

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

"До захисту допущено"

Завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)

" _____ " _____ 2021р.

Дипломний проєкт

на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Спеціальність 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

на тему: ПД регулятор тиску електронної гармати

Виконав (-ла): студент (-ка) І І І курсу, групи ДЕ-п81

_____ Юрій ЧЕВИЧЕЛОВ _____
(ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Керівник проф., д.т.н. Ігор МЕЛЬНИК _____
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент старший науковий співр., к.т.н. Михайло ВОРОН _____
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант
з нормоконтролю доц., к.т.н. Павло САФРОНОВ _____
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2021 року

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Примітка	
1					Завдання на дипломний проєкт	2		
2	A4	ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ			Пояснювальна записка	82		
3	A4	ДП.ДЕ-п81.003 ПЕЗ			Перелік елементів	2		
4	A4	ДП.ДЕ-п81.003 ОП			Специфікація	1		
5	A2	ДП.ДЕ-п81.003 ЕЗ			Схема електрична	1		
6	A2	ДП.ДЕ-п81.003 Е4			Схема друкованої плати	1		
7	A2	ДП.ДЕ-п81.003 СБ			Складальне креслення	1		
8	A2	ДП.ДЕ-п81.003 СП			Схема алгоритму	1		

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра електронних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Юлія ЯМНЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

" _____ " _____ 2021р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Юрій ЧЕВИЧЕЛОВ

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема проекту ПД регулятор тиску електронної гармати

Керівник проекту проф. проф. каф. ЕПС, д.т.н. Ігор МЕЛЬНИК,

(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРИЗВИЩЕ)

затверджені наказом по університету від «24» травня 2021 року № 1317-с

2. Термін подання студентом проекту «07» червня 2021 року

3. Вихідні дані до проекту: огляд принципу роботи електронної гармати, способів регулювання натікачем, елементна база пристрою, програмне забезпечення, прилад повинен формувати регулюючий ШІМ сигнал.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Розгляд існуючих типів регуляторів та аналіз технічного завдання; схемотехнічне проектування; проектування друкованої плати; проектування програмного забезпечення, список науково-технічної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична принципова, схема друкованої плати, складальне креслення, схема програми.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Ім'я ПРИЗВИЩЕ, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний	Сергій ТУГАЙ, доц., к.т.н.	12.04.21	12.05.21

7. Дата видачі завдання «20» травня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строки виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд літератури на тему дипломної роботи	17.03.21	Виконано
2	Огляд способів регулювання	20.03.21	Виконано
3	Схемотехнічне проектування	05.04.21	Виконано
4	Проектування друкованого вузлу	20.04.21	Виконано
5	Створення програмного забезпечення	30.04.21	Виконано
6	Складня висновків	15.05.21	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка до доповіді.	04.06.21	Виконано

Студент гр. ДЕ-п81

(підпис)

Юрій ЧЕВИЧЕЛОВ

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Ігор МЕЛЬНИК

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

В дипломному проєкті представлено огляд науково-технічної літератури, в якій описується різні способи регулювання, принципи схемотехнічного проектування та конструювання друкованої плати. Показано перспективи використання цифрових систем регулювання. Приведено результати програмного, схемотехнічного проектування та розрахунку параметрів і характеристик ППД регулятора тиску електронної гармати. Результати проектування повністю задовольняють технічне завдання. Розроблена друкована плата, збиральне креслення, структурна, електрична принципова схеми та схема програми для ППД регулятора, дозволять повністю відновити регулятор тиску електронної гармати, який забезпечує виконання наступних функцій:

1. Формування на виході регулятора ШІМ сигналу з частотою 488Гц та амплітудою 5В.
2. Забезпечення можливості контролю аварії та зміни коефіцієнтів регулювання за допомогою дисплею.
3. Зміна коефіцієнтів регулювання за допомогою кнопок що знаходяться на друкованій платі.
4. Можливість підключення до ПК за допомогою Micro USB.
5. Робота з широким діапазоном вхідної напруги, 5-12 В постійної, чи 220 змінної при підключенні через джерело живлення.
6. Функціонування приладу за різними законами регулювання, не тільки ППД.

A N N O T A T I O N

The diploma project presents a review of scientific and technical literature, which describes the various methods of regulation, the principles of circuit design and construction of printed circuit boards. Prospects for the use of digital control systems are shown. The results of software and circuit design development and calculation of parameters and characteristics of the electronic gun pressure regulator under the electronic gun are introduced. The design results fully satisfy the specifications. Developed a printed circuit board, class assembly, structure, electrical schematic diagram and program diagram for the PID pressure regulator of the electronic gun, which provides for the following functions:

1. Formation at the output of the PWM regulator signal with a frequency of 488 Hz and an amplitude of 5V.
2. Providing the ability to control the accident and change the control factors using the display.
3. Change the adjustment factors using the buttons on the PCB.
4. Ability to connect to a PC via Micro USB.
5. Work with a wide range of input voltages, 5-12 V DC or 220 change when connected via a power supply.
6. Operation of the device according to various laws of regulation, not only PID.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 РОЗГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТИПІВ РЕГУЛЯТОРІВ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	8
1.1 Загальний опис процесу регулювання	8
1.2 Пропорційний закон регулювання	10
1.3 Пропорційно–диференціальний закон регулювання	11
1.4 Інтегальний закон регулювання	11
1.5 ПІД закон регулювання	12
1.6 Аналіз існуючих ПІД–регуляторів	13
РОЗДІЛ 2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	19
2.1 Розробка структурної схеми блоку керування натікачем	19
2.2 Розробка принципової схеми та вибір компонентної бази	
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	30
3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	30
3.2 Вибір класу точності друкованої плати	33
3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати.....	34
3.4 Розміщення компонентів	35
3.5 Розрахунок провідників та посадових майданчиків для ДП	36

					ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Чевичелов Ю.О.		05.06.21	ПІД регулятор тиску електронної гармати	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірив		Мельник І.В.		05.06.21			3	65
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕЛ, гр. ДЕ-п81		
Н. Кантр.		Сафронов П.С.		05.06.21				
Затвердив		Мельник І.В.		05.06.21				
					Пояснювальна записка			

РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	53
4.1 Розробка блок–схеми програми керування	53
4.2 Створення програми	56
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

Додаток А. Лістинг програми

Додаток Б. Публікація у міжнародній студентській науковій конференції
«ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ ТА ВЕКТОРИ РОЗВИТКУ СВІТОВОЇ НАУКИ»

Додаток В. Перелік елементів

Додаток Г. Специфікація

Додаток Д. Summary

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						4
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

КП – контактна площадка

САПР – система автоматизованого проектування

УГП – умовне графічне позначення

ГРГ – газорозрядна гармата

ДП – друкована плата

ПІД – пропорційно–інтегрально–диференціальний

ШИМ – широтно–імпульсна модуляція

OLED – organic light–emitting diode

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В сучасних електронно-променевих технологічних установках широко застосовуються аналогові системи керування, які за своїми функціональними властивостями поступаються аналогічним цифровим системам керування. Цифрові системи надають широкі можливості організації дистанційного керування технологічним обладнанням, можливість видалення людини-оператора від зони прилеглої до технологічного обладнання, яке має ряд уражаючих факторів, таких як висока напруга, радіація, шум, токсичність оброблюваних матеріалів і т.д.

Для вирішення цього питання було обрано найскладніший, але водночас і самий могутній алгоритм функціонування регулятора, що включає в себе пропорційний, інтегральний і диференціальний закони регулювання.

Управління величиною тиску газу в розрядній камері електронної гармати за допомогою регуляторів, що працюють за ПД законом, дозволять нам підтримувати необхідне значення тиску з достатньо високою точністю незалежно від зміни параметрів самої гармати, наприклад викликаних забрудненням поверхні катоду.

Також з невеликим доопрацюванням та зміною програмної частини ПД-регулятор можна використовувати і при роботі з будь-якими системами точного контролю, наприклад, управління термосистемами або системами позиціонування.

Характерними особливостями ПД регулятора є:

1. Не існуюча можливість зміни знаку керуючого впливу ШІМ керуючий сигнал подається тільки на відкриття натікача.
2. Точність розрахованих та отриманих вимірів, що необхідні для виконання розрахунків коефіцієнтів з відповідною похибкою.
3. Наявність у системі керування процесів що описуються нелінійними диференціальними рівняннями.
4. Випадковість зміни тиску в вакуумній технологічній камері і випадкові

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

варіації параметрів регулятора і об'єкта.

5. Реалізація регулятора на дискретних властивостях.

Також у роботі будуть коротко розглянуті варіанти вирішення проблем, що виникають за наявності перерахованих особливостей.

Загалом реалізація повноцінного ПД–регулювання в мікропроцесорному пристрої буде базуватися на наступних підсистемах:

- підсистема вимірювання;
- підсистема обробки ПД–алгоритму;
- підсистема призначена для користувача інтерфейсу управління;
- підсистема видачі регулюючого впливу.

Розроблений ПД–регулятор повинен зацікавити компанії, які планують модернізувати або виготовляти обладнання на основі газорозрядних електронних гармат для плавки металів.

Завданням дипломного проекту є:

1. Пристрій повинен бути виконаний у вигляді друкованої плати розмірами 120 на 100 мм, яка має роз'єми для під'єднання датчиків та управління натікачем. Датчики, живлення, натікач та шунт, повинні легко з'єднуватись з друкованою платою.

2. Живлення плати 5-12В постійним струмом, чи через блок живлення 220В змінної напруги.

3. Формування керуючого ШІМ сигналу на натікач частотою 488Гц, амплітудою 5В.

4. Забезпечити можливість зміни ПД коефіцієнтів за допомогою кнопок, завдяки екрану.

5. Можливість Підключення виробу до ПК для моніторингу процесу регулювання та встановлення оновлень ПО.

6. Програма, повинна забезпечувати обрахунок ШІМ сигналу, підтримувати зв'язок контролера з дисплеєм, кнопками та іншими частинами схеми.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

1 РОЗГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТИПІВ РЕГУЛЯТОРІВ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Більшість регуляторів відрізняються між собою за законом регулювання і саме в цьому розділі буде проведено аналіз кожного з законів регулювання та обґрунтоване рішення, застосувати саме ПД закон.

ПД–регулятор тиску – це окремий пристрій який відповідає за подачу газу до газорозрядної камери гармати за допомогою ШІМ–сигналу, який поступає до натікача, зворотній зв'язок реалізований за допомогою блискавичної реакції системи керування на зміну споживання струму гармати, динаміку зміни струму ми отримуємо за допомогою підключення шунта. Регулятор повинен мати власне окреме джерело живлення не залежне від гармати, що підключається до роз'ємів плати регулятора за відсутності на підприємстві мережі постійної напруги 5–9В. У алгоритм роботи програми необхідно закласти можливість роботи контролера з датчиками наявності охолоджувальної рідини та зачиненої двері технологічної камери, за умови підключення їх до роз'ємів. Обрати мікросхему, яка виконує усі математичні підрахунки, повинна бути побудована на досить швидкому чіпі з достотною кількістю пам'яті для програми. Основною вимогою до прикладу регулювання натікачем є забезпечення можливості роботи з різними ГРГ при змінні налаштувань коефіцієнтів регулювання, забезпечення швидкого та точного курування плавкою металу не зважаючи на зміну характеристик гармати через забруднення катоду або інших.

1.1 Загальний опис процесу регулювання

В електронному джерелі [1] наведений наступний опис автоматичного регулятора: “Автоматичний регулятор є головним пристроєм системи автоматичного регулювання, що на основі значення установки та зворотного зв'язку формує керуючий сигнал. В більшості випадків класифікація

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

регуляторів здійснюватися за великою кількістю ознак. За способом дії розрізняють регулятори прямої і непрямой дії. До регуляторів прямої дії відносять такі регулятори, у яких зусилля, необхідне для переміщення регулюючого органу, виникає за рахунок зміни вихідного параметра без підведення додаткової енергії. Зрозуміло, що в цьому випадку датчик (чутливий елемент) є одночасно і виконавчим механізмом. На практиці широко застосування набули регулятори непрямой дії. Ці регулятори класифікуються за видом джерела енергії, що використовується для переміщення виконавчого механізму: електричні, гідравлічні, пневматичні і комбіновані”.

Крім того, автоматичні регулятори за способом подачі регулюючого сигналу та принципу регулювання бувають безперервної та імпульсної дії. За умови подачі імпульсного сигналу високої частоти система по плавності перехідних процесів в інертних об'єктах регулювання, наближатися до аналогової, тому не завжди при розробці цифрової схеми необхідне використання ЦАП. Тому імпульсний сигнал без проблем може забезпечити якісне регулювання і саме тому дуже популярний у використанні, для більшості об'єктів різних ступенів складності. Так як однією з вимог до приладу регулювання є збереження невеликої вартості, використання системи з ЦАП не є економічно оправданим.

Ще одним типом поділу є розділ регуляторів за величиною яка піддається регулюванню, а саме екстремальні і стабілізаційні. Регулятори екстремального типу не мають необхідних параметрів вихідного сигналу, вони власноруч проводять пошук екстремальних точок на характеристиці вхідного сигналу і намагаючись вже при наступних ітераціях відрегулювати параметри об'єкта керування для мінімізації появи екстремумів. Такий спосіб зазвичай застосовується у системах, для яких підтримання дуже точних значень встановленого параметру не так важливо, в випадку зміщення установочного значення в межах екстремумів, прилад все одно буде функціонувати відповідно до його технічного завдання. Стабілізаційні увімкнені в роботу постійно і

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

навіть при невеличких змінах значень об'єкту регулювання, проводять розрахунки для формування коригуючого сигналу до об'єкта регулювання. В даній дипломній роботі, через потребу підтримання точного значення енергії електронного пучка при плавці чи зварюванні металів використовується стабілізаційний метод.

