

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

IIRE ФРЕТ

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Електроніки та телекомунікацій

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему ПІД-регулятор для двигунів постійного струму

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи РТ-219М

Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніки
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Електроніка»

Корольов В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кайда В.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кайда В.С.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ІІРЕ ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 182 Автоматизації та радіотехніка
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) ОАП Інформаційна
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РІІ Морозов С.В., к.т.н. доц.
 « грудня » 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Михайленко Владислав Александрович
 (прізвище, ім'я, по батькові)
 1. Тема проєкту (роботи) ПІД-регулятор для двигунів постійного струму

керівник проєкту (роботи) Морозов С.В., к.т.н. доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 06 » листопада 2020 року № 315

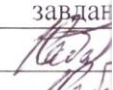
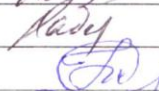
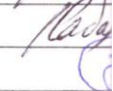
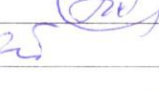
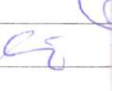
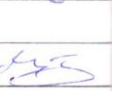
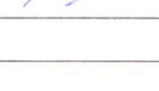
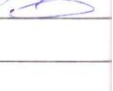
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 грудня 2020 року
 3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Об'єкт регулювання - двигун постійного струму. Тип регулятора - ПІД-регулятор. Вхідні параметри - напруга 4% Чис. установивчого переміщення утримує - менше 1 секунди

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вибір методу налаштування САУ з ПІД-регулятором; 2. Вибір експериментального способу та дослідження усталеного методу налаштування ПІД-коefficientів для двигунів постійного струму; 3. Вибір алгоритму ПІД-коefficientів; 4. Економічна розрахунок

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал роботи в Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1. Теорія	Найден В.С., к.т.н. доцент		
2. Теорія	Найден В.С., к.т.н. доцент		
3. Експ. частини	Левченко К.М., професор		
4. Окр. частини	Алексеев Ю.В., доцент		
Методичні вказівки	Мороз Т.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання « 02 » вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	При
1	Аналіз предметної області	2-й тиждень	
2	Вибір необхідної літератури	3-й тиждень	
3	Підготовка стеногу до роботи	5-й тиждень	
4	Збір стеногу та дріб даних	8-й тиждень	
5	Обробка отриманих результатів	11-й тиждень	
6	Структурування предметної області	13-й тиждень	
7	Підготовка презентації	14-й тиждень	
8	Презентація до захисту	15-й тиждень	

Студент(ка)


(підпис)

Володимир В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Найден В.С.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 115 сторінок, 42 рисунка, 10 таблиць, 12 джерел

Об'єкт дослідження – PID-регулятор швидкості обертання двигунів постійного струму.

Мета роботи – розробка, налаштування на швидкодію і стійкість роботи ПД-регулятора для двигунів постійного струму.

Метод дослідження – експериментальний.

У першому розділі проведено порівняльний аналіз методик налаштування САУ з ПД-регулятором.

У другому розділі розглянуто стенд для збору експериментальних даних та програмне забезпечення, приведено практичний метод налаштування ПД-регулятора для двигунів постійного струму та метод автоматичного підбору ПД-коефіцієнтів.

У третьому розділі проаналізовані економічні аспекти проекту. У четвертому розділі розглянуті питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ПД-РЕГУЛЯТОР, СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ, ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ, ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ОПТИМІЗАЦІЯ, ПЕРЕХІДНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРОПОРЦІЙНИЙ, ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ, ІНТЕГРУЮЧИЙ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, КОЕФІЦІЄНТ

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ЗМІСТ.....	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ТА МЕТОДИ НАЛАШТУВАННЯ.....	9
1.1 Регулятори та системи автоматичного управління.....	9
1.2 ПІД-закони регулювання	15
1.3 Методи налаштування та оптимізації ПІД-регуляторів.....	21
1.4 Розширений розбір ручного налаштування ПІД-регулятора..	24
2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ТА ПРОЦЕС НАСТРОЙКИ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	33
2.1 Спосіб управління двигуном.....	33
2.2 ШІМ-сигнал	37
2.3 Вибір мікроконтролера.....	39
2.4 Модель стенду для налаштування ПІД-контролеру.....	41
2.5 Розбір головної програми мікроконтролеру.....	44
2.6 Експериментальний підбір ПІД-коефіцієнтів.....	55
2.7 Автотюнер ПІД-коефіцієнтів.....	65
3 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	71
3.1 Планування науково-дослідницької роботи.....	71
3.2 Визначення витрат на проведення експерименту	73
3.3 Розрахунок основної заробітної плати.....	74
3.4 Розрахунок додаткової заробітної плати.....	74
3.5 Відрахування на ЄСВ.....	75
3.6 Визначення витрат на матеріали.....	75
3.7 Розрахунок витрат на електроенергію.....	76

3.8 Розрахунок витрат на спецобладнання.....	77
3.9 Розрахунок загальних виробничих витрат.....	80
3.10 Розрахунок економічної ефективності НДР.....	81
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	84
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	84
4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	85
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	92
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	95
4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	97
4.6 Висновки з розділу «Охорона праці»	101
ВИСНОВОК.....	104
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	106
Додаток А.....	107
Додаток Б.....	108
Додаток В.....	112
Додаток Г.....	114

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДПС	—	двигун постійного струму
МК	—	мікроконтроллер
ПІД-регулятор	—	пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор
ПЛК	—	програмований логічний контролер
САУ	—	система автоматичного управління
ШІМ	—	широтно-імпульсна модуляція
COM port	—	(Communication Port) послідовний порт
RPM	—	(Revolutions Per Minute) кількість обертів у хвилину
UART	—	(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) універсальний асинхронний приймач/передавач

ВСТУП

В робототехніці і різних технічних пристроях дуже актуальною є задача підтримки постійної швидкості обертання двигуна постійного струму при зміні напруги живлення і навантаження на валу.

Для таких типів задач використовують автоматичні регулятори зі зворотним зв'язком, тобто замкнуті САУ. Найбільш якісним з них є ПІД-регулятор, як найскладніший алгоритм функціонування автоматичного регулятора, який включає у собі вплив усіх трьох основних законів.

ПІД-регулятор формує керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків, перший з яких пропорційний різниці вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку (сигнал неузгодженості), другий – інтеграл сигналу неузгодженості, третій - похідна сигналу неузгодженості.

ПІД-регулятор відноситься до найбільш поширеного типу регуляторів. Близько 90-95% регуляторів, що знаходяться в даний час в експлуатації, використовують ПІД-алгоритм. Причинами такої високої популярності є простота побудови і промислового використання, ясність функціонування, придатність для вирішення більшості практичних завдань і низька собівартість.

Використання ПІД-закону в робототехніці веде до підвищення якості регулювання. Стосовно до САУ частоти обертання валу використання ПІД-закону регулювання дозволяє підтримувати коливання частоти більш точно у всьому діапазоні керування двигуном, що є першочерговим завданням. Використання ПІД – алгоритму обмежено складністю його налаштування. Це пояснюється особливістю роботи САУ з ПІД-регуляторами: висока чутливість до відхилення оптимуму їх налаштувань і неможливість застосування крокового методу для отримання посвідки перехідного процесу, як при експлуатації САУ з ПІ-регулятором.

1 ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ТА МЕТОДИ НАЛАШТУВАННЯ

1.1 Регулятори та системи автоматичного управління(САУ)

Регулятор або керуючий пристрій – в теорії автоматичного управління пристрій, який стежить за станом об'єкта управління як системи і виробляє для неї керуючі сигнали. Регулятор стежить за зміною деяких параметрів об'єкта управління (безпосередньо, або за допомогою спостерігачів) і реагують на їх зміну за допомогою деяких впливів відповідно до заданого якістю управління.

Регулятор є елементом системи управління.

Система управління – систематизований (строго певний) набір засобів для управління підконтрольним об'єктом (об'єктом управління): можливо, збору свідчень про його стан, а також засобів впливу на його поведінку, призначений для досягнення заданих цілей. Об'єктом системи управління можуть бути як технічні об'єкти, так і люди. Об'єкт системи управління може складатися з інших об'єктів, які можуть мати постійну структуру взаємозв'язків.

Технічна структура управління – пристрій або набір пристроїв для маніпулювання поведінкою інших пристроїв або систем.

Систему управління зі зворотним зв'язком називають «замкнутої», а систему без зворотного зв'язку (тобто тільки з прямим зв'язком) називають «розімкнутої», «відкритою».

У замкнених системах автоматичного регулювання керуючий вплив формується в безпосередній залежності від керованої величини. Зв'язок значень на виході системи з значеннями на вході називається зворотним зв'язком. Сигнал зворотного зв'язку віднімається від впливу, який задає система. Такий зворотній зв'язок називається негативним. Чи може бути навпаки? Виявляється, так. У цьому випадку зворотний зв'язок називається

позитивним, він збільшує неузгодженість, тобто, прагне «розгойдати» систему. На практиці позитивний зворотний зв'язок застосовується, наприклад, в генераторах для підтримки незатухаючих електричних коливань.

Сутність принципу розімкнутого управління полягає в жорстко заданій програмі управління. Тобто управління здійснюється «наосліп», без контролю результату, ґрунтуючись лише на закладеній в САУ моделі керованого об'єкта. Приклади таких систем: таймер, блок управління світлофора, автоматична система поливу газону, автоматична пральна машина і т.п.

У більшості практичних застосувань використовуються замкнені системи управління.

Система автоматичного управління, як правило, складається з двох основних елементів – об'єкта управління і керуючого пристрою(регулятора). Структурну схему такої системи можна побачити на рис.1.1.

Об'єкт управління – термін, який позначає пристрій або динамічний процес, управління поведінкою якого є метою створення системи автоматичного управління. Динамічний процес – зміна стану об'єкта відповідно до заданого законом управління. Така зміна відбувається в результаті зовнішніх чинників, наприклад, внаслідок керуючих сигналів або впливів, що обурюють систему.

Об'єктом управління може бути будь-яка динамічна система або її модель. Стан об'єкта характеризується деякими кількісними величинами, що змінюються в часі, тобто змінними стану. У природних процесах в ролі таких змінних може виступати температура, щільність певних речовин в організмі, курс цінних паперів і т.д. Для технічних об'єктів це механічні переміщення (кутові або лінійні) і їх швидкість, електричні змінні, температура і т.д. Аналіз і синтез систем управління відбувається за допомогою засобів спеціального розділу математики – теорії управління.



μ – вплив регулятора на регулюючий орган (РО) за допомогою виконавчого механізму (ВМ);

Δ – сигнал розузгодження, виділений на елементі порівняння (ЕП) і рівний векторній різниці між поточним (y_t) і заданим (y_z) значеннями регульованої величини.

Рисунок 1.1 – Структурна схема стабілізуючої САУ

Регулятори в переважній більшості працюють за принципом негативного зворотного зв'язку з метою компенсувати зовнішні обурення, що діють на об'єкт управління і відпрацьовують поставлений ззовні або закладений в системі закон управління. Для визначення закону управління використовується інформація про математичну модель об'єкта, яка вважається заздалегідь відомою.

Структури управління поділяють на два великі класи:

- автоматизована система управління (АСУ) – за участю людини в контурі управління;
- система автоматичного управління (САУ) – без участі людини в контурі управління.

Критерії оцінки якості регулювання:

- швидкість регулювання (час зменшення помилки регулювання до заданої величини);

- точність(величина залишкового відхилення і величина перерегулювання);

- запас стійкості і відсутність коливань, в тому числі згасаючих.

Регулятори поділяють за кількома ознаками:

- за загальним принципом функціонування: адаптивні, модальні, робастні регулятори і т. д;

- за лінійності закону регулювання: лінійні і нелінійні регулятори;

- за здійснюваним законом регулювання (для лінійних регуляторів).

Під законом регулювання розуміється основна, принципова аналітична залежність вихідної дії регулятора на об'єкт регулювання від зміни вхідного сигналу, одержуваного регулятором від об'єкта регулювання. Відповідно до цього розрізняють:

- пропорційний (П-регулятор);

- інтегруючий (І-регулятор);

- диференціює (Д-регулятор);

- пропорційно-інтегруючий (ПІ-регулятор);

- пропорційно-диференціюються (ПД-регулятор);

- пропорційно-інтегрально-диференціюються (ПІД-регулятор).

Залежно від опису змінних системи діляться на лінійні і нелінійні. До лінійних відносяться системи, що складаються з елементів опису, які задаються лінійними алгебраїчними або диференціальними рівняннями.

Якщо всі параметри рівняння руху системи не змінюються в часі, то така система називається стаціонарною. Якщо хоча б один параметр рівняння руху системи змінюється в часі, то система називається нестаціонарною або зі змінними параметрами.

Системи, в яких визначений зовнішній вплив і описуються безперервними або дискретними функціями в часі, відносяться до класу детермінованих систем.

Системи, в яких має місце випадковий сигнальний або параметричний вплив і описуються стохастичними диференціальними або різницевиими рівняннями, відносяться до класу стохастичних систем.

Якщо в системі є хоча б один елемент, опис якого задається рівнянням приватних похідних, то система відноситься до класу систем з розподіленими змінними.

Системи, в яких безперервна динаміка, породжувана в кожен момент часу, перемежовується з дискретними командами, що посиляються ззовні, називаються гібридними системами.

Під налаштуванням системи регулювання розуміється перелік розрахункових і експериментальних робіт, спрямованих на пошук настроювальних параметрів регулятора, що забезпечують задану якість регулювання, організацію та проведення натурних випробувань на діючому виробництві або розрахункових експериментів для підтвердження оптимальності обраних параметрів. Доказом оптимальності повинні служити результати роботи регулятора для кількох значень настроювальних параметрів, серед яких існують оптимальні. Параметрами налаштування є їх чисельні значення для конкретного регулятора, обмеження на діапазони їх варіації при пошуку, а також критерії якості.

Формування закону регулювання здійснюється відповідно до алгоритму перетворення сигналу, що проходить через регулятор (корегувальний пристрій) в напрямі **вхід-вихід**. У ряді випадків у формуванні закону регулювання беруть участь сигнали різних зворотних зв'язків; «жорстких», якщо сигнал пропорційний регулюючій дії, і «гнучких», якщо в оператора входять похідні.

Поняття настройки системи регулювання є досить широким - все залежить від поставленої мети і умов настройки. Під час налаштування будь-яких систем регулювання особливо в теплоенергетиці слід враховувати внутрішню суперечливість виконуваної роботи.

Успіх налаштування регулятора залежить від повноти інформації про об'єкт регулювання. У той же час найбільш повна і достовірна інформація може бути отримана під час роботи системи. Тому практичну настройку завжди доводиться починати при дефіциті інформації і треба бути готовим до всякого роду несподіванок.

Однак в будь-якому випадку забезпечення стійкості є обов'язковим необхідною вимогою.

До результатів настройки можуть бути пред'явлені такі вимоги, які можна віднести до категорії достатніх:

- забезпечення працездатності системи регулювання (можливість включення регулятора);
- забезпечення роботи регулятора при заданому запасі стійкості (гарантія стійкої роботи);
- забезпечення оптимальних параметрів, які гарантують мінімум обраного критерію якості.

Наведений перелік достатніх вимог є списком етапів виконання налагоджувальних робіт, які треба виконати для досягнення максимальної якості роботи системи регулювання. Етапи можуть бути виконані відразу при пуску виробництва або рознесені в часі.

Основне призначення системи автоматичного управління складається в забезпеченні заданої відповідності між вхідними і вихідними координатами. У разі ідеальної системи вхідна координата повинна дорівнювати вихідній в будь-який момент часу. Оскільки автоматична система працює на основі порівняння вхідних і вихідних координат, така рівність принципово нездійсненною і можна лише говорити про досить малу різницю між вхідними і вихідними координатами.

Найбільш поширеним в силу своєї універсальності є ПД-закон регулювання, що забезпечує прийнятну якість регулювання в більшості випадків, однак, не завжди є оптимальним в кожному конкретному застосуванні, тобто іноді можна обійтися простішим законом регулювання.

Приклад складного і ефективного регулятора – регулятор на основі фільтра Калмана.

1.2 ПД-закони регулювання

ПД (від англ. P – proportional, I – integral, D – derivative)-регулятором називається пристрій, що застосовується в контурах управління, оснащених ланкою зворотного зв'язку. Дані регулятори використовують для формування сигналу управління в автоматичних системах, де необхідно досягти високих вимог до якості і точності перехідних процесів.

Керуючий сигнал ПД-регулятора виходить в результаті додавання трьох складових: перша пропорційна величині сигналу неузгодженості, друга – інтегралу сигналу неузгодженості, третя – його похідної (рис. 1.2). Якщо якийсь із цих трьох компонентів не включений в процес складання, то регулятор буде вже не ПД, а просто пропорційним (П), пропорційно-диференціальним (ПД) або пропорційно-інтегруючим (ПІ).

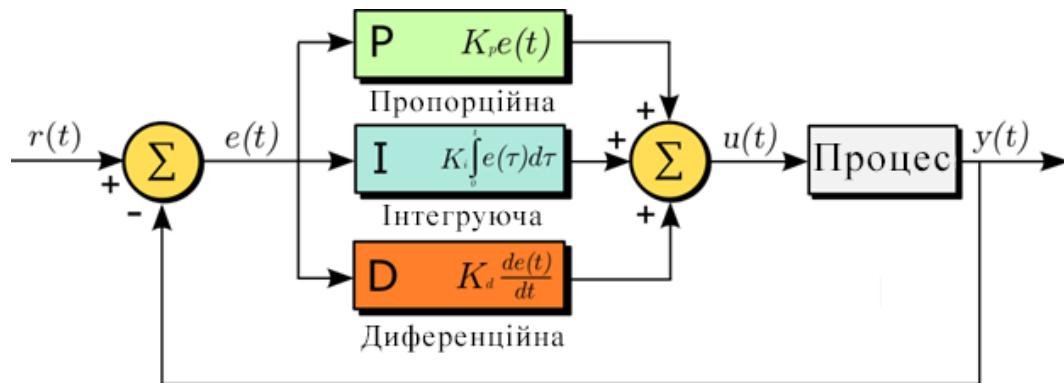


Рисунок 1.2 – Блок-схема ПД-регулятора

Найбільш часто в задачах АСУ застосовуються двопозиційне регулювання і ПД регулювання.

Двопозиційне регулювання забезпечує включення або відключення виконавчого пристрою (наприклад, нагрівача) в залежності від того, нижче

або вище отриманий параметр щодо заданого рівня. При двопозиційному регулюванні в системі завжди присутні коливання технологічного параметра, причому розмах цих коливань визначається тільки параметрами системи (інерційністю датчиків, виконавчого пристрою і самої системи) і практично не залежить від регулятора.

При ПД регулюванні сигнал управління залежить від різниці між вимірним параметром і заданим значенням, від інтеграла відхилення вимірюваної величини від заданої та від швидкості зміни параметрів. В результаті ПД регулятор забезпечує такий стан виконавчого пристрою, при якому вимірюється параметр дорівнює заданому. Оскільки стан виконавчого пристрою стабілізується, точність підтримки параметра в системі підвищується в десятки разів.

Перший компонент – пропорційний

Вихідний сигнал дає пропорційна складова. Сигнал цей призводить до протидії поточному відхиленню вхідної величини, що підлягає регулюванню, від встановленого значення. Чим більше відхилення – тим більше і сигнал. Коли на вході значення регульованої величини дорівнює заданому, то вихідний сигнал стає рівним нулю.

Якщо залишити тільки цю пропорційну складову, і використовувати тільки її, то значення величини, що підлягає регулюванню, не стабілізується на правильному значенні ніколи. Завжди є статична помилка, яка дорівнює такому значенню відхилення регульованої величини, що вихідний сигнал стабілізується на цьому значенні.

Наприклад, терморегулятор управляє потужністю нагрівального приладу(рис.1.3). Вихідний сигнал зменшується в міру наближення необхідної температури об'єкта, і сигнал управління стабілізує потужність на рівні теплових втрат. В результаті заданого значення температура так і не досягне, бо нагрівальний прилад просто буде вимкнений, і почне остигати (потужність дорівнює нулю).

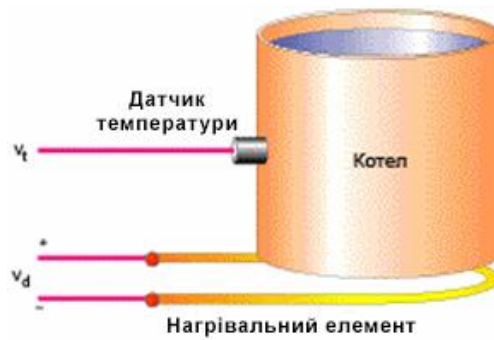


Рисунок 1.3 – Приклад нагрівальної системи зі зворотним зв'язком

Більший коефіцієнт посилення між входом і виходом - менше статична помилка, але якщо коефіцієнт посилення (по суті – коефіцієнт пропорційності) буде занадто великим, то за умови наявності затримок в системі (а вони часто неминучі), в ній незабаром почнуться автоколивання, а якщо збільшити коефіцієнт ще більше – система просто втратить стійкість.

Або приклад позиціонування двигуна з редуктором (рис. 1.4). При малому коефіцієнті потрібне положення робочого органу досягається дуже повільно. Збільшити коефіцієнт – реакція вийде більш швидка. Але якщо збільшувати коефіцієнт далі, то двигун «перелетить» правильну позицію, і система не перейде швидко до необхідного стану, як хотілося б очікувати. Якщо тепер збільшувати коефіцієнт пропорційності далі, то почнуться осциляції близько потрібної точки – результат знову не буде досягнутий ...

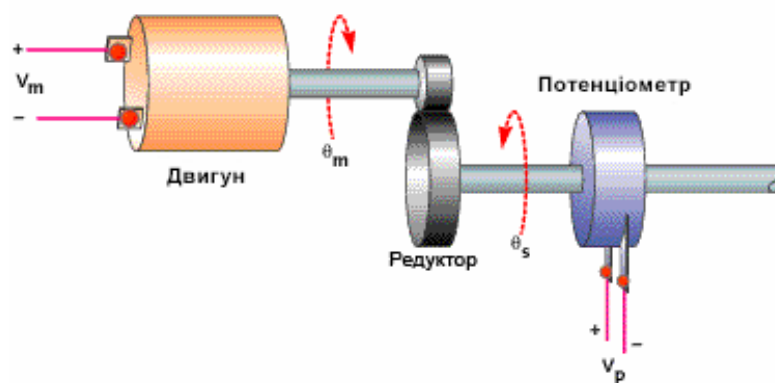


Рисунок 1.4 – Приклад системи двигуна з редуктором зі зворотним зв'язком

Другий компонент – інтегруючий

Інтеграл по часу від величини неузгодженості – є основна частина інтегруючої складової. Вона пропорційна цьому інтегралу. Інтегруючий компонент використовується як раз для виключення статичної помилки, оскільки регулятор згодом враховує статичну похибку.

За відсутності зовнішніх збурень, через якийсь час регульована величина буде стабілізована на правильному значенні, коли пропорційна складова дорівнюватиме нулю, і точність виходу буде цілком забезпечена інтегруючою складовою. Але інтегруюча складова теж може породити осциляції близько точки позиціонування, якщо коефіцієнт не підібраний правильно.

Третій компонент – диференціальний

Темп зміни відхилення величини, що підлягає регулюванню – це диференціальна складова. Вона необхідна для того, щоб протидіяти відхиленням (викликаними зовнішніми впливами або затримками) від правильного положення, прогнозованого в майбутньому.

Теорія роботи ПД-регулятора

Як ви вже зрозуміли, ПД-регулятори застосовують для підтримки заданого значення x_0 деякої однієї величини, завдяки зміні значення u іншої величини. Є уставка або задане значення x_0 , і є різниця чи неув'язка (неузгодженість) $e = x_0 - x$. Якщо система лінійна і стаціонарна (практично це навряд чи можливо), то для u справедливій нижченаведена формула:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} \quad . \quad (1.1)$$

У цій формулі ви бачите коефіцієнти пропорційності для кожного з трьох доданків. Настроювальні параметри K_p , K_i і K_d регулятора

зумовлюють вид і якість перехідного процесу системи регулювання, як і динамічні властивості об'єкта.

Практично в ПІД-регуляторах використовують для настройки іншу формулу, де коефіцієнт посилення застосований відразу до всіх компонентів:

$$u(t) = K_p(e(t) + K_{ip} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_{dp} \frac{de}{dt}) \quad . \quad (1.2)$$

У дискретній реалізації методу розрахунку вихідного сигналу рівняння приймає наступну форму:

$$U(n) = K_p E(n) + K_p K_{ip} T \sum_{k=0}^n E(k) + \frac{K_p K_{dp}}{T} (E(n) - E(n-1)), \quad (1.3)$$

де T – час дискретизації.

Практична сторона ПІД-регулювання

Практично теоретичний аналіз ПІД-регульованих систем рідко застосовують. Складність полягає в тому, що характеристики об'єкта управління невідомі, і система практично завжди нестационарна і нелінійна.

