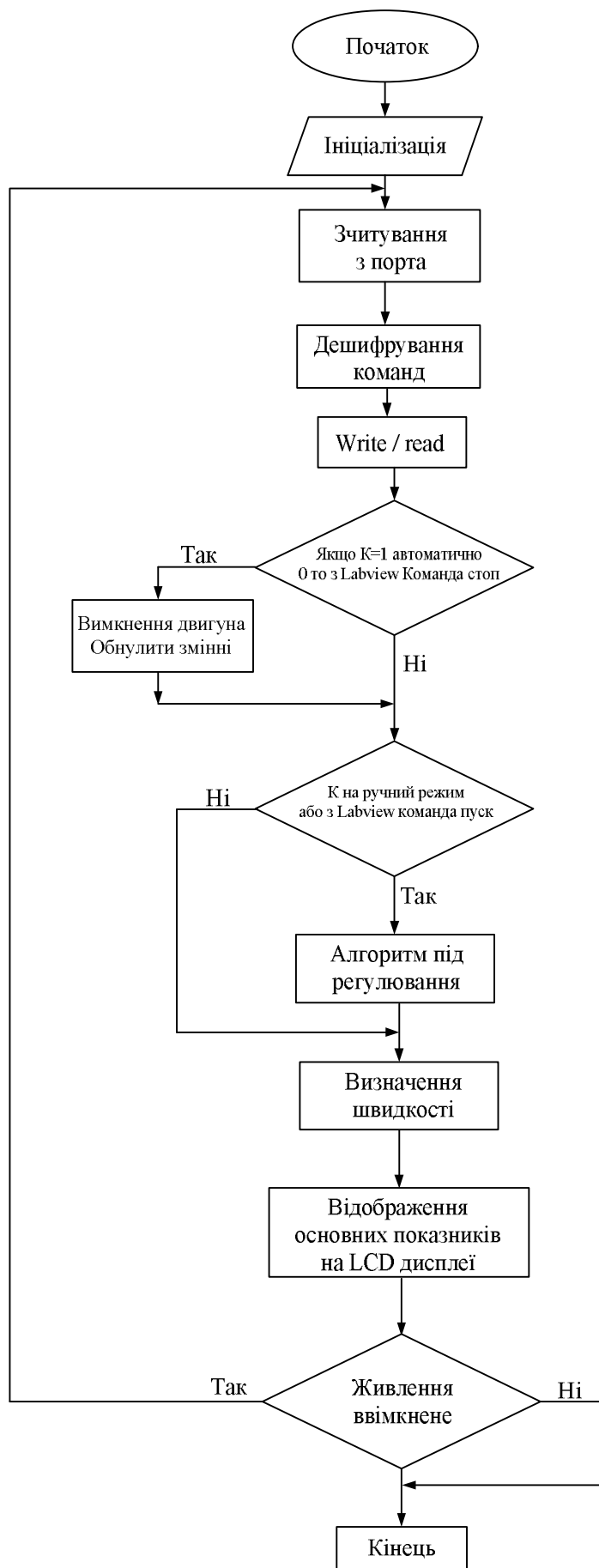


Рисунок 2.30 – Алгоритм роботи програми

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Особливості реалізації апаратної частини установки

Схема електрична монтажна лабораторної установки представлена на рисунку 3.1

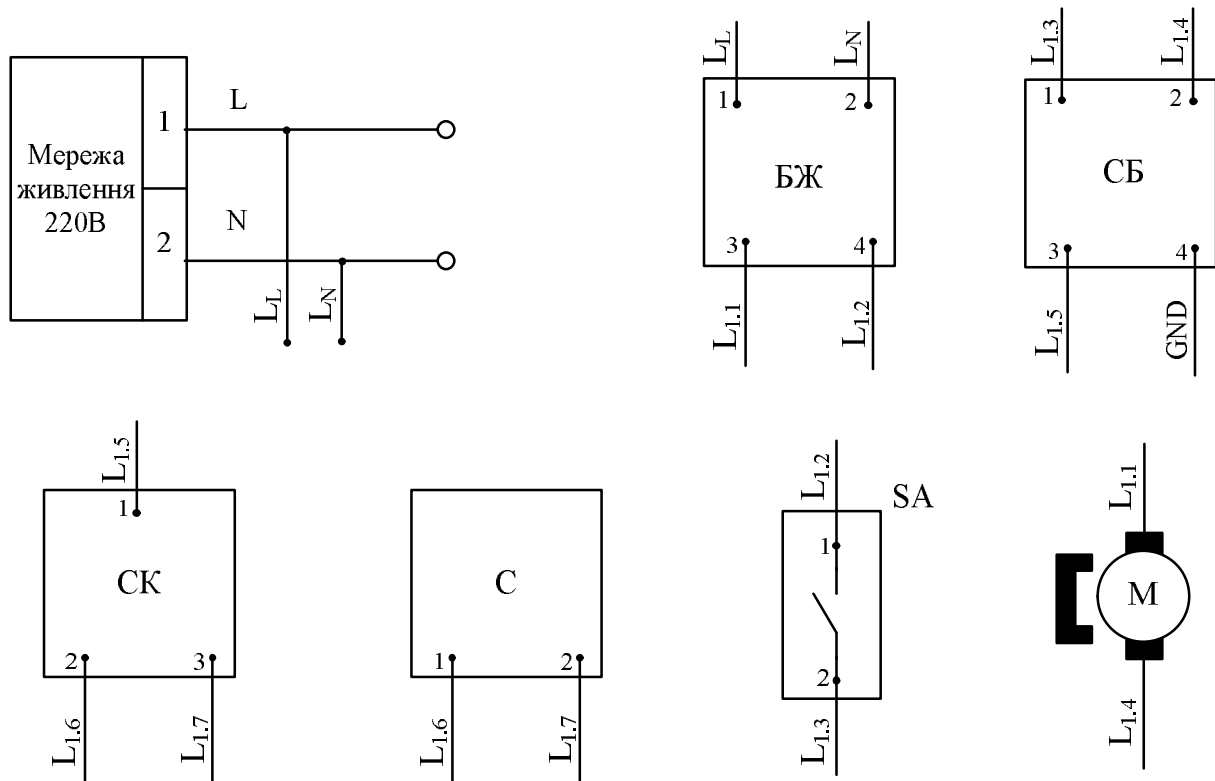


Рисунок 3.1 – Монтажна схема

Схема живиться від мережі змінного струму 220В. Силовий блок (СБ) живиться від блоку живлення (БЖ) який перетворює в постійну напругу 24В. Система керування даної схеми використовується напругою 5В. Сенсор (С) відслідковує швидкість вентилятора. Тумблер (SA) подає живлення на систему в загальному.

Зовнішній вигляд лабораторної установки представлений на рисунку 3.2.

Зовнішній вигляд сенсора потоку представлений на рисунку 3.3.