Як вказано в електронному джерелі [2] існує наступний спосіб поділу регуляторів: “В залежності від зворотного зв'язку є регулятори із жорстким зворотним зв'язком та регулятори з комбінованим зворотним зв'язком. Основною ознакою за якою можна математично представити процес регулювання є залежність зміни величини від часу, зазвичай показується у вигляді графіка і називається кривою процесу регулювання. За законом регулювання, на якому базується робота регулятора їх поділяють на 3 основні категорії:

- пропорційні регулятори;
- пропорційно–інтегральні регулятори;
- пропорційно–інтегрально–диференційні регулятори”.

Використовувати жорсткий зворотній зв'язок в даній роботі не є доцільним рішенням, оскільки дія зворотного зв'язку при роботі з натікачем зав'язана не тільки на моментальній зміні величини вхідного сигналу від вихідного, а є змінною функцією часу. Тому для системи з великою кількістю перехідних процесів, буде доцільніше використовувати саме комбінований зворотній зв'язок.

В наступних підрозділах буде виконуватись огляд різних законів регулювання, на основі якого буде обґрунтований вибір ПІД регулятора.

1.2 Пропорційний закон регулювання

Принцип дії пропорційного регулятора полягає у зміні величини регулюючого сигналу на об'єкт керування пропорційно значенню відхилення регульованої величини від установленого значення:

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

$$\mu = k * \Delta$$

де μ – сигнал, направлений на виправлення помилки регулювання; k_p – коефіцієнт передачі регулятора, який є параметром його налагодження і дорівнює переміщенню керуючого органу; Δ – вхідний сигнал на регулятор, який дорівнює відхиленню регульованої величини від заданого значення.

В електронному джерелі [3] зазначено що: “Пропорційний регулятор за динамічними властивостями є підсилюючою ланкою. З чого випливає що вихідний сигнал без смуги пропорційності може відповідати значенню 0 або 100%. Регулятор що працює за цим законом формує імпульси які складаються тільки з пропорційної складової величини вихідного сигналу”.

Перехідна функція і перехідний процес наведені на рис. 1.1 та 1.2.

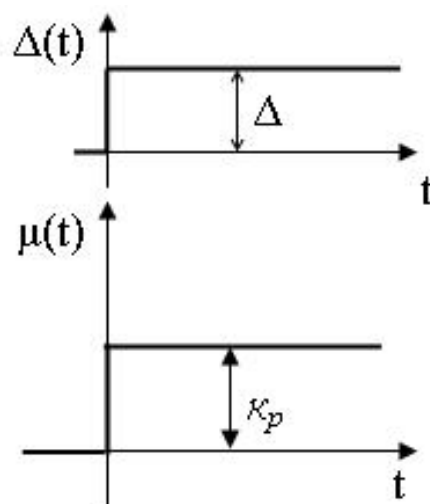


Рис. 1.1 Перехідна функція П-регулятора

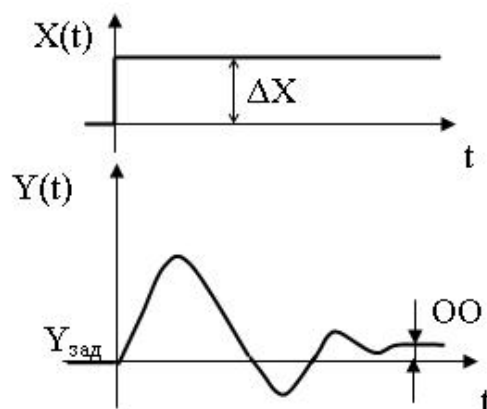


Рис. 1.2. Вид перехідного процесу в системі регулювання

Як видно з рис. 1.2 збільшення параметра настроювання, підвищує якість регулювання, швидкодію системи, але при цьому така система регулювання має і негативні сторони, збільшення коефіцієнту пульсацій системи і погіршення показника стабільності системи.

Завданням пропорціонального регулятора створення вихідного сигналу рівно такої величини, яка необхідна для компенсації помилки регулювання, в результаті роботи регулятора значення помилки повинно наближатись до нульового значення. Регулятор, що працює за пропорційним законом, виконує наступний порядок дій регулювання:

1. При першій ітерації відбувається прийом вхідного сигналу зворотного зв'язку, далі необхідно порівняти прийнятий вхідний сигнал з встановленим заданим значенням.

2. Отриману в результаті порівняння помилку регулювання необхідно помножити на коефіцієнт пропорційності, на основі добутку цих двох величин здійснюється формування вихідного сигналу для об'єкту регулювання.

3. У випадку відсутності прогресу стабілізації регулятор поступово почне збільшувати значення коефіцієнту пропорційності, з метою виправлення помилки регулювання.

4. Мета регулятора досягти нульового значення помилки, що буде означати повну відповідність вхідного сигналу вихідному, регулятор зупиняє свою роботу на його виході отримуємо нульове значення.

Ефективність роботи П регулятора оцінюється в електронному джерелі [3]: “Пропорційний метод регулювання ефективно показує себе у будь-яких системах з малою інерцією та великим значенням коефіцієнту передачі. Якщо в системі регулювання застосовується пропорційний метод можливий варіант, що в системі будуть спостерігатися коливальні процеси, в першу чергу, необхідно змінити значення П-коефіцієнта, щоб отримати якомога меншу помилку регулювання, та максимально зменшити коливальні процеси в системі”.

Основним недоліком пропорційного регулятора є не можливість його коректної роботи, через постійний вплив зміни проміжного сигналу у кожний момент часу. Ця проблема вирішується поєднанням пропорційного регулятора з інтегральним, який зменшує помилку регулювання завдяки інтегруванню вхідного сигналу продовж певного часу.

1.3 Пропорційно–диференціальний закон регулювання

Функція вихідного сигналу Y_i при роботі приладу в режимі ПД–регулятора, залежить не тільки від параметру відхилення E_i а й від швидкості його зміни:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left(E_i + T_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{zm}} \right)$$

де, X_p – полоса пропорційності, E_i – неузгодженість, T_d – постійна часу диференціювання, ΔE_i – різницю між двома сусідніми вимірами E_i и E_{i-1} , Δt_{zm} – час між двома сусідніми вимірами T_i та T_{i-1} , $\Delta E_i / \Delta t_{zm}$ – швидкість зміни неузгодженості.

Опис роботи пропорційного генератора наведений в електронному джерелі [2]: “На першій стадії регулятор після ступеневої зміни E_i випускає керуючий імпульс, в якому, крім пропорційної складової, викликаной неузгодженістю E_i , додається диференціальна ΔY_d вона залежить від t_d коефіцієнта і величини ΔE_i . У наступних імпульсах знаходиться тільки пропорційна складова, так як не відбувається зміна E_i . ПД–регулятор реагує не тільки на величину сигналу помилки, але й на швидкість її зміни. Завдяки цьому при використанні ПД–закону досягається попереджуючий ефект управління. Дія даного закону така ж, як і при введенні в систему ланки, що форсує. Диференційна дія визначається швидкістю зміни помилки управління. Отже, це – швидкий спосіб управління, що, в остаточному підсумку, зникає при

наявності постійних помилок. Такий спосіб іноді називається прогнозуючим способом, через його залежність від тенденції зміни помилки. Головним обмеженням способу, що диференціює, розглянутого в ізоляції від інших способів, є його тенденція формувати більші керуючі сигнали у відповідь на високочастотні сигнали помилки – помилки, викликані змінами уставки або шумом виміру тому його створення вимагає реалізованої передатної функції, звичайно до диференціювання додається полюс”.

Недоліком пропорційно-диференціального закону регулювання є присутність характерної нерівномірності.

1.4 інтегральний закон регулювання

В електронному джерелі [4] описується сутність інтегрального закону регулювання: “Інтегральний закон регулювання полягає в відповідності керуючого сигналу який формує регулятор, інтегралу від неузгодженості в часі.

$$U = K_2 \int \varepsilon dt .$$

Інтегральний закон регулювання реалізовується за допомогою астатичного регулятора з параметром налаштування K_2 . При збільшенні проміжку часу інтегрування, можна спостерігати повільне накопичення інтегральної складової. Інтегральний закон регулювання характеризується залежністю значеннями керуючого параметру у кожний момент часу пропорційному інтегралу від сигналу помилки. Саме тому інтегральний регулятор краще всього працює з тривалими відхиленнями керованої величини від заданого значення. Основною ознакою інтегрального закону є те, що керуючий вплив змінюється доти, поки значення помилки не стане нулю. Управління з використанням інтегрального закону може забезпечити велике значення астатизму у системі в якій відповідно існує статичний об'єкт, а при постійних впливах отримаємо нульову помилку”.

					ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліком інтегрального закону є обмеження основних параметрів системи таких як: швидкодія, рівень пульсацій. Регуляторам цього типу також присутня затримка реакції на зворотній зв'язок, тому коректна робота таких регуляторів прослідковується тільки у випадку поєднання інтегрального закону з іншим.

1.5. ПІД-закон регулювання

Робота ПІД регулятора пов'язана з використанням пружного зворотного зв'язку та зав'язана на поєднанні основних законів регулювання, а саме пропорційному інтегральному і диференціальному. ПІД регулятор, виконаний у вигляді технічного пристрою, називають ПІД контролером [5].

У попередньому розділі було встановлено що інтегральний регулятор не може передбачити значення помилки в майбутньому і для вирішення цієї проблеми до нього необхідно додати диференційний регулятор. Вихідна характеристика такого регулятора буде дорівнювати добутку швидкості зміни помилки за час та постійній похідній.

У випадку застосування ПІД регулятора вихідне значення ШІМ сигналу буде складатися з добутку трьох складових, пропорційної, інтегральної і диференціальної. Постійна складова часу диференціювання напряму впливає на реакцію ПІД регулятора на зворотній зв'язок.

Завдяки чому ПІД регулятор може застосовується для роботи з електронним пучком, оскільки процеси в електронній гарматі відносяться до інерційних. Також при роботі з ПІД регулятором необхідно слідкувати за рівнем перешкод, але для нашої системи ця задача стоїть не гостро, оскільки вимірювальні канали завадостійкі.

В сучасних реаліях такі регулятори часто використовуються при роботі з системами точного контролю, наприклад, управління системами контролю тиску. В ході роботи ПІД регулятор зчитує показники значення будь-якого

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

параметра об'єкта регулювання та впливає на управління цим об'єктом, в кінці кінців дія регулятора приведе до зменшення помилки регулювання, структурна схема зображена на рис. 1.3 якого була вилучена з Wikipedia [5].

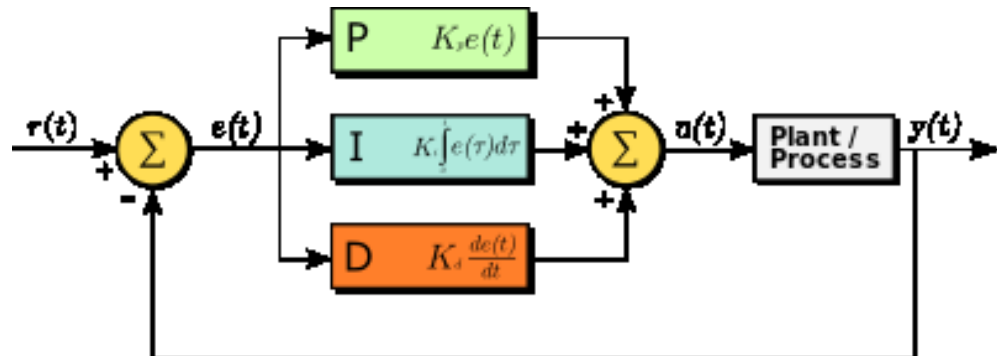


Рис. 1.3 Структура ПД регулятора

Рівняння ПД-закону має вигляд:

$$U = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt + K_3 \frac{d\varepsilon}{dt}.$$

Робота ПД-регулятора побудована на трьох коефіцієнтах K_1, K_2, K_3 . Значення величини коефіцієнтів визначають перехідний процес системи регулювання на рівні зміни параметрів об'єкта регулювання.

Як підсумок можна навести наступні переваги ПД закону регулювання:

- швидка постановка на робочий режим;
- забезпечення високоточного стабільного значення заданого параметру величини установки об'єкту регулювання;
- швидкий відгук системи на зворотній зв'язок.

1.6. Аналіз існуючих ПД-регуляторів

В даний час на ринку існує велика кількість ПД-контролерів тиску. Вони відрізняються між собою наступними параметрами:

1. Можливістю підключення різноманітних варіантів датчиків тиску.

2. Можливістю підключення додаткових видів датчиків (вологості, струму, витрати і інших).

3. Наявністю різних виходів управління.

4. Методом налаштування параметрів і управління роботою.

Контролери мають різні модифікації з певним набором параметрів, що дозволяє зупинитися на цікавому для вас варіанті і забезпечить вирішення конкретних завдань.

Також велику роль на якість та різноманітність елементної бази та програмного забезпечення відіграє ціна. Тому умовно їх можна поділити на 2 категорії.

Найдешевші ПД–регулятори які можуть використовуватися для регулювання тиску це регулятор STC–3000, він виконаний з дешевих та не якісних матеріалів, має дешевий чотирьох сегментний дисплей що відображає тільки базову інформацію, немає ніяких додаткових датчиків, та можливості налаштування коефіцієнтів ПД–регулятора.

ПД–регулятори, що коштують дуже дорого, можна розглянути на прикладі регулятора TRM212 з інтерфейсом RS–485. Тут ми маємо вже більш цікаву картину, регулятор має досить високий клас точності, довгий час напрацювання на відмову, два універсальні входи для підключення різноманітних датчиків, та автоматичне налаштування параметрів пропорційної, інтегральної та диференціальної складових, має два дисплеї що відображають всю необхідну інформацію.

Отож ми переконалися, що на сьогоднішній день немає регулятора, для якого можна вручну підбирати коефіцієнти регулювання, що дає можливість самого точного налаштування, який має додаткові роз'єми, що блокують роботу пристрою за наявності небезпечних для обслуговуючого персоналу умов роботи газорозрядної гармати, коштує мало грошей та являє собою величезний простір для майбутньої вдосконалення.