При використанні ПІД-регулятора в системі регулювання, слід враховувати небажані ефекти, що виникають при реалізації каналу похідної сигналу помилки $\dot{e}(t)$. Недоліки проявляються через те, що при посиленні цього каналу прямо пропорційно зростає частота. Основними недоліками при цьому є:

- підвищене посилення високочастотних складових сигналу помилки. Вони носять шумовий характер і через це відношення корисної складової сигналу до шумовий зменшується, що дестабілізує об'єкт управління;
- виникнення імпульсів великої амплітуди. Таке явище виникає в моменти стрибкоподібного зміни помилки, незважаючи на повільне зміна сигналу системи і в зв'язку зі стрибкоподібними змінами сигналу установки і його проникненням на вхід диференціатора.

При налаштуванні, якщо зміна положення буде зовеликою при невеликій помилці, це призведе до перевищення чи промаху. Якщо контролер занадто швидко виконує зміни, які були зовеликими і постійно перевищує задану величину, результат буде коливатися довкола встановленого значення по постійній, зростаючій, чи затухаючій синусоїді. Якщо амплітуда коливання зростає з часом, система є нестабільною. Якщо вона зменшується, система є стабільною. Якщо коливання встановлюється із сталою амплітудою, система є маргінально стабільною.

Реально працюють ПІД-регулятори завжди мають обмеження робочого діапазону знизу і зверху, це принципово пояснює їх нелінійність. Налаштування тому практично завжди і всюди проводиться експериментальним шляхом, коли об'єкт управління підключений до системи управління.

Використання величини, що формується програмним алгоритмом управління, має низку специфічних нюансів. Якщо мова, наприклад, про регулювання температури, то часто потрібно все ж не одне, а відразу два пристрої: перше управляє нагрівом, друге – охолодженням. Перше подає розігрітий теплоносіє, друге – холодоагент. Три варіанти практичних рішень може бути розглянуто.

Перший – близький до теоретичного опису, коли вихід – аналогова і безперервна величина. Другий – вихід в формі набору імпульсів, наприклад для управління кроковим двигуном. Третій – ШІМ-управління, коли вихід з регулятора служить для завдання ширини імпульсів.

Сьогодні системи автоматизації практично всі будуються на основі ПЛК, і ПІД-регулятори являють собою спеціальні модулі, що додаються до керуючого контролера або взагалі реалізовані програмно шляхом завантаження бібліотек. Для правильного налаштування коефіцієнтів посилення в таких контролерах, їх розробники надають спеціальне програмне забезпечення.

Після появи дешевих мікропроцесорів і аналого-цифрових перетворювачів в промислових ПІД-регуляторах використовуються автоматичне налаштування параметрів, адаптивні алгоритми, нейронні мережі, генетичні алгоритми, методи нечіткої логіки. Ускладнилася структура регуляторів: з'явилися регулятори з двома ступенями свободи, із застосуванням принципів розімкненого управління в поєднанні зі зворотним зв'язком, з вбудованою моделлю процесу. Крім функції регулювання, в ПІД-контролер були введені функції аварійної сигналізації, контролю розриву контуру регулювання, виходу за межі динамічного діапазону та ін.

Незважаючи на довгу історію розвитку і велику кількість публікацій, залишаються проблеми в питаннях усунення інтегрального насичення, регулювання об'єктів з гістерезисом і нелінійностями, автоматичної настройки та адаптації. Практичні реалізації ПІД-контролерів не завжди містять антialiасні фільтри, надмірний шум і зовнішні обурення ускладнюють настройку параметрів. Проблеми ускладнюються тим, що в сучасних системах управління динаміка часто невідома, регульовані процеси не можна вважати незалежними, вимірювання сильно зашумлені, навантаження непостійна, технологічні процеси безперервні.

1.3 Методи налаштування та оптимізації ПІД-регуляторів

Всі методи параметричної оптимізації, використовувані для настройки коефіцієнтів регулятора, можна класифікувати наступними ознаками:

а) точні:

- пошукові;
- без пошукові;

б) наближені:

- працюючі он-лайн;
- працюючі оф-лайн;

Метод Циглера-Нікольса

Цей метод являє собою наближений метод настройки. Є одним з найбільш відомих. Принцип настройки полягає в наступному: необхідно вивести систему на межу стійкості, поки в контурі не виникатиме незгасаючі коливання. Автоколивання досягаються за рахунок нульового значення І- і Д-складових і шляхом підбору коефіцієнта передачі. Зафіксувавши значення коефіцієнта передачі, період автоколивань і амплітуду, за емпіричними формулами обчислюються параметри налаштування регулятора. Перевагою методу є його простота, а основним недоліком - неврахування вимог до запасу стійкості.

Метод Дудникова Е.Г.

Метод відноситься до точних пошукових методів оптимізації. Найбільш досконалий метод настройки регуляторів, який дає оцінку запасу стійкості за розподілом коренів характеристичного рівняння. Системи управління повинні мати певний запас стійкості, відповідно мати інтенсивність ослаблення вібрації і коливань. Ступінь загасання коливань залежить від пари комплексних коренів характеристичного рівняння. Вони пов'язані певним співвідношенням. І в ньому присутній кореневий показник коливальності.

Завдяки великій кількості гідностей метод визнаний традиційним. Він підходить як для настройки одноконтурних і багатоконтурних систем. Він надійний і достовірно перевірений. Однак, має недоліки. Основними з них є: відсутність рекомендацій по налаштуванню алгоритмів ПЛК і ПІДД-регуляторів і необхідність проведення ітераційної процедури пошуку налаштувань при мінімізації квадратичного критерію якості.

Метод Ротача В.Я.

Метод Ротача відноситься до точних пошукових методів. Має ідеологічну схожість з методом Дудникова Е. Г. Розглядається оцінка запасу стійкості систем управління по частотним характеристикам. Була виведена

наступна закономірність: замкнутий контур буде задовольняти необхідному запасу стійкості, якщо комплексно-частотна характеристика розімкненого не перетинає область, яка обмежена окружністю, що характеризує частотний показник коливальності. Метод має наступні недоліки: не дає рекомендацій щодо розрахунку ПД, ПДД і ПДДД алгоритмів, не задовольняє результати за запасом стійкості і вимагає певної кількості ітераційних процесів пошуку.

Метод масштабування

Метод відноситься до умовно безпошукових методів. Суть методу полягає у використанні наявної інформації про еталонної САУ з іншим об'єктом управління, але з тим же регулятором, що і настроюється в замкнутій системі. Алгоритм складається з наступних етапів:

- Апроксимація еталонного і дійсного об'єктів управління математичною моделлю;
- Введення штучної системи координат і визначення масштабних коефіцієнтів, що пов'язують між собою координати реальної і штучної систем;
- Переклад еталонних налаштувань регулятора зі штучної системи координат в реальну за допомогою раніше визначених масштабних коефіцієнтів.

Основним недоліком є необхідність наявності еталонних САУ. А основною перевагою є універсальність методу для будь-якого закону регулювання без винятку.

Метод Чину-Хронеса-Ресвіка

Метод Чину-Хронеса-Ресвіка є модифікованим методом Циглера-Нікольса. Він дозволяє отримати більший запас стійкості, але менший коефіцієнт передачі. Налаштування по Чину-Хронесу-Ресвіку вимагають підстроювання переважно диференціальної складової. Основними перевагами є простота настройки і менший час налаштування. Недоліки

схожі з методом Циглера-Нікольса: неповнота інформації про запас стійкості системи, який визначає надійність роботи регулятора, і наближена настройка.

Метод Куна – «правило Т-суми»

Метод відноситься до методів оф-лайн настройки. Він орієнтований на об'єкти з S-подібною перехідною характеристикою. Параметром, що характеризує швидкодію розглянутих об'єктів, є сумарна постійна часу T_{Σ} . Ця величина T_{Σ} може бути отримана безпосередньо з відповідної реакції на ступінчастий вхідний сигнал системи. При цьому T_{Σ} прямо пропорційна площі над S-образною перехідною характеристикою. Переважно, що величину T_{Σ} можна визначити при значних перешкодах в вимірюваннях. Перевагами є швидке налаштування і досить непогані результати (у зв'язку з «обережним налаштуванням»), але при високому порядку системи є помітне перерегулювання.

Метод Латцеля – бетрагсадаптація

Використовуючи метод Латцеля – бетрагсадаптація не можливо безпосередньо визначити параметри налаштування системи маючи її перехідну функцію. Така можливість відсутня, так як цей метод відноситься до табличних.

Пошук параметрів регулятора відбувається шляхом розрахунку характеристичних коефіцієнтів, які отримують в процесі інтегрування перехідної функції. Цей метод незручний для ручної настройки регуляторів. Перевагою методу є можливість настройки адаптивних приладів регулювання, а також забезпечення високої точності настройки. Основний недолік: трудомісткість через використання табличної інформації.

1.4 Розширений розбір ручного налаштування ПД-регулятора

Розрахунок параметрів за формулами не може дати оптимальної настройки регулятора, оскільки аналітично отримані результати ґрунтуються

на сильно спрощених моделях об'єкта. Зокрема, в них не враховується завжди присутня нелінійність типу "обмеження" для керуючого впливу. Крім того, моделі використовують параметри, ідентифіковані з деякою погрішністю. Тому після розрахунку параметрів регулятора бажано зробити його підстроювання. Підстроювання можна виконати на основі правил, які використовуються для ручного налаштування. Ці правила отримані з досвіду, теоретичного аналізу і чисельних експериментів. Вони зводяться до наступного :

- збільшення пропорційного коефіцієнта збільшує швидкодію і знижує запас стійкості;
- зі зменшенням інтегральною складовою помилка регулювання з плином часу зменшується швидше;
- зменшення постійної інтегрування зменшує запас стійкості;
- збільшення диференціальної складової збільшує запас стійкості і швидкодія.

Ручне налаштування за допомогою правил зручно виконувати із застосуванням інтерактивного програмного забезпечення на комп'ютері, тимчасово включеному в контур управління. Для оцінки реакції системи на зміну уставки, зовнішні впливи або шуми вимірювань подають штучні впливу і спостерігають реакцію на них. Після встановлення значення коефіцієнтів регулятора записують в пам'ять ПД-контролера, а комп'ютер видаляють.

Відзначимо, що застосування правил можливо тільки після попередньої настройки регулятора за формулами. Спроби налаштувати регулятор без початкового наближеного розрахунку коефіцієнтів можуть бути безуспішними. Сформульовані вище правила справедливі тільки в околиці оптимальної настройки регулятора.

Сигнал управління для ПД регулятора визначається сумою трьох компонент (пропорційної, інтегральної і диференціальної):

$$U(t) = K_p \cdot (T - T_{\text{зад}}) + K_i \cdot \int_0^t (T - T_{\text{зад}}) dt + K_d \cdot \frac{d(T - T_{\text{зад}})}{dt}, \quad (1.4)$$

де $t_i = \frac{1}{K_i}$ - постійна часу інтегрування;

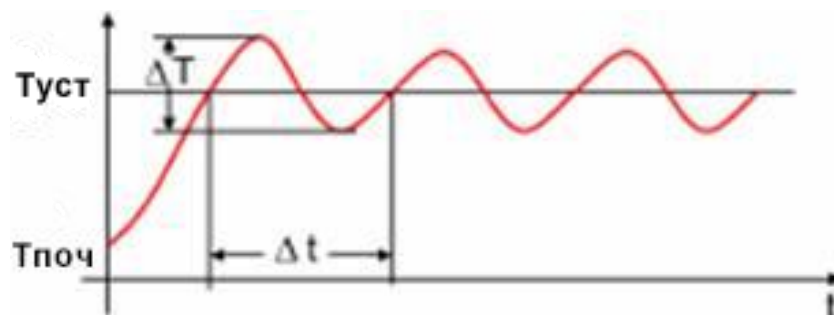
$t_d = \frac{1}{K_d}$ - постійна часу диференціювання;

$P_b = \frac{1}{K_p}$ - відносний діапазон.

Налаштування на основі аналізу перехідної характеристики

Етап 1. Налаштування пропорційної компоненти ПІД-регулятора

Перед налаштуванням зони пропорційності інтегральна і диференціальна компоненти відключаються (постійна інтегрування встановлюється максимально можливою, а постійна диференціювання мінімально можливою). Встановлюється необхідна уставка. Зона пропорційності встановлюється (мінімально можливою). В цьому випадку регулятор виконує функції двохпозиційного регулятора. Реєструється перехідна характеристика (рис. 1.5).



$T_{\text{поч}}$ – початкова значення в системі; $T_{\text{уст}}$ – задане значення (уставка); ΔT – розмах коливань значень уставки; Δt – період коливань значень уставки.

Рисунок 1.5 – Перехідна характеристика

Встановлюємо зону пропорційності, яка дорівнює розмаху коливань температури: $P_b = \Delta T$. Це значення є першим наближенням для зони пропорційності. Слід проаналізувати перехідну характеристики ще раз і при необхідності скоригувати значення зони пропорційності. Можливі варіанти перехідних характеристик показані на рис.1.6.

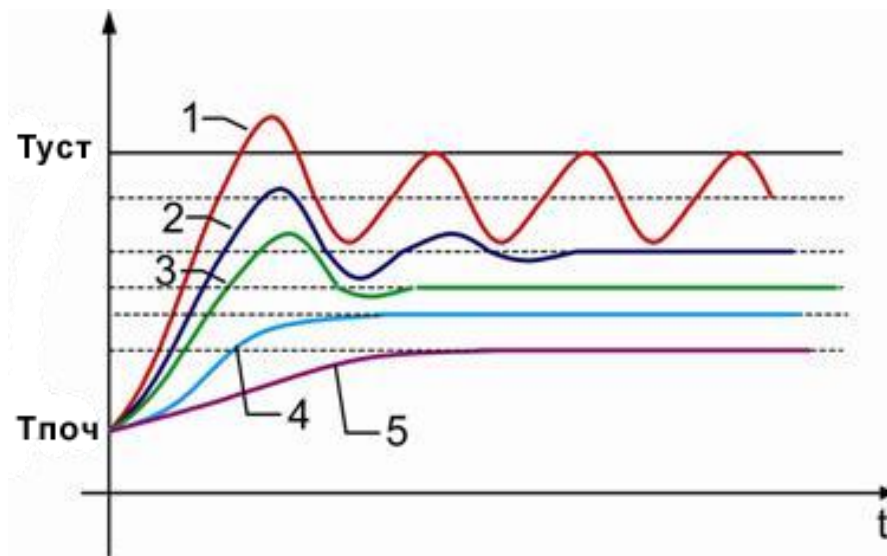


Рисунок 1.6 – Перехідні характеристики залежно від ПД коефіцієнтів

Перехідна характеристика типу 1

Значення зони пропорційності як і раніше дуже мале, перехідна характеристика (а отже, і настройка регулятора) далека від оптимальної. Зону пропорційності слід значно збільшити.

Перехідна характеристика типу 2

В перехідній характеристиці спостерігаються затухаючі коливання (5-6 періодів). Якщо в подальшому передбачається використовувати і диференціальну компоненту ПД регулятора, то вибране значення зони пропорційності є оптимальним. Для цього випадку настройка зони пропорційності вважається закінченою.

Якщо в подальшому диференціальна компоненти використовуватися не буде, то рекомендується ще збільшити зону пропорційності так, щоб вийшли перехідні характеристики типу 3 або 4.

Перехідна характеристика типу 3

В перехідній характеристиці спостерігаються невеликий викид і швидко затухаючі коливання (1-2 періоди). Цей тип перехідної характеристики забезпечує гарну швидкодію і швидкий вихід на задану температуру. У більшості випадків його можна вважати оптимальним, якщо в системі допускаються викиди (перегрів) при переході з однієї температури на іншу.

Викиди усуваються додатковим збільшенням зони пропорційності так, щоб вийшла перехідна характеристика типу 4.

Перехідна характеристика типу 4

Значення плавно підходить до сталого значення без викидів і коливань. Цей тип перехідної характеристики також можна вважати оптимальним, однак швидкодія регулятора трохи зменшена.

Перехідна характеристика типу 5

Сильно затягнутий підхід до сталого значення говорить про те, що зона пропорційності надмірно велика. Динамічна та статична точність регулювання тут мала.

Слід звернути увагу на дві обставини. По-перше, у всіх розглянутих вище випадках стале значення в системі не збігається зі значенням уставки. Чим більше зона пропорційності, тим більше залишкова неузгодженість. По-друге, тривалість перехідних процесів тим більше, чим більше зона пропорційності. Таким чином, потрібно прагнути вибирати зону пропорційності якомога менше. Разом з тим, залишкова неузгодженість,

характерна для чисто пропорційних регуляторів (П-регуляторів), забирається інтегральною компонентою регулятора.

В процесі настройки регулятора, користувачеві необхідно прагнути отримати криву, близьку до ідеальної. Однак, в реальних умовах зробити це не так-то просто – доводиться довго і болісно підбирати коефіцієнти. Тому найчастіше зупиняються на «прийнятній» кривій регулювання.

Етап 2. Встановлення диференціальної компоненти (t_d) ПД-регулятора

Цей етап присутній тільки в тому випадку, якщо застосовується повнофункціональний ПД регулятор. Якщо диференціальна компонента застосовуватися не буде (використовується пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор), то слід відразу перейти до етапу 3 (Налаштування інтегральної компоненти t_i).

На етапі налаштування зони пропорційності встановлена зона пропорційності, відповідна перехідній характеристиці типу 2, в якій присутні затухаючі коливання (див. рис.1.6, крива 2, рис.1.7, крива 1.). Слід встановити постійну часу диференціювання так, щоб перехідна характеристика мала вигляд кривої 2 на рис.1.7. В якості першого наближення постійна часу диференціювання робиться рівною $t_i = 0.2\Delta t$.

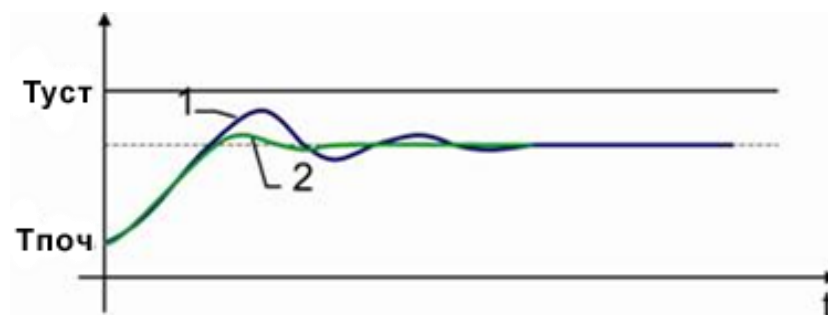


Рисунок 1.7 – Перехідні характеристики при зміні диференційної постійної

Примітно те, що диференціальна компонента усуває затухаючі коливання і робить перехідну характеристику, схожою на тип 3 (див. рис.1.6). При цьому зона пропорційності менше, ніж для типу 3. Це означає, що динамічна і статична точність регулювання при наявності диференціальної компоненти (ПД-регулятор) може бути вище, ніж для П-регулятора.

Етап 3. Налаштування інтегральної компоненти (t_i) ПД-регулятора

Після настройки пропорційної компоненти (а при необхідності і диференціальної компоненти) виходить перехідна характеристика, показана на рис. 1.8, крива 1. Інтегральна компонента призначена для того, щоб прибрати залишкову неузгодженість між сталим в системі значенням температури і уставкою. Починати налаштовувати постійну часу інтегрування слід з величини, рівною Δt .

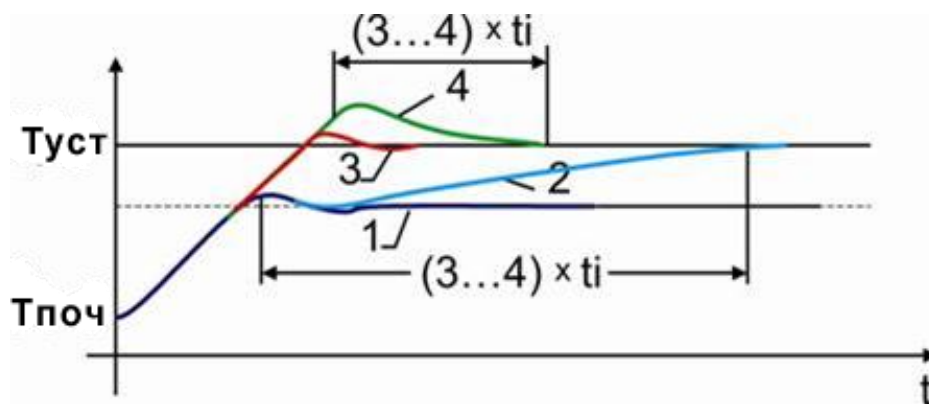


Рисунок 1.8 – Перехідні характеристики при зміні інтегральної постійної

Перехідна характеристика типу 2

Виходить при надмірно великій величині постійної часу інтегрування. Вихід на уставку виходить дуже затягнутим і триває приблизно $(3...4) \cdot t_i$.

Перехідна характеристика типу 4

Виходить при занадто малій величині постійної часу інтегрування. Вихід на уставку також триває $(3...4) \cdot t_i$. Якщо постійну часу інтегрування зменшити ще, то в системі можуть виникнути коливання.

Перехідна характеристика типу 3

Оптимальна.

Метод Зіглера-Нікольса

Метод працює не для будь-якої системи, результати виходять не найоптимальнішими. Але, зате, метод дуже простий і годиться для базової установки регулятора в більшості систем.

Суть методу полягає в наступному:

а) виставляємо коефіцієнти K_p, K_i, K_d в 0 (відносний діапазон P_b – максимальний, постійні часу інтегрування t_i і диференціювання t_d – максимальні);

б) починаємо поступово збільшувати значення K_p (зменшуємо P_b) і стежимо за реакцією системи. Нам потрібно добитися, щоб в системі почалися стійкі коливання (викликані перерегулюванням). Збільшуємо K_p , поки коливання системи не стабілізуються (перестануть загасати);

в) запам'ятовуємо поточне значення K_p (позначимо його K_u) і заміряємо період коливань системи t_u ;

г) використовуємо отримані значення K_u і t_u для розрахунку всіх параметрів ПІД регулятора за формулами:

$$K_p = 0.6 K_u \quad K_i = 2 \frac{K_p}{t_u} \quad K_d = \frac{K_p t_u}{8};$$

д) для дискретних регуляторів потрібно ще врахувати період дискретизації – T (помножити K_i на T , розділити K_d на T).

Обидва методи можуть бути використані при ручному налаштуванні параметрів ПД-регуляторів. Також не буде зайвим використовувати ще й методи оптимізації для отримання кращих результатів.

Методи оптимізації для знаходження параметрів регулятора концептуально дуже прості і аналогічні чисельних методів ідентифікації параметрів об'єкта. Вибирається критерій мінімізації, в якості якого може бути один з показників якості або комплексний критерій, складений з кількох показників з різними ваговими коефіцієнтами. До критерієм додаються обмеження, що накладаються вимогами робастності. Таким шляхом виходить критеріальна функція, що залежить від параметрів ПД-регулятора. Далі використовуються чисельні методи мінімізації критеріальною функції з заданими обмеженнями, які і дозволяють знайти шукані параметри ПД-регулятора.

Методи, засновані на оптимізації, мають такі переваги:

- дозволяють отримати оптимальні значення параметрів, які не потребують подальшої підстроювання;
- не вимагають спрощення моделі об'єкта, модель може бути як завгодно складною;
- дозволяють швидко досягти кінцевого результату (унікнути процедури тривалої підстроювання параметрів).

2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ТА ПРОЦЕС НАСТРОЙКИ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1 Спосіб управління двигуном

Двигун постійного струму (рис.2.1) є найбільш поширеним типом електродвигунів. Двигуни постійного струму зазвичай мають тільки два виводи, один позитивний і один негативний. Якщо ви під'єднаєте ці два виводи безпосередньо до акумулятора, двигун почне крутитися. Якщо ж поміняти полярність напруги, що подається, двигун буде обертатися в протилежному напрямку.



Рисунок 2.1 – Двигун постійного струму

Управління двигуном постійного струму в САУ передбачає або зміну швидкості обертання пропорційно деякому сигналу управління, або підтримання цієї швидкості незмінною при впливі зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Для керування двигуном постійного струму потрібно подавати напругу на його контакти. Чим вище подається напруга, тим більша потужність на

виході (будьте обережні у кожного двигуна є максимальна напруга). Якщо просто взяти і замикати / розмикати ланцюг з двигуном і джерелом напруги, то ми по суті отримаємо роботу реле. Плавного управління за такого способу не вийде, що відразу відмітається для наших цілей. Зазвичай в такому випадку для одно полярного управління використовується диммер або транзистор (останній метод буде найбільш корисним, показаний на рис. 2.2).

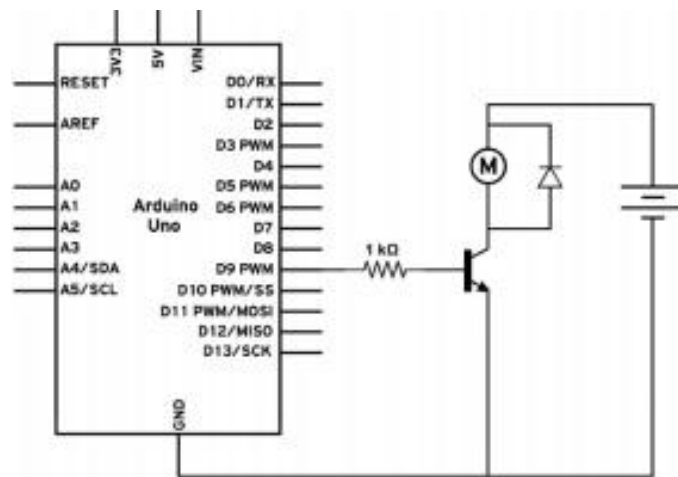


Рисунок 2.2 – Схема управління двигуном постійного струму через МК

Щоб керувати напрямком обертання двигуна постійного струму без перепідключення живлення до його виводів, ви можете використовувати схему, звану Н-мостом(рис.2.3). Н-міст – це електронна схема, яка може керувати обертанням двигуна в обох напрямках. Н-мости використовуються в безлічі різних додатків, найпоширенішим з яких є управління двигунами в роботах. Ця схема називається Н-мостом тому, що вона використовує чотири транзистора, підключених таким чином, що схема виглядає як буква "Н".