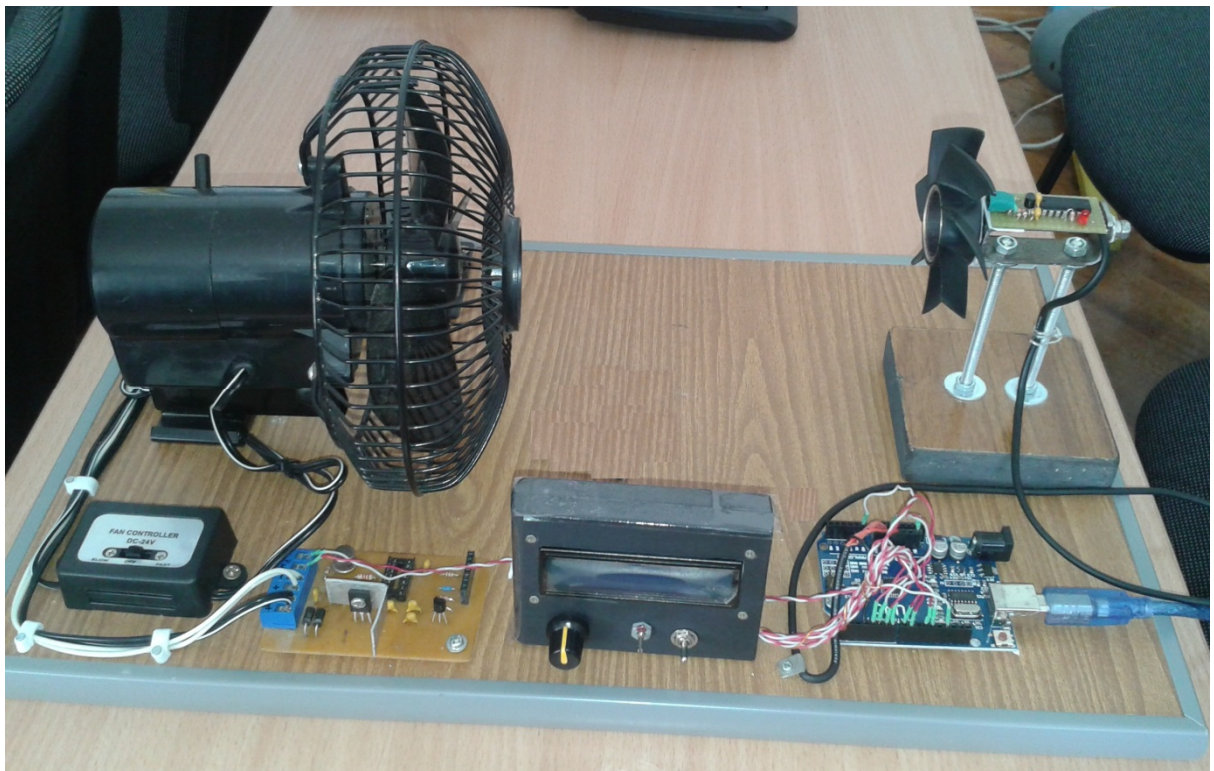


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд лабораторної установки

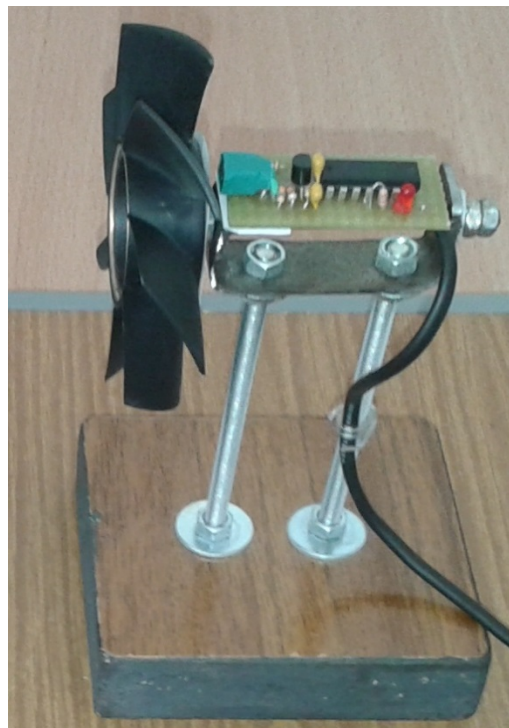


Рисунок 3.3 – Сенсор потоку

3.2 Дослідження та тестування роботи розробленого стенда

Labview має вбудовану бібліотеку ПІД регулятора в якому реалізований приклад застосування системи автоматичного регулювання з ПІД регулятором.

Застосування вбудованої бібліотеки ПІД регулятора показано на рисунках 3.4 та 3.5.

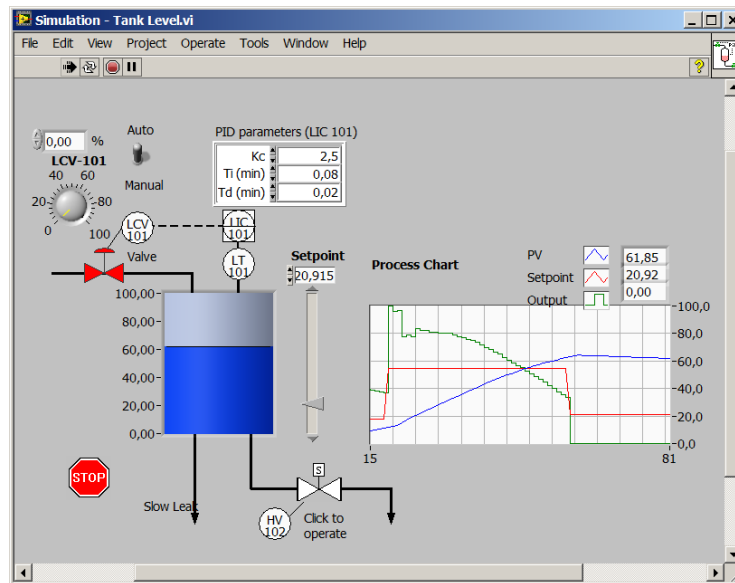


Рисунок 3.4 – Застосування вбудованої бібліотеки ПІД регулятора для рівня в резервуарі.

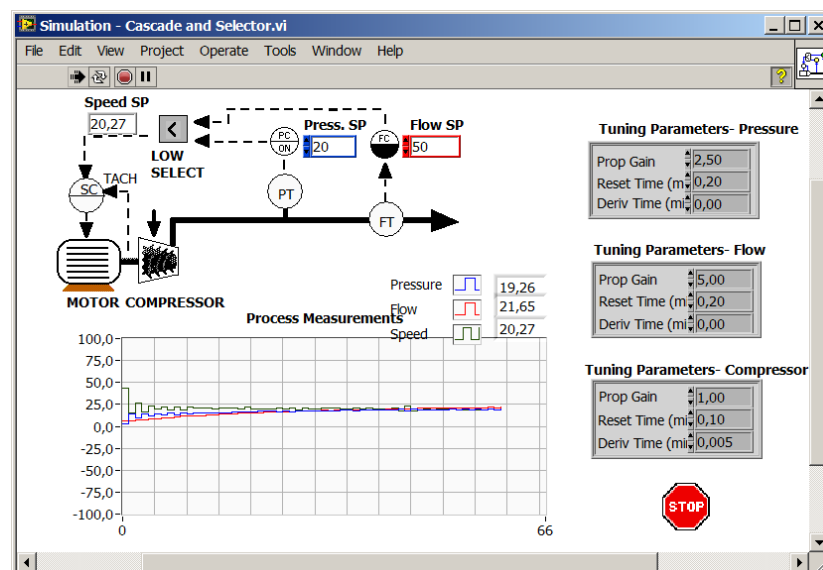


Рисунок 3.5 – Застосування вбудованої бібліотеки ПІД регулятора для компресора

Моделювання цифрового ПД регулятора швидкості проводилось у програмному середовищі Labview.

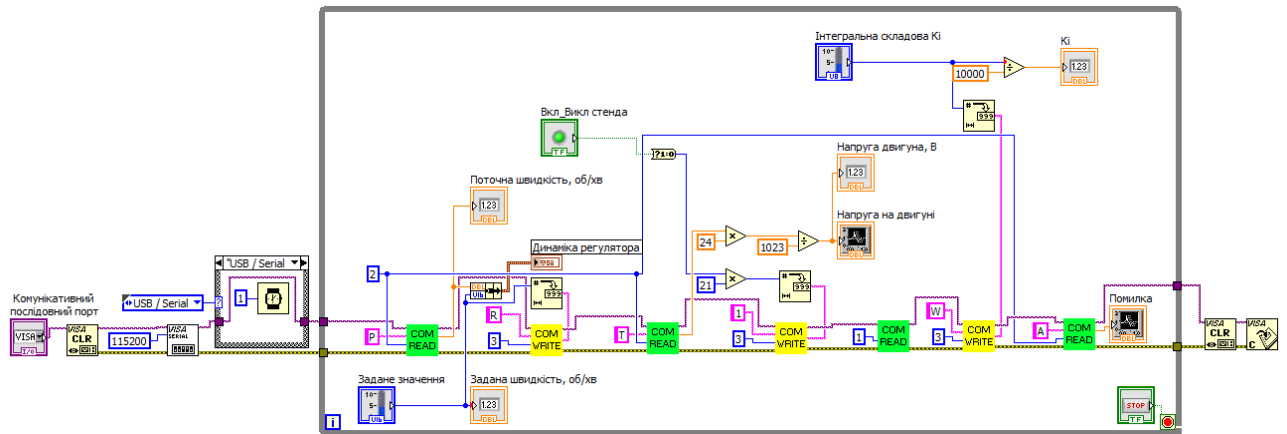


Рисунок 3.6 – Структурна схема регулятора в середовищі Labview.

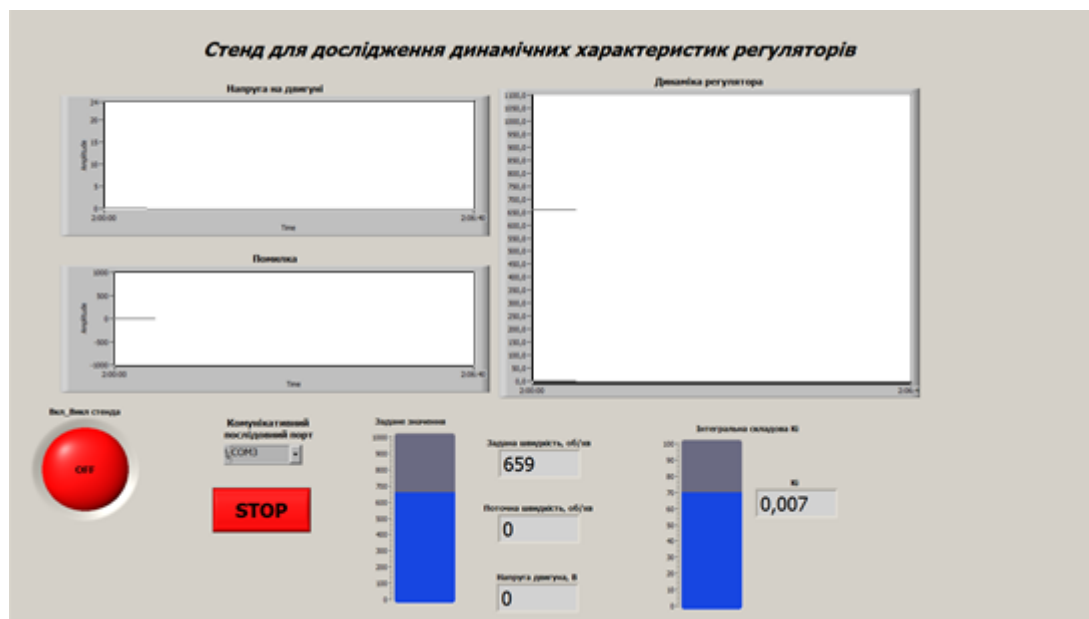


Рисунок 3.7 – Структура передньої панелі дослідження регулятора.