В результаті цього розділу можна зробити такі висновки:

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						17
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. Було проведено огляд різних способів регулювання. Проаналізовано переваги та сфери використання конкретних законів регулювання.
2. Наведена причина застосування саме ПД–регулятора, описана його структурна схема.
3. Визначено головні етапи розробки ПД–регулятора тиску.
4. Проведено порівняння різних ПД регуляторів на ринку.
6. Визначено необхідні параметри для забезпечення надійного ПД–регулювання.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1. Розробка структурної схеми блоку керування натікачем

Загальна структурна схема приладу зображена на рис. 2.1

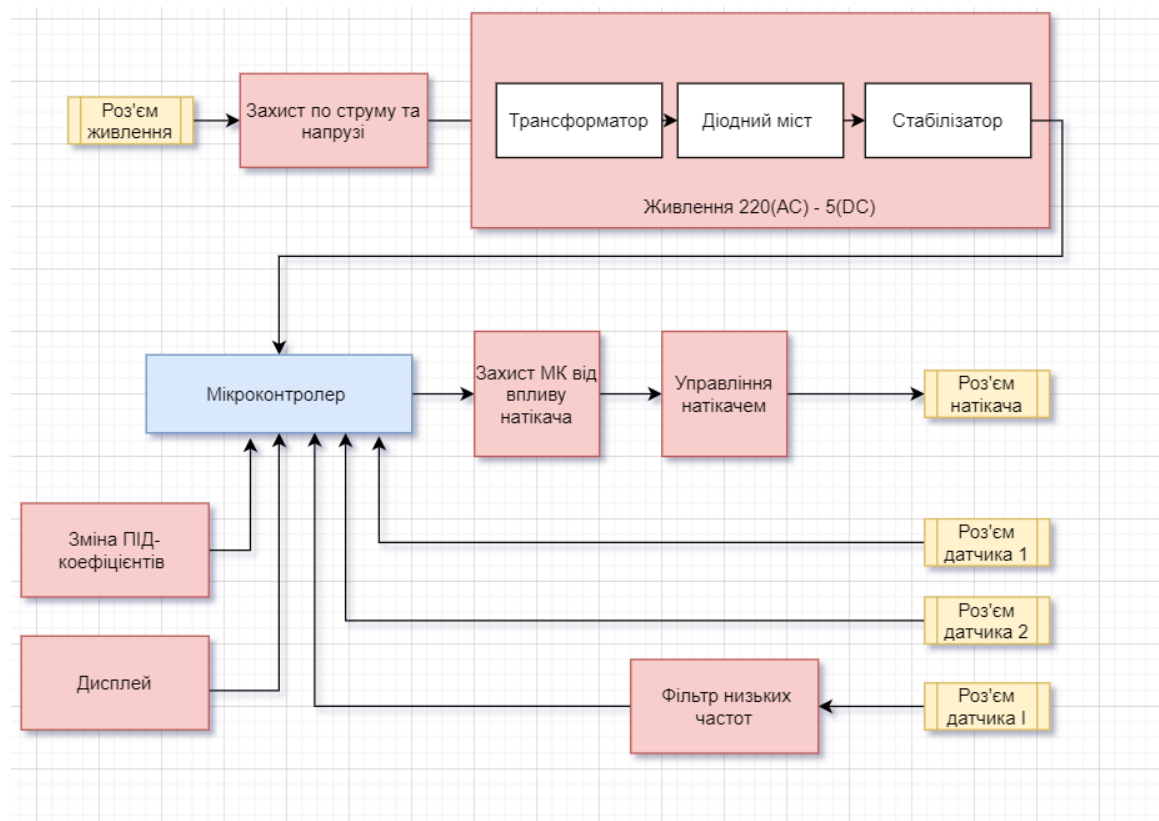


Рис. 2.1. Загальна структурна схема приладу

Всі компоненти схеми крім живлячої частини системи в перспективі можуть бути встановлені на друковану плату і вважатимуться єдиним пристроєм. Що до джерела живлення, через великі розміри трансформатора було вирішено розділити на дві частини. Перша складається з захисних елементів трансформатору та схеми випрямлення. У другу входять фільтри та стабілізатор. Таке розділення забезпечить прилад широким спектром можливих підключень через трансформатор від 220В змінного струму, чи напряму від постійного струму 5–12В завдяки стабілізатору можлива робота і з 12В але обов'язково необхідно слідкувати за температурою стабілізатора, за

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ

Арк.

19

необхідності в його корпусі передбачений технологічний отвір до якого можна підключити радіатор. Споживана потужність всіх частин схеми повинна знаходитися в межах 20–30 Вт.

Для застосування регулятора користувачу необхідно підключити струмопровідні частини, датчики та натікач через роз'єми.

Блок живлення проектується окремо від ПІД-регулятора, у цій роботі буде обрисуватись тільки його принципова схема та вибір компонентної бази.

Для захисту джерела живлення від можливих пульсацій струму в мережі, та підключення до високовольтної мережі встановлена система захисту, що складається з запобіжника та варистора. Для перетворення змінної напруги ми на необхідні 9 В, використовується звичайний понижуючий трансформатор.

Для цього ДЖ я використав саму популярну та найчастіше використовувану схему мостового випрямлення. Останнім по черзі але не по значенню в блоці живлення йде 5В стабілізатор що встановлюється окремо на плату ПІД-контролера, що забезпечує стабільною напругою 5В мікроконтролер та інші елементи схеми.

Мозком схеми є мікроконтролер, він виконує математичні підрахунки коефіцієнтів, прослідковує зміну струму гармати та керує натікачем. Напряму до МК під'єднані датчики 1 та 2 які реагують на відкрите положення дверей та наявності охолоджувальної рідини в резервуарах. Для зручного налаштування ПІД-регулятора, у схемі передбачений дисплей, а для зміни значення ПІД-коефіцієнтів контролеру, до нього підключено сім кнопок.

Зворотній зв'язок зав'язаний на роботі контролера, що відслідковує зміни споживання струму гармати через шунті що включений до кола живлення ГРГ. Шунт з'єднаний з схемою паралельно, але через великий струм та великий нагрів, знаходиться окремо від ПІД-контролеру і під'єднаний до пристрою за допомогою роз'єму. Фільтр низьких частот між мікроконтролером та шунтом, захищає від небажаного впливу високих частот та забезпечує необхідну точність для роботи підсистеми виміру струму мікроконтролером.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Для забезпечення контролю над зміною коефіцієнтів у схемі передбачений дисплей з можливістю регулювання яскравості для забезпечення комфортної роботи з пристроєм при різних рівнях освітленості.

Розроблена структурна схема приладу облегшить задачу проектування принципової схеми в наступному підрозділі.

2.2 Розробка принципової схеми та вибір компонентної бази

Електричну принципову схему ПД регулятора представлено на ДЕ–п81.003.ЕЗ.

Цей підрозділ містить в собі розробку різних частин принципової схеми на основі блоків загальної структурної схеми ПД-регулятора. Вибір компонентної бази буде базуватися на порівнянні параметрів та ціни компонентів від різних виробників, у випадку однакових параметрів переможець буде обиратися по критеріям доступності. Спираючись на логічне обґрунтування будуть підібрані всі елементи блоку курування ПД-регулятора тиску газорозрядної гармати та джерела живлення.

Джерело живлення. Більшість підприємств мають широкий вибір електричних мереж змінного струму починаючи від 380 до 24, але для універсальності приладу мною була обрана схема живлення що підключається до самої розповсюдженої мережі у 220 В промислової частоти 50 Гц, Через великий розмір трансформатора та вплив його ЕРС на компоненти і струмопровідні частини, було вирішено розташувати його окремо на іншій платі, подалі від контролера. Так Блок живлення (рис.2.2) розділився на дві частини, перша це мостова схема, трансформатор та захист і друга яка для універсальності приладу буде розташована на платі ПД-контролера і складається з фільтрів та стабілізатора. Обидві частини схеми живлення з'єднуються між собою за допомогою роз'ємів.

					ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Трансформатор. Трансформатор – елемент що перетворює напругу. Для схеми живлення нам знадобиться трансформатор однофазного типу, оскільки використовується тільки одна фаза. Щодо рівня напруги то трансформатори поділяються на низьковольтний, високовольтний та високо потенціальний, тому для схеми живлення МК через низьку напругу обираємо низьковольтний трансформатор. Досить важливе питання це вид перетворення, так як потрібно зменшити напругу, на вторинній обмотці напруга повинна бути менше ніж у первинною, обираємо понижуючий трансформатор. За кількістю обмоток, так як всі частини схеми розраховані на живлення 5В нам вистачить всього 2 обмотки.

Відповідно до вище перерахованих вимог був обраний трансформатор з магнітно діелектричним магнітопроводом ОСО–0.25–09 220/12ВУХЛЗ[8]. Що має наступний принцип роботи, так як трансформатор складається з двох обмоток то при підключенні, змінний струм у першій обмотці створює змінний магнітний потік який замикаючись по серцевині трансформатора передається як вторинній так і первинній обмотках трансформатора, наводячи в них ЕРС. Як тільки під'єднати до вторинної обмотки навантаження в ній під дією ЕРС виникне змінний струм. Також цей спосіб є найпопулярнішим способом передачі струму з первинної обмотки у вторинну.

Схема випрямлення. Для випрямлення змінного струму застосовують різні схеми випрямлення, Існують три самих популярних схем випрямлення змінного струму це однопівперіодна, двопівперіодна з середньою точкою та мостова двоперіодна схема. В однопівперіодній присутній один діод, до переваг можна віднести низьку вартість, але в заміні ми отримуємо моле КПД, низьку частоту пульсацій. Ця схема нам точно не підходить. Двопівперіодна з середньою точкою відпадає одразу оскільки ми вже обрали трансформатор без середньої точки на вторинній обмотці.

Мостова двоперіодна схема. (рис 2.3). Мостова двоперіодна схема дозволяє працювати з двома півперіодами напруги так у додатній півперіод

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

напруги вторинної обмотки діод VD4 відкритий. Струм протікає через VD4 через навантаження, вертаючись до обмотки трансформатора VD1. В негативний півперіод через VD3, навантаження та VD2.

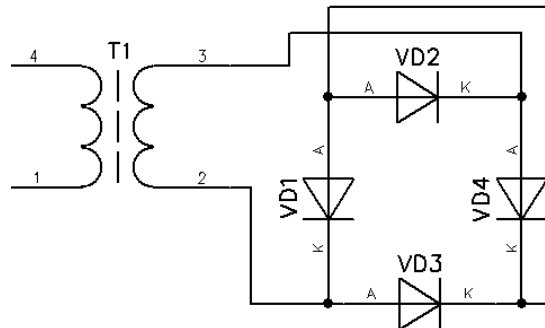


Рис. 2.3 Мостова схема випрямлення

На сьогоднішній день зовсім не обов'язково використовувати чотири окремих діоди, так як на ринку присутні вже готові елементи, що містять всі 4 діода які вже знаходяться в одному корпусі. Серед таких елементів я виділив два основних це KBL01[9] та діодний міст Шоткі, MB16S–TP[10], перший варіант має непогані ВАХ, але все ж таки не таку як у Шоткі, по ціні вони приблизно рівні тому не зважаючи на більшу робочу напругу було обрано MB16S–TP.

Стабілізатор. Стабілізатор потрібен для поглинання зайвої напруги отриманої з входу, та підтриманні заданого значення на виході, не зважаючи на можливі зміни параметрів вхідної напруги. До та після стабілізатора (рис. 2.4) з ціллю згладжування перешкод, паралельно включено по два конденсатора малої та великої ємності що ефективно працюють з завадами на високих та низьких частотах. Ця частина джерела живлення буде встановлена окремо від усіх інших, на платі ПД–контролера.

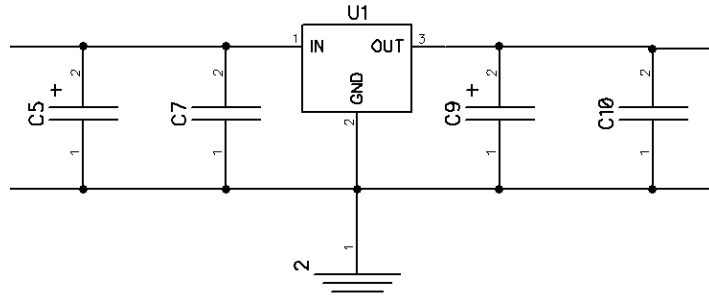


Рис. 2.4 Схема підключення стабілізатора

Для стабілізації напруги до 5 В застосуємо мікросхемний лінійний стабілізатор напруги KIA7805API-U/PF[11], який був обраний за невисоку ціну та високий діапазон стабілізації з 5 до 35 В.

Оптопара. Оптична розв'язка виконує функцію захисту мікроконтролера від можливого впливу натікача. Для того щоб відкрився транзистор на вхід оптопари потрібно подати керуючий ШІМ сигнал з мікроконтролеру. Для захисту світлодіода оптопари від пробую підключення елементу відбувається через струмообмежуючий резистор.

Щоб розрахувати значення струмообмежуючого резистора використаємо законом Ома:

$$R = \frac{U_{заг}}{I_{\phi}}$$

де $U_{заг}$ складається з різниці напруги що подається на вхід (U) та падіння напруги на внутрішньому світлодіоді (U_{ϕ}). I_{ϕ} це струм необхідний для відкриття транзистора на виході оптопари.

$$R = \frac{U - U_{\phi}}{I_{\phi}}$$

Значення невідомих параметрів було вилучено з наданого виробником опису елементу[12].

$$R = \frac{5 - 3,5}{5 \cdot 10^{-3}} \approx 300 \Omega.$$

Фільтр НЧ. Для підключення шунта до АЦП мікроконтролера використовується пасивний фільтр НЧ. Шунт виконує задачу вимірювального приладу, для отримання зворотного зв'язку за допомогою подачі інформативного сигналу значення струму через фільтр низьких частот, що не пропускає можливі високочастотні складові сигналу на МК, які за певних умов можуть приводити до нестабільної роботи АЦП.