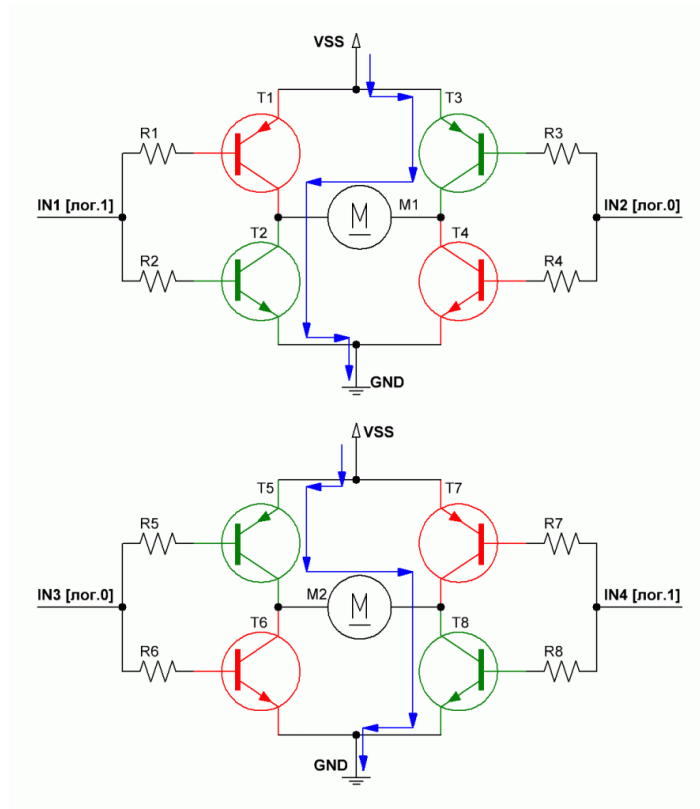


Рисунок 2.3 – Тразисторні мости Н-типу

Для складання даної схеми ви можете використовувати дискретні транзистори, але в цьому керівництві ми будемо використовувати мікросхему Н-моста L298(рис. 2.4). L298 може керувати швидкістю і напрямком обертання двигунів постійного струму і крокових двигунів і може керувати двома двигунами одночасно. Допустимий струм для кожного з двигунів становить 2 ампера. Однак при таких токах вам буде необхідно використовувати радіатори.

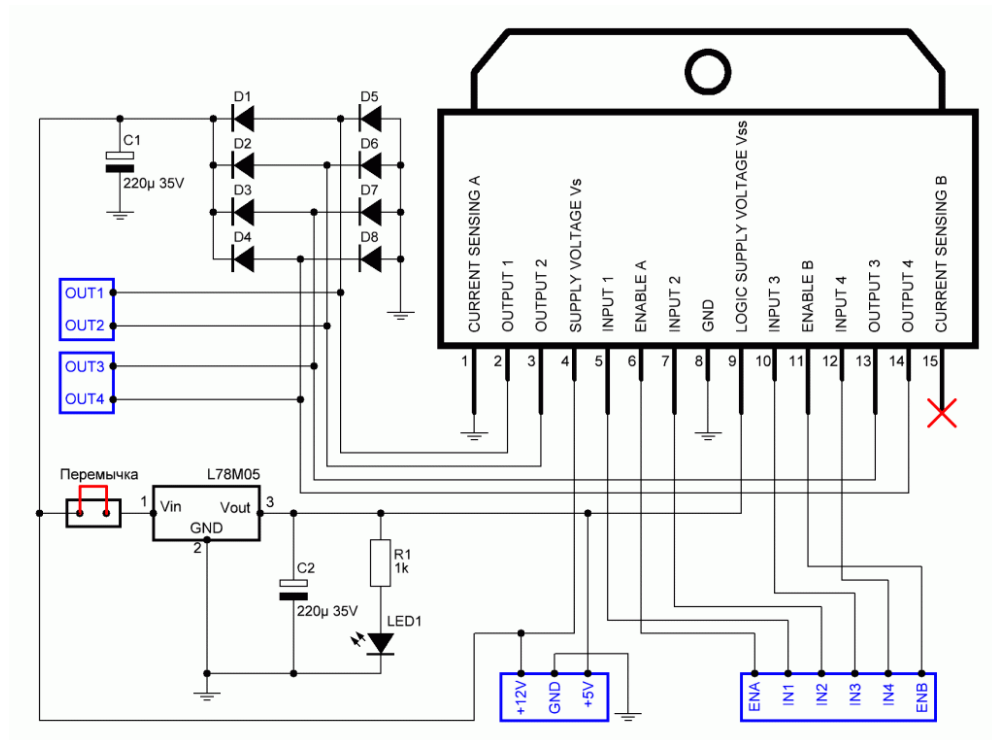


Рисунок 2.4 – Електрична схема модуля L298

Технічні характеристики модуля L298:

- напруга живлення логіки: 5 В;
- споживаний логікою струм: 36 мА;
- напруга живлення моторів: 5-35 В;
- робочий струм драйвера: 2 А;
- піковий струм драйвера: 3 А;
- максимальна потужність: 20 Вт(при температурі 75°C);
- діапазон робочих температур:-25°C...+135 °C);
- розміри модуля: 43.5 x 43.2 x 29.4 мм.

Працювати з модулем L298N досить просто і комфортно. Тут не доведеться вивчати тонни літератури з описом заморочених протоколів. Все зводиться до простого перемикання логічних рівнів на виводах МК, а також до генерації ШІМ, якщо потрібно керувати швидкістю обертання.

2.2 ШІМ-сигнал

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ – англ. pulse-width modulation, PWM), або модуляція за тривалістю імпульсів (англ. pulse-duration modulation, PDM) – процес керування шириною (тривалістю) високочастотних імпульсів за законом, який задає низькочастотний сигнал. В електроніці це може бути керування середнім значенням вихідної напруги шляхом зміни тривалості замкнутого стану електронного (електромеханічного) ключа, наприклад, у схемі ключового стабілізатора напруги.

Перемикання відбувається з великою швидкістю, відповідно до типу навантаження, з таким розрахунком, щоб період модульованого сигналу був істотно меншим, ніж інерційність системи, до якої подається сигнал. Частота перемикання може становити декілька разів на хвилину для повільних процесів (наприклад електропечі); 100 Гц для електролампи; від декількох до десятків кГц для електродвигуна або від десятків до сотень кГц для аудіопідсилювача і комп'ютерного блоку живлення.

Для оцінки форми ШІМ сигналу застосовується параметр коефіцієнту заповнення (англ. duty cycle), під яким розуміється відношення тривалості ввімкненого стану (англ. 'on' time) до прийнятого періоду імпульсів; малий коефіцієнт заповнення відповідає режиму енергозберігання, позаяк джерело енергії відключено більшість часу. Коефіцієнт заповнення виражають в відсотках, 100% відповідає ввімкненому стану на весь період.

Головною відзнакою ШІМ є мала втрата енергії на електронному перемикачеві. Він здебільшого перебуває або у вимкненому стані, коли його опір максимальний, а напруга максимальна або в режимі насичення – з мінімальним опором, тобто струм максимальний, а падіння напруги на ньому близьке до нуля. ШІМ також органічно вкладається в цифрові технології, велика кількість ШІМ-контролерів виробляється у вигляді мікросхем.

За допомогою PWM (ШІМ) можливо створити сигнал, який має певну напругу і тривалість. Залежно від часового проміжку між імпульсами на виході видається потрібне значення, так званий параметр шпаруватості імпульсу. Шпаруватість – це один з класифікаційних ознак імпульсних систем, що визначає ставлення його періоду проходження (повторення) до тривалості імпульсу.

Мікроконтролер Arduino підтримує восьмибітну ШІМ, що дозволяє вибрати змінну в широкому діапазоні значень від 0 до 255 (рис.2.5).

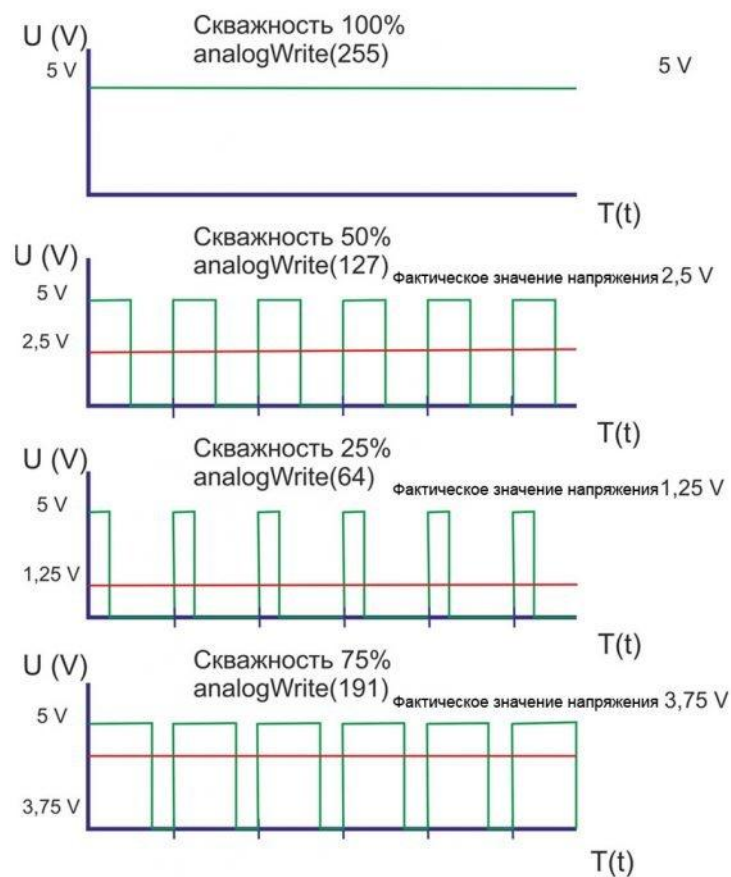


Рисунок 2.5 – Залежність фактичного значення напруги від шпаруватості

2.3 Вибір мікроконтролера

При розробці ПД-контролеру наш вибір лягає на Arduino, як найбільш простий, доступний і багатофункціональний мікроконтролер (рис.2.6).

Arduino – це електронна платформа з відкритим вихідним кодом, яка дозволяє взаємодіяти з навколишнім світом. Завдяки їй можна створити все, що прийде в голову – від простих електронних іграшок і автоматизації побуту до електронної начинки бойового робота для змагань.

Перевага плат Arduino перед аналогічними платформами – відносно невисока ціна і практично масове поширення серед любителів і професіоналів робототехніки та електротехніки. Зайнявшись Arduino, ви знайдете підтримку на будь-якій мові і однодумців, які дадуть відповідь на питання і з яким можна обговорити ваші розробки.

На апаратному рівні Arduino – це серія змонтованих плат, мозком яких є мікроконтролери сімейства AVR.

Плати мають на борту все необхідне для комфортної роботи, але їх функціональності часто буває недостатньо. Щоб зробити свій проект більш інтерактивним, можна використовувати різні модулі та плати розширень, сумісні з платформою Arduino. Сюди входять датчики (температури, освітлення, вологості, газу/диму, атмосферного тиску), пристрої введення (клавіатури, джойстики, сенсорні панелі) і виведення (сегментні індикатори, LCD / TFT дисплеї, світлодіодні матриці).

На програмному рівні платформа Arduino представляє собою безкоштовну середовище розробки Arduino IDE. Мікроконтролери треба програмувати на мові C ++, з деякими відмінностями і полегшеннями, створеними для швидкої адаптації початківців. Компіляцію програмного коду і прошивку мікроконтролера середовище розробки бере на себе.

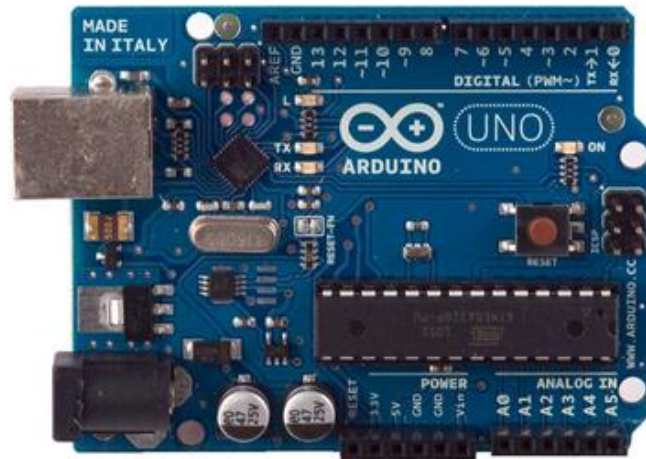


Рисунок 2.6 – Плата Arduino Uno

Arduino Uno контролер побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових вхід / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB, або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC або батареї.

Технічні характеристики Arduino Uno:

- мікроконтролер: ATmega328;
- робоча напруга: 5 В;
- вхідна напруга (рекомендована): 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 виведення 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.

2.4 Схематична модель стенду для настроювання ПД-контролеру

Для плавної зміни та виставлення значень ШІМ нам потрібний аналоговий пристрій вводу (потенціометр, джойстик, датчик, тощо). На даному етапі ми зупинимося на потенціометрі (рис. 2.7). Значення з нього ми можемо відправити через аналогові входи на Arduino. Завдяки вбудованому АЦП (аналого-цифровий перетворювач), дані входи можуть зчитувати напругу, що подається на них. Мікроконтролери Atmega328, використовувані в Arduino UNO, містять шестиканальний АЦП, роздільна здатність якого становить 10 біт. Це дозволяє на виході отримувати значення від 0 до 1023 (всього 1024 градації).



Рисунок 2.7 – Потенціометр

Потенціометр – жаргонна назва змінного резистора, включеного як дільник електричної напруги. Під потенціометрами, як правило, мають на увазі резистори з рухомим відвідних контактом (движком).

Для роботи ПД-регулятора нам потрібно мати зворотний зв'язок з регульованими значеннями. У нашому випадку це кількість обертів колеса у

хвилину. Для вимірювання цієї величини зазвичай використовують датчик Холла.

Датчик Холла – це датчик, який змінює свій вихідний потенціал (напруга) в залежності від присутності або відсутності магнітного поля. Це означає, що вихідний сигнал датчика Холла є функцією щільності магнітного поля навколо нього. Коли щільність магнітного потоку навколо нього перевищує деякий заздалегідь виставлене порогове значення, датчик виявляє його і змінює напруга струму виходу для того щоб показати присутність магнітного поля.

Датчики Холла отримали дуже велике поширення в безколекторних, або вентильних, електродвигунах (сервомоторами). Датчики закріплюються безпосередньо на статорі двигуна і виступають в ролі датчика положення ротора (ДПР), який реалізує зворотний зв'язок по положенню ротора і виконує ту ж функцію, що і колектор в колекторному ДПС.

Щоб вимірювати частоту обертання колеса потрібно помістити магніт в одну точку так щоб за один оберт колеса датчик спрацював один раз.

Таким чином, ми можемо скласти просту блок-схему, а тако електричну принципову схему за якою буде працювати наш стенд (рис. 2.8 та рис.2.9).



Рисунок 2.8 – Блок-схема роботи ПД-контролеру

Алгоритм досить простий. За допомогою аналогового пристрою введення напруги(потенціометру) ми задаємо рівень ШІМ, який генерує МК(Arduino Uno) та подає сигнал на драйвер колекторних двигунів(L298). Драйвер подає напругу на двигун опираючись на рівень ШІМ-сигналу. Двигун обертається з деякою швидкістю, яку вимірює датчик Холла. Це значення порівнюється з опорним на МК та за допомогою низки обчислювань, корегує значення ШІМ. Після чого ми маємо стабілізоване значення швидкості обертання двигуна.

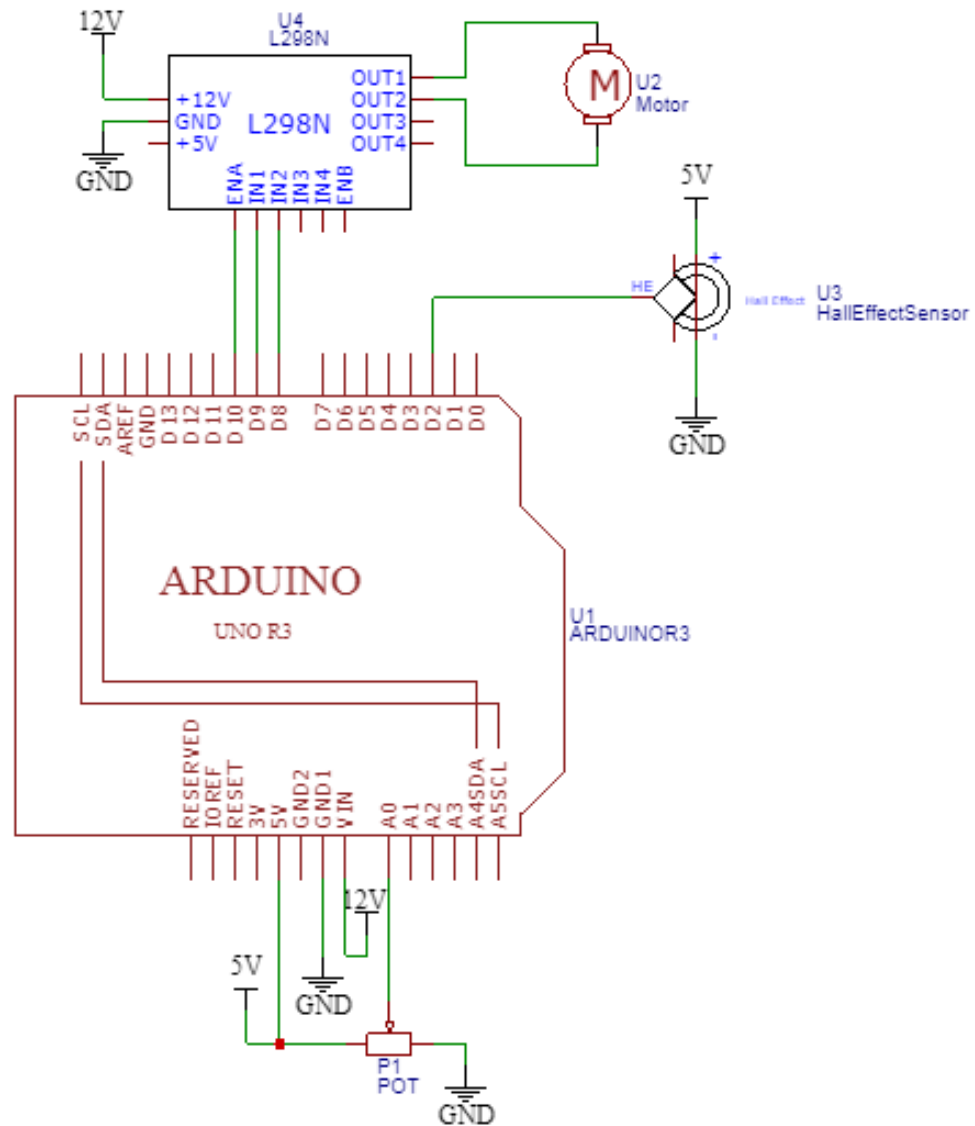


Рисунок 2.9 – Схема електрична принципова

2.5 Розбір головної програми мікроконтролеру

Розробка програмного забезпечення для Arduino Uno проводиться у спеціальній середі розробки Arduino IDE.

Arduino IDE – інтегроване середовище розробки для Windows, MacOS і Linux, розроблена на C і C ++, призначена для створення і завантаження програм на Arduino-сумісні плати, а також на плати інших виробників.

Підтримує мови C і C++ з використанням спеціальних правил структурування коду. Arduino IDE надає бібліотеку програмного забезпечення з проекту Wiring, яка надає безліч загальних процедур введення і виведення. Для написаного користувачем коду потрібні тільки дві базові функції для запуску ескізу і основного циклу програми.

Для спілкування між платою Arduino і комп'ютером або іншим пристроєм в контролері використовується інтерфейс UART або USART, який в поєднанні з вбудованим в UNO USB-to-UART конвертером, дозволить встановити двоспрямованість зв'язок з комп'ютером через віртуальний послідовний порт. У деяких моделях Arduino може бути кілька портів. Порт з'єднується через цифровий пін 0 (RX) і 1 (TX) при підключенні до комп'ютера через USB, тому не використовуйте піни 0 і 1 для введення / виведення.

Раніше на старих комп'ютерах були COM-порти, зараз вони створюються віртуально за допомогою мікросхеми FTDI, коли ми підключаємо плату до комп'ютера через USB.

Часто доводиться використовувати спілкування між пристроями для обміну інформацією. Можна як посилати сигнал з комп'ютера, наприклад, з клавіатури, так і приймати сигнали з плати. Це корисно, щоб дізнатися, що взагалі відбувається з сигналом з потрібного виводу плати.

Для коректної роботи з портом слід дотримуватися двох умов: вибрати правильний COM-порт, вибрати швидкість роботи в скетчі, яка повинна збігатися зі швидкістю, обраної в моніторі порту.

Детально розглянемо код програми для нашого ПД-контролера:

Програма зазвичай починається з підключення бібліотек і оголошення глобальних змінних. Також цим змінним можна дати початкові або постійні значення.

```
int setpoint = 0;    // заданная величина, которую должен  
поддерживать регулятор
```

```
int input = 0;    // сигнал с датчика (количество оборотов в минуту)
```

```
int output = 0;    // выход с регулятора на управляющее устройство  
(ШИМ на драйвер двигателя)
```

```
int pidMin = 0;    // минимальный выход с регулятора
```

```
int pidMax = 255; // максимальный выход с регулятора
```

Величина **setpoint** є змінною величиною кількості оборотів в хвилину. Саме на неї буде спиратися ПІД-регулятор при підстроювання. Величина **input** буде прораховуватись в залежності від кількості імпульсів з датчика Холла. Змінна **output** - величина ШІМ сигналу подається на драйвер двигунів. Змінні **pidMin** і **pidMax** позначають межі для сигналу ШІМ після ПІД-регулювання. Всі ці змінні є цілочисельними, тобто відносяться до типу даних **int** (від англ. **integer** - ціле число).

```
unsigned long lastflash;
```

```
volatile int state = LOW;
```

```
float Kp = 1;
```

```
float Ki = 1;
```

```
float Kd = 1;
```

```
float _dt_s = 0.1; // время итерации в секундах
```

```
int prevInput = 0;
```

```
float integral = 0.0;
```

```
int val = 0;    // значение полученное с потенциометра
```

Величина **lastflash** використовується для запису у пам'ять значення з таймеру для обробки періодів обертання колеса. Змінна **state** показує стан датчика Холла(значення HIGH, коли датчик спрацьовує на магніт). **volatile** – це ключове слово, відоме як специфікатор змінної. Змінну необхідно оголошувати як **volatile** в тих випадках, коли її значення може бути змінено будь-чим, не що залежить від того ділянки коду, в якому вона фігурує (наприклад, паралельно що виконуються потоком). Стосовно до Ардуїно, єдине місце, де подібне може трапитися - це ділянки коду, пов'язані з перериваннями (також звані процедурами обробки переривань). А саме переривання ми і будемо використовувати.

Змінні **Kp**, **Ki**, **Kd** – це коефіцієнти ПІД-регулятора, які ми повинні знайти провівши ряд експериментів. **dt_s** – значення часу ітерації в секундах, так як наш ПІД-регулятор є дискретним. Значення **integral** створено для розрахунку інтегральної складової ПІД-регулятора. Дані величини відносяться до типу даних **float**, який служить для зберігання чисел з плаваючою комою. Величина **prevInput** створена для порівняння попереднього значення на вхід ПІД-регулятора з новим. Змінна **val** використовується для запам'ятовування положення потенціометру.

```
const int in1 = 8;
```

```
const int in2 = 9;
```

```
const int ena = 10;
```

```
const int pot = A0;
```

Дані змінні створені для підключення цифрових виходів до драйверу двигунів(перші три) та аналогового входу до потенціометру. Вони оголошені сталими і не будуть змінені під час дії програми ні в якому разі.

Після оголошення глобальних змінних йде блок **void setup()**. Він спрацьовує один раз на початку програми і найчастіше служить для

оголошення входів, виходів, підключення датчиків, переривань та COM-портів.

attachInterrupt(0,sens,RISING); // подключить прерывание на 2 пин при повышении сигнала

pinMode(in1, OUTPUT);

pinMode(in2, OUTPUT);

pinMode(ena, OUTPUT); // пины на драйвер как выходы

Функція **pinMode** дозволяє налаштовувати піни як входи або виходи. Тут ми налаштовуємо 8, 9 та 10, як цифрові виходи. При чому обов'язково, щоб **ena** мав ШІМ.