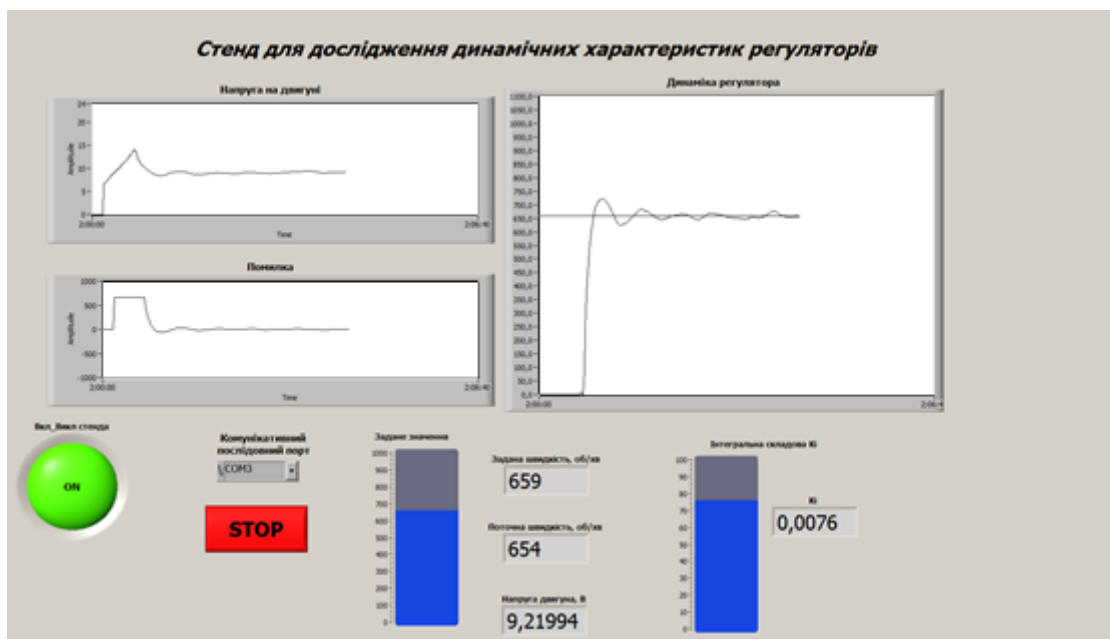


Рисунок 3.8 – Вихід системи на ustalений режим роботи з коефіцієнтом $K_i=0,00076$.

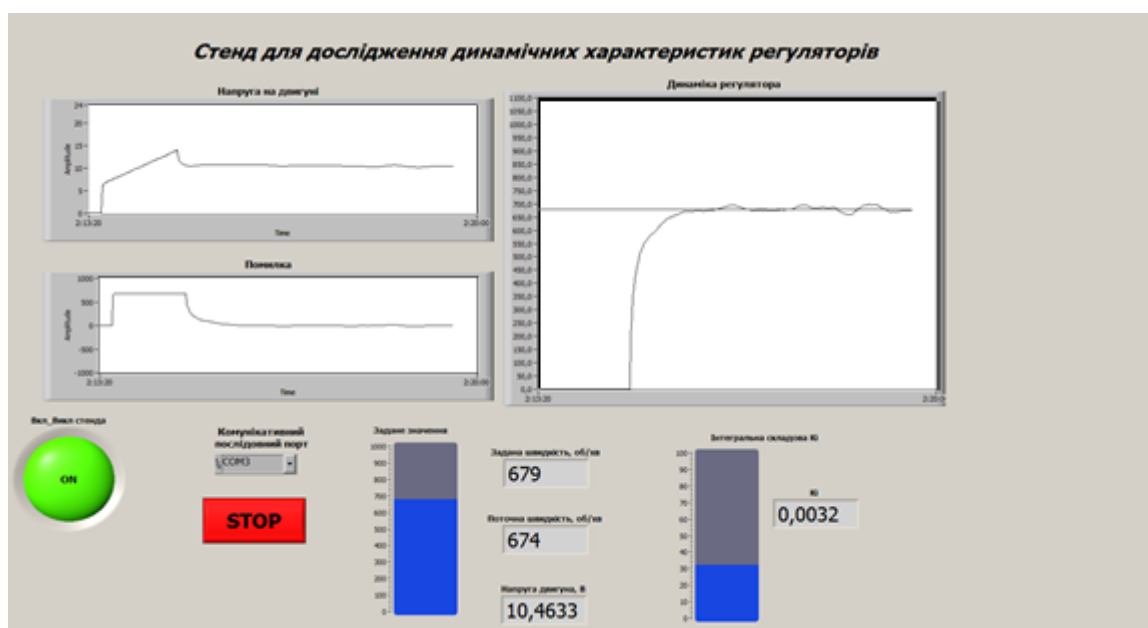


Рисунок 3.9 – Вихід на ustalений режим роботи з коефіцієнтом $K_i=0,0032$.

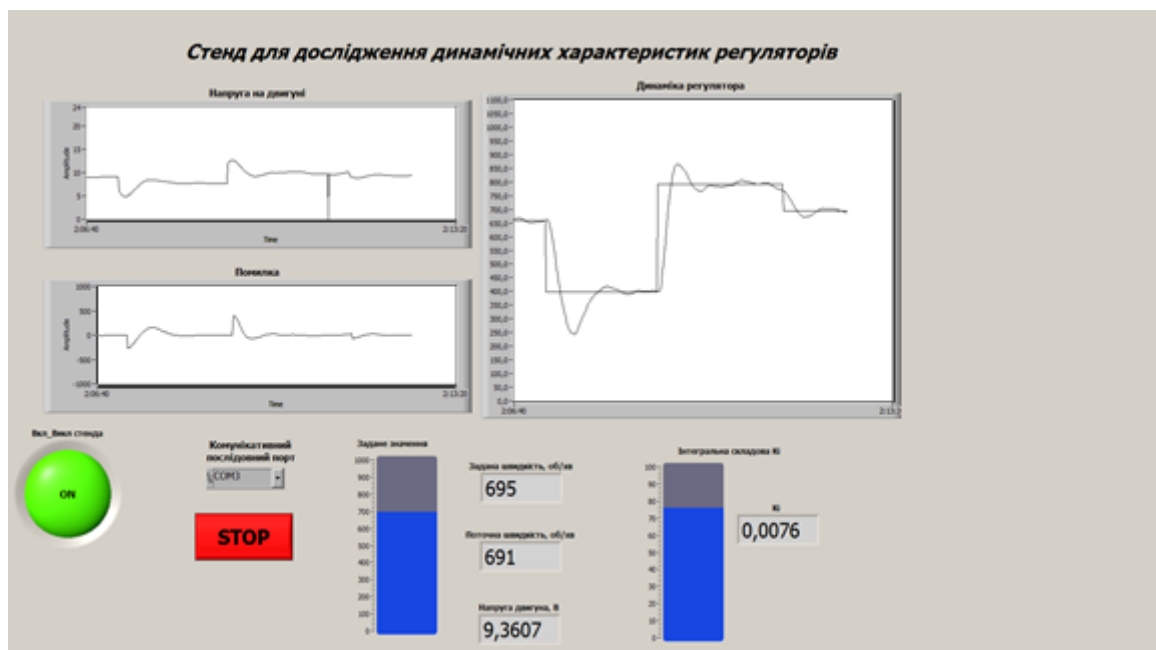


Рисунок 3.10 – Відпрацювання регулятором зміни задаючого сигналу з коефіцієнтом $K_i=0,0076$.



Рисунок 3.11 – Відпрацювання регулятора з зовнішнім збуренням з коефіцієнтом $K_i=0,0066$.