Для створення фільтра нижніх частин що працює в пасивному режимі, необхідно поєднати резистор з будь яким реактивним елементом. З теоретичної точки зору можна стверджувати що RC фільтр RL фільтри мають еквівалентну фільтруючу здатність, але на практиці набагато частіше застосовується зв'язка, резистор конденсатор, так як це є більш доступним варіантом. Характеристика фільтра що дозволяє йому пропускати нижні частоти зав'язана на послідовному встановленню резистора з одночасним отриманням шляху проходження сигналу і конденсатора паралельно до навантаження. У схемі навантаження є окремим компонентом. що представляє собою аналого–цифровий перетворювач мікроконтролера.

Фільтр НЧ встановлений на вході АЦП мікроконтролера призначений для підвищення якості дискретизації сигналу. Частота зрізу для такого фільтру залежить від частоти дискретизації мікроконтролера у нашому випадку застосовується ATmega328 значення для якого дорівнює $16 \text{ МГц} / 128 = 125 \text{ КГц}$.

Щоб розрахувати частоту зрізу мікроконтролера скористаємося формулою:

$$f_c = f_d \cdot 5 \text{ КГц}.$$

Придушення частот вхідного сигналу більше ніж половина частоти дискретизації АЦП забезпечує повне виключення можливості появи ефекту накладання на сигнал дзеркальних частот перетворення, або більш простою мовою накладання спектрів. Знайшовши частоту зрізу Перейдемо до визначення значень елементів фільтру, для цього ми скористались

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

загальнодоступним онлайн калькулятором. Підбір значень калькулятором відбувалося за формулою:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Отримані в результаті підрахунку калькулятора результати, опір резистора в 25 Ом, при ємності конденсатору 1мкФ та частоті 62,5 КГц

Мікросхема. Пристрій регулювання, мікроконтролер позначається на принциповій схемі як зображено на рис. 2.5.

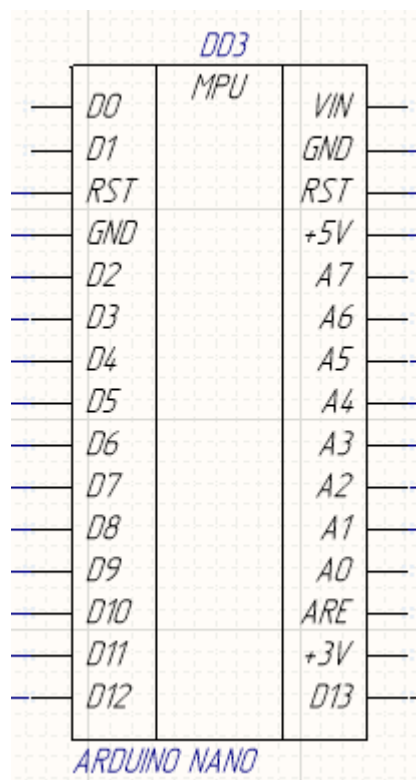


Рис. 2.5 Arduino Nano на принциповій схемі

Arduino Nano[13] – це повноцінний мініатюрний пристрій на базі мікроконтролера ATmega328. Arduino Nano (рис 2.6) розроблено та випускається фірмою Gravitech.

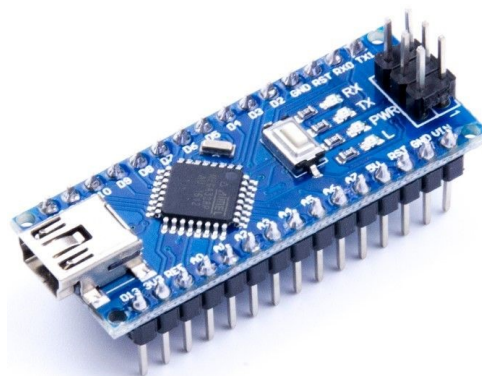


Рис. 2.6 Зовнішній вигляд Arduino Nano

Як можна побачити з малюнків вище Arduino Nano буде контактувати з усіма зовнішніми елементами за допомогою тридцяти контактних майданчиків, елементи розташовані по обидві сторони модуля. В Arduino Nano передбачені чотири візуальних індикатора.

Таблиця 2.1

Характеристики Arduino Nano

Характеристики	
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7–12В
Напруга живлення (гранична)	6–20В
Цифрові входи / виходи	14
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Flash-пам'ять	32 КБ
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц

Обсяг пам'яті виділеної під програми мікроконтролера ATmega328 — становить 32 КБ (з яких 2 КБ відведені під завантажувач). Крім цього, ATmega328 має — 2 КБ SRAM і 1 КБ EEPROM[14].

При застосуванні команд pinMode, digitalWrite і digitalRead, будь-яка з 14 дискретних ніжок Arduino Nano буде застосовуються у якості приймача чи

передавача. Максимальне значення напруги цифрових виводів 5В. Робочий струм для кожного з цифрових виводів мікроконтролера становить 40 мА, кожен з контактів підключений до внутрішнього резистора номіналом 40 кОм, крім основних, також деякі виводи Arduino можуть виконувати додаткові функції які були вилучені з офіційного сайту Arduino[14] :

- послідовний інтерфейс: виводи 0 (RX) і 1 (TX);
- зовнішні переривання: виводи 2 і 3;
- ШІМ: виводи 3, 5, 6, 9, 10 і 11;
- інтерфейс SPI: виводи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK);
- світлодіод: вивід 13;
- I2C: вивід 4 (SDA) і 5 (SCL);
- 7 AREF;
- 8 Reset.

Сильною стороною Arduino Nano є наявність зовнішнього роз'єму Micro-USB, що може використовуватися для робіт з комп'ютером, або іншим мікроконтролером, також ATmega328 має приймач UART. UART забезпечує зв'язок з послідовним інтерфейсом, який можливий при підключенні UART до контактів RX і TX, Окрема мікросхема на платі Arduino відповідає за зв'язок мікроконтролера з USB-портом ПК.

Для управління натікачем, застосовується ШІМ вивід який формує керуючий сигнал з частотою 488.8 Гц., амплітудою 5 В.

Як висновок можна сказати що не зважаючи на невеликі розміри Arduino Nano, являє собою повноцінний закінчений прилад, був обраний через зручність адаптації до майбутнього макету приладу, цей комплексу може вирішити чимало завдань по автоматизації в самих різних сферах людської діяльності, у тому числі і автоматизацію процесу регулювання тиску електронної гармати.

Кнопки. Кнопки ввімкнені через згладжуючий фільтр що забезпечує стабільну роботу та захист від так званого «брязкіту» контактів, що виникає

через наявність перехідних процесів. У побиті ми абсолютно звикли до перехідних процесів і в більшості випадків через невеличкий час їх протікання можемо навіть і не помітити, але в нашому випадку кнопка відіграє роль датчику для досить чутливої системи. Правильний сигнал від кнопки повинен мати строго прямокутну форму. А в реальності ми бачимо наявність великої кількості піків та падінь що зображені на рис. 2.7.

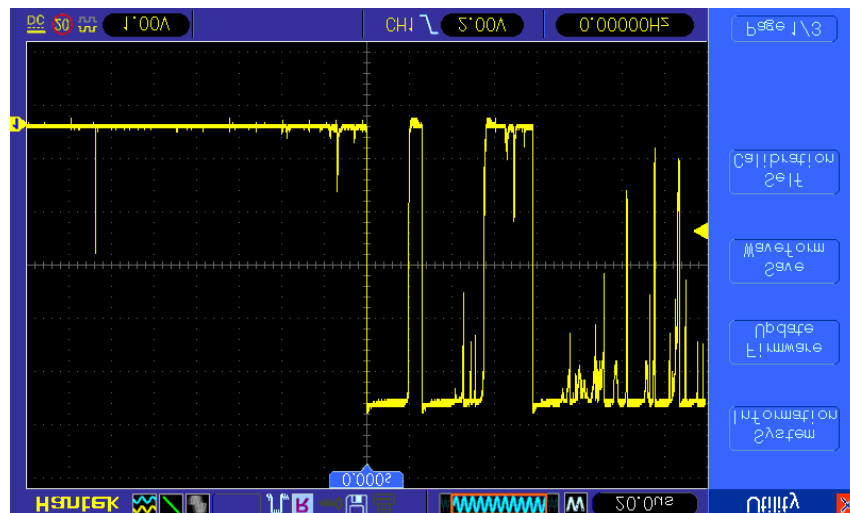


Рисунок 2.7 – Форма сигналу без використання фільтру

Існує два способи вирішення цієї проблеми, програмний та апаратний. Програмний полягає у заданні спеціальних пауз після отримання сигналу с кнопки, це допомагає просто перечекати перехідний процес, необхідне значення паузи встановлюється в межах 10–20 мс. Для більшості електронних приладів такий час затримки це ціла вічність, також не можливість використання переривань, тому було обрано застосувати апаратний спосіб який полягає у використанні фільтрів, що здатні згладити усі різкі пики, повільно накопичуючи та передаючи енергію. Схема включення зображена на рис. 2.8.

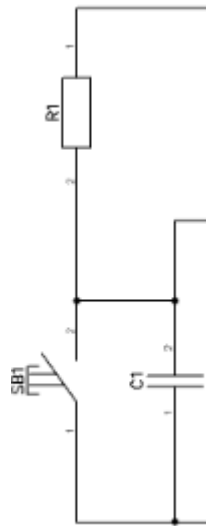


Рис. 2.8 – Підключення кнопки за допомогою фільтру

Роз'єм. Основним роз'ємом для живлення є XS1, для датчиків та кола управління з метою стандартизації будуть використовуватися роз'єми однакової конфігурації та одного виробника. Хоча для створення контакту клеми від зовнішніх струмопровідних частин можна на пряму підпаяти до друкованої плати, але в такому разі довелося пожертвувати комфортом при розбірці та ремонті пристрою. При виборі роз'єму керуємось максимальним значенням струму та напруги що може витримати роз'єм без пошкоджень це відповідно 35 В та 3 А, також має забезпечуватись просте та надійне кріплення дротів у гнізді роз'єму. Під ці параметри підходить роз'єм KLS2–2S[15]. від компанії KLSELECTRONIC. Він може пропускати струм до 3 А. Особливістю цього роз'єму є кріплення дротів після потрапляння в гніздо, це відбувається за допомогою фіксуючої клеми, що закручується за допомогою викрутки. Як по результату цей тип з'єднання по надійності не сильно уступає пайці і не потребує наявності додаткових клем чи роз'ємів на струмопровідних частинах.

Транзистор. З принципової схеми видно що керуючий сигнал від виходу мікроконтролера комутує подачу живлення на натікач. У такому випадку доцільніше було виконати розрив кола живлення у районі заземлення тому застосуємо польовий транзистор з індукованим каналом. Робочі

характеристики транзистора не повинні бути менші ніж: напруга затвор-виток 10 В, пропуск струму 1 А, напруга стік-виток 10В. Також більшість транзисторів з однаковими значеннями робочої напруги та струму розбиті по категоріям, що характеризуються різним значенням опору відкритого каналу, який на пряму впливає на кількість виділеної теплоти.

Під час пошуку необхідного транзистора на сайтах виробників та інтернет магазинах, виявилась велика кількість транзисторів, що підходять під необхідний опис, але мають різну доступність, ціну та виробника. Цікавими пропозиціями виявились два транзистора IRFZ44NPbF[16] та STP120N4F6[17], обидва можуть витримати необхідний струм та напругу, але IRFZ44NPbF має менший опір відкритого каналу та тепловий опір 39 К/Вт порівняно з 63 К/Вт. Ціна також відіграє не останню роль, в усіх інтернет-магазинах ціна на перший транзистор була у 3 рази дорожче. Через усі вище згадані переваги першого транзистора можна сказати, що найкращим вибором є IRFZ44NPbF.

Дисплей. Ще при ескізному проектуванні передбачалось використання дисплею, так як гостро стояла потреба у візуалізації значень ПД коефіцієнтів під час налаштування та наявності аварії спричиненою спрацюванням датчику, чи завеликим значенням струму. Наявність екрану вкрай необхідна обслуговуючому персоналу для того, щоб переконатись, що процес регулювання почався і візуально спостерігати за нормальною роботою пристрою. За допомогою екрану буде наочно показано, що регулятор змінює значення коефіцієнтів та перезавантажується отримуючи відповідні імпульси з кнопок.

Дисплей буде знаходитися на передній частині друкованої плати, до якої буде кріпитися двома гвинтами, основною задачею дисплею буде відображати значення пропорційного, інтегрального та диференційного коефіцієнтів, наявність аварії. По вимогам він має мати простий інтерфейс для обміну даними з мікроконтролером, достатньо високе розширення для комфортного відображення інформації, мати як можливо меншу ціну серед конкурентів, в

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

результаті було обрано OLED дисплей WEN001602DGPP5N00000 [18] з восьми бітним паралельним інтерфейсом та напругою живлення 5 В. Ринкова ціна модулю 13\$, що в порівнянні з аналогами не велика ціна.

Одже, спершу після аналізу завдання, була побудована структурна схема ПІД регулятора. Структурна схема складається з 13 структурних елементів, на ній зображені необхідні для нормальної роботи приладу зв'язки між структурними блоками за допомогою яких вони взаємодіють один з одним.

За допомогою вже побудованої структурної схеми по-частинам, була розроблена електрична принципова схема. Паралельно з перетворенням структурної схеми у принципову відбувався вибір компонентної бази, на основі розрахованих номінальних значень для елементів. Найвищий пріоритет мали сучасні SMD елементи, з невеликою ціною та високою доступністю.