Функція **attachInterrupt** підключає апаратне переривання на другий пін МК, а також відправляє до функції **sens**. У більшості плат Ардуіно існує два зовнішніх переривання: номер 0 (цифровий пін 2) і 1 (цифровий пін 3). **RISING** - переривання спрацює, коли стан виведення зміниться з низького рівня на високий. Використання переривань дозволить розвантажити мікроконтролер для виконання іншої роботи, при цьому не втрачаючи контроль над іншими сигналами, що надходять на МК.

Блок **void sens()** відповідає за обробку сигналів з датчику Холла.

state = !state; // при каждом вызове функции менять значение

input = 60/((float)(micros() - lastflash)/1000000); // расчет оборотов

lastflash = micros(); // запомнить время последнего оборота

При кожному оберті колеса спрацює переривання, а значення **state** змінює своє значення. Значення **lastflash** створена, щоб запам'ятати час останнього обороту. Функція **micros()** повертає кількість мікросекунд з моменту початку виконання поточної програми на платі Arduino. Тому

micros() – **lastflash** поверне значення періоду одного обороту у мікросекундах. Значення **input** ми отримаємо в одиницях об/хв.

На платах Ардуіно варто USB-TTL конвертер, що дозволяє МК в текстовому режимі "консолі" спілкуватися з комп'ютером по послідовному інтерфейсу, Serial. На комп'ютері створюється віртуальний COM порт, до якого можна підключитися за допомогою програм-терміналів порту, і приймати-відправляти текстові дані. Через цей же порт завантажувється прошивка, тому що підтримка Serial є вбудованої в МК на "залізному" рівні, і USB-TTL перетворювач підключений саме до цих пінів МК.

У самій Arduino IDE теж є вбудована "консоль" – монітор порту (рис.2.10), кнопка з іконкою лупи в правому верхньому кутку програми. Натиснувши на цю кнопку ми відкриємо сам монітор порту, в якому будуть настройки:

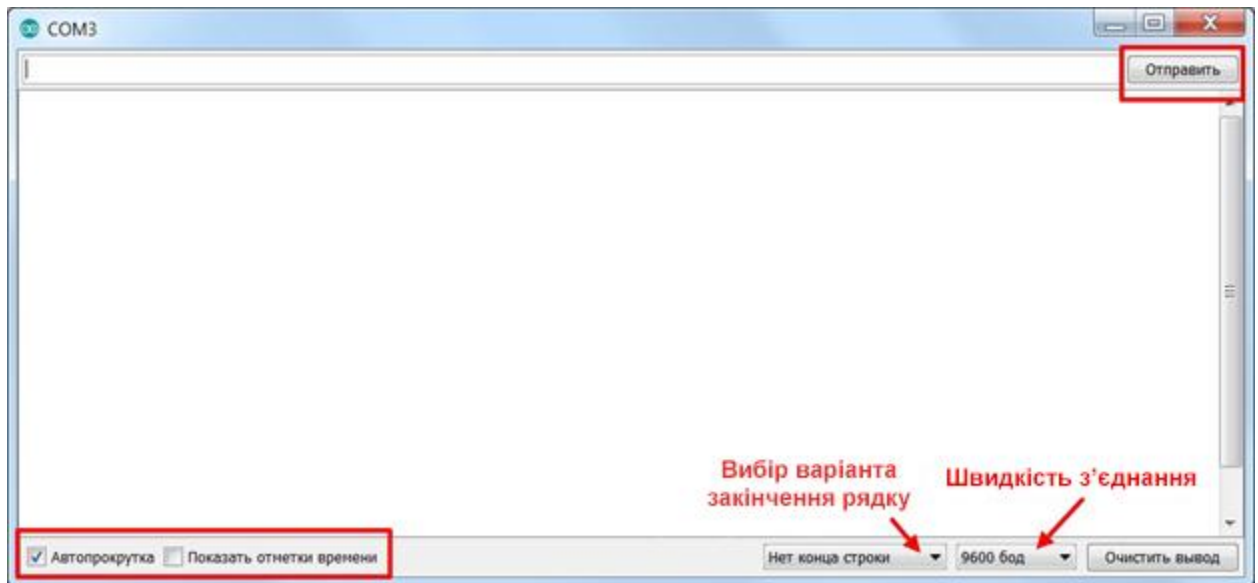


Рисунок 2.10 – Монітор порту в Arduino IDE

Відправка даних в порт не повинна викликати труднощів і питань, тому що все очевидно. Відправлення в порт дозволяє дізнатися значення змінної в потрібному місці програми, цей процес називається налагодження. Коли код

працює не так, як потрібно, починаємо дивитися, де які змінні які значення приймають. Або виводимо текст з різних місць програми, щоб спостерігати за правильністю (порядком) її роботи.

Serial.begin(9600); //открыть порт

Serial.setTimeout(50);

Serial.flush(); //очистить память

Serial.println("PWM,state,RPM"); //вывести названия для графиков

Функція **Serial.begin** ініціює послідовне з'єднання і задає швидкість передачі даних в біт /с (бод). Функція **Serial.setTimeout** дозволяє задати час очікування даних(в мілісекундах), що надходять через послідовний інтерфейс. Функція **Serial.flush** чекає закінчення передачі вихідних даних та очищує буфер послідовного з'єднання. **Serial.println** відправляє в порт якесь значення - число або рядок та автоматично переводить рядок після виведення. У даному випадку воно ще має значення для виводу підписів на графіку в реальному часі.

Крім монітора послідовного порту, в Arduino IDE є плоттер(рис.2.11) – будівник графіків в реальному часі за даними з послідовного порту. Досить відправити значення за допомогою команди **Serial.println** (значення) і відкрити плоттер по послідовному з'єднанню.

Плоттер підтримує кілька ліній графіків одночасно, для їх відображення потрібно дотримуватися такого протоколу відправки даних: значення1 пробіл_або_кома значення2 пробіл_або_кома значення3 пробіл_або_кома значенняN перенос_рядку, тобто значення виводяться в один рядок, одне за іншим по порядку, розділяються пропуском або комою, і в кінці обов'язково перенесення рядків.

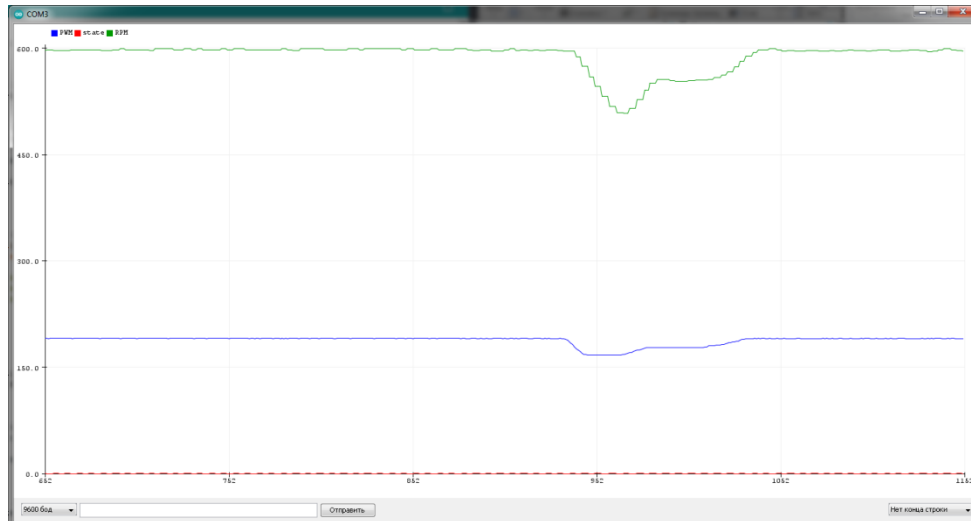


Рисунок 2.11 – Плоттер в Arduino IDE

За допомогою плоттеру ми можемо у реальному часі відслідковувати коливання системи та відповідність значення ШІМ до значення об/хв. Але найбільш корисним є те що ми можемо змінювати коефіцієнти через COM порт.

Для того щоб змінювати значення програма повинна розуміти, яке значення і на скільки потрібно змінити. Для цього використовується парсинг - синтаксичний аналіз інформації.

```
if (Serial.available() > 0){

char key = Serial.read();

float value = Serial.parseFloat();

switch(key){

case 'p': Kp = value; break;

case 'i': Ki = value; break;

case 'd': Kd = value; break;}
```

Отже, ми використовуємо конструкцію **if (Serial.available ()) {}** щоб опитувати порт тільки в тому випадку, якщо в нього щось прийшло. Після чого ми через функцію **Serial.read()** записуємо отримане в порт значення в **key**, який відноситься до знакового типу. Після чого з отриманого в порт значення ми відбираємо тільки числову складову через функцію **Serial.parseFloat()**.

Використовуючи конструкцію **switch...case**, яка порівнює значення змінної зі значенням, визначеному в операторах **case**. Коли знайдений оператор **case**, значення якого дорівнює значенню змінної, виконується програмний код в цьому операторі. Ключове слово **break** є командою виходу з оператора **case** і зазвичай використовується в кінці кожного **case**. Тому правильно записавши значення ми можемо змінити будь-який з коефіцієнтів. Наприклад, відправивши в COM порт «**p34.6**» ми змінимо значення пропорційного коефіцієнту на 34.6. Попрошу зауважити, що дана програма добре працює з коефіцієнтами від 0.01 до 100(з шагом у соту частину).

Блок **int computePID()** повинен обчислювати значення ШІМ в залежності від зміни вхідних даних використовуючи коефіцієнти, а після цього передавати його до драйверу двигунів.

```
float error = setpoint - input;           // ошибка регулирования

float delta_input = prevInput - input;    // изменение входного сигнала

prevInput = input;

output = 0;

output += (float)error * Kp;              // пропорционально ошибке
регулирования

output += (float)delta_input * Kd / _dt_s; // дифференциальная
составляющая
```

```

    integral += (float)error * Ki * _dt_s;          // расчёт интегральной
    составляющей

    output += integral;          // прибавляем интегральную составляющую

    output = constrain(output, pidMin, pidMax); // ограничиваем выход

    return output;

```

Для початку нам потрібно обчислити значення помилки регулювання (**error**), як різницю між заданим і реальним значенням оборотів двигуна. Таким же чином фіксуємо зміну оборотів двигуна (**delta_input**) між попереднім і теперішнім значенням оборотів двигуна. Операція **prevInput = input** запам'ятає значення оборотів двигуна для наступної ітерації обчислювань. Після цього обнулюємо значення вихідного сигналу та додаємо значення помилки регулювання(**error**) помножене на пропорційний коефіцієнт(**Kp**). Наступним кроком буде обчислення диференційної складової перемноженням зміни вхідного сигналу(**delta_input**) на диференціальний коефіцієнт(**Kd**), а також потрібно розділити на час дискретизації (**_dt_s**). Інтегральна складова отримується перемноженням помилки регулювання(**error**), коефіцієнту інтегрування(**Ki**) та часу дискретизації(**_dt_s**). Всі складові сигналу підсумовуються і обмежуються функцією **constrain**, яка перевіряє і якщо треба задає нове значення, так щоб воно було в області допустимих значень, заданої параметрами(від 0 до 255). Підсумкове значення ШІМ передається до драйверу двигунів.

```

    digitalWrite(in1,HIGH);

    digitalWrite(in2,LOW);

    analogWrite(ena, output); // включают мотор на соответствующую
    величину ШИМ

```

Для керування станом двигуна використовуються перші два рядки. При значеннях **HIGH** та **LOW** двигун буде обертатися в одну сторону, при значеннях **LOW** та **HIGH** в іншу сторону, при обох **LOW** напруга подаватися не буде, а значення обох **HIGH** працює як гальмо. Третій рядок задає значення напруги, що подається за допомогою ШІМ.

Функція **void loop()** це те місце, куди ми повинні помістити команди, які будуть виконуватися весь час, поки включена плата Arduino. Почавши виконання з першої команди, МК дійде до кінця і відразу ж перестрибне в початок, щоб повторити ту ж послідовність. І так безліч разів (до тих пір, поки на плату буде поданий електрику). Найбільш доречний переклад англійського слова `loop` в даному випадку - це цикл (петля). Arduino повторює виклик цієї функції мільйони разів в секунду.

```
parsing();
```

```
val = map(analogRead(pot), 0, 1023, 0, 255); // данные с аналогового  
пина переводим в значения для ШИМ
```

```
setpoint = map(val, 0, 255, 0, 800); // вводим соответствие  
количества оборотов в минуту к значению ШИМ
```

```
computePID();
```

```
motor();
```

На початку циклу ми завжди перевіряємо наявність даних, які надходять з СОМ порту. Після цього ми опитуємо аналоговий вхід до якого підключений потенціометр та переводимо отримане значення за допомогою функції **map**. Ця функція пропорційно переносить значення з поточного діапазону значень в новий діапазон, заданий параметрами. Також за допомогою цієї функції ми вводимо відповідність між значенням ШІМ та частотою обертання двигуна. Після цього починає працювати ПІД-регулятор, який передає керуючий сигнал на двигун. І цей цикл повторюється.

```
Serial.print(val); //вывод в порт значения ШИМ
```

```
Serial.print("\t");
```

```
Serial.println(input); //вывод в порт количество оборотов  
двигателя
```

Також у програмі передбачено вивід даних у монітор порта, а також у плоттер за допомогою функцій **Serial.print**. Символ табуляції(**\t**) дозволяє зручно відправляти дані для подальшої вставки в **Excel** або інші таблиці.

2.6 Експериментальний підбір ПД-коефіцієнтів

Надалі ми будемо розглядати три характеристики: плавне збільшення (від нуля до максимуму) і зменшення значення оборотів двигуна, деяке середнє значення обертів двигуна з періодичним збільшенням навантаження на вал і максимальне значення обертів двигуна з періодичним збільшенням навантаження на вал.

Для початку нам потрібно мати відправні дані для налаштування нашого регулятора. Для цього досліджуємо поведінку системи управління двигуном постійного струму без ПД-регулятора.

Програма для управління двигуном постійного струму без ПД-регулятора наведена у **Додатку В**.

На графіках буде виведено значення, яке ми очікуємо отримати та реальне значення кількості обертів двигуна у хвилину. Ось абсцис – час впродовж якого працює система, а ось ординат – кількість обертів у хвилину.

Перехідні характеристики ситеми без ПД-регулятору наведені на рис.2.12-2.14.

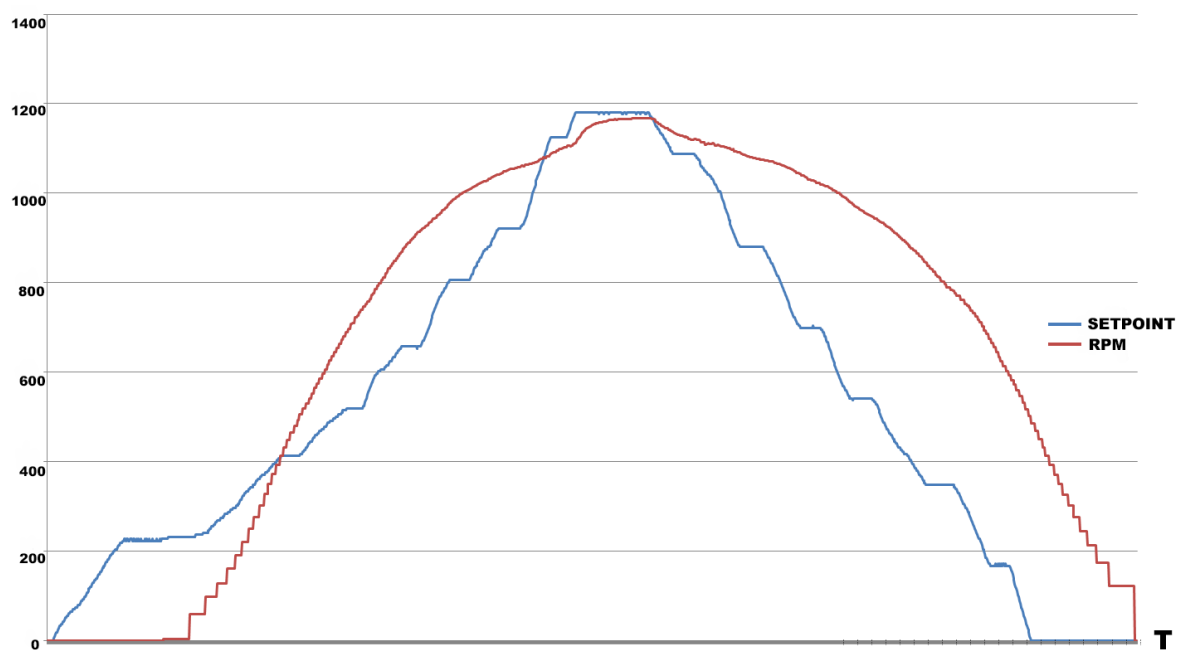


Рисунок 2.12 – Плавна зміна ШІМ без ПІД-регулятора

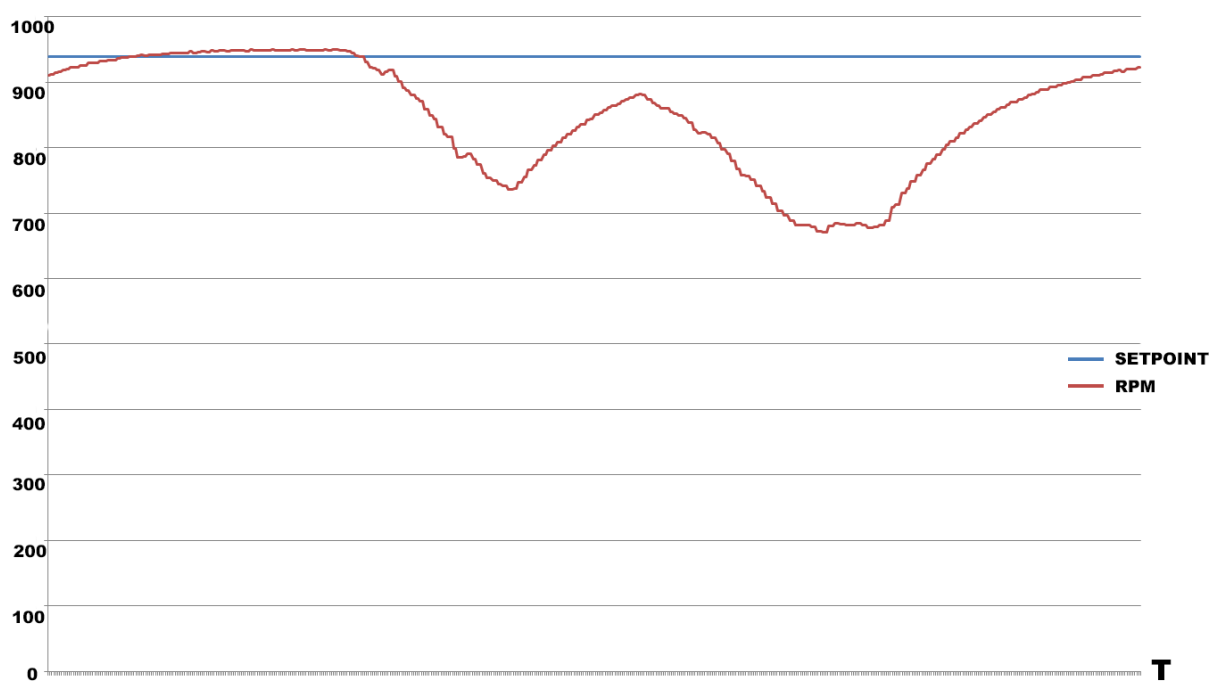


Рисунок 2.13 – Середнє значення ШІМ без ПІД-регулятора

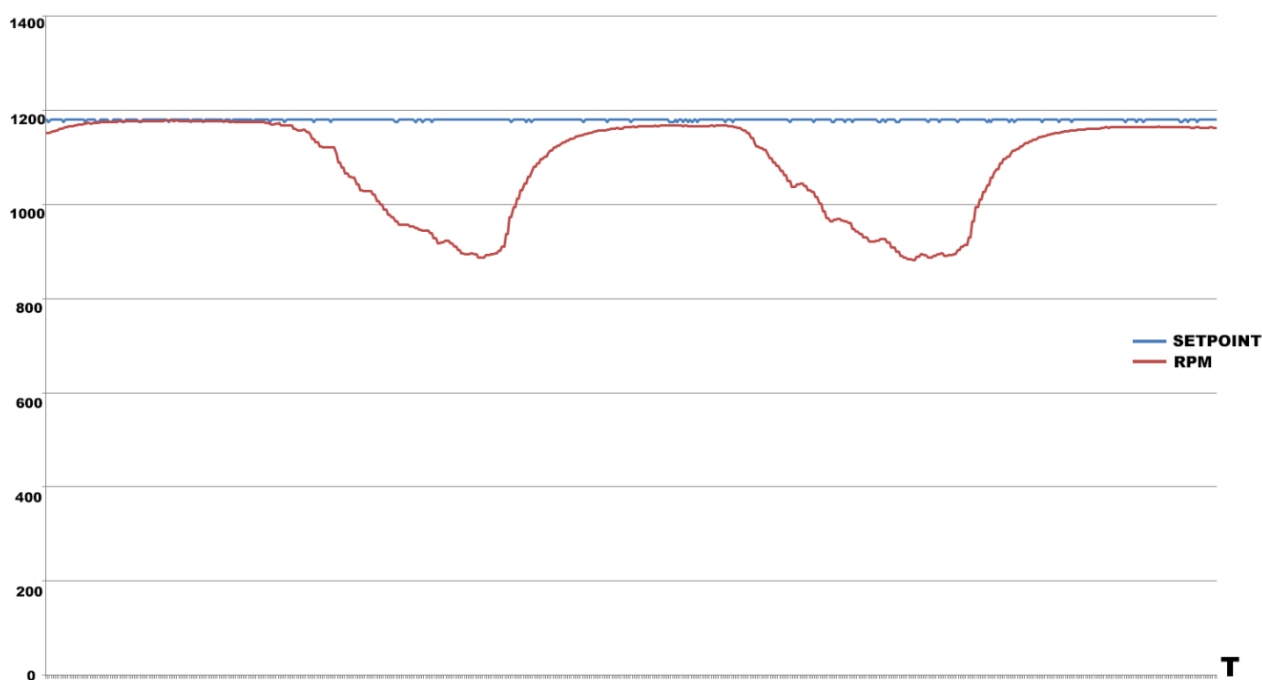


Рисунок 2.14 – Максимальне значення ШІМ без ПІД-регулятора

Перше що кидається в очі – це дуже велика інерційність системи. Також можна відзначити повну відсутність реакції на зовнішній вплив. На малі значення ШІМ система практично не реагує.

Зауважимо, що двигун зараз працює без обмежень по кількості обертів і максимальне значення дорівнює 1200 об/хв. при 12 Вольтах, що і наведено у його паспортних даних.

Тепер візьмемо значення всіх коефіцієнтів ПІД-регулятора рівними одиниці та простежимо за реакцією системи. Результат такого моделювання на рис.2.15-2.17.