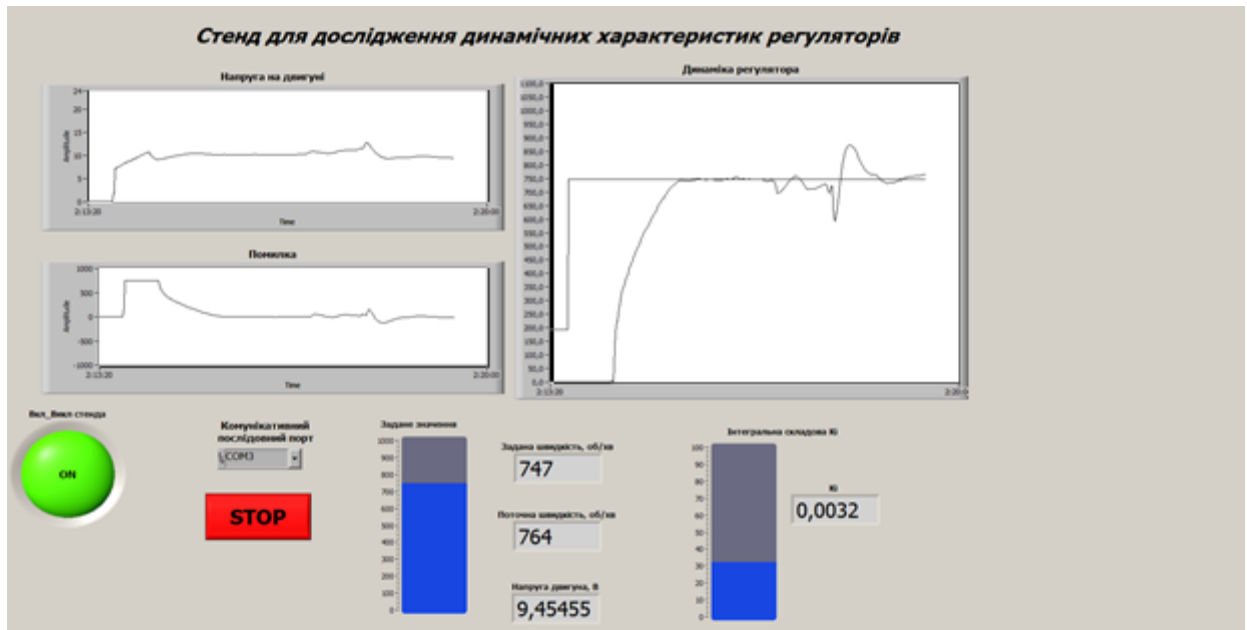


Рисунок 3.12 – Відпрацювання регулятора з зовнішнім збуренням з коефіцієнтом $K_i=0,0032$.



Рисунок 3.13 – Відпрацювання регулятора за зовнішнім збуренням при заданому значенні 643об/хв..

Висновок: У цьому розділі розроблено структурну схему в LabVIEW та виконано моделювання цифрового регулятора на мікроконтролері в різних режимах роботи.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі бакалаврської роботи запропоновані заходи та засоби з охорони праці під час експлуатації лабораторного стенда для дослідження систем керування. В процесі виконання робіт на навчальний персонал впливають такі шкідливі виробничі фактори [1, 2]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

4.1.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Площа одного обладнаного ПК робочого місця інженера-дослідника повинна складати не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³.

Живлення силового обладнання проєктної організації та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки.

Розташування монітора ПК має забезпечувати: безпечність роботи в цілому; зручність та ефективність зорової роботи з екраном в вертикальній площині під кутом $\pm 30^0$ від лінії зору, площа екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної

електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

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 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.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

4.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [4, 5]:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від

мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками. Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Конструкція робочого місця інженера-проектувальника повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки та Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року [1], характеру виконуваної роботи та забезпечити оптимальне розміщення на

робочій поверхні документів, рухомого пюпітра (тримача документів) та обладнання ПК (монітора, системного блоку, клавіатури, пристрою «миша», принтера та інших периферійних пристроїв з урахуванням їх кількості та конструктивних особливостей).

4.2.1 Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони [6]. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні для виконання проєктних робіт наведено в таблиці 1.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату для постійних робочих місць

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату [7] на робочому місці інженера передбачається: в холодну пору року використання калорифера; в літню пору застосування вентиляторів обдува; провітрювання приміщення.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м [6]. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [7]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи; встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності [8].

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в».

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	середній	середній	400	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» [9] (таблиця 4).

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Таблиця 4.4 – 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
Творча діяльність, конструювання і проєктування, програмування	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Для зниження шуму в приміщенні потрібно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [13], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Приміщення для виконання проєктних робіт за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали в холодному стані з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівля навчального корпусу № 4, в якій розташоване приміщення лабораторії, характеризується ІІ ступенем вогнестійкості. До ІІ ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з несучими і огорожувальними

конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 6.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати [15] за таблицею 7 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 7 (знаменник).

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території навчального корпусу № 4, в якій розташоване приміщення лабораторії, встановлено 67 вогнегасників ВП-5(8) [16].

ВИСНОВКИ

У цій бакалаврській кваліфікаційній роботі було проведено дослідження стенда для вивчення динамічних характеристик електроприводу постійного струму з цифровим регулятором на основі мікроконтролера Arduino Uno.

Було ознайомлено з основними принципами побудови цифрових систем керування. Розглянуто особливості регуляторів і досліджено їх вплив на одиночний сходячковий сигнал, а також визначено передаточні функції регуляторів. Крім того, проведено аналіз структури системи автоматичного керування та вивчено вимоги, що висуваються до лабораторної установки.

Розроблено структурну та електричну принципову схему лабораторної установки, описано їхній принцип роботи, а також проведено розрахунок і вибір елементів для схеми. Було обрано мікроконтролер для цієї системи. Для побудови системи керування двигуном постійного струму використовуватиметься мікроконтролер, на який надходитимуть вхідні сигнали, що передаватимуться на діодну оптопару, яка виконує функцію гальванічної розв'язки між колом керування та силовою частиною.

Був розроблений алгоритм програми, яка програмується в мікроконтролер на основі алгоритму була розроблена програма. Також було проведено моделювання цифрового регулятора реалізованого на МК в різних режимах роботи. По графіках перехідних процесів можна вважати, що він працює без помилок та збоїв.

Було проведено розрахунок капітальних вкладень для побудови цифрової системи керування двигуном постійного струму. Була розрахована основна заробітня плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати.

В даній роботі використано ППП Mathcad 14 для розрахунків, ППП Labview 2012 для моделювання та ППП Microsoft Office Visio 2010 для виконання графічної частини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
2. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
3. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.
4. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
5. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
6. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
8. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
9. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
10. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

11. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
12. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
13. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
14. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
15. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.
16. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.
17. Інформація про МП ардуіно уно
<https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
18. Даташит <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
19. Основа про повітряні гвинти <https://flightschoolusa.com/uk/airplane-propellers-basics-2024-ultimate/>
20. National Instruments. Lab 4: Quantitative PID Control. – <https://education.ni.com/teach/resources/290/lab-4-quantitative-pid-control>
21. National Instruments. Designing a PD Controller to Specifications. – <https://education.ni.com/teach/resources/189/designing-a-pd-controller-to-specifications>
22. National Instruments. PID Position Control. – <https://education.ni.com/teach/resources/123/pid-position-control>
23. Proportional–integral–derivative controller // Wikipedia. – https://en.wikipedia.org/wiki/Proportional–integral–derivative_controller

24. Ziegler–Nichols method // Wikipedia. –
https://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler–Nichols_method
25. Travis J., Kring B. LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Even Easier. – Pearson Education, 2006.
26. Smart Tutorials. Building Control Systems and PID Loops in LabVIEW. – <https://smart-tutorials.info/building-control-systems-and-pid-loops-in-labview>
27. Precise PID Temperature Control Based on LabVIEW // Scientific.Net. – <https://www.scientific.net/AMM.313-314.422>
28. Будова великих літаючих об'єктів: гвинтокрил // Plast Chota. – <https://chota.plast.org.ua/materials/budova-velykyh-litayuchyh-ob-yektiv>
29. Повітряні гвинти та композитні ресори // Aviashop. – <https://aviashop.com.ua/povitryani-gvynty-i-kompozytni-ressory>
30. Гвинти для авіамоделей // Greenchip. – <https://greenchip.com.ua/43-0-0-1.html>

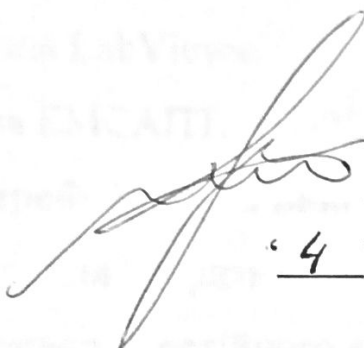
ДОДАТОК А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Мошноріз М. М

 " 4 " березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

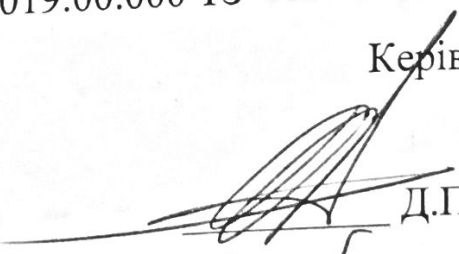
на бакалаврську кваліфікаційну роботу

«Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференційним регулятором»

08-24.БКР.019.00.000 ТЗ

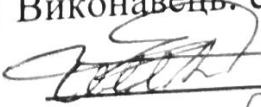
Керівник роботи

доцент

 Д.П. Проценко

" 4 " березня 2025 р.

Виконавець: ст. гр. ЕМСА-216

 Д.О. Стіфанцов

" 4 " березня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Розробка лабораторного устаткування для дослідження замкненої системи керування електроприводом з використанням середовища LabView». Скорочене найменування розробки – «Розробка лабораторного устаткування для дослідження ЗС керування ЕП з використанням середовища LabView».