Створена принципова схема підходить для вирішення задачі ПІД регулювання натікачем, за допомогою мікроконтролера.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						33
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

При проектуванні друкованої плати її параметри будуть залежати від можливостей потужності одного з най рентабельнішого виробників друкованих плат JLPCB[19], що виготовляють якісні плати за недорого.

3.1 Вибір типу та матеріалу друкованої плати

В електронному джерелі [20] зазначається: “Друкована плата–пластина, виконана з діелектрика, на якій або всередині якої сформований хоча б один шар з провідними доріжками. На друковану плату монтуються електронні компоненти, які з'єднуються своїми виводами з елементами провідного рисунка паянням, або, значно рідше, зварюванням, у результаті чого складається електронний модуль — змонтована друкована плата”.

З джерела [21] приведений наступна характеристика друкованої плати: “Друкована плата звичайно містить монтажні отвори й контактні майданчики, які можуть бути додатково покриті захисним покриттям: сплавом олова й свинцю, оловом, золотом, сріблом, органічним захисним покриттям. Крім того в друкованих платах є перехідні отвори для електричного з'єднання шарів плати, зовнішнє ізоляційне покриття («захисна маска»), яке закриває ізоляційним шаром невикористану для контакту поверхню плати, маркування звичайно наноситься за допомогою шовкографії, рідше – струминним методом або лазером”.

Друкована плата конструктивно складається з діелектричного шару на який було нанесено шар міді зазвичай за допомогою методу хімічної металізації.

Друковані плати поділяють на:

- одношарові;
- двошарові;
- багатошарові.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Як видно з назви, одношарова друкована плата – це пластина, з розміщеними на ній провідниками тільки, з одного боку. Сьогодні популярна хіба що серед електроніків–початківців, за не складність виготовлення та проектування. На даний момент такий вид плат не використовується для виготовлення професійних схем.

В двошарових струмопровідні частини знаходяться з обох боків. Така плата характеризується складністю виготовлення не набагато вищою ніж одношарова плата. Використовується у проектах середньої складності, оскільки в порівнянні з попереднім типом дозволяє розмістити більше доріжок та елементів на тій самій площі.

Багатошаровими називають плати з кількістю шарів чотири та більше. Характеризуються високою ціною що збільшується з кожним додатковим шаром, але дозволяє максимально можливо збільшити щільність монтажу схеми. Відповідно до технічного завдання, плата буде нормальних розмірів і висока щільність монтажу не планується, тому двошарової плати повинно вистачити.

Умови експлуатації приладу є стандартними тому для вибору матеріалу для друкованої плати можна нехтувати такі дорогі матеріали як фторопласт, армований склотканиною чи керамікою. Текстолітові плати вже майже не застосовуються. Тому в якості основи друкованої плати застосуємо стеклотекстолит.

Найпоширеніший та найоптимальніший на сьогодні матеріал є FR–4 TG з температурою виготовлення 130–140 градусів Цельсія[22].

Основною перевагою даного матеріалу FR–4 є: високе значення адгезії фольги до підкладки діелектрика під впливом високої температури, високе об'ємний і поверхневий електричний опір, висока температура виготовлення і стабільність геометричних розмірів, пробивну напругу 50 кВ, гігроскопічність 0,2%[22]. Зазначені характеристики мають гарні значення і задовольняють

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

вимоги технічного завдання, тому цей матеріал буде використовувати в якості основи для друкованої плати.

Прилад буде експлуатуватися в звичайних кімнатних умовах, і буде схильний до впливу, хіба що випадкових вібрацій, тому виберемо матеріал FR–4 з товщиною 1,25мм. Така товщина забезпечить комфортне виготовлення плати на виробництві, та збільшить стійкість плати до випадкових пошкоджень.

Товщину фольги було обирали 25мкм, цього більше ніж достатньо для забезпечення необхідної провідності між елементами, але за умови можливих втрат при шліфуванні, все ж таки було вирішено збільшити до 35мкм.

Обраний вище виробник, має в своєму асортименті необхідний тип плат, вони маркуються під шифром FR4–35–1,25.

3.2 Вибір класу точності друкованої плати

Вибір класу точності базується на інформації отриманої з джерела [23]: “Точність виготовлення друкованих плат залежить від комплексу технологічних характеристик, і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів друкованої плати. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка (все це виконано з міді) і до ряду інших параметрів.

Друковані плати 3–го класу – найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого – для їх виробництва потрібно рядове, хоча і спеціалізоване, обладнання”.

4–го класу точності можна досягти використовуючи якісну та сучасну техніку, основним критерієм, що може відрізнити п’ятий та четвертий клас точності при використанні однакового обладнання є застосування хімічно чистих елементів, підтримка чистоти технологічної зони.

Вимогам до 5го класу точності може відповідати далеко не кожне підприємство. В джерелі [24] зазначається: “ДП невеликого розміру можуть

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						36
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

створюватися по п'ятого класу на обладнанні, яке забезпечує одержання плат четвертого класу. Комплексно вирішити всі ці проблеми вдається тільки на реальному виробництві. Випуск друкованих плат 2-го і 1-го класів здійснюється на рядовому обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, не призначеному для виготовлення друкованих плат. Такі ДП з невисокими (і навіть з низькими) конструктивними параметрами призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу. До цього класу належать друковані плати любительського і макетного рівня, часто одиничного або дрібносерійного виробництва”.

ГОСТ 23.751–86 визначає п'ять існуючих класів точності для виготовлення струмопровідних частин для друкованих плат, характеристики усіх класів точності знаходяться в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Граничні значення основних параметрів

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	b_{np}	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	I_e	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	b_{no}	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	K_{om}	0,40	0,33	0,25	0,20

Так як у схемі ПІД регулятора є малогабаритні елементи (мікросхеми) відстань між контактами яких 0,3 мм, тому ми будемо керуватися вимогами відповідно до п'ятого класу точності, також плату третього класу точності може виготовити компанія JLPCB. Для зниження значень паразитних параметрів допускається ширина доріжок відповідно другого класу точності, а для

з'єднання елементів з значним струмом, ширина доріжок буде розрахована окремо у розділі 3,5. Перехідні отвори з діаметром 0,5 цілком задовольняє вимоги технічного завдання.

В результаті було вирішено обрати п'ятий клас точності друкованої плати.

3.3 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Методи виготовлення одношарових друкованих плат можна поділити так [25]:

- субтрактивний негативний та позитивний методи;
- адитивний метод;
- електрохімічний метод;
- комбінований негативний та позитивний метод.

Виготовлення двосторонніх друкованих плат з металізованими отворами, в основному здійснюється позитивним комбінованим методом який є гібридом хімічного та електромеханічного методу.

Для виготовлення друкованих плат позитивним комбінованим методом застосовують двобічний склотекстоліт з нанесеним на поверхню металізованим покриттям. Струмопровідний рисунок отримують витравлюванням мідної фольги з пробільних місць, а металізацію отворів здійснюють шляхом хімічного і наступного гальванічного міднення. Метод передбачає використання захисного гальванічного покриття металореzystом, який захищає струмопровідний рисунок від витравлювання[24].

Для виготовлення плати цим методом спочатку треба захистити металізовані доріжки плати від травильного розчину, це відбувається за допомогою накладання металореzystу на поверхню друкованої плати, далі незахищений метал видаляється витравлюванням. Захист струмопровідних частин плати здійснюється нанесенням захисної плівки, а пайку забезпечують

					ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

нанесенням фінішних покриттів гарячим або імерсійним способами[24].

Цей метод дозволяє виготовлювати плати з перехідними отворами, при зберіганні параметрів, характерних для п'ятого класу точності, а саме досить великою густиною монтованих елементів, виготовлення струмопровідних частин малого розміру.

На основі всієї інформації, можна зробити висновок, що для друкованої плати ПД регулятора тиску самим рентабельним методом є позитивний комбінований.

3.4 Розміщення компонентів

Якщо виконати правильне розміщення елементів можна зекономити гроші, оскільки це позитивно відобразиться на розмірах плати, кількості зайвих зав'язків через перемички та зменшенні відстані від компонентів, що впливає на стабільність та швидкодію приладу.

Елементи, які відповідають за живлення будуть розміщуватись у вільному форматі, якомога ближче до роз'ємів живлення.

Оскільки найбільшу кількість зв'язків має основна мікросхема DD3, було вирішено встановити його на плату ближче до середини, навпроти екрану оскільки ці два компонента мають велику кількість з'єднань між своїми контактами. Роз'єми що відповідають за живлення, подачі сигнальних та керуючих сигналів повинні бути встановлені на краю плати. Така сама ситуація з рідкокристалічним екраном оскільки в майбутньому ця плата буде знаходитися у корпусі і не можна допускати щоб інші компоненти загороджували показання з екрану. Фільтруючі конденсатори будуть розміщені якнайближче до входу та виходу живлення.

Усі інші компоненти буде розміщено на вільних місцях з максимальною щільністю та довжиною струмопровідних частин відповідно до кількості зав'язків на принциповій схемі. Таке розміщення є оптимальним і дозволить

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

зменшити сумарну довжину струмопровідних частин провідників це дасть можливість підвищити надійність та зменшити розміри друкованої плати.

На схемі розташування елементів ДП.ДЕ–п81.003.Е7 зображений збиральний кресленик приладу за допомогою якого можна дізнатися координати кожного з елементів на друкованій платі.

3.5 Конструкторсько–технологічний розрахунок елементів ДМ

Розрахунки виконують по методиці згідно з ГОСТ 23751–86.

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника з урахуванням постійного струму.

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму b_{min} (мм) для ланцюгів живлення та заземлення визначається виразом:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{дон}} \cdot \quad (3.1)$$

де I_{max} – максимально можливий струм в ланцюгу, А, $j_{дон}$ – допустима щільність струму для друкованої плати, що виготовлені комбінованим позитивним методом $j_{дон}=48$ А/мм² (за ОСТ 4.010.022–85), $t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, що визначається виразом (3.5.2), мм Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{зм} + h_{хм}. \quad (3.2)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги та залежить від матеріалу, $h_{\phi}= 0.035$ мм, $h_{зм}$ – товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{зм}= 0.055$ мм, $h_{хм}$ – товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{хм}= 0.0065$ мм, $t_{пров}= 0.035 + 0.055 + 0.0065 = 0.097$ мм.

Параметр I_{max} у виразі 3.1 визначається як сума струмів, що споживають всі активні елементи схеми. В схемі блоку керування 5В – вхідна напруга з

					ДП.ДЕ–п81.003 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

стабілізатора з якої живляться усі активні елементи, для з'єднання яких буде розрахована мінімальна ширина струмопровідної частини.

Спершу визначимо кількість струму що споживають елементи з напругою живлення 5В. Відповідна інформація надано в табл. 3.2.

Тепер можливо порахувати мінімальну ширину струмопровідної частини за струмом при напрузі в 5 В.

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{дон}}} \cdot 0,084 \approx 0,17 \text{ мм.}$$

Таблиця 3.2

Споживання для напруги живлення 5В

Напруга живлення, В	5
Найменування	Споживання, мА
ARDUINO NANO	21
WEH001602	50
IRFZ44NPBF	10
PC817B	3
Сума	84
Загальна потужність, Вт	0,42

Виходячи з розрахунків з урахуванням максимально можливого постійного струму, а також фізичної можливості вмістити на плату доріжки певних розмірів, було вирішено обрати таке мінімальне значення ширини провідників: 0.17 мм. Для сигнальних доріжок, що зв'язують мікросхеми через невеликий струм допускається використання мінімальної ширини у 0.15 мм. Обидві ширини можливо реалізувати на обладнанні 5го класу точності, під який ми розробляємо друковану плату ПД регулятора.

Визначення розміру монтажного отвору для елементів.

У схемі більшість елементів потребує монтажного отвору, для кріплення до друкованої плати.

Визначення відбувається за формулою: $d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r$.

де $d_{\text{вв}}$ – діаметр виводу елемента, $\Delta d_{\text{мо}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру, $\Delta d_{\text{мо}} = 0,1$ мм, r – різниця між мінімальним діаметром та максимальним діаметром виводу елемента, $r = 0,1 \dots 0,2$ мм.

За умови правильних розрахунків в результаті ми отримаємо правильні отвори для монтажу що забезпечуватимуть, якісне заповнення припоєм при пайці та оптимальну вагу цієї пайки.

Блок керування має 16 різних елементів, які потребують монтажного отвору. Деякі з них повторюються, для таких елементів розрахунок буде проводитись лише один раз.

Три роз'єми, що відрізняються за кількістю посадкових містить, але мають однакову контактну частину посадового майданчика:

- KLS2–2S у якого $d_{\text{вв}} = 1,27$ мм.

Інші елементи :

- ARDUINO NANO у якого $d_{\text{вв}} = 0,9$ мм;
- конденсатор C7 у корпусі C–MER у якого $d_{\text{вв}} = 0,8$ мм;
- KIA7805 у якого $d_{\text{вв}} = 1,2$ мм;
- OLED екран LCD 1602 у якого $d_{\text{вв}} = 1,1$ мм;
- потенціометр 16K1–10C10K у якого $d_{\text{вв}} = 1,4$ мм;
- варистор JVR–07N471K у якого $d_{\text{вв}} = 0,7$ мм;
- транзистор IRFZ44NPBF у якого $d_{\text{вв}} = 1,1$ мм.

Розрахуємо для кожного елемента значення d :

для KLS2–2S $d \geq 1,27 + 0,1 + 0,2 = 1,6$ мм;

для ARDUINO NANO $d \geq 0,9 + 0,1 + 0,2 = 1,2$ мм;

для Конденсатора C7 у корпусі C–MER $d \geq 0,8 + 0,1 + 0,2 = 1,1$ мм;

для LCD 1602 $d \geq 1,1 + 0,1 + 0,2 = 1,3$ мм;

для 16K1–10C10K $d \geq 1,4 + 0,1 + 0,2 = 1,7$ мм;

для JVR–07N471K $d \geq 0,7 + 0,1 + 0,2 = 1$ мм;

для IRFZ44NPBF $d \geq 1,1 + 0,1 + 0,2 = 1,4$ мм;

для KIA7805 $d \geq 1,2 + 0,1 + 0,2 = 1,5$ мм.

					ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Посадкові місця для цих компонентів були створені з урахуванням даних параметрів. Відповідно було встановлені наступні значення для отворів:

для KLS2–2S $d = 1,7$ мм;

для ARDUINO NANO $d = 1,3$ мм;

для Конденсатора C7 у корпусі C–MER $d = 1,2$ мм;

для LCD 1602 $d = 1,4$ мм;

для 16K1–10C10K $d = 1,8$ мм;

для IRFZ44NPBF $d = 1,5$ мм;

для KIA7805 $d = 1,6$ мм.

Визначення діаметру контактного майданчику.

Діаметр контактного майданчику визначається за формулою:

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03.$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр контактного майданчику, h_{ϕ} – товщина мідної фольги, $h_{\phi} = 0,035$ мм

Мінімальний ефективний діаметр контактного майданчику розраховується за формулою:

$$D_{min1} = 2(b_{no} + \delta_0 + \frac{d_{max}}{2} + \delta_{км}).$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП, b_{no} – ширина пояски КМ, для четвертого класу точності $b_{no} = 0,05$ мм, $\delta_{км}$ – похибка розташування центру отвору відносно вузла КМ відносно КС, для п'ятого класу точності $\delta_{км} = 0,05$ мм, δ_0 – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, для п'ятого класу точності $\delta_0 = 0,07$ мм

Максимальний діаметр отвору визначається за формулою:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15).$$

де: d – діаметр просвердленого отвору, Δd – відхилення від номінального діаметру отвору, $\Delta d = 0,05$ мм

					ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Тепер в нас є всі формулу для підрахунку. Оскільки в блоці керування використовується три різні роз'єми, тому розрахунок буде проводитись теж для трьох роз'ємів.

Для KLS2-2S:

$$d_{max} = 1,7 + 0,05 + 0,15 = 1,9 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,9}{2} + 0,05) = 2,14 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 2,14 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,32 \text{ мм}.$$

Для ARDUINO NANO:

$$d_{max} = 1,3 + 0,05 + 0,15 = 1,5 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,5}{2} + 0,05) = 1,94 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 1,94 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,02 \text{ мм}.$$

Для C7:

$$d_{max} = 1,2 + 0,05 + 0,15 = 1,4 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,4}{2} + 0,05) = 1,74 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 1,74 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,42 \text{ мм}.$$

Для LCD 1602:

$$d_{max} = 1,4 + 0,05 + 0,15 = 1,6 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,6}{2} + 0,05) = 2,02 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 2,02 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,1 \text{ мм}.$$

Для 16K1-10C10K:

$$d_{max} = 1,8 + 0,05 + 0,15 = 2 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{2}{2} + 0,05) = 2,34 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 2,34 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,52 \text{ мм}.$$

Для IRFZ44NPBF:

$$d_{max} = 1,5 + 0,05 + 0,15 = 1,7 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,7}{2} + 0,05) = 2,11 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 2,24 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,15 \text{ мм}.$$

					ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для KIA7805:

$$d_{max} = 1,6 + 0,05 + 0,15 = 1,8 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \cdot (0,05 + 0,07 + \frac{1,8}{2} + 0,05) = 2,14 \text{ мм};$$

$$D_{min} = 2,24 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,23 \text{ мм}.$$

Таким чином були розраховані мінімальні значення діаметру контактного майданчику. З врахуванням розрахунків, що виконані вище було вирішено встановити такі діаметри контактних майданчиків.

$$\text{Для KLS2-2S } D = 2,4 \text{ мм}.$$

$$\text{Для ARDUINO NANO } D = 2,1 \text{ мм}.$$

$$\text{Для Конденсатора C у корпусі C-MER } D = 2,5 \text{ мм}.$$

$$\text{Для LCD 1602 } D = 2,1 \text{ мм}.$$

$$\text{Для 16K1-10C10K } D = 2,6 \text{ мм}.$$

$$\text{Для IRFZ44NPBF } D = 2,2 \text{ мм}.$$

$$\text{Для KIA7805 } D = 2,3 \text{ мм}.$$

Максимальна ширина контактного майданчику:

$$D_{max} = D + 0,02 = 2,6 + 0,02 = 2,62.$$

Для можливості розташування плати ПД регулятора в корпусі чи штативі передбачені чотири спеціальних отворів, що знаходяться у чотирьох різних кутках плати.

Як результат, у цьому під розділі можна знайти усі необхідні значення посадкових майданчиків та отворів для кожного з елементів, мінімальний розмір струмопровідних частин друкованої плати.

3.6 Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer

Altium Designer – система автоматизованого проектування та розрахунку для аматорів та професіоналів, що надає широкі можливості розробнику для створення усіх частин електронної схеми.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Altium Designer дозволяє інженерам легко взаємодіяти з усіма аспектами процесу проектування електроніки. Понад 35 років інновацій та розробок, орієнтованих на по-справжньому уніфіковану середу проектування, що робить Altium Designer найпоширенішим рішенням для проектування друкованих плат[25].

На відмінно від багатьох інших САПР Altium Designer є максимально зручною завдяки, інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та можливістю налаштування всіх ключових параметрів під стандарти ГОСТ та ДСТУ для дипломного проекту. У розробника є можливість втілити в реальність абсолютно будь які свої мрії починаючи з принципових схем та створення реалістичних моделей та закінчення генерацією 3д моделей автогенератором за заданими розмірами корпусу, проектуванням друкованих плат з будь-якою кількістю шарів з функцією автоматичної генерації всієї можливої конструкторської документації на пристрій.

В ході розробки схеми та друкованої плати дипломного проекту були виконані наступні кроки:

1. Створення бібліотеки умовно графічних позначень компонентів.
2. Створення бібліотеки посадкових місць й прикріплення до них реалістичних 3д моделей корпусів.
3. Створення схеми електричної принципової.
4. Трасування друкованої плати.

В самому початку довелося налаштувати схемний редактор Altium додали необхідні для конструкторської документації шрифти, панелі, розмірні сітки та багато іншого.

Створення проекту. Першим кроком в розробці є створення проекту, де буде міститись вся необхідні його частини такі як бібліотеки, документація. Туди можна перемістити вже готову чи створити бібліотеку УГП, бібліотеку контактних майданчиків, принципову схему, трасування.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Створення бібліотеки умовних графічних позначень. Altium Designer містить у собі багато готових бібліотек, а також має завантаження нових будь-яких компонентів з різних стандартів, але в моєму випадку не підійшла жодна з бібліотек що я зустрів бо кожна з них не мала досить специфічних компонентів нарисованих по стандарту ГОСТ, так як ці бібліотеки зазвичай створюються приватними компаніями які керуються власним баченням та стандартами, тому довелося власноруч створювати бібліотеку УГП компонентів. Під час створення виникли деякі труднощі з рисунням таких складних елементів як оптрон, оскільки панель інструментів була все-таки трохи меншою ніж в AutoCAD. В даному проекті було створено 20 УГО елементів.

Створення бібліотеки посадкових майданчиків. Altium Designer має багато бібліотек готових посадкових майданчиків під найрозповсюдженіші моделі корпусів, але знову таки вони всі не підходять через відсутність необхідних компонентів. Створення особистої бібліотеки посадкових майданчиків під всі електричні компоненти, досить важка задача, оскільки кожен з них має специфічні розміри та форму. Відповідно до технічної документації на елемент розроблялося його посадкове місце та приєднувалась, чи створювалась реалістична 3д модель. Отримати 3д модель можна двома способами згенерувати по заданим характеристикам або завантажити вже готову. Прості компоненти такі як SMD резистор та конденсатор я малював в ручну і в мене виходило досить не погано (рис 3.1).

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						47
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

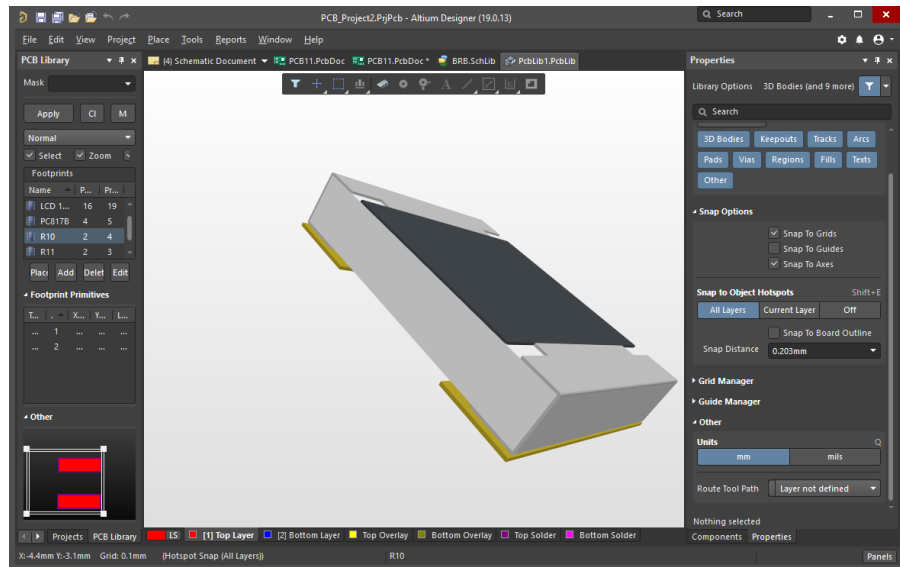


Рис.3.1 Вигляд намальованого *SMD* резистора в 1210 корпусі.

Але як тільки підійшла черга до складних елементів, які малювати вручну дуже складно, було прийняте рішення почати пошуки необхідних 3д моделей на сайті grabcad.com, з відси і було завантажено більшість моделей компонентів, для прикладу зображення одного з яких показано на рис. 3.2.

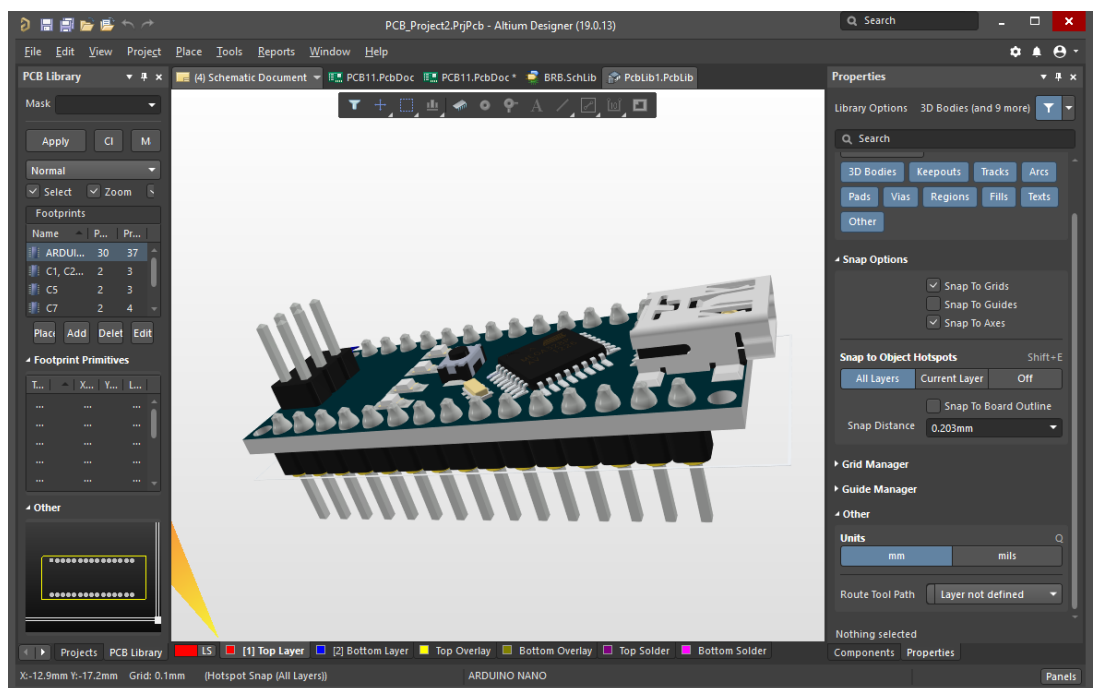


Рис.3.2 Вигляд завантаженої 3д моделі *ARDUINO NANO*.

Створення схеми електричної принципової. З допомогою конструктора принципової схеми та раніше створеної бібліотеки УГП, принципову було

досить просто накреслити принципову схему оскільки, для цього було необхідно лише послідовно крок за кроком додати всі необхідні компоненти а потім з'єднати їх провідником. Також у частині проекту, що відповідає за принципову схему можна додати необхідну рамку та підписати її. Зображення принципової схеми під час проектування у САПР наведено на рис 3.3.

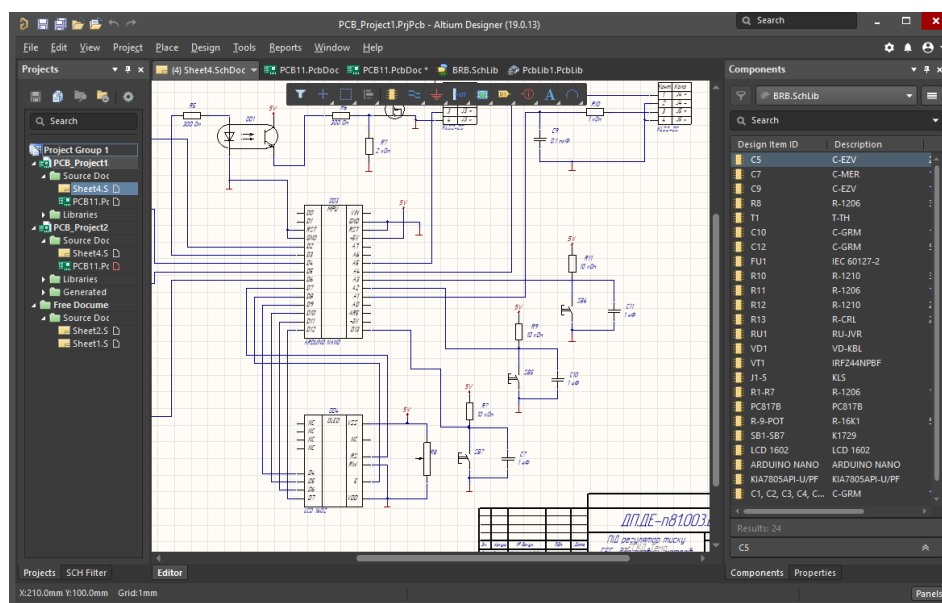


Рис.3.3 Проектування принципової схеми.