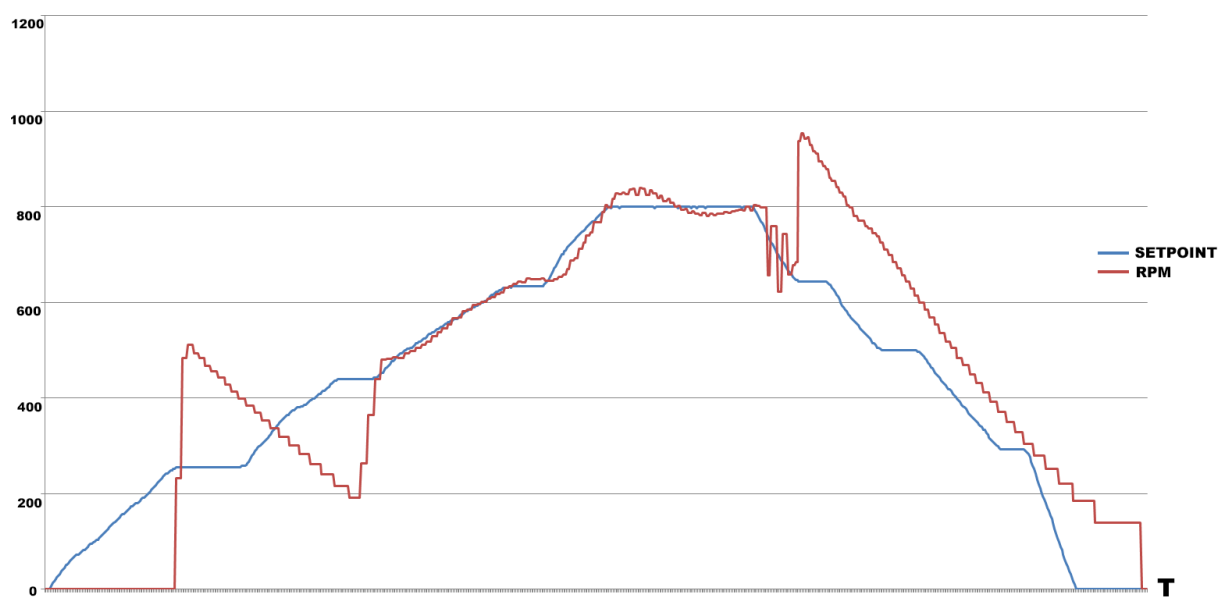


Рисунок 2.15 – Плавна зміна ШІМ при $K_p = 1$, $K_d = 1$, $K_i = 1$

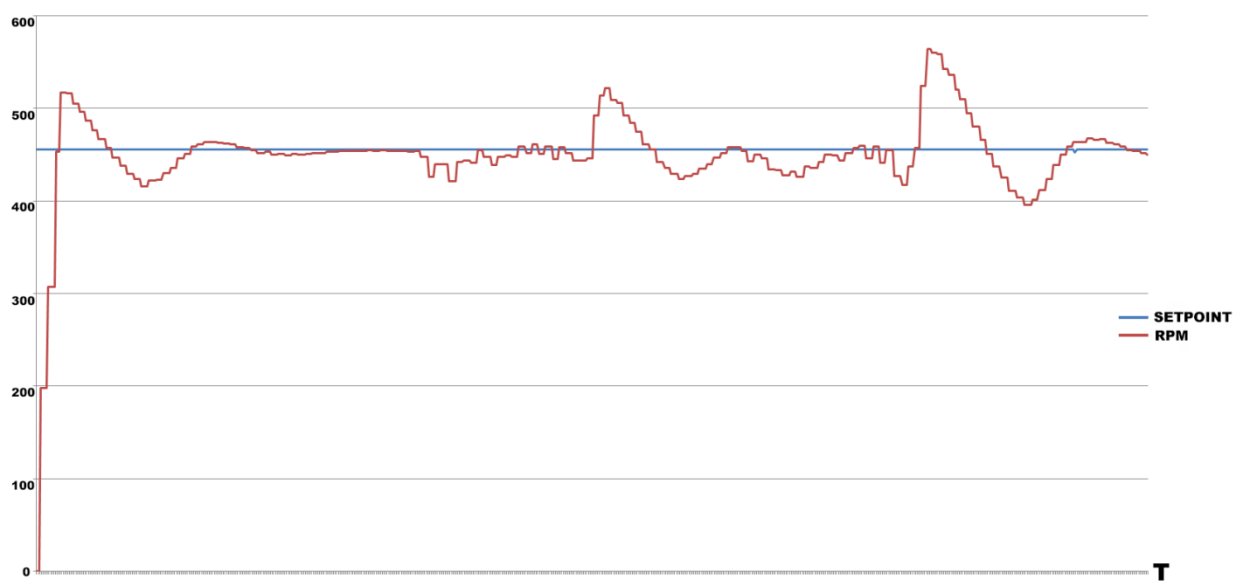


Рисунок 2.16 – Середнє значення ШІМ при $K_p = 1$, $K_d = 1$, $K_i = 1$

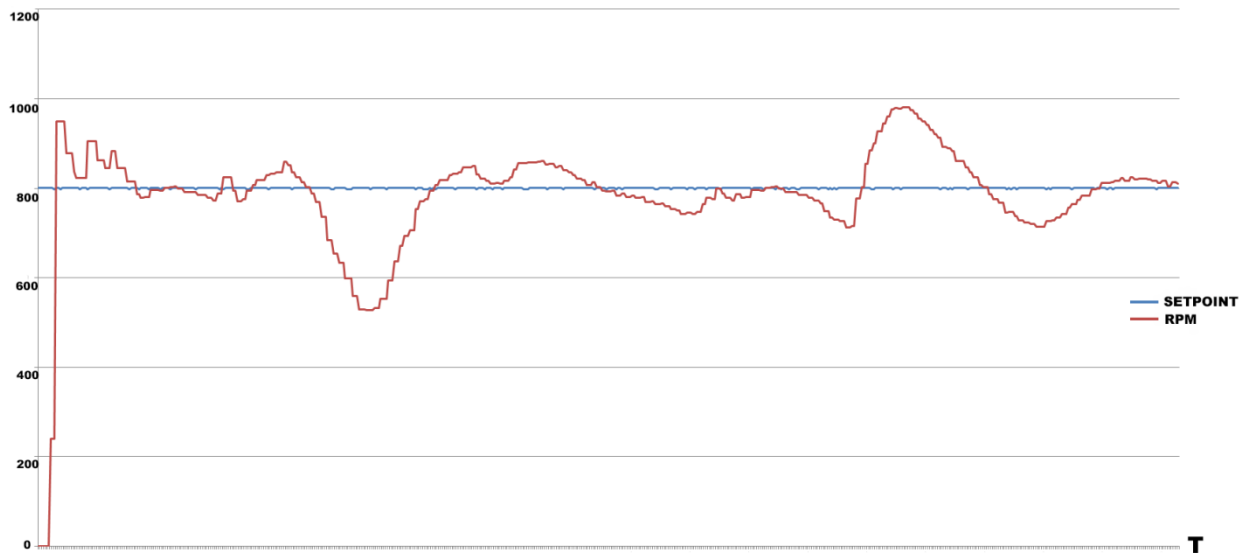


Рисунок 2.17 – Максимальне значення ШІМ при $K_p = 1$, $K_d = 1$, $K_i = 1$

Дана перехідна характеристика дуже далека від оптимальної. При плавній зміні величини ШІМ виникає дуже багато проблем. Система починає протидіяти впливу зовнішніх чинників, але працює дуже нестабільно і з'являються паразитні осциляції.

Дуже різкі викиди системи при зміні вхідного сигналу говорять про недостатньо великий коефіцієнт пропорційності. Наявність тривалих періодів загасання є наслідок великого коефіцієнта дифференціювання. Залишкова неузгодженість між сталим в системі значенням і уставкою виходить при надмірно великій величині коефіцієнта інтегрування.

Отже, ми можемо потроху збільшувати значення коефіцієнта пропорційності, а також приблизно в половину зменшити значення коефіцієнта дифференціювання. Коефіцієнт інтегрування вийшов занадто великий, а тому його значення можна зменшити на порядок.

Змінюємо значення за допомогою консолі та спостерігаємо зміну перехідної характеристики на рис.2.18-2.20.

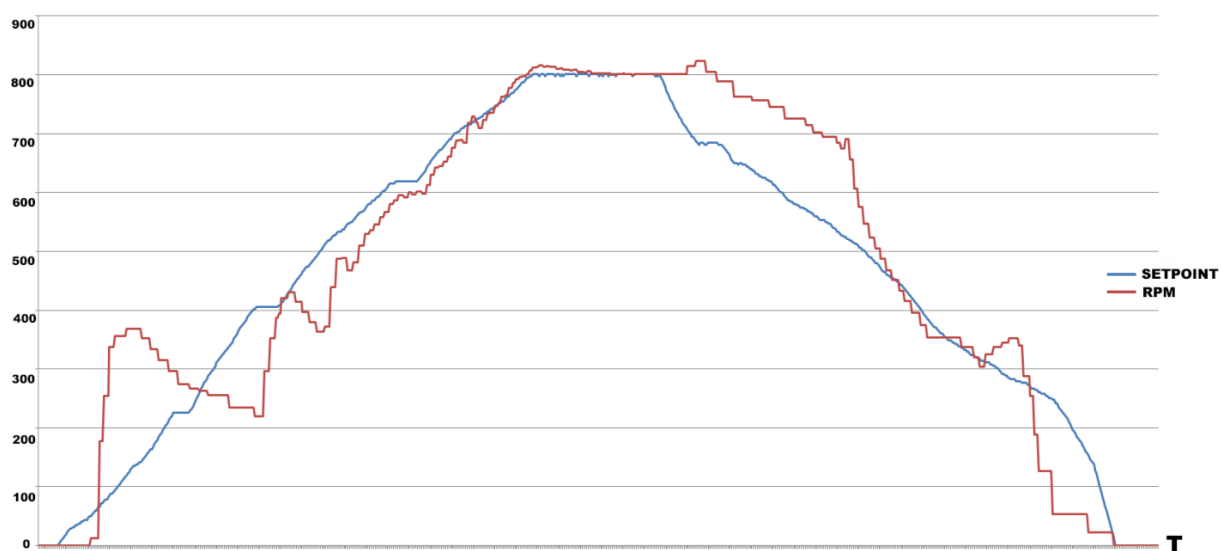


Рисунок 2.18 – Плавна зміна ШІМ при $K_p = 3$, $K_d = 0.6$, $K_i = 0.1$

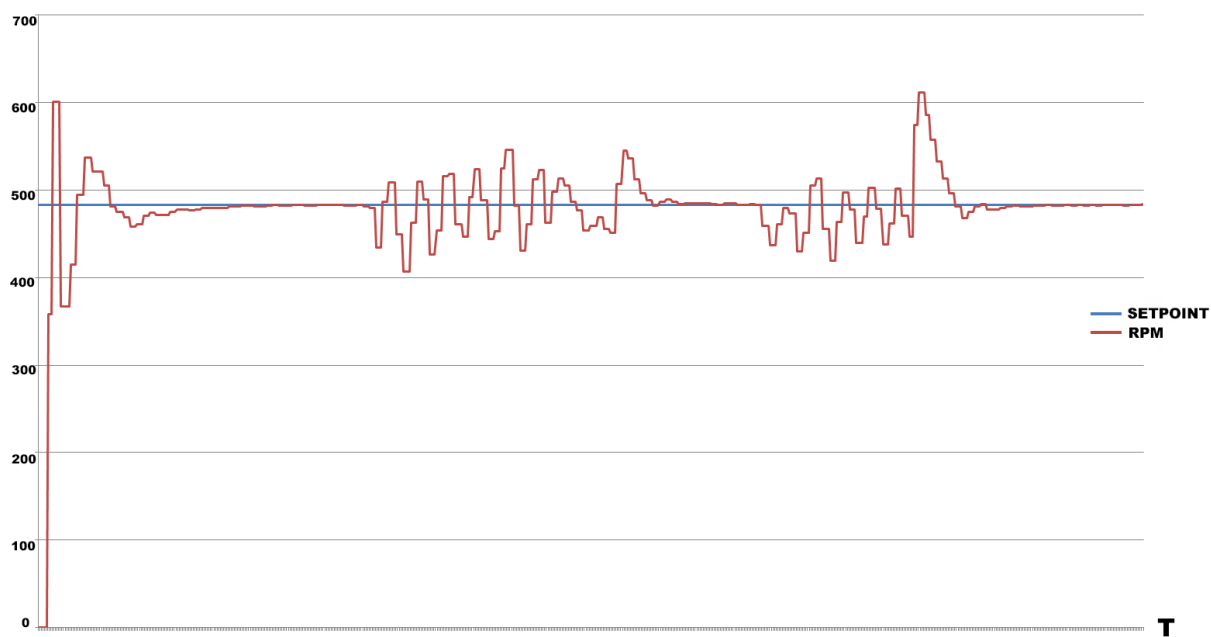


Рисунок 2.19 – Середнє значення ШІМ при $K_p = 3$, $K_d = 0.6$, $K_i = 0.1$

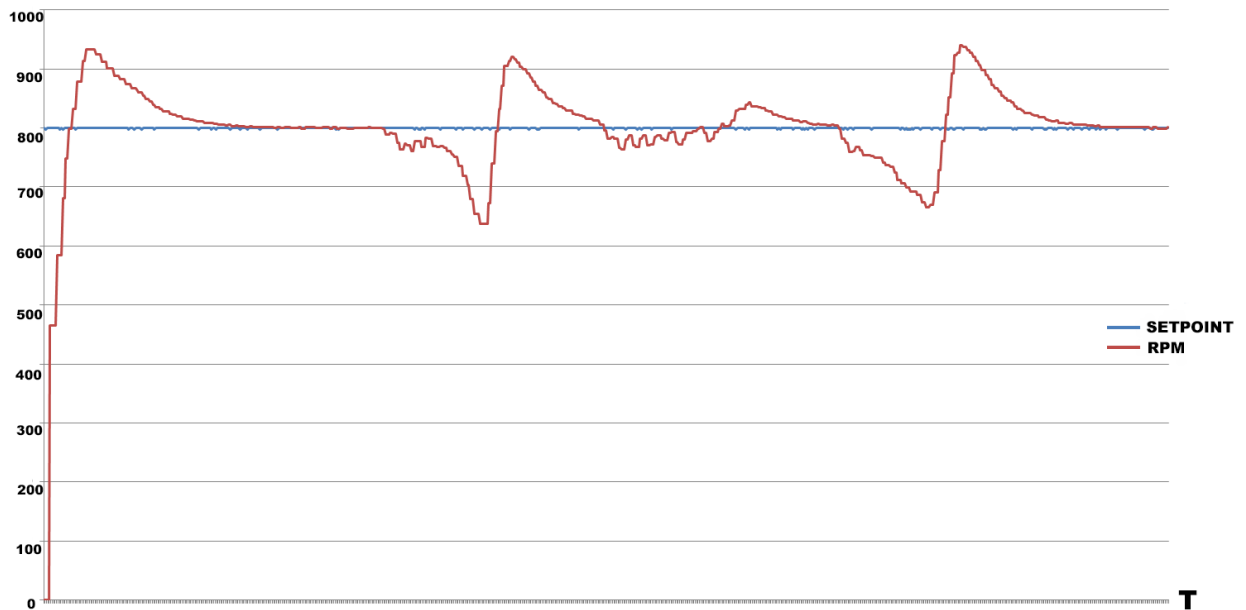


Рисунок 2.20 – Максимальне значення ШІМ при $K_p = 3$, $K_d = 0.6$, $K_i = 0.1$

Дана перехідна характеристика вже дуже близька до оптимальної. При плавній зміні величини ШІМ виникають невеликі пульсації значень, особливо при малих значеннях ШІМ. Також ми маємо достатньо великий викид на середній швидкості (різниця близько 100 об/хв), але він швидко затухає (приблизно 2 періоди) і ми отримуємо стабілізоване значення. Система впевнено протидіє впливу зовнішніх чинників, що ми бачимо на рис. 2.19. Ці осциляції виникають через нерівномірність навантаження і саме через те виникає пере регулювання з амплітудою близько 40-60 об/хв, але якщо навантаження забрати або зробити рівномірним, то система стабілізується.

Систему з такими коефіцієнтами ми вже можемо використовувати на практиці. Втім, ми можемо ще трохи погратися коефіцієнтами та отримати більш задовільний результат. Тому зменшимо пропорційний та диференційний коефіцієнти, щоб зменшити викиди та продовжність періодів загасання. А також трохи збільшимо коефіцієнт інтегрування. Результат моделювання спостерігаємо на рис.2.21-2.23.

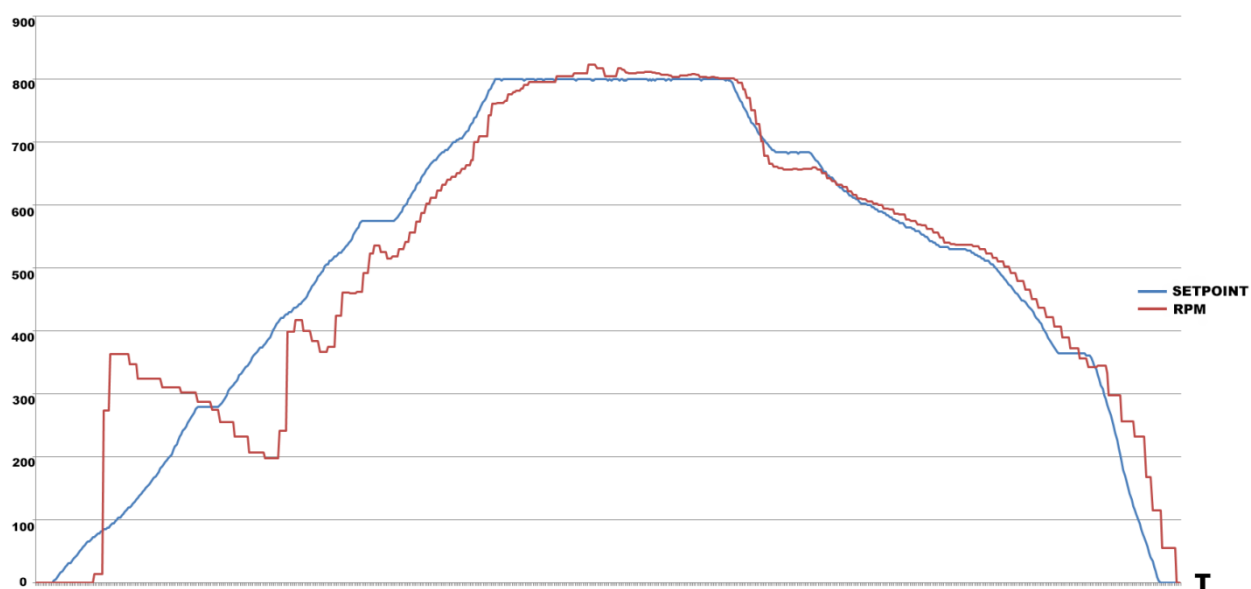


Рисунок 2.21 – Плавна зміна ШІМ при $K_p = 2.5$, $K_d = 0.5$, $K_i = 0.2$

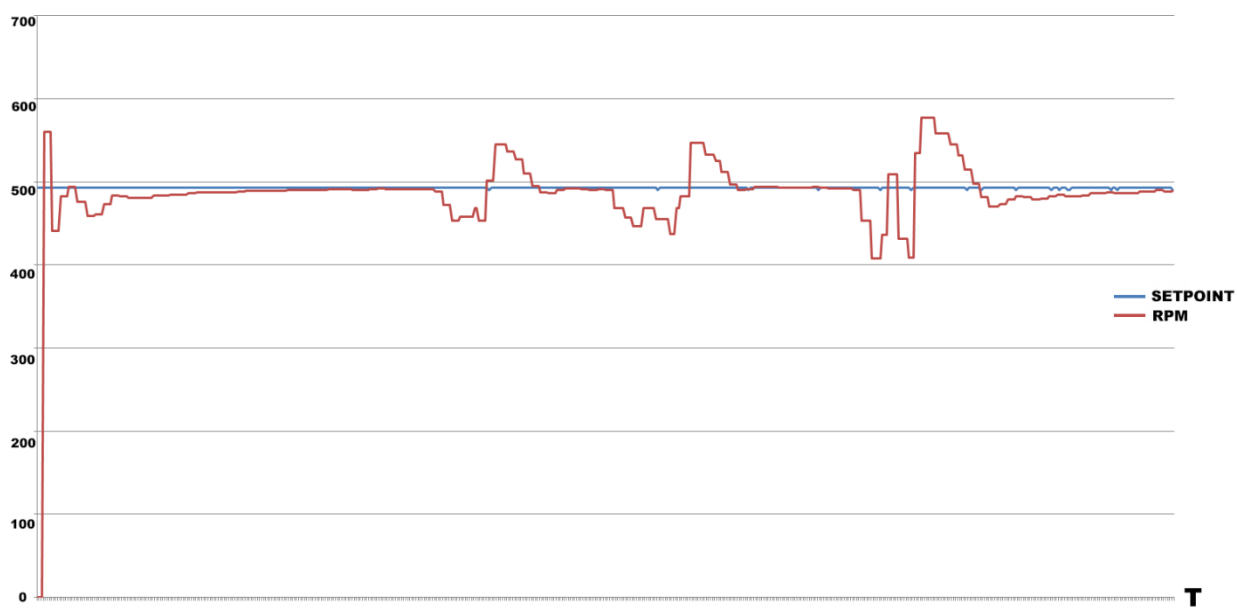


Рисунок 2.22 – Середнє значення ШІМ при $K_p = 2.5$, $K_d = 0.5$, $K_i = 0.2$

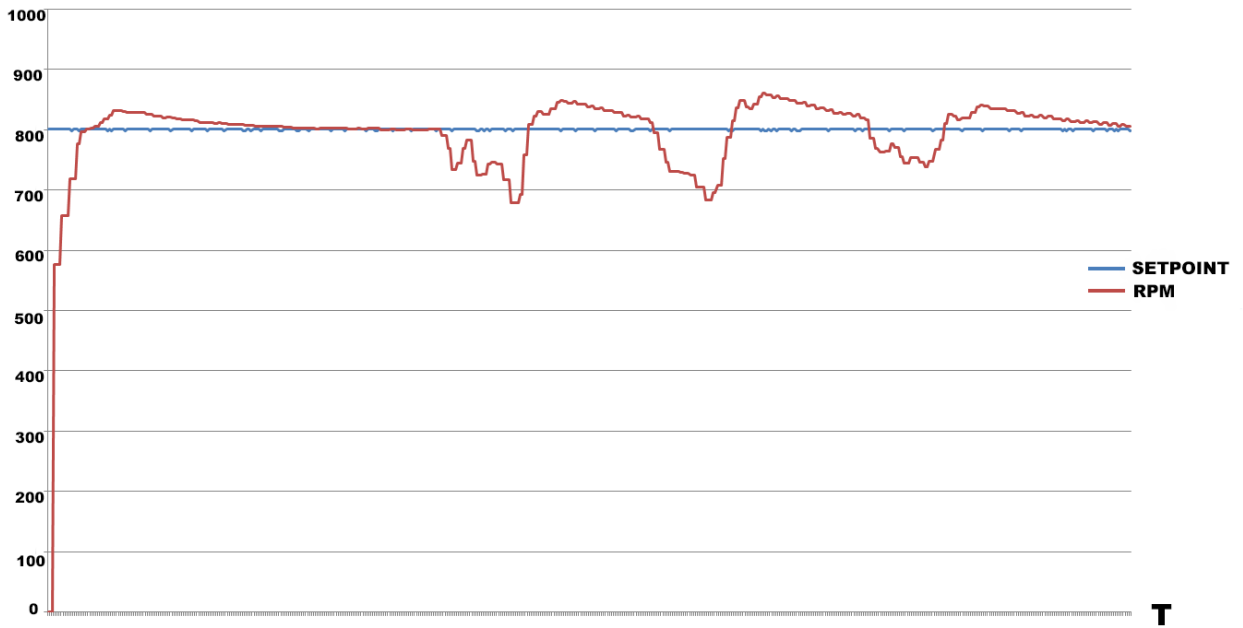


Рисунок 2.23 – Максимальне значення ШІМ при $K_p = 2.5$, $K_d = 0.5$, $K_i = 0.2$

Змінивши коефіцієнти ми зменшили викид та поскорили затухання коливань. На данному етапі ми закінчимо експериментальний підбір коефіцієнтів ПД-регулятора. Будемо вважати коефіцієнти $K_p = 2.5$, $K_d = 0.5$, $K_i = 0.2$ оптимальними для досліджуваного двигуна постійного струму.

Порівняємо графіки перехідних характеристик системи з даними ПД коефіцієнтами та системи без ПД-регулятора на рис.2.24-2.25.