Замовник – кафедра ЕМСАПТ, ВНТУ.

2 Призначення виробу і галузь використання

Розроблений стенд для призначений для дослідження динамічних характеристик електропривода постійного струму з цифровим регулятором в різних режимах роботи, та при різному навантаженні.

3 Склад виробу

Основу конструкції стенда складає двигун та вентилятор. Система курування двигуном на базі мікроконтролера фірми Atmega 328, сенсор швидкості, що побудований на фотоефекті.

4 Умови експлуатації

Електропривод стенду може забезпечувати надійну роботу при тривалому режимі роботи. Експлуатація здійснюється в різних умовах виконання робіт.

5 Комплектація розробки

Розроблений стенд складається з: двигуна постійного струму, вентилятора, широтно-імпульсного перетворювача, мікроконтролера, блоку живлення.

6 Технічні характеристики

Кількість мікроконтролерів, шт	1
Кількість двигунів, шт	1
Кількість сенсорів, шт	1

7 Елементна база

Двигун, вентилятор, апаратура управління і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

8 Конструктивне виконання

Система керування двигуном постійного струму виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило- та вологозахищеному виконанні.

9 Показники технологічності

Електропривод постійного струму – двигун, апаратура управління і захисту, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення.

10 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування проводять слюсарі-електромонтажники відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електроприводу.

11 Живлення електропривода

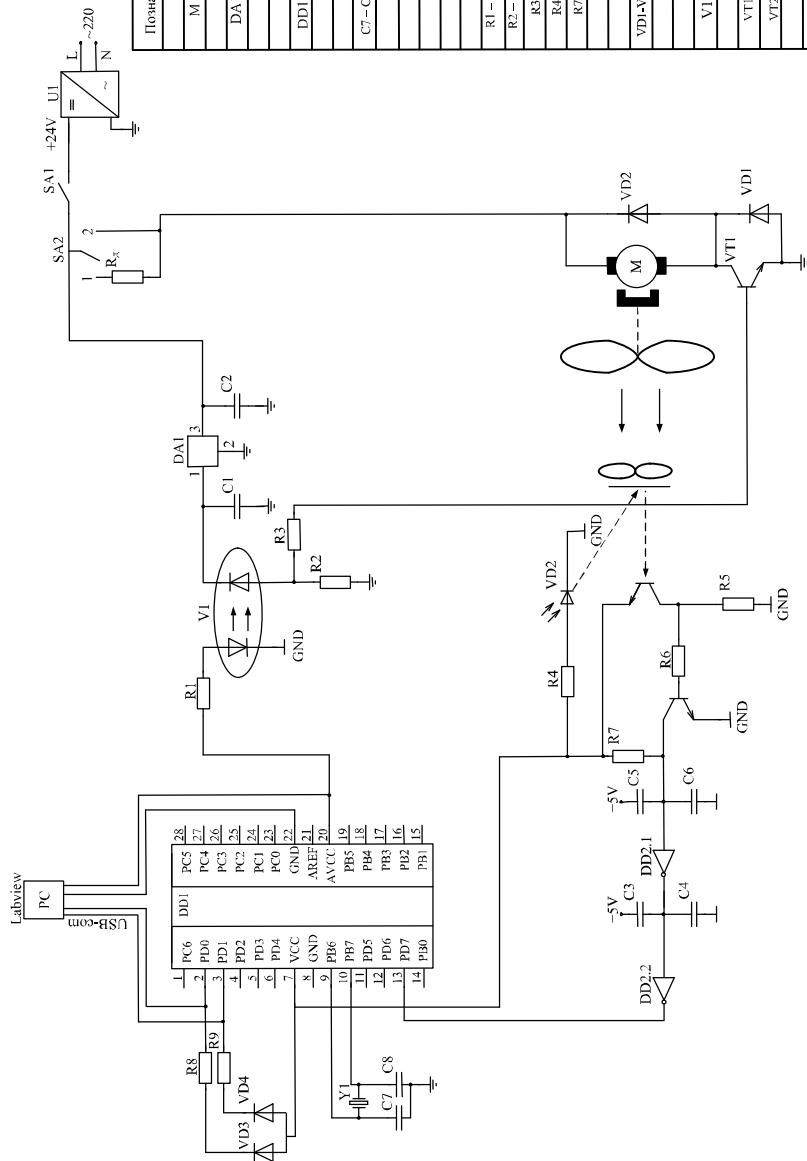
Живлення лабораторної установки забезпечує мережа 220В.

ДОДАТОК В

ІЛЮСТРАЦІЙНА ЧАСТИНА

«Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором»

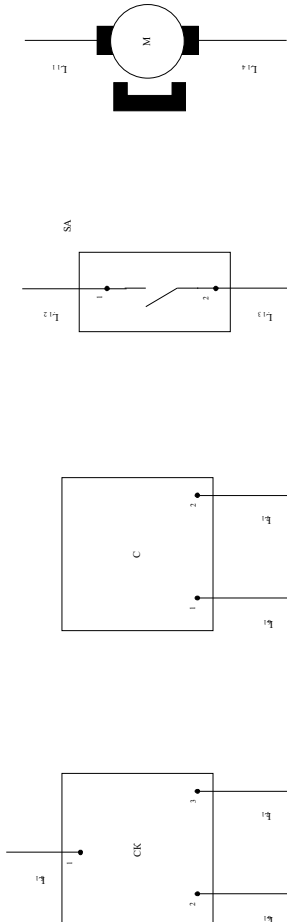
					08-24.БКР.019.00.000 Е1						
					Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором Схема електрична структурна	Літера			Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			у				
Розробив		Стіфанцов Д.О.									
Перевірив		Проценко Д.П.									
Реценз						Аркуш			Аркушів		
Н.контр.		Жуков О.А.			ВНТУ, ЕМСА-216						
Затв.		Мошноріз М.М.									



Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Дипун		
M		1	
	Аналогові мікросхеми		
DA1			
78L05		1	Стабілізатор
	Цифрові мікросхеми		
DD1		1	
	Аналого UNO		
	Конденсатори		
C7 – C8	K104-175M47 150pF, 10%	2	
	Резистори		
R1 – R6	(C2-23) 0,25 Вт, 220 Ом	2	
R2 – R3	10 КОм, 0,125 Вт, 5%	2	
R3	2,2 КОм, 0,125 Вт, 5%	1	
R4	100 Ом, 5% 0,125Вт	1	
R7	200 Ом, 0,125Вт	1	
	Діоди та стабілітрони		
VD1-VD2	SF28	2	
	Оптоелектронні пристрої		
V1	АОД101	1	Оптов'язка
VT1	КТ972А	1	
VT2	BC547	1	
	Кварцевий резонатор		
Y1	HC-49S, 16 МГц	1	

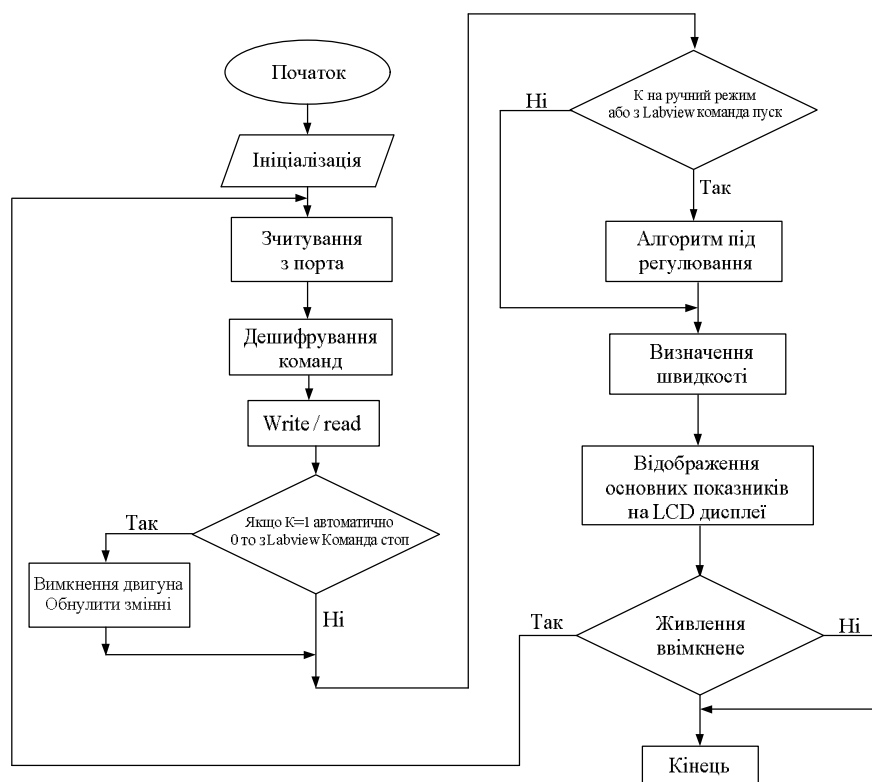
[illegible]

					08-24.БКР.019.00.000 ЕЗ						
					Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором Схема електрична принципова	Літера			Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			у				
Розробив		Стіфанцов Д.О.									
Перевірив		Проценко Д.П.									
Реценз						Аркуш			Аркушів		
						ВНТУ, ЕМСА-216					
Н.контр.		Жуков О.А.									
Затв.		Мошноріз М.М.									