Створення струмопровідних частин на друкованій платі. Доріжки можна створити двома методами. Перший метод це автоматичне трасування. Полягає в тому, що комп'ютер виконую всю роботу без нашої участі, але на виході з'ясовується, що це повний жах, розробник погано орієнтується у зв'язках між компонентами, тому уходить купа часу на перевірку та оптимізацію такої роботи. Також цей спосіб не підходить через необхідність розмінювати компоненти на необхідних частинах плати та у певній послідовності, наприклад ряд кнопок, чи мікроконтролер з великою кількістю зв'язків.

Другий метод полягає у самостійному прокладанні провідників на свій розсуд. Звичайно недоліком використання цього способу є втрата великої

кількості людського ресурсу, але це окупається сторицею оскільки на виході ми отримаємо красиву плату повністю оптимізовану та читабельну.

Автоматичне трасування має жахливий вигляд, тому трасування робилося вручну.

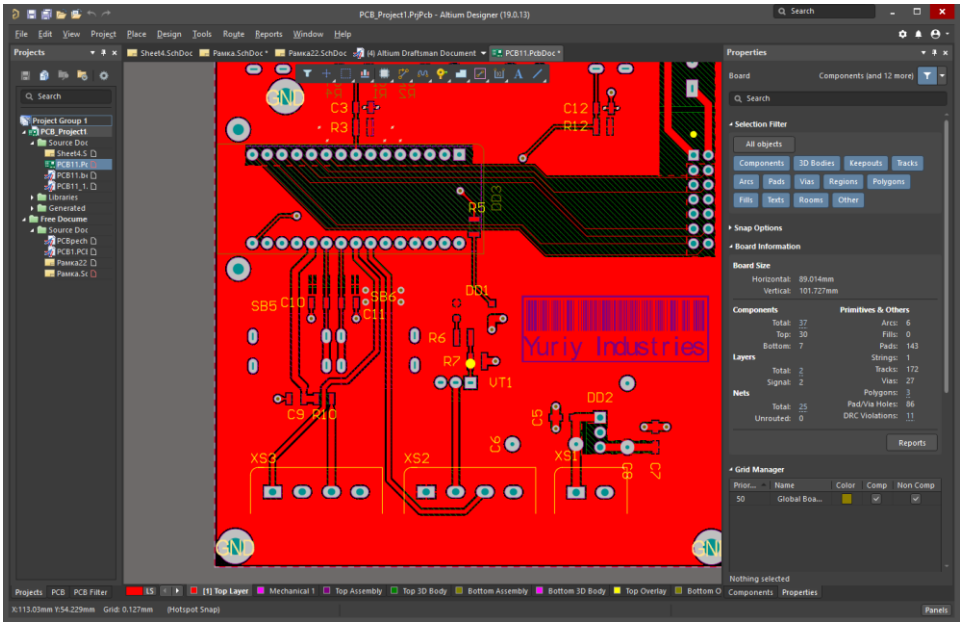
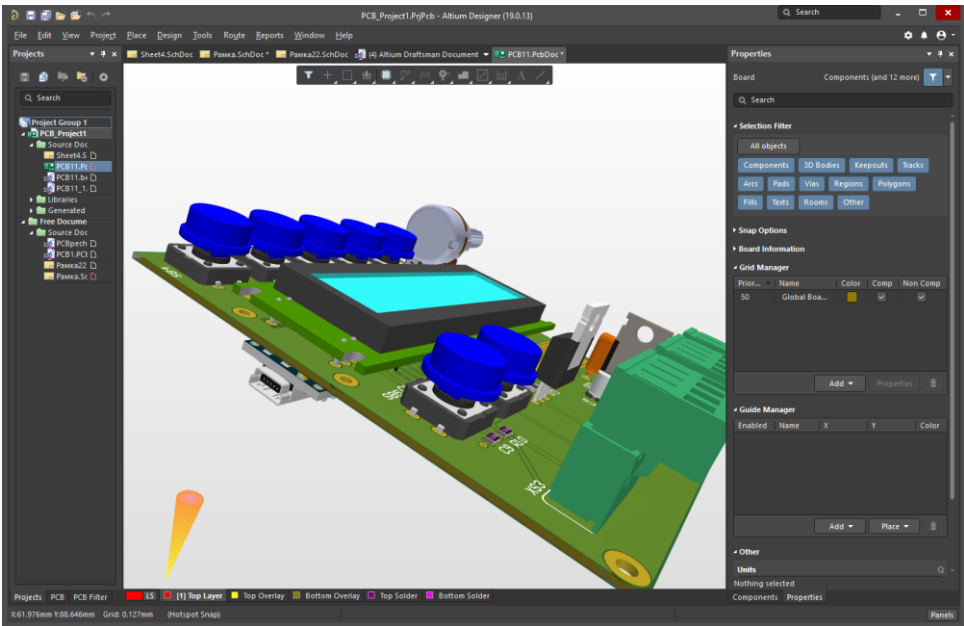


Рис.3.4 Вигляд проведених доріжок на фронтівій сторіні ДП

Після всіх виконаних вище маніпуляцій натиснувши кнопку 3 можна перейти до результату проектування – 3д моделі плати з усіма компонентами.



Головною задачею в даному розділі було спроектувати друковану плату. За кількістю струмопровідних шарів було обрано двошарову друковану плату, такі плати є дешевими у виробництві та дають можливість створювати в двічі більше струмопровідних доріжок, як результат отримано високу щільність компонентів, з невеликим значенням загальної довжини провідників. У якості матеріалу друкованої плати було обрано FR4-35-1,25, що є найрозповсюдженішим з матеріалів що використовуються у виробниках друкованих плат. Методом виготовлення друкованої вирішено обрати комбінований позитивний метод.

Для провідників було обрано п'ятий клас точності. Виготовлення плат з таким класом точності дозволяє застосовувати мінімальну ширину доріжки та досягти високої максимально великої кількості елементів на одиницю площі.

Місця для компонентів у монтажній області друкованої плати були встановлені відповідно до їх функціональних потреб. Елементи без особливих потреб було розміщено за методом виключення. При плануванні розміщення керувались ціллю максимально зменшити довжини провідників та розташувати компоненти з сумісними з'єднаннями знаходились якомога ближче.

Також був проведений конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати щоб, під час процесу трасування доріжок можна було застосувати вже готові розміри посадкових майданчиків і струмопровідних частин.

Спершу було проведено розрахунки мінімального значення ширини провідників.

Також був розрахований діаметр контактного майданчику окремо для кожного з елементів.

Трасування всіх струмопровідних доріжок друкованої плати відбувалось власноруч. Для створення проекту була використана середа розробки Altium

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Designer, яка була обрана завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та можливістю розробки технічної документації за державними стандартами. Повний комплект конструкторської документації необхідний для серійного виготовлення приладу був створений за допомогою Altium Designer.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						52
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Основною метою дипломної роботи є створення блоку керування натікачем, який запрограмований на здійснення ПІД-регулювання, тому опис розробки програмного забезпечення в першу чергу буде націлене на реалізації цієї функції з врахуванням особливостей роботи ГРГ, які полягають у неконтрольованих змінах параметрів гармати, що мають властивість змінюватись під час роботи. Задача нашого регулятора як можна швидко обрахувати та подати з виходу мікроконтролера керуючий ШІМ сигнал для натікача з ціллю стабілізувати характеристики електронного пучка, оскільки вони на пряму залежать від зміни тиску в газорозрядній камері.

4.1 Розробка блок-схеми програми керування

Для представлення алгоритму приймання рішень для розв'язування задачі регулювання була побудована блок схема алгоритму програми, що складається з різних фігур, які позначають операції, зображена на ДП.ДЕ-п81.003СА. Щоб розробити біль детальну схему спочатку розглянемо абстрактне зображення приладу (рис.4.1).



Рис. 4.1 Блок-схема

Об'єкт регулювання, являє собою електронний натікач, що в залежності від поданих на його вхід інформаційних імпульсів відкриває клапан, який блокує подачу газу до газорозрядної камери електронної гармати. Сигнал на

вхід блоку регулятора, який являє собою мікроконтролер у реальній установці подається від шунта що знаходиться у колі живлення електронної гармати. Завдяки шунту мікроконтролер виконує вимір струму який споживає гармата далі за допомогою АЦП перетворює аналогове сигнал в дискретну форму. На основі інформації отриманої за допомогою зворотного зв'язку через шунт, мікроконтролер виконує підрахунки та приймає рішення, пов'язаних з формуванням імпульсів на виході блоку регулятора.

Також важливу роль відіграє задане значення споживаної величини струму необхідної для технологічної плавки металів, встановлюється програмним методом за допомогою прошивки мікроконтролера.

Основна результуюча функція регулятора – це три складових сигналу ПІД регулятора об'єднаних в один, що в результаті змінюється під впливом зворотного зв'язку і подається на об'єкт регулювання у вигляді вихідної величини $Y(t)$.

Окремі елементи програмного забезпечення – це вже готові підключені бібліотеки, що відповідають за підрахунок операцій які відповідають за пропорційну, інтегральну та диференціальну складову. Тому в цьому розділі буде розглянуто не стільки фізичну та математичну модель роботи ПІД-регулятора, а принцип роботи програмного забезпечення, що приймає рішення та забезпечує співпрацю між контролером та іншими елементами пристрою.

У блок схемі застосовується два основних типи блоків це умова та рішення. Умова позначається ромбом, а рішення квадратом. Також перший блок що позначає початок роботи має овальну форму.

Перші кроки будь якого пристрою з будь яких контролерів починається з ініціалізації периферії, під час цієї операції всі пінні мікроконтролера слугують в якості вхідних, вони мають захист від перенапруги за допомогою діодів, що замикають виводи на шину +5В у випадку перенапруги. Відбувається активація режиму оптимізації інтегральної суми що дає змогу ігнорувати різкі скачки з датчику що можуть призводити до обнуління інтегральної суми. Підключення

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

бібліотеки дисплею, ПІД-регулятора та пам'яті EEPROM для зберігання коефіцієнтів після вимкнення живлення. Потім зчитуємо початкові значення інтегрального, пропорційного та диференціального коефіцієнтів ПІД-регулятора з ПЗУ та виводимо їх данні на дисплей.

Основною умовою роботою приладу це зачинення дверей та наявність охолоджувальної рідини в резервуарі, тому в першу чергу перевіряємо наявність сигналів від датчиків. Якщо їх значення більше порогового то на екран виводиться помилка, а мікроконтролер не передає ШІМ сигнал.

Чекаємо поки значення від датчиків будуть нижче порогових, очищаємо екран та встановлюємо курсор дисплею в потрібні координати.

Виводимо на дисплей написи коефіцієнтів K_p , K_i , K_d , та їх значення.

Зчитуємо показання АЦП піна A1, що поступає з шунта, у випадку якщо значення струму завелике (пробій) перевіряємо умову, чи пройшло більше 0,2с. Якщо так з метою збереження устаткування гармати, негайно відбувається зупинка роботи пристрою. Якщо ні то програма почне виконання розрахунків, сформує на виході регулятора ШІМ сигнал на натікач, з метою зміни значення струму в гарматі на зазначене в установці.

Для відновлення роботи пристрою після загорання сигналу помилки на дисплеї необхідно натиснути кнопку 7.

За необхідності в програмі врахована можливість налагодження з комп'ютера

Далі програма перевіряє чи натиснута кнопка 1 (і НЕ натиснута кнопка 2), так як одна кнопка збільшує коефіцієнт, а інша зменшує. Якщо натиснута збільшуємо значення на заданий раніше крок, повідомляємо нове значення регулятору і виводимо на дисплей.

Перевіряє чи натиснута кнопка 2 (і НЕ натиснута кнопка 1), так як кнопка 2 відповідає за зменшення пропорційної складової K_p , а кнопка 1 за збільшення. Якщо натиснута зменшуємо значення K_p на заданий раніше крок, повідомляємо

нове значення регулятора і виводимо на дисплей. Такий алгоритм роботи характерний і для всіх інших кнопок.

Після завершення налаштування коефіцієнтів ПД–регулятора за допомогою кнопки 7, можна виконати збереження значень в постійну пам'ять мікроконтролера.

Головною особливістю алгоритму роботи програми регулювання, яку можна побачити на ДП.ДЕ–п81.003СА, є відсутність операції завершення алгоритму «Кінець» [26].

Дійсно, якщо програмований електронний пристрій не вимикається, автомат може працювати нескінченно[26]. У цьому разі можна вважати, що алгоритм роботи скінченного автомату є безпомилковим [27].

В цьому підрозділі був розроблений алгоритм роботи програми необхідного для створення прошивки для ПД регулятора.

Алгоритм не складний та зрозумілий оскільки для його створення було використано лише блоки умови та рішення. Для більш компактного розташування на плакаті алгоритм рисувався не розгалужено, а у лінію з переносами у вигляді кіл з відповідним номером блоку.

4.2 Створення програми

Для написання програми та завантаження програмного забезпечення в мікроконтролер використовувалась спеціальне інтегрована середовище розробки Arduino IDE, програму можна безкоштовною завантажити з офіційного сайту, ніякі проблеми з встановленням не виявилися. Текст програми наведений в Додатку А.