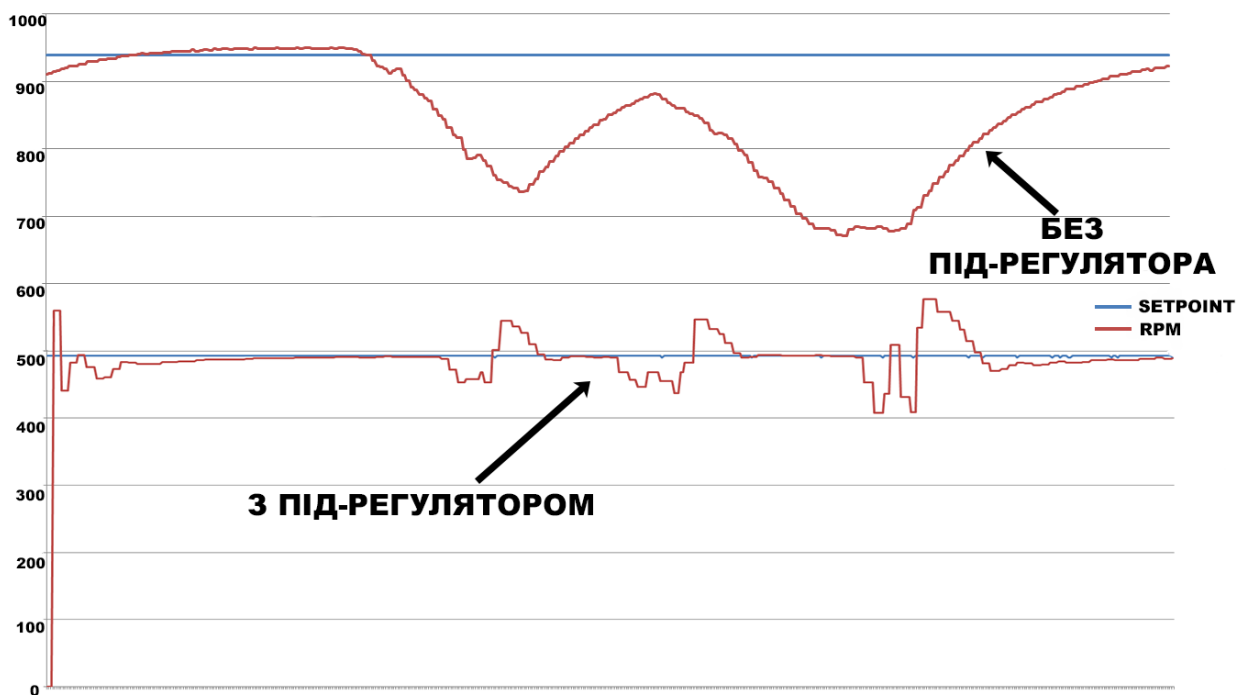


Рисунок 2.24 – Порівняння системи з ПІД-регулятором та без нього при середньому значенні ШІМ

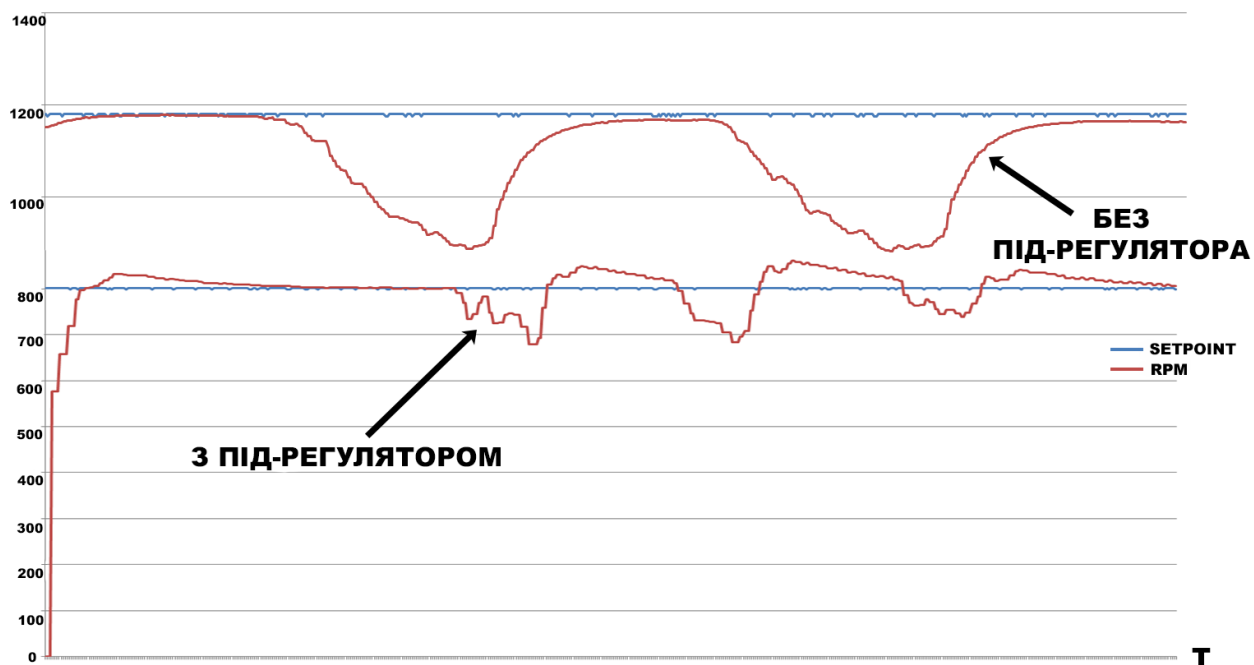


Рисунок 2.25 – Порівняння системи з ПІД-регулятором та без нього при максимальному значенні ШІМ

При використанні ПД-регулятора система стала менш інерційною і дуже добре працює при виникненні зовнішніх факторів. Якщо раніше при зовнішньому впливі значення могло змінитися аж до 300 об/хв., то при роботі ПД-регулятора падіння значень в максимумі дорівнюють 100 об/хв. та дуже швидко повертається до уставки. Глибина стабілізації має достатній рівень. З мінусів можна виділити викид значень, але він дуже швидко затухає, тому його вплив не дуже великий. Періоди загасання у максимумі дорівнюють пів секунди, що достатньо для впевненої роботи.

В системі без ПД-регулятора ми не обмежували кількість обертів і тому максимальне значення буде близько 1200 об/хв. У роботі ПД-регулятора ми обмежили кількість обертів значенням 800 об/хв. У реальних умовах робототехніки кількість обертів буде ще менше, що підвищить ефективність використання ПД-регулятора.

2.7 Автотюнер ПД-коефіцієнтів

Також можна зауважити, що є методи автоматичної підстройки ПД-коефіцієнтів. Розглянемо один такий. Такі тюнери дозволяють знайти більш-менш прийнятні коефіцієнти, при яких система буде працювати. Ці коефіцієнти не є ідеальними і їх все одно доведеться покрутити вручну.

Розглянемо один такий метод, він працює за наступним алгоритмом(рис.2.26):

- тюнер подає керуючий сигнал і чекає стабілізації значення з датчика;
- тюнер змінює сигнал на деяку величину (сходінку);
- чекає заданий час, потім змінює сигнал на ту ж сходінку, але в іншу сторону;
- починається розгойдування системи: при проходженні значення з датчика через значення стабілізації сигнал знову перемикається;
- проводиться аналіз періоду розкачки і її амплітуди, на підставі цих даних обчислюються рекомендовані коефіцієнти(рис2.27).

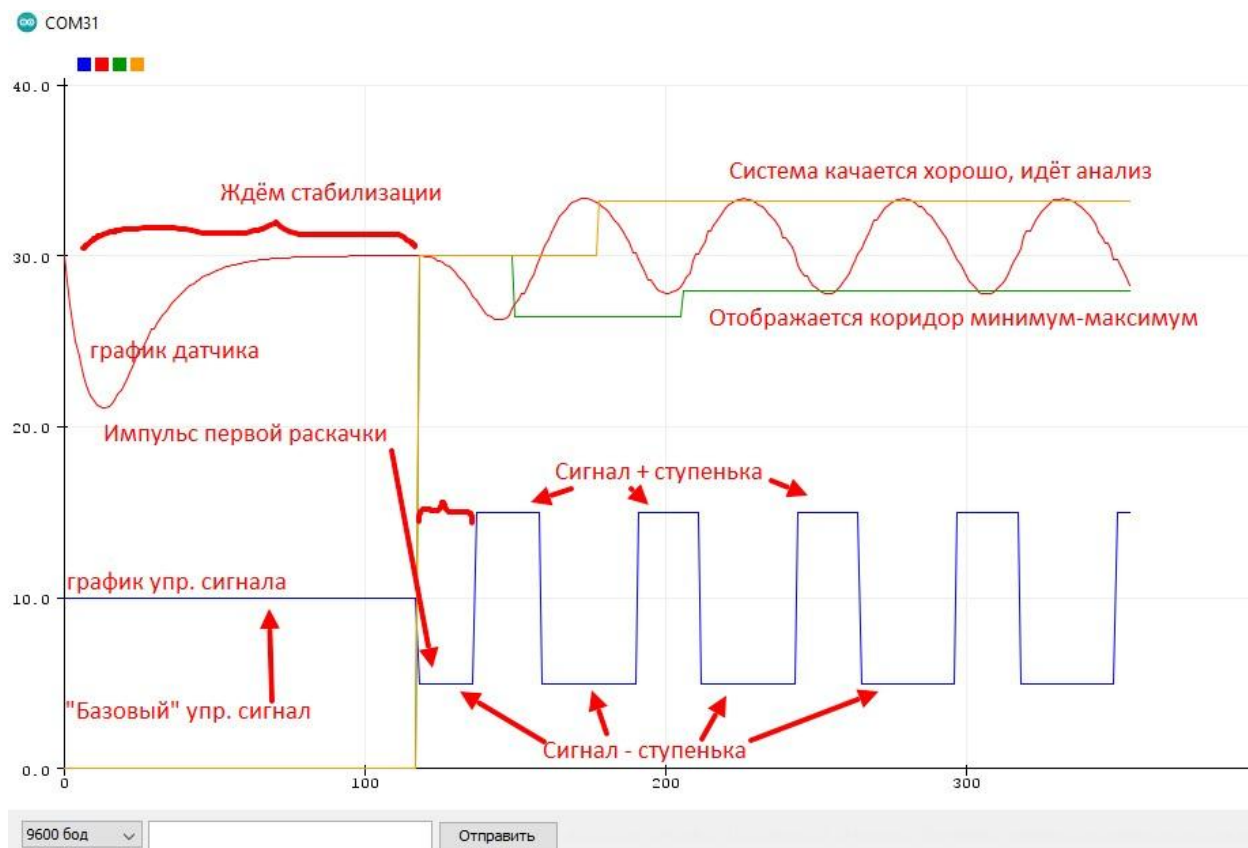


Рисунок 2.26 – Пример автоподстройки ПИД-коэффициентов

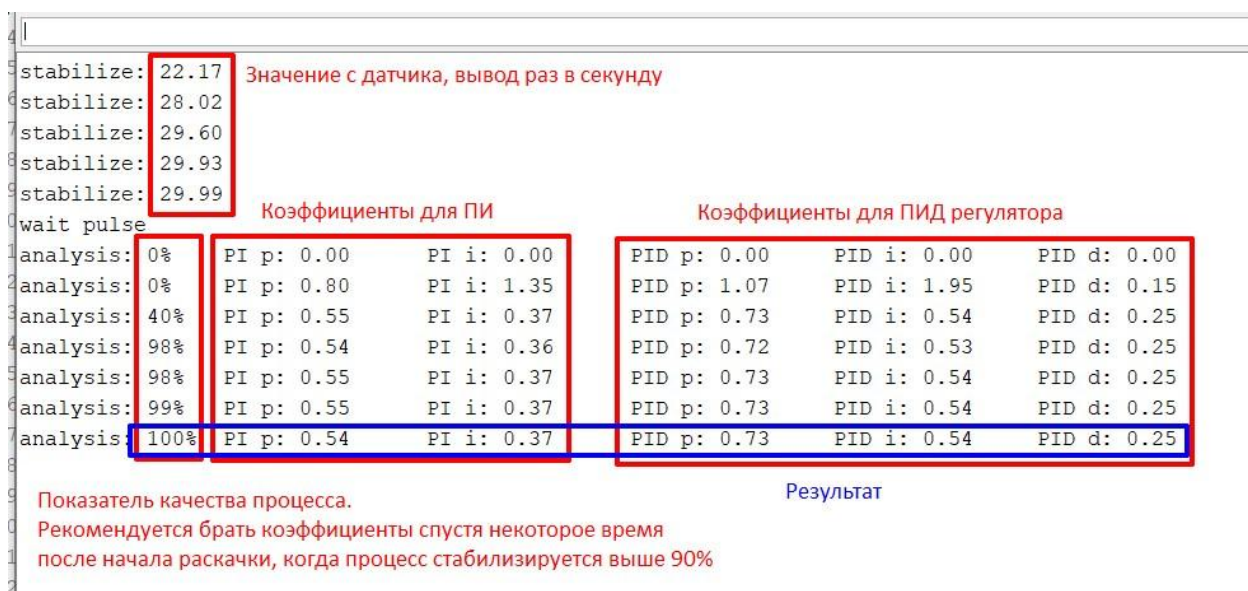


Рисунок 2.27 – Результат автоподстройки ПИД-коэффициентов

Повний текст програми ви можете знайти у Додатку Г.

Розглянемо лише основну функцію настройки системи:

tuner.setParameters(напрямок, сигнал, сходинка, період, точність стабілізації, продовж. імпульсу, період ітерації);

а) напрямок:

– NORMAL: збільшення вихідного сигналу збільшує сигнал з датчика (наприклад обігрівач, мотор);

– REVERSE: збільшення вихідного сигналу зменшує сигнал з датчика (наприклад холодильник, гальмо).

б) сигнал – базовий сигнал на керуючий пристрій. Система буде чекати стабілізації за величиною цього сигналу, і від нього буде відкладатися сходинка;

в) сходинка – величина, на яку буде змінюватися сигнал в обидва боки від базового;

г) період – період опитування в очікуванні стабілізації;

д) точність стабілізації – швидкість зміни значення з датчика, нижче якої система буде вважатися стабільною;

е) продовж. імпульсу – час в мілісекундах на першу розкачку;

ж) період ітерації – dt системи в мс, бажано має збігатися з періодом ПД регулятора, тому у нашому випадку дорівнює 100 мс.

Процес автопідстройки нашого ПД-регулятора та результати можна побачити на рис.2.28-2.29.

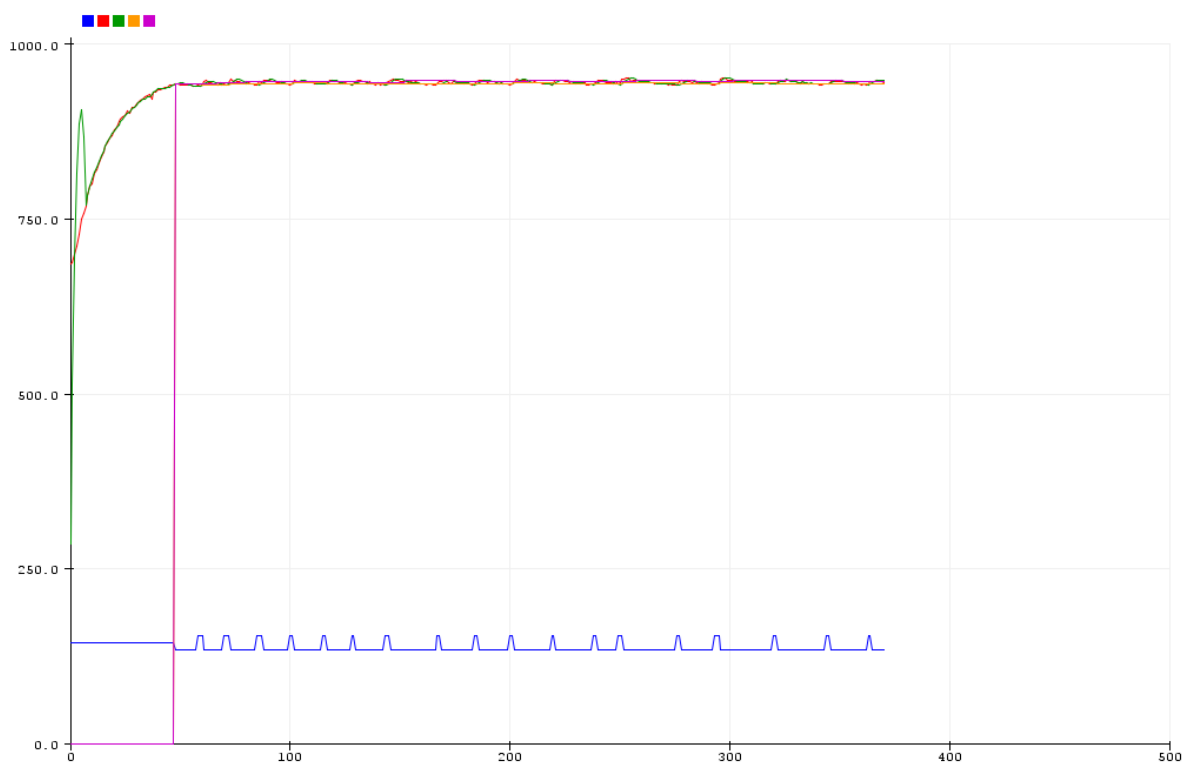


Рисунок 2.28 – Процес автопідстройки ПІД-коефіцієнтів

```

stabilize: 613.00
stabilize: 760.33
stabilize: 846.08
stabilize: 894.08
stabilize: 923.33
stabilize: 944.83
wait pulse
analysis: 0%   PI p: 0.00   PI i: 0.00   PID p: 0.00   PID i: 0.00   PID d: 0.00
analysis: 0%   PI p: 2.69   PI i: 10.76  PID p: 4.04   PID i: 26.91  PID d: 0.15
analysis: 18%  PI p: 2.64   PI i: 1.98   PID p: 3.96   PID i: 4.95   PID d: 0.79
analysis: 76%  PI p: 0.99   PI i: 0.57   PID p: 1.49   PID i: 1.42   PID d: 0.39
analysis: 66%  PI p: 2.15   PI i: 1.84   PID p: 3.22   PID i: 4.61   PID d: 0.56
analysis: 100% PI p: 1.61   PI i: 1.38   PID p: 2.42   PID i: 3.46   PID d: 0.42
analysis: 73%  PI p: 0.90   PI i: 0.57   PID p: 1.36   PID i: 1.43   PID d: 0.32
analysis: 68%  PI p: 1.93   PI i: 1.78   PID p: 2.89   PID i: 4.45   PID d: 0.47
analysis: 84%  PI p: 2.34   PI i: 2.55   PID p: 3.51   PID i: 6.38   PID d: 0.48
analysis: 64%  PI p: 1.29   PI i: 0.91   PID p: 1.93   PID i: 2.27   PID d: 0.41
analysis: 64%  PI p: 2.91   PI i: 3.17   PID p: 4.37   PID i: 7.94   PID d: 0.60
analysis: 84%  PI p: 2.00   PI i: 1.85   PID p: 3.00   PID i: 4.61   PID d: 0.49
analysis: 92%  PI p: 2.55   PI i: 2.55   PID p: 3.82   PID i: 6.37   PID d: 0.57
analysis: 85%  PI p: 1.29   PI i: 1.11   PID p: 1.94   PID i: 2.77   PID d: 0.34
analysis: 71%  PI p: 6.20   PI i: 7.44   PID p: 9.30   PID i: 18.60  PID d: 1.16
analysis: 83%  PI p: 1.83   PI i: 1.83   PID p: 2.74   PID i: 4.57   PID d: 0.41
analysis: 100% PI p: 1.98   PI i: 1.98   PID p: 2.97   PID i: 4.95   PID d: 0.45
analysis: 100% PI p: 1.83   PI i: 1.83   PID p: 2.74   PID i: 4.57   PID d: 0.41
analysis: 100% PI p: 2.15   PI i: 2.15   PID p: 3.22   PID i: 5.37   PID d: 0.48
analysis: 100% PI p: 2.43   PI i: 2.43   PID p: 3.65   PID i: 6.08   PID d: 0.55
analysis: 91%  PI p: 1.97   PI i: 2.15   PID p: 2.96   PID i: 5.38   PID d: 0.41
analysis: 90%  PI p: 4.97   PI i: 5.97   PID p: 7.46   PID i: 14.92  PID d: 0.93
analysis: 100% PI p: 4.41   PI i: 5.29   PID p: 6.62   PID i: 13.23  PID d: 0.83
analysis: 100% PI p: 3.06   PI i: 3.67   PID p: 4.58   PID i: 9.17   PID d: 0.57
analysis: 83%  PI p: 1.92   PI i: 1.92   PID p: 2.88   PID i: 4.80   PID d: 0.43
analysis: 100% PI p: 2.44   PI i: 2.44   PID p: 3.67   PID i: 6.11   PID d: 0.55
analysis: 100% PI p: 1.88   PI i: 1.88   PID p: 2.81   PID i: 4.69   PID d: 0.42

```

Рисунок 2.29 – Результат автопідстройки ПІД-коефіцієнтів

Серед отриманих результатів обираємо значення ПД-коефіцієнтів: $K_p = 3.22$, $K_d = 0.48$, $K_i = 5.37$. Результати моделювання спостерігаємо на рис.2.30-2.32.

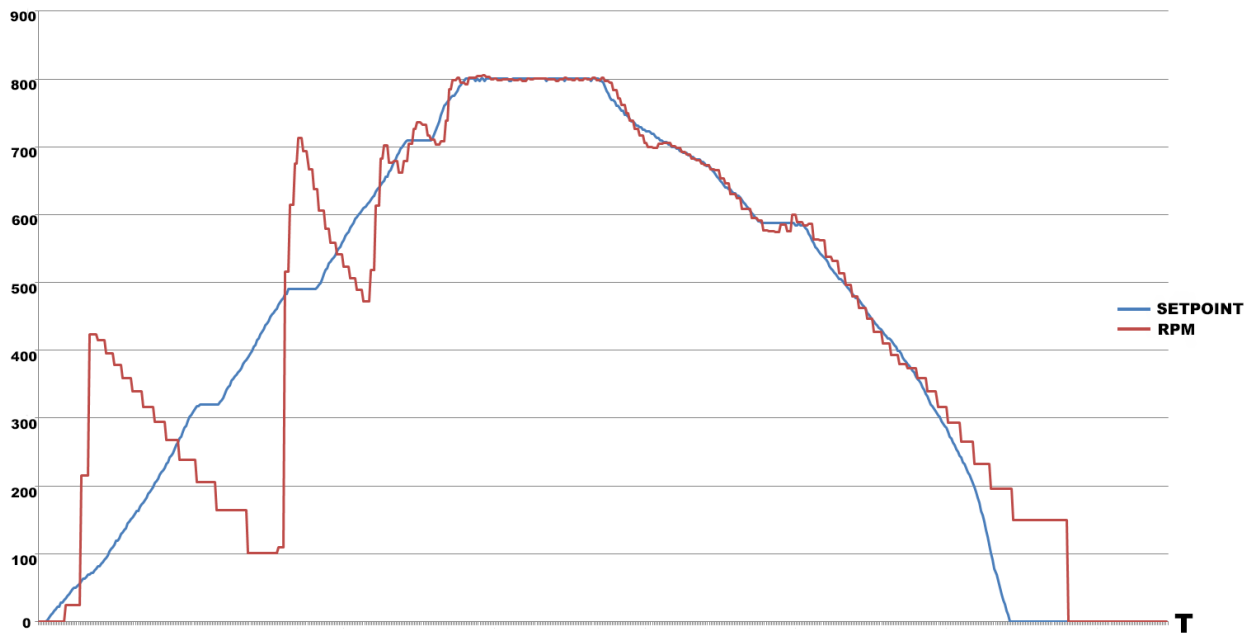


Рисунок 2.30 – Плавна зміна ШІМ при $K_p = 3.22$, $K_d = 0.48$, $K_i = 5.37$



Рисунок 2.31 – Середнє значення ШІМ при $K_p = 3.22$, $K_d = 0.48$, $K_i = 5.37$

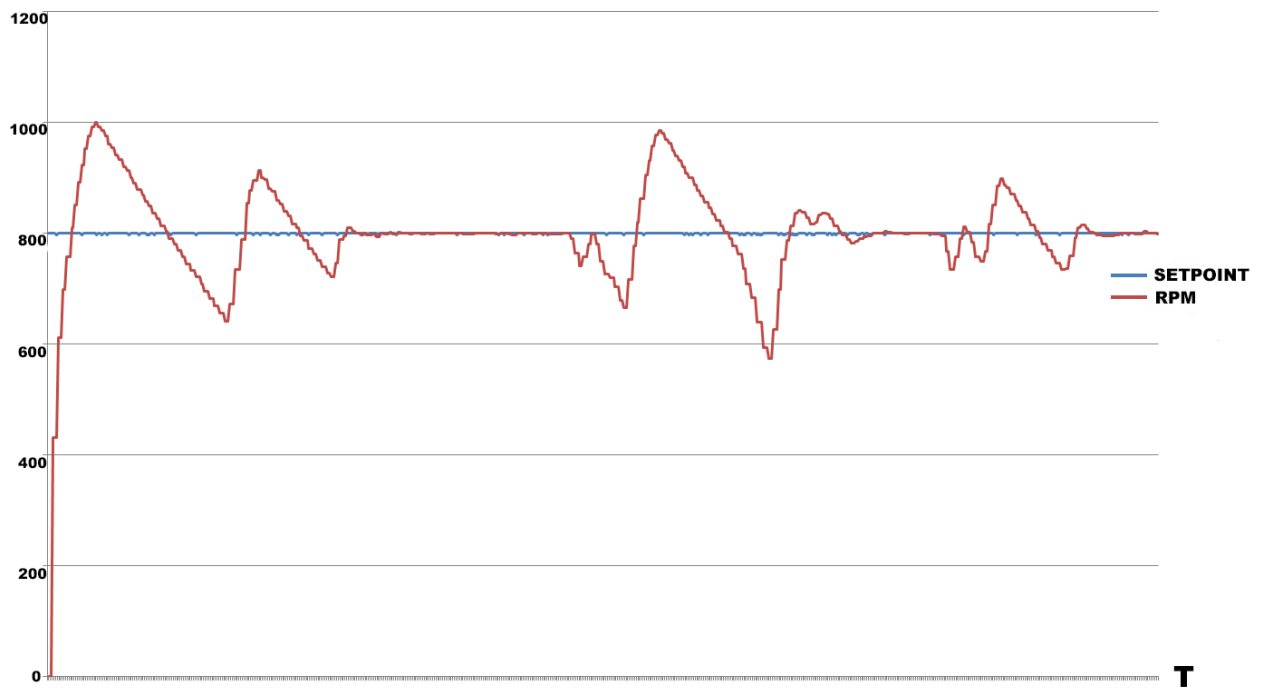


Рисунок 2.32 – Максимальне значення ШІМ при $K_p = 3.22$,
 $K_d = 0.48$, $K_i = 5.37$

Для даних коефіцієнтів можна відмітити занадто великий викид та довго затухаючі коливання (близько двох з половиною секунд), також є невелика інерційність. Незважаючи на недоліки ПІД-регулятор з такими коефіцієнтами можна використовувати, але краще буде більш точно налаштувати експериментальним методом, а саме зменшити значення пропорційної і інтегральної складової.

3 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Планування науково-дослідницької роботи

В роботі брали участь інженер-дослідник і консультант. Тривалий час розробки три місяці. Інженер-дослідник працював три місяці, консультант пів місяця. Заробітна плата інженера-дослідника 12 000 грн. в місяць, консультанта 10 000 грн. в місяць.

Планування розробки і калькуляція кошторисної вартості роботи по проведенню дослідження приведено нижче.

Тривалість роботи визначають за формулою 3.1:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R}, \quad (3.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, днів;

Q – трудомісткість, чоловіко-днів;

R – кількість виконавців, чол.