[illegible]

					08-24.БКР.019.00.000 Е4						
					Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференційним регулятором Схема електрична монтажна	Літера			Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			у				
Розробив		Стіфанцов Д.О.									
Перевірив		Проценко Д.П.									
Реценз											
						Аркуш			Аркушів		
Н.контр.		Жуков О.А.					ВНТУ, ЕМСА-216				
Затв.		Мошноріз М.М.									

Розробка алгоритму та програмного забезпечення для роботи установки



Алгоритм роботи програми

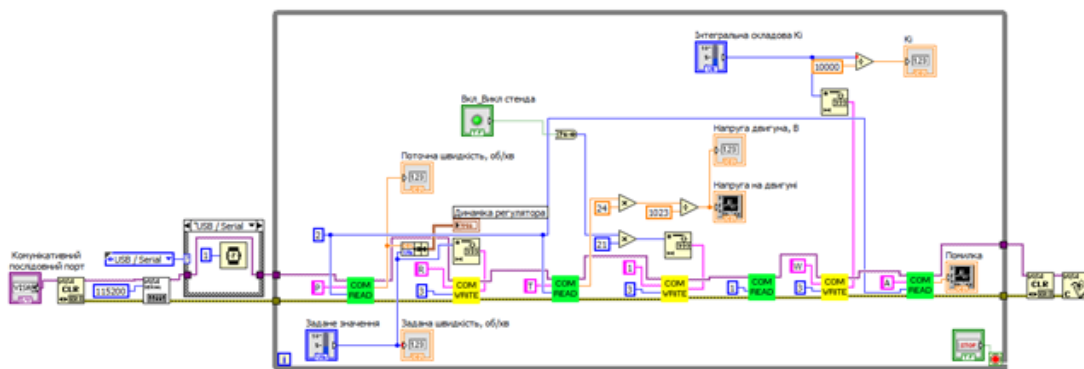
Фрагмент лістингу підпрограми

```
// ПІД регулювання
void Pid(){
    error = Zadanie - rpm; //знаходимо помилку
    error1=error;
    pTerm = Kp * error; // пропорційна складова
    integrated_error += error; // накопичувальна помилка
    iTerm = Ki * constrain(integrated_error, -(GUARD_GAIN), GUARD_GAIN); //інтегральна складова
    (її значення обмежується)
    dTerm = Kd * (error - last_error); // диференційна складова
    last_error = error; // поточна помилка стає попередньою для наступного кроку регулювання
    speed_pid = constrain(K*(pTerm + iTerm + dTerm), 0, 255); // Значення напруги на двигуні
    оюмежене 8 разрядним регістром керування
}
```

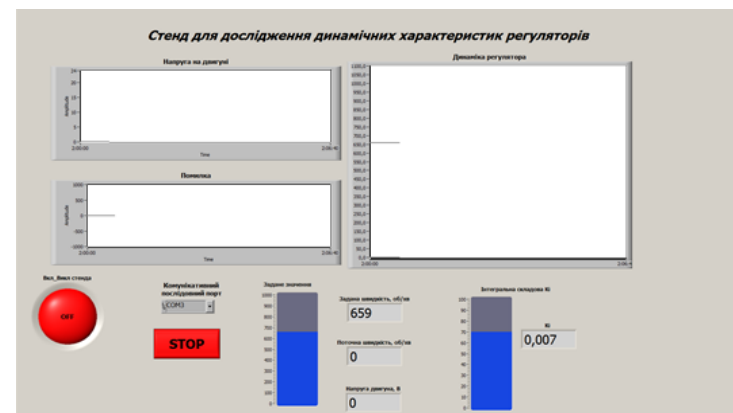
Фрагмент лістингу підпрограми

```
// Визначення швидкості обертання
void RPM () {
    detachInterrupt(1); // вимикаємо переривання на час його обробки
    rpm = (1000000.0/(micros() - microsold))*60; //формула перетворення для одного
    імпульса на оберт
    microsold = micros(); //фіксуємо поточний час (вище знаходили різницю)
    attachInterrupt(1, RPM, FALLING); //вмикаємо переривання
}
}
```

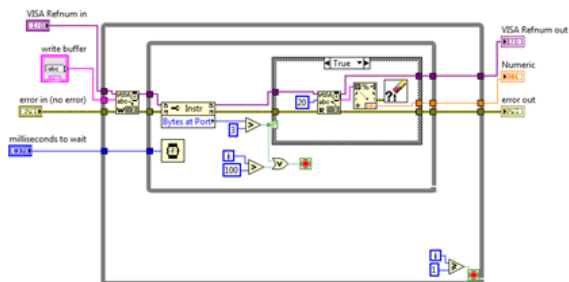
Структурна схема та передня панель в середовищі LabView



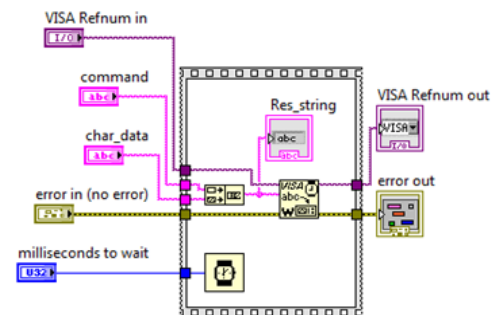
Структурна схема регулятора в середовищі Labview



Структура передньої панелі дослідження регулятора

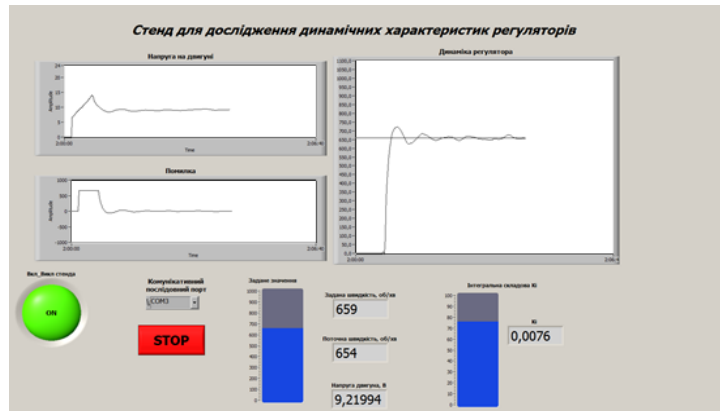


Структурна схема блоку зчитування
COM READ в середовищі LabVIEW

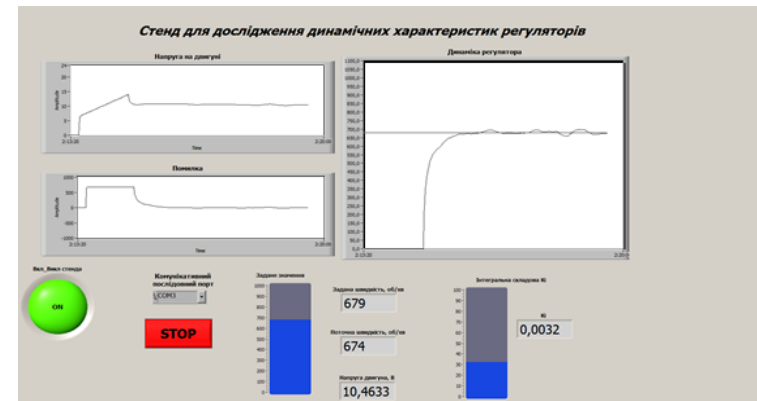


Структурна схема блоку запису даних
COM WRITE в середовищі LabVIEW

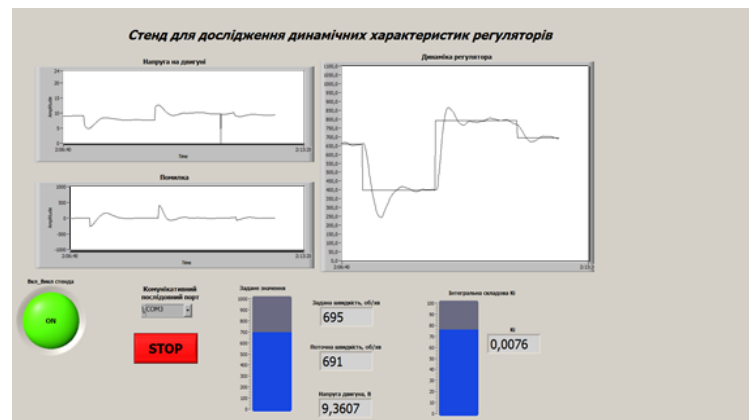
Дослідження реакції системи на зміну заданого значення



Вихід системи на усталений режим роботи з коефіцієнтом $K_i=0,00076$.



Вихід на усталений режим роботи з коефіцієнтом $K_i=0,0032$.

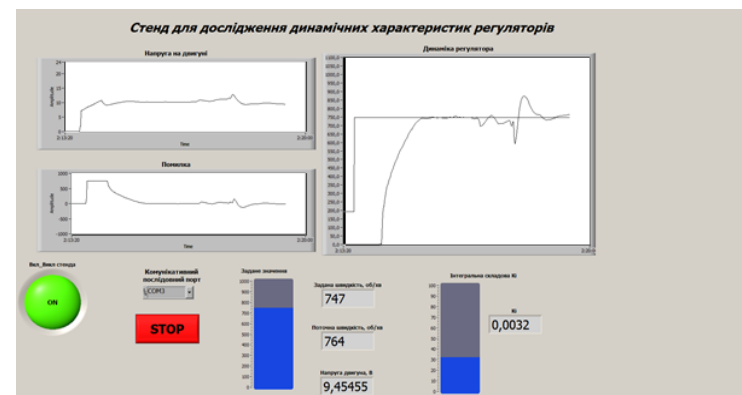


Відпрацювання регулятором зміни задаючого сигналу з коефіцієнтом $K_i=0,0076$.

Відпрацювання регулятором зовнішнього збурення



Відпрацювання регулятора з зовнішнім збуренням з коефіцієнтом $K_i=0,0066$.

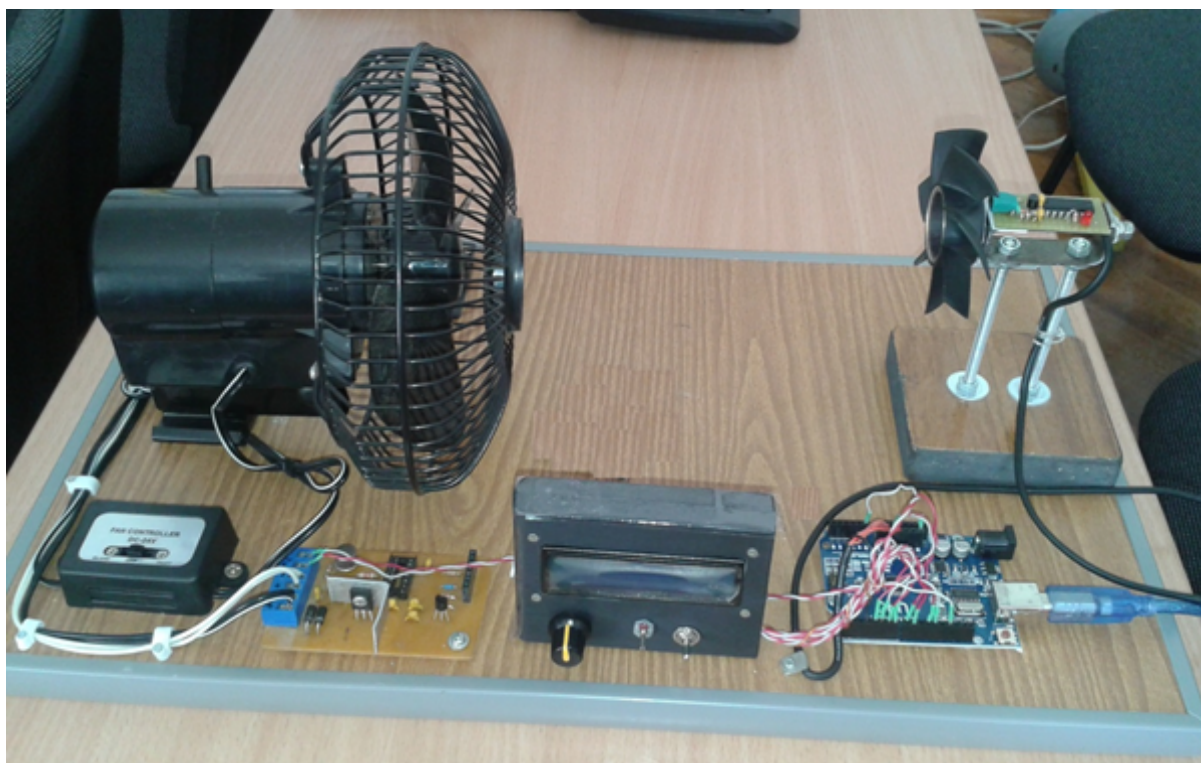


Відпрацювання регулятора з зовнішнім збуренням з коефіцієнтом $K_i=0,0032$



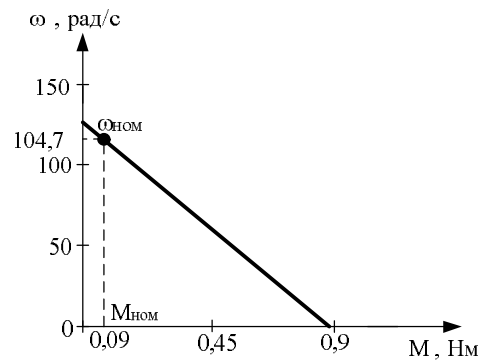
Відпрацювання регулятора за зовнішнім збуренням при заданому значенні 6430 об/хв..

Зовнішній вигляд лабораторної установки

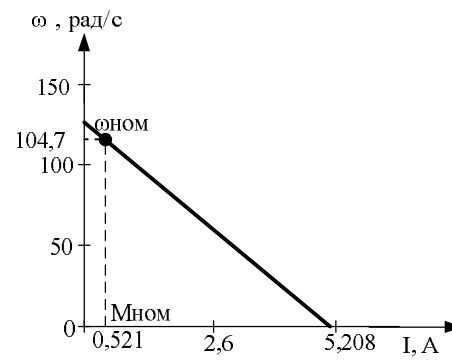


Зовнішній вигляд лабораторної установки

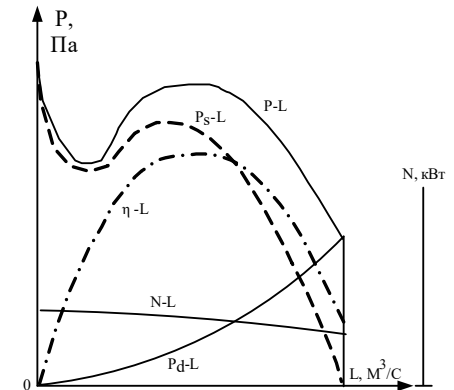
Характеристики приводного двигуна та вентилятора



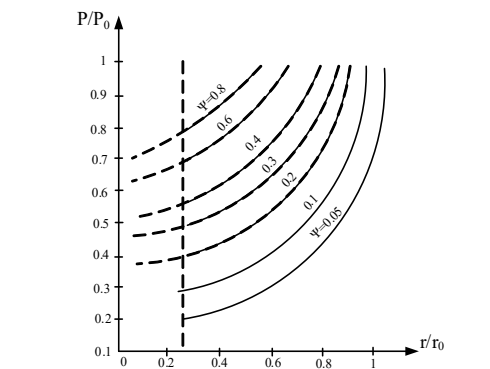
Природна механічна
характеристика двигуна



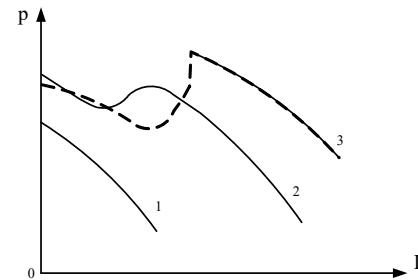
Електромеханічна
характеристика двигуна



Повна аеродинамічна
характеристика осьового вентилятора



Розподілення тиску вздовж
радіусу за колесом осьового вентилятора



Різні види характеристик
тиску осьового вентилятора

1. При малих кутах установки лопастей ($10^\circ - 15^\circ$) характеристики тиску звичайно монотонні
2. При збільшенні кута установки характерна поява максимуму тиску
3. При ще великих кутах установки відбувається розрив характеристики тиску

Розробка лабораторної установки для дослідження замкненої системи керування електроприводом з використанням середовища LabView

Актуальність. Удосконалювання систем електропривода вимагає постійно підвищувати технічний рівень навчальних лабораторій. Використовувані сьогодні лабораторні стенди, що включають до свого складу електромеханічні системи, контроль параметрів яких здійснюється аналоговими приладами, низько інформативні.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є поліпшення процесу дослідження динамічних характеристик регуляторів в електроприводах постійного струму.