Отримана інформація занесена в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Тривалість дослідницьких робіт та її результати

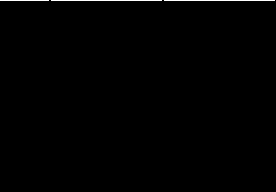
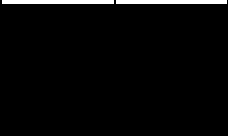
Назва роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	Чол. - дні	% підсумку		
1	2	3	4	5
Аналіз предметної області	10	12	Інженер-дослідник, консультант	5

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Підбір необхідної літератури	5	6	Інженер-дослідник	5
Підготовка установки для роботи	15	18	Інженер-дослідник	15
Підготовка необхідних матеріалів та запуск установки	25	29	Інженер-дослідник	25
Обробка отриманих результатів	20	23	Інженер-дослідник	20
Висновки по виконаній роботі	10	12	Інженер-дослідник, консультант	5
Разом	85	100		75

За даними таблиці 3.1 складається підсумковий стрічковий графік. Даний графік приведений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Зведений стрічковий графік планування науково-дослідницької роботи

Назва роботи	15.09 – 25.09	25.09 – 05.10	05.10 – 15.10	15.10 – 25.10	25.10 – 04.11	04.11 – 14.11	14.11 – 24.11	24.11 – 04.12
Аналіз предметної області								
Підбір необхідної літератури								
Підготовка установки до роботи								
Підготовка необхідних матеріалів та запуск установки								
Обробка отриманих результатів								
Висновки по виконаній роботі								



Консультант



Інженер-дослідник

3.2 Визначення витрат на проведення експерименту

Для визначення витрат на проведення експерименту складається калькуляція кошторисної вартості роботи, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на єдиний соціальний внесок (ЕСВ);

- затрати на спеціальне обладнання;
- матеріали;
- накладні витрати.

3.3 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників. В місяць випадає від 21 до 23 трудових днів, якщо на будні дні не припадають свята. Розрахунок заробітної плати (ЗП) ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в таблиці 3.3.

$$ЗП_{\text{осн}} = \text{ОКЛ} \cdot \frac{T}{23} \quad (3.2)$$

Таблиця 3.3 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кількість, чол.	Місячний оклад, грн..	Кількість днів роботи	Сума ЗП, грн..
Інженер-дослідник	1	12 000	75	39 130
Консультант	1	10 000	10	4 347
Разом	2	22 000		43 477

3.4 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати і розраховуємо за формулою (3.3):

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0.1 \quad (3.3)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в формулу (3.3), отримаємо:

$$ЗП_{\text{доп}} = 33\,333 \cdot 0.1 = 4\,348 \text{ грн}$$

3.5 Відрахування на ЄСВ

Відрахування на соціальне страхування становлять 22% і беруться від основної та додаткової заробітної плати, і визначається за формулою 3.4.

$$\text{ВІД} = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot 0.22 \quad (3.4)$$

Підставивши величину основної заробітної плати та додаткової заробітної плати в формулу (3.4), отримаємо:

$$\text{ВІД} = (43\,477 + 4\,348) \cdot 0.22 = 10\,521.5 \text{ грн}$$

3.6 Визначення витрат на матеріали

У цю статтю включають вартість основних і допоміжних матеріалів, полуфабрикатів, що купуються і комплектуючих виробів. Транспортно-заготовчі витрати приймають рівними 3-10% від вартості матеріалів.

Вихідні дані і розрахунок вартості матеріалів занесемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Витрати на матеріали

Матеріали	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Arduino Uno	1	114	114
Драйвер двигунів L298N	1	49	49
Двигун постійного струму	1	140	140
Датчик Холла	1	22	22
Потенціометр	1	8	8
Блок живлення 12 В	1	80	80
Кабель USB Type B	1	57	57
Разом			470
Транспортно-підготовчі роботи 5%			23,5
Разом матеріальних затрат			493,5

3.7 Розрахунок витрат на електроенергію

Для розрахунку витрат на електроенергію використовуємо формулу:

$$E = \frac{P_y \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_b \cdot C_e}{\text{ККД}}, \quad (3.5)$$

де P_y – встановлена потужність енергетичних струмоприймачів обладнання, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, год;

K_b – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу(0,8);

C_e – ціна 1квт год електроенергії (2,68 грн. з ПДВ);

$$E = \frac{0.6 \cdot 250 \cdot 0.8 \cdot 2.68}{0.8} + \frac{0.1 \cdot 50 \cdot 0.8 \cdot 2.68}{0.8} = 415.4 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат електроенергії приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Найменування обладнання	Вид енерго-ресурсів	Установлена потужність P _y , кВт	Тривалість використання Φ _{еф} , год	Тариф за кВт·год, грн	Вартість енерго-ресурсів, грн
Комп'ютер	Е/енергія	0.6	250	2.68	402
Принтер	Е/енергія	0.1	50		13.4
Разом					415.4

3.8 Розрахунок витрат на спец обладнання

До спеціального обладнання належить таке обладнання, яке використовується тільки для проведення окремої дослідницької роботи. Вартість спеціального обладнання для проведення НДР визначають на підставі їх кількості, цін по прейскурантах. Результати розрахунку занесені в таблицю 3.6. Результати розрахунку амортизаційних відрахувань наведень в таблицю 3.7.

Таблиця 3.6 – Розрахунок вартості спец обладнання

Обладнання	Кількість на тему	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Комп'ютер	1	10 000	10 000
Принтер	1	2 500	2 500
Разом			12 500
Транспортно-підготовчі роботи 5%			625
Разом затрат на обладнання			13 125

Амортизаційні відрахування визначають за формулою 3.6:

$$A = \Phi_6 \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (3.6)$$

де Φ_6 – балансова вартість установки, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення установки, %.

Таблиця 3.7 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Норма амортизації, %	Зайнятість обладнання, год	Ефективний річний фонд часу , грн	Сума, грн
Комп'ютер	10 000	50	250	1860	5 000
Принтер	2 500	50	60		1 250
Разом					6 250

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 3.7

$$ЗП_{\text{обс}} = \Phi ЗП_{\Gamma} * (1 + K_{\text{ВІД}}) * \frac{t_{\text{обсл}}}{\Phi_{\text{ефек.обс}}} \quad (3.7)$$

де $\Phi ЗП_r$ – річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{від}$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальне страхування та в інші фонди;

$T_{обсл}$ – час протягом року , необхідний на технічне обслуговування ЄВМ, г/рік;

$\Phi_{ефобсл}$ – ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, г/рік.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 5000 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 60 000 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговування ПК робітника дорівнює 1860 год/рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині у місяць, що в рік становить 12 годин.

Отримаємо:

$$ЗП_{обсл} = 60\,000 \cdot (1 + 0.22) \cdot \frac{12}{1860} = 472.3 \text{ грн}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання становить 375 грн. Сума всіх попередніх статей(амортизація, електроенергія, обслуговування, ремонт) дорівнює 7512.7 грн., 5% від суми, становить 94.03 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування внесені в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Найменування статей витрат	Сума, грн
Амортизація обладнання	6 250
Експлуатація обладнання	415.4
Заробітна плата основних та додаткових обслуговуючих робітників з відрахуванням на соціальні заходи	472.3
Поточний ремонт обладнання	375
Інші витрати	375.6
Разом	7 888.3

3.9 Розрахунок загальних виробничих витрат

До накладних витрат відносять затрати на загальне керування і загальногосподарські потреби, утримання та експлуатацію будівель. В даному випадку загально виробничі витрати складають 50% від основної заробітної плати, що складає 21 738.5 грн.

Результати визначення витрат на виконання чисельних розрахунків у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт наведені в таблиці.

Таблиця 3.9 – Калькуляція кошторисної вартості роботи

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Основна заробітна плата	43 477	49.15
Додаткова заробітна плата	4 348	4.92
ЄСВ	10 521.5	11.89
Матеріальні витрати	493.5	0.56
Витрати на спеціальне обладнання	7 888.3	8.92
Накладні витрати	21 738.5	24.57
Разом	88 466.8	100
ПДВ (20%)	22 116.7	
Разом з ПДВ	110 583.5	

3.10 Розрахунок економічної ефективності НДР

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливість дослідження;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.п.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі 3.8:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}} \quad (3.8)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

$J = 2$ – важливість роботи. Таке значення обрали, тому що результати роботи являються базовим матеріалом для моделювання і рекомендуються для подальшого розвитку радіоелектроніки;

$R = 1.5$ – результативність роботи. Обрали таке значення, тому що всі поставлені дослідницькі задачі виконано;

$T = 3$ – технічна складність виконання НДР.

$B_{\text{НДР}} = 110.583$ тис грн – витрати на проведення НДР;

$t_{\text{НДР}} = 75$ днів – час проведення НДР;

$N = 2$ – показник використання результатів НДР.

Вибранні параметри наведенні в таблиці 3.10

Таблиця 3.10 – Параметри оцінки ефективності роботи

Оціночні фактори	J	R	T	N
Припустимі значення	2...5	1..4	1..3	1..8
Прийняті значення	2	1.5	3	2

При значенні $K_{НДР} \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною. Отже, розрахуємо $K_{НДР}$:

$$K_{НДР} = (2^3 \cdot 2 \cdot 3) / (110.583 \cdot 0,21) = 2,07$$

Після розрахунку за формулою (3.8) отримаємо рівень ефективності дослідження $K_{НДР} = 2,07$. Це більше 1, тому робимо висновок, що дана дослідницька робота є ефективною.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Оскільки тема магістерської роботи «ПД-регулятор для двигунів постійного струму» передбачає роботу у приміщенні, яке являє собою невелику лабораторію, оснащену комп'ютерами і різного роду електричним обладнанням та вимірювальною технікою, то необхідно розглянути заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці та пожежної безпеки приміщень з персональними комп'ютерами.

До комплексу загальних несприятливих факторів, обумовлених характером виробничого процесу та умовами праці можна віднести:

а) ураження електричним струмом – може виникнути в разі пошкодження ізоляції та порушень правил техніки безпеки, наслідком чого може буде отримання електричного удару;

б) негативний вплив ЕМП на людини – обумовлений тим, що робота користувача персонального комп'ютера проходить навпроти наелектризованого монітора та у приміщенні з різноманітною електронною технікою, такий вплив викликає захворювання загального характеру та зниження імунітету людини;

в) фізичні перевантаження – обумовлені не ергономічністю робочого місця (робота користувача вимагає тривалого статичного напруження м'язів шиї, спини, рук, ніг), монотонністю роботи, що призводить до втоми і кістково-м'язових порушень;

г) нервовопсихічні перевантаження – викликані порушеннями, пов'язаними зі стресовими ситуаціями та нервово-емоційними перевантаженнями, що призводить до захворювань загальноневротичного характеру у вигляді головного болю, відчуття важкості в голові, поганого сну, підвищеної втоми;

д) механічні травми – виникають через нераціональну організованість робочого місця, захаращеність приміщення;

е) недостатня освітленість робочого місця – обумовлена нераціональним освітленням, світлотехнічної специфікою робочих місць з ПК, виходом з ладу освітлювальних пристроїв та недотриманням режиму праці, що може призвести до порушення зору;

ж) незадовільні параметри мікроклімату робочого місця – визвані нераціональними температурою та вологістю повітря, недостатньою чи надмірною швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового опромінення, все це може викликати захворювання загального характеру;

з) можливість виникнення пожежу – виникає внаслідок порушення правил пожежної безпеки та коротких замикань, що можуть бути обумовлені дуже щільною упаковкою електронних схем у сучасних ПК, що веде, в свою чергу, до їх перегріву, який може призвести до оплавлення ізоляції та її оголення;

і) неправильні дії персоналу в умовах надзвичайної ситуації.

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для забезпечення електробезпечності устаткування, вибір технічних засобів захисту здійснюється відповідно до вимог, за ГОСТ 12.1.019-79 («Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»)

Електроустаткування відповідно до умов, у яких воно експлуатується, відповідає вимогам ПУЕ та ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ («Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»). Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до «Правил технічної експлуатації електроустановок» (ПТЕ) і «Правилами технічної безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» (ПТБ) з доповненнями й змінами.

Відповідно до ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила побудови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» захисному заземленню або зануленню підлягають металеві частини електроустановок, доступні для дотику людини та не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку.

Захисне заземлення або занулення електроустановок слід виконувати:

- при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму та 440 В і вище постійного струму – у всіх випадках;

- при номінальній напрузі від 42 В до 380 В змінного струму та від 110 В до 440 В постійного струму при роботах в умовах з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних умовах.

Корпуса електричних машин, трансформаторів, світильників, апаратів і інші металеві неструмоведучі частини можуть опинитися під напругою при замиканні їх струмоведучих частин на корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту із землею, дотик до нього також небезпечно, як і дотик до фази.

Захисне заземлення призначене для перетворення замикання на корпус у замикання на землю з метою зниження напруги дотику та напруги кроку до безпечних величин (вирівнювання потенціалів).

При виконанні контурного заземлення, при необхідності також прокладають горизонтальні металеві стрічки(заземлювач у вигляді сітки), котрі додатково вирівнюють потенціали всередині контуру. Всередині приміщень вирівнювання потенціалів відбувається також за рахунок наявності металевих конструкцій, трубопроводів, кабелів та інших струмопровідних предметів, які розташовані в поверхневому шарі ґрунту і зв'язані з мережею заземлення.

В середині будівель прокладають внутрішню магістраль заземлення вздовж стін, до якої під'єднують паралельно заземлюванні провідники від корпусів електрообладнання, котре підлягає заземленню. Послідовне включення обладнання, що заземлюється не допускається.

Заземлення електроустановок виконане відповідно до вимог ПУЕ – 2009 і становить не вище 4 Ом.

Для розрахунку захисного заземлення ми маємо набір вхідних даних:

$U = 380 \text{ В}$; $R_u = 4 \text{ Ом}$; $L = 13 \text{ м}$; $B = 4 \text{ м}$; $R_u = 4 \text{ Ом}$; $l_b = 5 \text{ м}$; $d = 0,01 \text{ м}$; $b_c = 0,042 \text{ м}$; $\rho_{\text{вим}} = 108 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних електродів. Для електродів довжиною 5 м коефіцієнт сезонності $\Psi_B = 1,3$.

$$\rho_B = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi_B = 108 \cdot 1,3 = 140,4 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.1)$$

Знайдемо відстань від поверхні ґрунту до середини довжини вертикального стрижня (рис.4.1):

$$t_B = 0,8 + \frac{1}{2} l_B = 0,8 + \frac{5}{2} = 3,3 \text{ м} \quad (4.2)$$

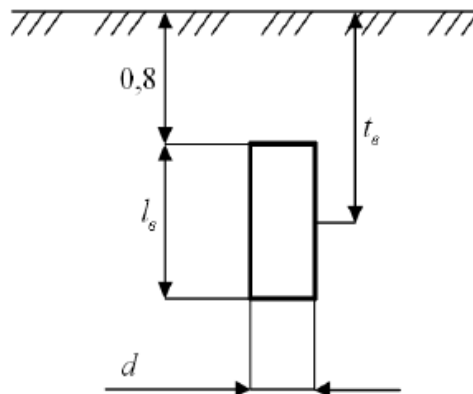


Рисунок 4.1 – Схема залягання стрижневого трубчастого заземлювача

Обчислимо опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача R_B :

$$R_B = \frac{\rho_B}{2 \cdot \pi \cdot l_B} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_B}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t_B + l_B}{5 \cdot t_B - l_B} \right) = 13,8 \text{ Ом} \quad (4.3)$$

Далі розрахуємо наближену(мінімальну) кількість вертикальних стрижнів:

$$n' = \frac{R_B}{R_u} = \frac{13,8}{4} = 3,46 \approx 4 \quad (4.4)$$

Якщо виходити з розмірів контуру та коефіцієнту кратності для заглиблених стаціонарних заземлювачів $k = 1$:

$$n = \frac{2 \cdot (L+B)}{k \cdot l_B} = \frac{2(13+4)}{5} = 6,8 \cong 8 \quad (4.5)$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги при конфігурації групового заземлювача-контур:

$$l_r = 1,05 \cdot k \cdot l_B \cdot n = 1,05 \cdot 5 \cdot 8 = 42 \text{ м} \quad (4.6)$$

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних електродів. Для електродів довжиною 50 м коефіцієнт сезонності $\Psi_r = 3.0$.

$$\rho_r = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi_r = 108 \cdot 3,0 = 324 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.7)$$

Знайдемо відстань від поверхні ґрунту до середини ширини вертикального стрижня(рис 4.2):

$$t_r = 0,8 + \frac{1}{2} b_c = 0,8 + \frac{0,042}{2} = 0,821 \text{ м} \quad (4.8)$$

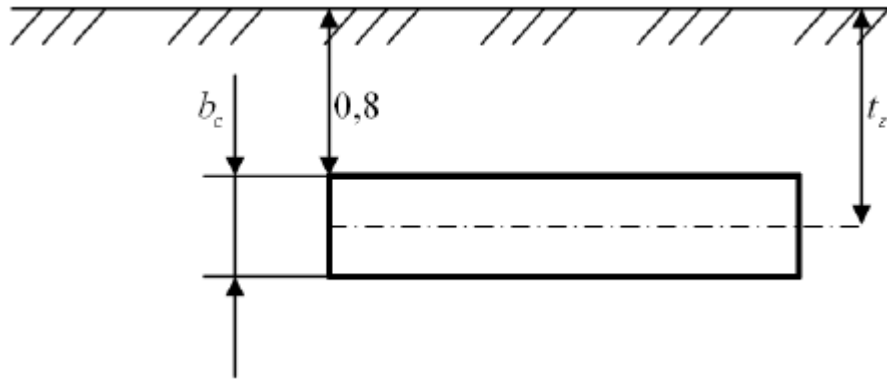


Рисунок 4.2 – Схема горизонтального смугового заземлювача

Обчислимо опір розтікання струму горизонтальної з'єднуючої смуги R_{Γ} :

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\Gamma}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_{\Gamma}^2}{b_c \cdot t_{\Gamma}} = 14,2 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

Розрахуємо еквівалентний опір розтікання струму групового заземлювача при $\eta_{\Gamma} = 0,37$ та $\eta_{\text{В}} = 0,59$ для 8 вертикальних електродів:

$$R_{\text{Гр}} = \frac{R_{\text{В}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{В}} \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{В}} \cdot n} = 2,48 \text{ Ом} \quad (4.10)$$

Отриманий опір розтікання струму групового заземлювача не перевищує необхідний опір.

У схемі електричних кіл обладнання передбачений пристрій централізованого відключення від живильної мережі всіх електричних кіл, згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

Для попередження виникнення електробезпеки усі працівники мають досконалі знання з техніки безпеки при роботі з електрообладнанням та

пройти інструктаж по електробезпеці з атестацією на групу допуску (друга група).

В лабораторії джерелом електромагнітного випромінювання є монітор комп'ютера. Рівні електромагнітних випромінювань моніторів, що вважаються безпечними для здоров'я, регламентуються нормами MPR II 1990:10 та ДСанПіН 3.3.2.007 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», які встановлюють вимоги до обладнання, організації робочих місць, режимів праці та відпочинку. Відповідно стандартам MPR II напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см по електричній складовій складає не більше:

- у діапазоні частот 5 Гц-2 кГц; 25 В/м;
- у діапазоні частот 2-400 кГц; 2,5 В/м.

Щільність магнітного потоку складає не більше:

- у діапазоні частот 5 Гц-2 кГц; 250 нТл;
- у діапазоні частот 2-400 кГц; 25 нТл.

Виходячи з вище сказаного, вибираємо монітор, який відповідає зазначеним нормативним документам – DELL P2317H.

Характер праці приводить до обмеженої рухової активності, що супроводжується малими м'язовими зусиллями (гіподинамією). При деяких видах праці (введення і редагування інформації) мається значне, але одноманітне і спрощене навантаження на невеликі групи м'язів рук (гіпокінезія). Для усунення шкідливого впливу гіподинамії і гіпокінезії вводяться паузи для виконання комплексу вправ, спрямованих на збільшення витрат енергії на м'язову роботу і на усунення змін, викликаних локальним характером м'язових дій.

Для основних видів робіт, виконуваних за відеотерміналом, вводяться офіційно передбачені перерви (5 хвилин на годину).

Спеціальні вправи для очей, що сприяють посиленню кровообігу, збалансуванню тонуусу очних м'язів, профілактиці стомлення, виконуються

на початку регламентованих перерв, протягом 2-3 хвилин, сидячи на робочому місці.

У випадку виникнення надмірної зорової напруги, що супроводжується погіршенням самопочуття, незважаючи на гарну ергономічну організацію роботи і дотримання режимних моментів, необхідний індивідуальний підхід в обмеженні часу роботи, корекція тривалості перерв для відпочинку чи зміна діяльності інший, не зв'язаної з використання ЕОМ.

Нервова перенапруга обумовлена напругою уваги. Часта й тривала перенапруга може служити джерелом ряду захворювань серцево-судинної, нервової, зорової й іншої систем організму.

Розумова перенапруга. Розумова діяльність – це діяльність, насамперед, центральної нервової системи, її вищого відділу кори головного мозку. При розумовій роботі відбувається звуження судин кінцівок і розширення судин внутрішніх органів.

Низький рівень загального обміну при розумовій діяльності не є показником малої інтенсивності обмінних процесів, навпаки, споживання кисню збільшується в 15-20 разів у порівнянні з фізичною роботою. Можливі значні зміни кров'яного тиску, пульсу, підвищення цукру в крові. Тривала розумова робота може привести до серцево-судинних захворювань.

Для запобігання розумової та нервової перенапруги під час роботи рекомендована зміна уваги, зміна роду діяльності, перерви (10-15 хв. 2-3 рази за робочу зміну) .

Механічні травми виникають внаслідок нерациональної організації робочих місць, розташування офісного обладнання та недотримання робітниками правил техніки безпеки на робочому місці.

Для запобігання механічних травм забезпечуємо виконання робітниками правил техніки безпеки на робочому місці. Потрібно слідкувати за тим, щоб проходи не були захащені, а робочі місця були організовані раціонально.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

У лабораторії застосовується змішане освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але й у світлий час доби.

Приміщення з ПК, його розміри (площа, об'єм) повинні в першу чергу відповідати кількості людей, що знаходяться в ньому. В ньому передбачені відповідні параметри температури, освітлення, чистоти повітря та ін.

Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007 «Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» встановлено санітарно – гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища приміщень з КТ. Площа приміщення на одне робоче місце користувача повинна становити 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 .

Системи опалення та системи кондиціонування слід встановити так, щоб ні теплий, ні холодне повітря не направлявся на людей. На виробництві рекомендується створювати динамічний клімат з певними перепадами показників. Температура повітря в поверхні підлоги і на рівні голови не повинна відрізнятись більш ніж на 5 градусів. У виробничих приміщеннях крім природної вентиляції передбачають приточно-витяжну вентиляцію. Основним параметром, що визначає характеристики вентиляційної системи, є кратність обміну, тобто скільки разів за годину зміниться повітря в приміщенні.

У виробничих приміщеннях на робочих місцях з КТ забезпечуються оптимальні значення параметрів мікроклімату: температура $+22...+23^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 40...60%, швидкість руху повітря 0,1...0,2 м/с (ГОСТ 12.1.005 – 88, СН 4088 – 8С, ДСН 3.3.6.042 – 99), рівень позитивних і негативних іонів у повітрі 1,5...3 тис./см³ та 3...5 тис./см³. Підтримується оптимальний рівень легких позитивних і негативних аерофонів у повітрі на робочих місцях за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів. У

приміщеннях з КТ забезпечений трикратний обмін повітря за годину. Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху і чистоти повітря) у приміщенні встановлено побутовий кондиціонер.

Раціональне колірне оформлення приміщення спрямоване на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення його продуктивності і безпеки.

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання з урахуванням його кількості і конструктивних особливостей (розмір ВДТ і ПЕОМ, клавіатури, пюпітра та ін.), Характеру виконуваної роботи. При цьому допускається використання робочих столів різних конструкцій, що відповідають сучасним вимогам ергономіки. Конструкція робочого стільця (крісла) повинна забезпечувати підтримку раціональної робочої пози під час роботи на ВДТ і ПЕОМ, дозволяти змінювати позу з метою зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової області і спини для попередження розвитку втоми.

Робочий стілець (крісло) повинен бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також відстані спинки від переднього краю сидіння, при цьому регулювання кожного параметра повинна бути незалежною, легко здійснюваною плюс надійну фіксацію.

Екран відеомонітора повинен знаходитися від очей користувача на оптимальній відстані 600-700 мм, але не ближче 500 мм з урахуванням розмірів алфавітно-цифрових знаків і символів.

Конструкція ВДТ повинна забезпечувати можливість фронтального спостереження екрана шляхом повороту корпусу в горизонтальній площині навколо вертикальної осі в межах $\pm 30^\circ$ і у вертикальній площині навколо горизонтальної осі в межах $\pm 30^\circ$ з фіксацією в заданому положенні. Дизайн ВДТ повинен передбачати фарбування корпусу в спокійні м'які тони з

дифузним розсіюванням світла. Корпус ВДТ і ПЕОМ, клавіатура та інші блоки і пристрої ПЕОМ повинні мати матову поверхню одного кольору з коефіцієнтом відображення 0,4 ... 0,6 і не мати блискучих деталей, здатних створювати відблиски. На лицьовій стороні корпусу ВДТ не рекомендується розташовувати органи управління, маркування, будь-які допоміжні написи і позначення. При необхідності розташування органів управління на лицьовій панелі вони повинні закриватися кришкою або бути втоплені в корпусі.

Рівень очей при вертикально розташованому екрані ВДТ повинен припадати на центр або $2/3$ висоти екрана. Лінія погляду повинна бути перпендикулярна центру екрана і оптимальне її відхилення від перпендикуляра, що проходить через центр екрану у вертикальній площині, не повинно перевищувати ± 5 градусів, допустимий ± 10 градусів.

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я професійних користувачів, протягом робочої зміни повинні встановлюватися регламентовані перерви. У час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії і гіпокінезії, запобігання розвитку позіотонічної втоми доцільно виконувати комплекси вправ.

Для робіт, які виконуються з великим навантаженням, рекомендований 10-15 хвилинну перерву після кожної години роботи, а при інтенсивній і монотонній роботі 10-15 хвилин через кожні 2 години. Кількість мікропауз (тривалістю до 1 хвилини) регулюється індивідуально.

Проведення фізичних вправ з дозованим навантаженням протягом робочого дня рекомендується індивідуально, залежно від відчуття втоми. Гімнастика спрямована на корекцію вимушеної пози, поліпшення венозного кровообігу, часткове заповнення дефіциту рухової активності. М'язові зусилля комплексу вправ – помірні, темп середній. Після закінчення гімнастики необхідний пасивний відпочинок, тривалістю в 2-3 хвилини перед роботою.

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ не повинна перевищувати 4 години.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і ДСН 3.3. 6-037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Під час виконання робіт з ПК у виробничих приміщеннях значення характеристик вібрації на робочих місцях не повинні перевищувати допустимі згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і ДСН 3.3.6-039- 99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна профілактика – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її поширення, а так само на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Відповідно до СНиП 2.09.02 «Нормы проектирования. Производственные здания промышленных предприятий» для ОЦ, в якому встановлено ЕОМ встановлена категорія пожежної, вибухової та вибухо – пожежної небезпеки Д.

Однією з найбільш важливих задач пожежної профілактики є захист будівельних конструкцій від руйнування і забезпечення їхньої достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. У залежності від меж вогнестійкості будівельних конструкцій СНиП 2.01.02

«Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» для ОЦ і частин будинків іншого призначення, у яких передбачене розміщення ЕОМ.

Для евакуації людей у разі виникнення пожежі СНиП 2.09.02-85 допускає організацію одного евакуаційного виходу з приміщення, розташованого на будь-якому поверсі (крім підвальних та цокольного), якщо цей вихід веде до двох евакуаційних виходів з поверху, відстань від найбільш віддаленого робочого місця до виходу з приміщення не перевищує 25 м і чисельність працюючих в найбільш численній зміні не перевищує 25 чол.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу з приміщення безпосередньо назовні або в сходову клітку для будівель категорії Д не регламентується.

Згідно ГОСТ 12.1.004-91, пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі, протипожежного захисту та організаційно-технічними заходами.

Системи пожежної безпеки повинні характеризуватися рівнем забезпечення пожежної безпеки людей та матеріальних цінностей, а також виконувати одну з наступних завдань: виключати виникнення пожежі; забезпечувати пожежну безпеку людей і / або матеріальних цінностей.

Об'єкти повинні мати системи пожежної безпеки, спрямовані на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі, в тому числі їх вторинних проявів на необхідному рівні.

Обладнання лабораторії ОЦ відповідає вимогам Правил пожежної безпеки в Україні, оскільки виконано відповідно до ПУЕ та ГОСТ 12.1.009-2017 «Электробезопасность. Термины и определения».

Для виявлення загоряння і пожеж у приміщенні встановлена система автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними сповіщувачами у двох місцях, оскільки площа приміщення становить приблизно 180 м².

У будинку ОЦ пожежні крани запроектовані в коридорах, на площадках сходових кліток, біля входів (у нішах на висоті 1,35 м.).

Електрична проводка в будівлі повинна бути ізольована, так як це знижує ризик виникнення замикання і виникнення в результаті цього вогню. Кабель, провід повинен бути прокладений по негорючому основі. Для того, щоб знизити ризик короткого замикання встановлюють прилади УЗО, автоматичні, плавкі запобіжники. Газові й електричні плити повинні бути ізольовані від дерев'яних меблів. Розетки на зовнішніх стінах будівлі і в санвузлах повинні бути ізольовані від попадання вологи.

Так як в ПК використовується електроніка, то виниклу пожежу не можна гасити водою, так як це може призвести до короткого замикання і виникнення нових вогнищ пожежі. Для гасіння електроустановок використовують вуглекислий газ, піну або порошкові склади. Первинним засобом пожежогасіння вуглекислим газом є ручні вогнегасники типа ВВ-2, ВВ-5. Для гасіння вогню необхідно застосовувати вогнегасники цих типів.

4.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Для захисту життя та здоров'я в НС слід застосовувати наступні основні заходи цивільної оборони:

- укриття людей в пристосованих під потреби захисту населення приміщеннях виробничих, громадських і житлових будівель, а також у спеціальних захисних спорудах;
- евакуацію населення із зон НС;
- використання засобів індивідуального захисту органів дихання та шкірних покривів;
- проведення заходів медичного захисту;
- проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт у зонах НС.

Укриття населення в пристосованих приміщеннях і в спеціальних захисних спорудах слід проводити за місцем постійного тимчасового

перебування людей безпосередньо під час дії вражаючих чинників джерел НС, а також при загрозі їх виникнення.

Евакуація населення із зон НС. Евакуацію слід проводити у разі загрози виникнення або появи реальної небезпеки, формування в цих зонах під впливом руйнівних і шкідливих сил природи техногенних факторів та застосування сучасної зброї, критичних умов для безпечного перебування людей, а також при неможливості задовольнити стосовно жителів постраждалих територій мінімально необхідні вимоги і нормативи життєзабезпечення.

Евакуацію слід здійснювати шляхом організованого виведення та вивезення населення в довколишні безпечні місця, заздалегідь підготовлені за планами економічного і соціального розвитку відповідних регіонів, міст і населених пунктів та обладнані відповідно до вимог і нормативів тимчасового розміщення, забезпечення життя і побуту людей.

Використання засобів індивідуального захисту органів дихання та шкірних покривів. Засоби індивідуального захисту органів дихання і шкіри (ЗІЗ) в системі захисних заходів у зонах НС повинні запобігати наднормативному впливу на людей небезпечних і шкідливих аерозолів, газів і парів, що попали в навколишнє середовище при руйнуванні обладнання і комунікацій відповідних об'єктів, а також знижувати небажані ефекти дії на людину світлового, теплового та іонізуючого випромінювання.

В якості засобів індивідуального захисту органів дихання слід використовувати загальновійськові, цивільні і промислові протигази, що випускаються промисловістю, респіратори, простіші та підручні засоби.

В якості засобів індивідуального захисту шкіри слід використовувати загальновійськові захисні комплекти, різні захисні костюми промислового виробництва і простіші засоби захисту шкіри.

ЗІЗ, що випускаються промисловістю повинні бути направлені переважно для забезпечення особового складу формувань, що готуються для

проведення рятувальних та інших невідкладних робіт в осередках ураження. Інше населення повинно використовувати простіші та підручні засоби.

Проведення заходів медичного захисту. Заходи медичного захисту населення при НС слід проводити з метою запобігання або зниження тяжкості уражень, шкоди для життя і здоров'я людей під впливом небезпечних і шкідливих факторів стихійного лиха, аварій і катастроф, а також для забезпечення епідемічного благополуччя в районах НС та у місцях дислокації евакуйованих. Дані цілі повинні досягатися застосуванням профілактичних медичних препаратів, антидотів, протекторів, стимуляторів резистентності, своєчасним наданням кваліфікованої медичної допомоги ураженим і їх спеціалізованим стаціонарним лікуванням до визначеного результату, імунопрофілактикою серед категорій осіб підвищеного ризику інфікування та проведенням інших протиепідемічних заходів.

Заходи медичного захисту в природних і техногенних НС слід планувати і здійснювати з використанням наявних сил і засобів міністерств і відомств, які безпосередньо вирішують завдання захисту життя і здоров'я людей, а також спеціалізованих функціональних підсистем: екстреної медичної допомоги, санітарно-епідеміологічного нагляду, захисту та життєзабезпечення населення в НС, екологічної безпеки та інших, з їх нарощуванням шляхом створення і розгортання необхідної кількості медичних формувань і установ.

Першу медичну допомогу потерпілим до їх евакуації в лікувальні установи надають безпосередньо в осередках ураження в ході рятувальних та інших невідкладних робіт. Надання цієї допомоги слід здійснювати за участю заздалегідь сформованих для такої мети з самого населення санітарних постів і санітарних дружин, до складу яких слід включати осіб, спеціально навчених загальним прийомам надання само- і взаємодопомоги і здатних організувати практичне виконання населенням цих прийомів в екстремальних умовах.

В рамках підготовки до виконання заходів медичного захисту населення в НС необхідно заздалегідь створювати також спеціальні медичні

формування і установи; вести підготовку медичного персоналу; накопичувати медичні засоби захисту, медичного та спеціального майна і техніки для оснащення медичних формувань і установ; проводити профілактичні заходи і щеплення населення, готувати до розгортання додаткову коечну мережу, розробляти режими поведінки і дії населення в НС.

Проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт у зонах НС. Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи в зонах НС слід проводити з метою термінового надання допомоги населенню, яке піддалося безпосереднього або опосередкованого впливу руйнівних і шкідливих сил природи, техногенних аварій та катастроф, а також для обмеження масштабів, локалізації або ліквідації виниклих при цьому НС.

Комплексом аварійно-рятувальних робіт необхідно забезпечити пошук і видалення людей за межі зон дії небезпечних і шкідливих для їх життя та здоров'я факторів, надання невідкладної медичної допомоги постраждалим і їх евакуацію в лікувальні установи, створення для врятованих необхідних умов фізіологічно нормального існування людського організму.

Невідкладні роботи повинні забезпечити блокування, локалізацію або нейтралізацію джерел небезпеки, зниження інтенсивності, обмеження розповсюдження та усунення дій полів вражаючих факторів в зоні лиха, аварії або катастрофи до рівнів, що дозволяють ефективно застосувати інші заходи захисту.

Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи слід планувати і здійснювати з використанням сил і засобів міністерств і відомств, державних міжгалузевих консорціумів, корпорацій, концернів і асоціацій, а також територіальних, функціональних і відомчих підсистем за належністю підконтрольних їм територій та об'єктів, які мають необхідними фахівцями (охорони здоров'я, охорони правопорядку, матеріально-технічного постачання, соціального забезпечення та ін.) і технічними засобами, які придатні для використання в осередках ураження в цілях перевезень людей, у

тому числі з травмами і пошкодженнями, виробництва демонтажних, монтажних, дорожніх, вантажно-розвантажувальних і земляних робіт; проведення дегазації, дезактивації, дезінфекції та інших спеціальних робіт.

У зонах ураження необхідно організувати життєзабезпечення населення і особового складу формувань, які залучаються до участі у рятувальних та інших невідкладних роботах.

Завчасна підготовка і введення в дію планів захисту населення в НС, зумовлених природними стихійними лихами, техногенними аваріями, катастрофами, а також застосуванням сучасної зброї, повинні передбачати проведення узгоджених за часом, цілям і засобам робіт з планування і здійснення комплексу організаційних, інженерно-технічних і спеціальних заходів цивільної оборони, а також формування необхідних для цього сил і засобів.

Планування, організація виконання і безпосереднє керівництво проведенням заходів щодо захисту населення в НС перебувають у компетенції органів виконавчої влади на місцях, постійно діючих територіальних, функціональних і відомчих ланок, спеціалізованих органів управління, сил і формувань ТЕ, диспетчерських (чергових) служб підприємств та інших об'єктів.

4.6 Висновки з розділу “Охорона праці”

Для попередження ураження електричним струмом дотримується:

- а) ізоляція струмоведучих частин ГОСТ 12.2.007.0 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»;
- б) захисне відключення ГОСТ 12.2.007.0 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»;
- в) захисне заземлення, виконане згідно ПУЭ–2009 і становить 4 Ом;

г) досконале знання робітниками техніки безпеки при роботі з електрообладнанням та проходження інструктажу по електробезпеці з атестацією на групу допуску.

Для попередження негативного впливу ЕМП та ЕМВ використовується монітор DELL P2317H з рівнем ЕМВ безпечним для здоров'я людини відповідно нормам МРК II 1990:10 Шведського національного комітету по вимірах і випробовуваннях, ДНАОП 0.00-1.31 та ДСанПіН 3.3.2.007.

Для запобігання появи фізичних перевантажень та нервових перевантажень вводяться паузи для виконання комплексу вправ, у конструкцію устаткування робочого місця входять сидіння, що враховує індивідуальні антропометричні характеристики людини відповідно до вимог ДСТ 12.2.032 „Робоче місце при виконанні робіт сидячи”.

Для попередження появи механічних травм усе офісне обладнання розташоване доцільно, робочі місця організовані раціонально. Здійснюється контроль за зашарашеністю коридорів та за виконанням робітниками техніки безпеки на робочому місці.

Для створення необхідної освітленості у приміщенні застосовується змішане освітлення, відповідно до норм СНиП II-4 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» для приміщення площею 180 м² та висотою 3 м, встановлюємо 24 люмінесцентних ламп типу ЛБ40 та світильника ЛСП02–2х40-04-06.

Тип світильника ЛСП02-2х40-04-06, Для створення сприятливих умов мікроклімату у приміщенні забезпечуються оптимальні значення таких параметрів, як:

- а) температура +22...+24°C;
- б) відносна вологість повітря 40...60%;
- в) швидкість руху повітря 0,1...0,2 м/с (ГОСТ 12.1.005, СН 4088-8Є, ДСН 3.3.6.042);
- г) рівень позитивних і негативних іонів у повітрі 1,5...3 тис./см³ та 3...5 тис./см³.

Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху і чистоти повітря) у приміщенні встановлений побутовий кондиціонер SAMSUNG типу AZ12FADEA.

Для попередження загорянь лабораторія обладнана відповідно до СНиП 2.09.02 «Производственные здания» та СНиП 2.01.02 «противопожарные нормы». Для виявлення загорання і пожеж у приміщенні встановлена система автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними оповіщувачами у двох місцях, оскільки площа приміщення становить 180 м². У будинку лабораторії розташовані пожежні крани. В приміщенні лабораторії встановлено ручні вуглекислотних вогнегасника.

Для захисту радіоелектронної апаратури від електромагнітного імпульсу використовуються металеві екрани, струмопровідні сітки, чи плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітря забірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, розташовувані по периметру дверей і люків. Також для захисту від електромагнітного імпульсу використовуються розрядники, які встановлені на входах і виходах апаратури, у повітряні і підземні лінії зв'язку і електропостачання.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота була направлена на те, щоб показати доцільність використання в проектах зі зворотним зв'язком ПД-регулятора, а також простоту програмної реалізації для мікропроцесорів.

Виконано розробку та збірку стенду для роботи з управління швидкістю обертання двигуна постійного струму та підтримки сталих значень. Ухил був зроблений на простоту реалізації проекту та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Розроблено програмне забезпечення для мікроконтролеру Arduino Uno на мові програмування, яка заснована на C / C++ і скомпонована з бібліотекою AVR Libc.

Вибір саме ПД-регулятору для двигунів постійного струму заснований на тому що використання П-регулятору можливо тільки для мало інерційних систем, а недоліком ПД регулювання є повільна реакція на впливи, а зміна параметрів на двигуні мають велику швидкодію.

Проведено серію експериментів для знаходження оптимальних значень ПД-коефіцієнтів. Наочно пояснено(з використанням графіків) якими методами та алгоритмами можна отримати результат, а також показано вплив кожного з коефіцієнтів на перехідні характеристики. Алгоритми оптимізації дозволяють аналізувати стійкість роботи САУ з ПД-законом регулювання в залежності від варіювання динаміки об'єкта регулювання.

Розглянули метод автоматичного підбору коефіцієнтів та наскільки він ефективно працює. Зробили висновки, що з його допомогою можна отримати доцільні в деяких випадках коефіцієнти, але краще буде використовувати в парі з експериментальним методом.

В результаті експериментальних досліджень на основі перехідних характеристик отримали коефіцієнти ПД-регулятора для двигуна постійного струму, які задовольняють вимогам у сфері робототехніки.

Всі дії описані в магістерській роботі виконані для отримання:

- найбільшого виграшу від ПД - закону регулювання;
- скорочення трудовитрат на введення в дію САУ з ПД - регулятором;
- оцінки ефективності ПД - закону регулювання на стадії проектування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления [Текст] / В.Я. Ротач. – М.: ЗАО "Издательский дом МЭИ", 2008. – 396 с.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М., Наука, 1972. – 768 с.
3. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления [Текст] / А.А. Первозванский. – М., Наука, 1986. – 616 с.
4. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем [Текст] / Е.А. Никулин // Учеб. пособие для вузов — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 640 с.
5. Денисенко В. ПИД – регуляторы: принципы построения и модификации. Ч.1[Текст] / В. Денисенко //Современные технологии автоматизации. – 2006. – СТА, №4. – С. 66-74.
6. Давыдов Н.И. Определение параметров настройки ПИД – регулятора по переходной характеристике объекта управления [Текст] / Давыдов Н. И. // Теплоэнергетика. – 1995. – №10. – С. 17-22.
7. Astrom K.J. Advanced PID control [Текст] / K. J. Astrom – ISA (The instrumentation, Systems, and Automation Society) – 2005. – 461 p.
8. Омельченко В.О. Теорія електричного зв'язку [Текст] / В.О. Омельченко, В. Г. Санніков. – К.: ІСДО, 1994. – 302 с.
9. Керниган Б. Язык программирования Си [Текст] / Б. Керниган, Д. Ритчи. – Москва, 1992. – 272 с.
10. Skiena S.S. The Algorithm Design Manual. Second Edition [Текст] / S. S. Skiena. // – 2008. – 739 p.
11. Монк С. Програмуємо Arduino [Текст] / С. Монк // Професійна робота со скетчами. – Санкт-Петербург, 2017. – 272 с.
12. Коробко О.В. Методичні вказівки з дисципліни « Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» [Текст]/ О.В.Коробко, А.Є Островська – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014 – 22с.

The diagram shows an Arduino Uno R3 (U1) connected to three external components:

- Motor (U2):** A DC motor is connected to the Arduino's 5V and GND pins. The motor's ground is connected to the negative terminal of a 5V power source.
- Hall Effect Sensor (U3):** The sensor is connected to the Arduino's 5V and GND pins. The sensor's ground is connected to the negative terminal of a 5V power source.
- Relay (U4):** A relay module is connected to the Arduino's 5V and GND pins. The relay's ground is connected to the negative terminal of a 5V power source.

The Arduino's digital pins are connected to the relay module's control pins (IN1, IN2, IN3, IN4) and the Hall effect sensor's output pin (OUT1). The relay module's output pins (OUT1, OUT2, OUT3, OUT4) are connected to the motor's terminals.

TITLE:	PID controller		REV: 1.0
	Company:	NU_ZP	Sheet: 1/1
	Date:	2020-10-19	Drawn By: Нелюбимый В.О.

Додаток Б

Програма для керування обертами двигуна постійного струму з ПІД-регулятором

```
#define pot 0    // пин подключения потенциометра
int setpoint = 0; // заданная величина, которую должен поддерживать
регулятор
int input = 0;    // сигнал с датчика (количество оборотов в минуту)
int output = 0;   // выход с регулятора на управляющее устройство (ШИМ на
драйвер двигателя)
int pidMin = 0;   // минимальный выход с регулятора
int pidMax = 255; // максимальный выход с регулятора
// коэффициенты
float Kp = 2.5;
float Ki = 0.5;
float Kd = 0.1;
float _dt_s = 0.1; // время итерации в секундах
// вспомогательные переменные
int prevInput = 0;
float integral = 0.0;
unsigned long lastflash;
volatile int state = LOW;
// пины подключения к драйверу двигателя
const int in1 = 8;
const int in2 = 9;
const int ena = 10;
int val = 0;    // значение полученное с потенциометра
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600); //открыть порт
  Serial.setTimeout(50);
  Serial.flush(); //очистить память
  Serial.println("PWM,state,RPM"); //вывести названия для графиков
  attachInterrupt(0,sens,RISING); // подключить прерывание на 2 пин при
повышении сигнала
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(ena, OUTPUT); // пины на драйвер как выходы
}

void sens() {
  state = !state; // при каждом вызове функции менять значение
  input = 60/((float)(micros() - lastflash)/1000000); // расчет оборотов
  lastflash = micros(); // запомнить время последнего оборота
}

void motor (){
  digitalWrite(in1,HIGH);
  digitalWrite(in2,LOW);
  analogWrite(ena, output); // включать мотор на соответствующую величину
ШИМ
}

int computePID() {
  float error = setpoint - input; // ошибка регулирования
  float delta_input = prevInput - input; // изменение входного сигнала
  prevInput = input;
  output = 0;
}

```

```

    output += (float)error * Kp;           // пропорционально ошибке
регулирования
    output += (float)delta_input * Kd / _dt_s; // дифференциальная
составляющая
    integral += (float)error * Ki * _dt_s;    // расчёт интегральной составляющей
// тут можно ограничить интегральную составляющую!
    output += integral;                     // прибавляем интегральную
составляющую
    output = constrain(output, pidMin, pidMax); // ограничиваем выход
    return output;
}

```

```

void parsing(){
    if (Serial.available() > 0){
        char key = Serial.read();
        float value = Serial.parseFloat();
        switch(key){
            case 'p': Kp = value; break;
            case 'i': Ki = value; break;
            case 'd': Kd = value; break;
        }
    }
}

```

```

void loop() {
    parsing();
    val = map(analogRead(pot), 0, 1023, 0, 255); // данные с аналогового пина
переводим в значения для ШИМ
    setpoint = map(val, 0, 255, 0, 800); // вводим соответствие количества
оборотов в минуту к значению ШИМ
}

```

```
computePID();  
motor();  
  
if ((micros()-lastflash)>1000000){ //если сигнала нет больше секунды  
    input=0; //считаем что RPM 0  
}  
Serial.print(val); //вывод в порт значения ШИМ  
Serial.print("\t");  
// Serial.print(state);  
// Serial.print(" ");  
Serial.println(input); //вывод в порт количество оборотов двигателя  
delay(30); //задержка для стабильности  
}
```

Додаток В

Програма для керування обертами двигуна постійного струму без ПД-регулятора

```
#define pot 0
int val = 0;
unsigned long lastflash;
int RPM;
volatile int state = LOW;
const int in1 = 8;
const int in2 = 9;
const int ena = 10;

void setup() {
  Serial.begin(9600); //открыть порт
  Serial.flush();
  Serial.println("PWM,state,RPM");
  attachInterrupt(0,sens,RISING); //подключить прерывание на 2 пин при
повышении сигнала
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(ena, OUTPUT);
}

void sens() {
  state = !state;
  RPM=60/((float)(micros()-lastflash)/1000000); //расчет
  lastflash=micros(); //запомнить время последнего оборота
}
```

```
void motor (){
    digitalWrite(in1,HIGH);
    digitalWrite(in2,LOW);
    analogWrite(ena, val);
}

void loop() {
    val = map(analogRead(pot), 0, 1023, 0, 255);
    motor();

    if ((micros()-lastflash)>1000000){ //если сигнала нет больше секунды
        RPM=0; //считаем что RPM 0
    }
    Serial.print(val);
    Serial.print("\t");
    // Serial.print(state);
    // Serial.print(" ");
    Serial.println(RPM); //вывод в порт
    delay(30); //задержка для стабильности
}
```

Додаток Г

Програма тюнера ПД-коефіцієнтів

```
#include "PIDtuner.h"
PIDtuner tuner;
unsigned long lastflash;
volatile int state = LOW;
int input = 145;
const int in1 = 8;
const int in2 = 9;
const int ena = 10;

void setup() {
  Serial.begin(9600); //открыть порт
  Serial.setTimeout(50);
  Serial.flush(); //очистить память
  attachInterrupt(0,sens,RISING); // подключить прерывание на 2 пин при
повышении сигнала
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(ena, OUTPUT); // пины на драйвер как выходы
  digitalWrite(in1,LOW);
  digitalWrite(in1,HIGH);
  digitalWrite(ena,LOW);

  // направление, сигнал, ступенька, период стабилизации, точность
стабилизации, продолж. импульса, период итерации
  tuner.setParameters(NORMAL, 145, 10, 800, 15, 1000, 100);
}
```

```
void sens() {  
    state = !state; // при каждом вызове функции менять значение  
    input = 60/((float)(micros() - lastflash)/1000000); // расчет оборотов  
    lastflash = micros(); // запомнить время последнего оборота  
}  
  
void loop() {  
    tuner.setInput(input); // даём тюнеру текущие обороты  
    tuner.compute(); // считаем  
    analogWrite(ena, tuner.getOutput()); // отправляем как ШИМ  
  
    // выводит в порт текстовые отладочные данные, включая коэффициенты  
    //tuner.debugText();  
  
    // выводит в порт данные для построения графиков, без коэффициентов  
    tuner.debugPlot();  
}
```