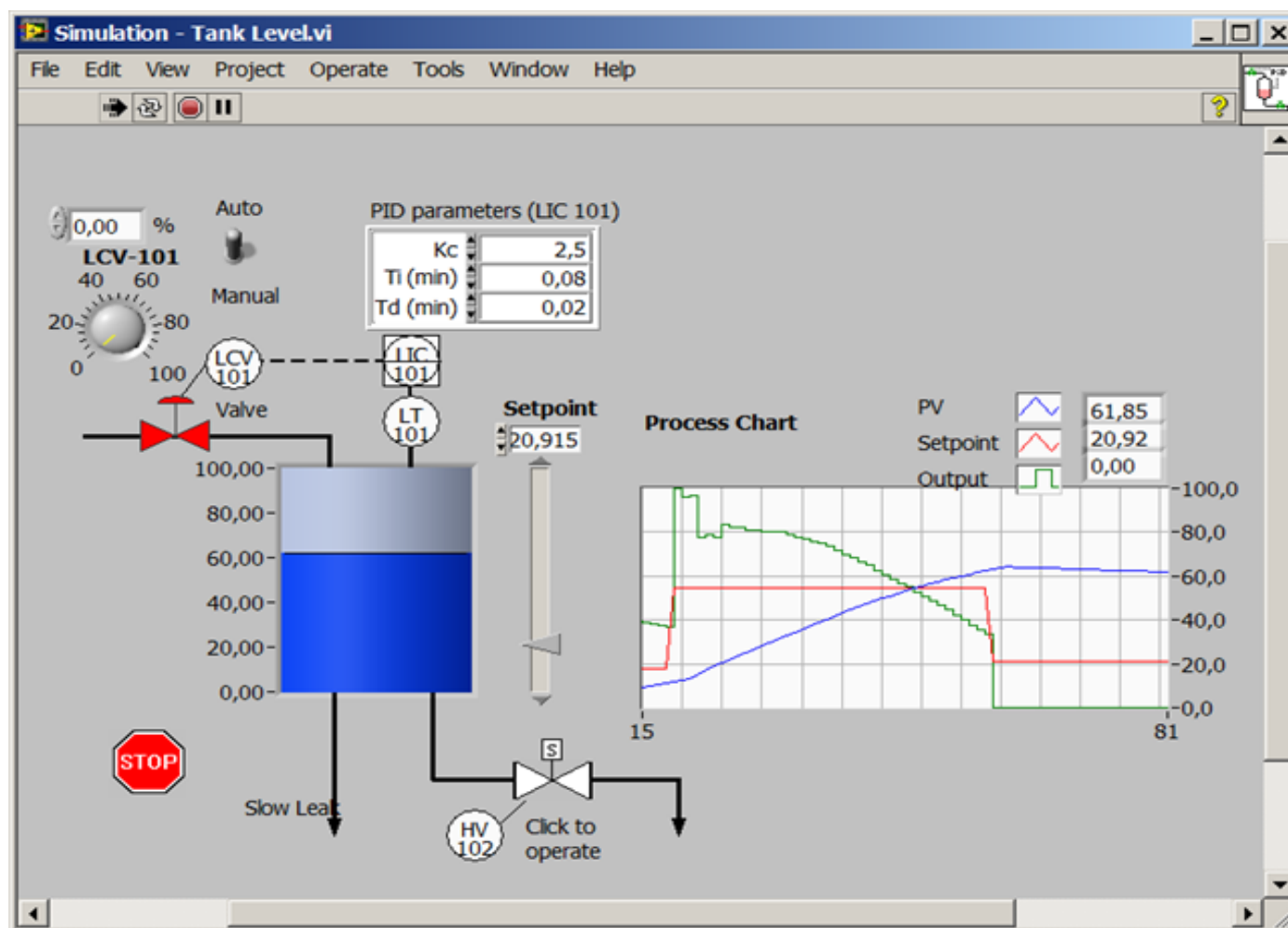
Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- аналіз існуючих підходів до побудови цифрових систем керування електроприводами постійного струму;
- провести розробку схеми електричної структурної та монтажною стенда;
- провести вибір відповідних елементів та побудувати схему електричну принципову;
- дослідження режимів роботи машин постійного струму (статичні та динамічні режими роботи, імітація технологічного режиму);

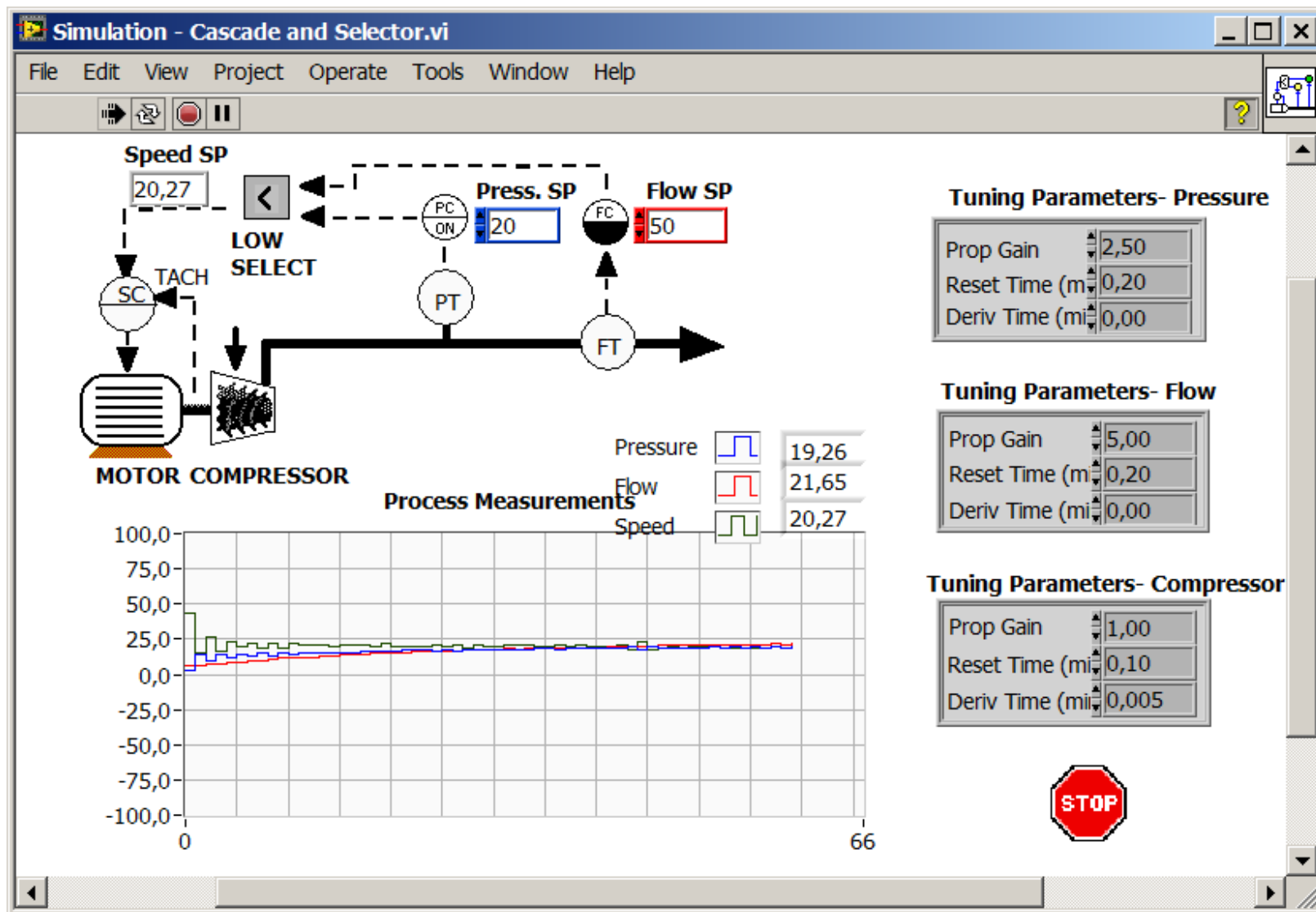
Наукова новизна одержаних результатів.

Запропоновано новий підхід до дослідження динамічних характеристик електропривода постійного струму, який на відміну від відомих дозволяє визначати перехідні характеристики замкненої системи електропривода з різними параметрами та типами регуляторів, що дало змогу ефективніше проводити лабораторні дослідження систем керування електроприводами.

Застосування вбудованої бібліотеки ПІД регулятора для рівня в резервуарі



Застосування вбудованої бібліотеки ПІД регулятора для компресора



ВИСНОВКИ

➤ В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі був розроблений стенд для дослідження динамічних характеристик електропривода постійного струму з цифровим регулятором на базі мікроконтролера Arduino uno.

➤ Було розроблено структурну та електрично принципову схему лабораторної установки, а також був описаний їх принцип роботи, і було розраховано і вибрано елементи для даної схеми. Було проведено вибір мікроконтролера для даної системи. Був розроблений алгоритм програми, яка програмується в мікроконтролер на основі алгоритму була розроблена програма.

➤ Також було проведено моделювання цифрового регулятора реалізованого на МК в різних режимах роботи. По графіках перехідних процесів можна вважати, що він працює без помилок та збоїв.

➤ Розроблено алгоритм програми та програма керування лабораторною установкою. Для написання програми було використане програмне середовище Arduino IDE.

ДОДАТОК Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Лабораторний стенд для дослідження замкнених систем керування з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 22,81%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових самотійності її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП Мошноріз М.М.
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Проценко Д.П.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Стіфанцов Д.О.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БКР.019.00.000 Е1					
					Лабораторний стенд для дослідження замкнутих систем керування з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором Схема електрична структурна	Літера			Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			у			
Розробив		Стіфанюк Д.О.		29.05						
Перевірів		Проценко Д.П.		29.05						
Реценз				13.06						
						Аркуш			Аркушів	
Н.контр.		Жуков О.А.		12.06		ВНТУ, ЕМСА-216				
Затв.		Мошноріз М.М.		03.06						