Зображення інтерфейсу програми Arduino IDE показано на рис. 4.2.

Він складається з меню, перевірки тексту програми на помилки, присутні вкладки прошивки, створення нової прошивки, зберігання та завантаження програми в плату.

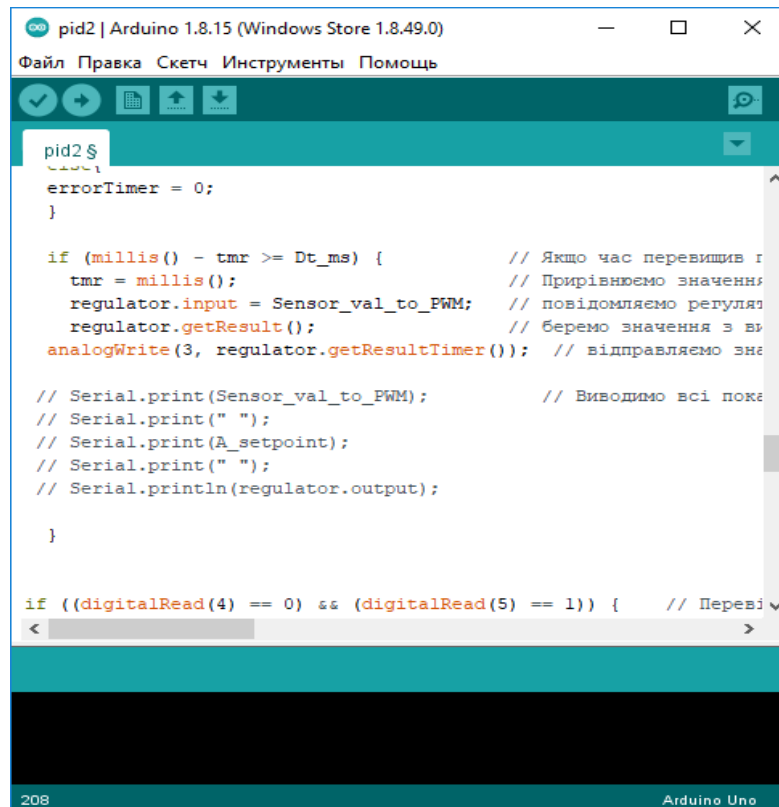


Рис. 4.2

Програми для мікроконтролерів Arduino пишуться на спеціально розроблених для них мові програмування C AVR, що по своїй суті складається з підключених бібліотек та чистого C AVR, використання якого суттєво облегшує задачу створення проекту, зменшує кількість коду та прискорює його роботу.

На самому початку створення програми потрібно задати значення змінних та підключити усі необхідні бібліотеки, що необхідні для нормальної роботи програми.

За допомогою команди `#define PID_OPTIMIZED_I` задається активація режиму оптимізації інтегральної суми, (різкі скачки значення з датчика (вхід регулятора) поблизу меж можуть призводити до обнуління інтегральної суми, ця установка їх прибирає).

Скориставшись командою `#include` було відключено три бібліотеки:

– дисплею;

– EEPROM;

– ПД регулятора;

Для управління рідкокристалічним дисплеєм LCD була використана досить популярна вбудована до Arduino IDE бібліотека LiquidCrystal.

Також буда завантажена класична бібліотека ПД регулятора для Arduino. Логіка роботи якої заснована на прийманні величини установки та вхідного сигналу та формування управляючого сигналу на виході, що подіється на управляючий пристрій. Обов'язковою умовою роботи такого регулятора є вплив вихідного сигналу на вхідний. Закон управління регулятора встановлюється за допомогою коефіцієнтів:

1. K_p пропорційний коефіцієнт в залежності від його зміни буде змінюватись пропорційна залежність між вихідним сигналом та вхідним з установочним

2. K_i інтегральний коефіцієнт, відповідає за інтеграл помилки неузгодженості, в деяких випадках дозволяє згладити швидкі зміни пульсуючого сигналу

3. K_d диференціальний коефіцієнт, змінюючи який ми можемо зменшувати чи збільшувати швидкість зміни величини.

В мережі можна знайти сотні різних способів написання ПД алгоритмів, саме тому я вирішив скористатися вже готовим рішенням. Було обрано бібліотеку з відкритого доступу [28]. Вибір зупинився саме на цій бібліотеці через велику кількість позитивних відгуків та час створення, вона вдосконалювалася автором протягом 5 років. Також при використанні цієї бібліотеки весь код на якому побудований ПД регулятор є абсолютно автономним, що на досить високому рівні облегує його розуміння.

Період дискретизації для ПД регулятора, був встановлений на достатньому для нормальної роботи досить швидко збіднюючої свої параметри системи, рівні 10 мс. Коли час перевищує період дискретизації то відбувається оновлення значення на вході ПД регулятора. За допомогою команди `tmr =`

millis()); відбувається прирівнювання значення таймеру до поточного значення часу, в залежності від показань датчиків беремо значення з виходу регулятора та за допомогою команди analogWrite(3, regulator.getResultTimer()); подаємо ШІМ сигнал до натікача.

Блок команд Serial.print дозволяє вивести всі необхідні показання та характеристики, до ПК за допомогою раніше запущеного командою //Serial.begin(9600); протоколу UART.

Одною з найкорисніших функцій Arduino IDE є можливість швидкої перевірки написаної програми на помилки, за допомогою команди «компіляція», що знаходиться всередині контекстного меню «скетч» у верхній частині програмного вікна (рис. 4.3). Компілятор просто трансліює високорівневий код у машинну мову[29].

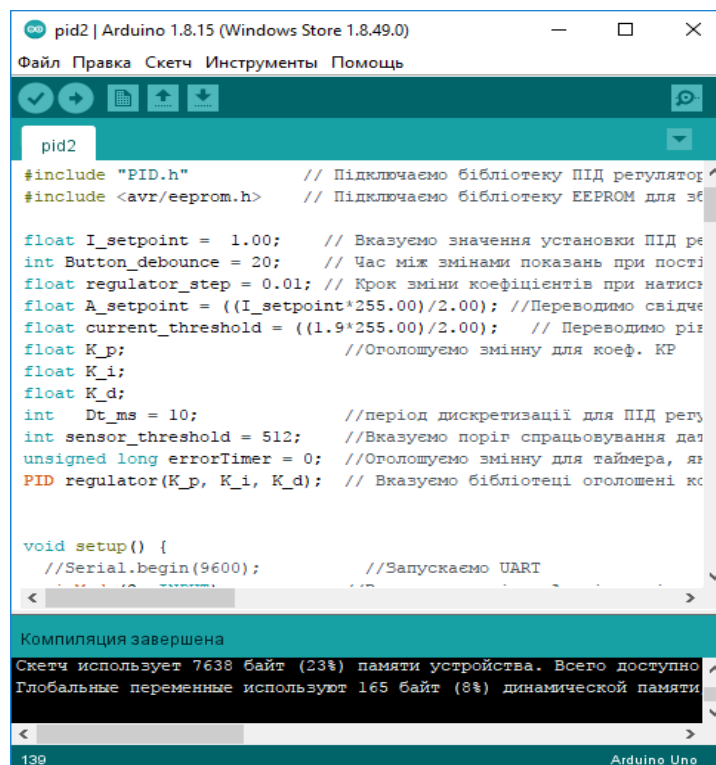


Рис. 4.3

Як можна побачити з рис. 4.3 процес компіляції завершився без аварій. У нижній частині вікна можна ознайомитися з параметрами компільованої програми:

1. Скетч використовує 7638 байт (23%) від пам'яті пристрою. Всього доступно 32256 байт.

2. Глобальні змінні використовують 165 байт (8%) динамічної пам'яті, залишив 1883 байт для локальних змінних. Максимум 2048 байт.

Таким чином було створено та перевірено програмне забезпечення для ПД регулятора. Програма працює нормально, недоліків не виявлено, об'єм програмного коду та кількість змінних повністю задовольняють кількість пам'яті передбаченої для виконання задач Arduino NANO.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						60
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У представленому дипломному проекті було розроблено ПІД регулятор тиску електронної гармати. У процесі створення проекту було розроблено принципову схему, виконано пошук та вибір компонентної бази, на основі розрахунків доріжок та посадкових майданчиків, розроблено друковану плату та спроектовано програмне забезпечення.

У першому розділі було розглянуто різні способи регулювання, ключові моменти для забезпечення нормального регулювання, правила налаштування регуляторів, які необхідно дотримуватись для успішного керування об'єктом. Було визначено, що кожний вид регулювання має свої унікальні залежності, переваги та недоліки, через які вони можуть або ні нормально керувати об'єктом. В ході перегляду існуючих моделей, регулятори були розділені на 2 категорії що відрізняються за рівнем функціональності та доступністю. Аналіз різних моделей цих категорій показав, що кожна з них працювала з різною похибкою регулювання та швидкодією, але не один з регуляторів не спроможний працювати з оператором для зміни коефіцієнтів, контролювати та сигналізувати про небезпечні умови експлуатації ГРГ, персонал що її обслуговує. Для забезпечення можливості зміни коефіцієнтів ПІД регулятора необхідне відображення поточних даних коефіцієнтів, для чого до ПІД регулятора був під'єднаний екран. Для контролю потужності електронного пучка ГРГ було вирішено використати ПІД алгоритм, що реалізований за допомогою включення вже готової бібліотеки, до прошивки мікроконтролера.

Основною задачкою другого розділу було створити принципову схему регулятора. Спершу було створено структурну схему, яка складалася з всіх структурних елементів блоку керування та зв'язків взаємодії між ними. Створення структурної схеми, суттєво облегшило завдання розробки принципової схеми. При виборі компонентів в першу чергу бралось до уваги технічні параметри компонентів, після чого порівнювалась ціна. У виборі всіх елементів брали участь виключно сучасні елементи з високим рівнем

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

доступності в межах України. Спроектowana схема без проблем дозволяє змінювати коефіцієнти, сигналізувати про стан приладу та керувати натікачем.

Метою третього розділу було розробити друковану плату. У якості матеріалу ДП вирішено використати FR4–35–1,25. Було обрано двошарову друковану плату. В якості методу виготовлення діелектричного шару та нанесення мідного покриття, вирішено застосувати позитивний комбінований метод. Компоненти на друкованій платі розташовувались за функціональною потребою та кількістю зав'язків. Ціллю розміщення компонентів є зменшення кількості та довжини струмопровідних частин на друкованій платі.

Перед проектуванням струмопровідних з'єднань на платі, був виконаний розрахунок посадкових майданчиків та мінімальних розмірів доріжок.

Для створення технічної документації та моделювання за інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та всі необхідні для цього функції була обрана середa розробки Altium Designer. В результаті на основі принципової схеми була спроектована готова друкована плата та збиральний кресленик.

У четвертому розділі основним завданням було, розробка програмного забезпечення. Перед початком програмування виконалось проектування блок-схеми алгоритму роботи програми, яка на доступному для звичайного користувача рівні абстракції показує схему роботи програми, взаємозв'язки між блоками рішення та операції. Програму було написано та скомпільовано в середовищі Arduino IDE, на мові програмування C AVR.

У ході виконання було зроблено та оформлено всю необхідну конструкторську документацію за допомогою якої можна відтворити прилад. Результати дипломного проектування були апробовані на міжнародній студентській науковій конференції «ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ ТА ВЕКТОРИ РОЗВИТКУ СВІТОВОЇ НАУКИ», яка відбувалася 21 травня 2021р. у м. Миколаїв, Україна.

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматичний регулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автоматичний_регулятор
2. Процес автоматичного регулювання. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5411587/page:8/>
3. Пропорційний закон регулювання. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Пропорційний_закон_регулювання
4. Інтегральний процес регулювання [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Інтегральний_закон_регулювання
5. ПІД регулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ПИД-регулятор>
6. Окремі випадки ПІД регулювання [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.svaltera.ua/guide/glossary/pid_regulyator_chastnye_sluchai_p_pd_pi_regulyator.php
7. Варистор [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Варистор>
8. трансформатор ОСО-0.25-09 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://electric-spb.com/element-transformator-oso-0-25-09-220-24v-ukhl3-kostroma-os0000002215.html>
9. Single-Phase Bridge Rectifier [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vishay.com/docs/88655/kbl005.pdf>
10. MB16S-TP DIODE SCHOTTKY [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/346386/MCC/MB16S-TP.html>
11. Стабілізатор KIA7805-24AF/API [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://product.ic114.com/PDF/K/KIA7805_24AP_API.pdf
12. Оптопара [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arduino.ua/docs/PC817rus.pdf>
13. Arduino Nano опис [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano_ардуино

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

14. Arduino Nano [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Nano
15. Роз'єм KLS [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://elcodis.com/parts/2180099/KLS_2.html
16. Транзистор IRFZ44NPbF [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.infineon.com/dgdl/irfz44npbf.pdf?fileId=5546d462533600a40153563b3a9f220d>
17. Транзистор STP120N4F6 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stp120n4f6.pdf>
18. Дисплей WEH001602DGPP5N00000 [Електронний ресурс] –
Режим доступу:
<http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/WEH001602DGPP5N00000.pdf>
19. Виробник друкованих плат JLPCB [Електронний ресурс] – Режим
доступу: <https://jlcpcb.com/>
20. Друкована плата [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Друкована_плата
21. Види друкованих плат [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://sdamzavas.net/1-15261.html>
22. Матеріал FR-4 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://sites.google.com/site/konstruktor2011vsch/16-materialy-dla-pecatnyh-plat>
23. Опис характеристик FR-4 [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.mclpcb.com/blog/fr4-guide/>
24. Класи точності друкованих плат [Електронний ресурс] – Режим
доступу: <https://www.kazedu.kz/referat/107650/1>
25. САПР Altium Designer [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.altium.com/altium-designer>
26. Кодування сигналів в електронних системах частина 2.
Математичні основи теорії кодування. Том 3. Теорія систем штучного інтелекту
/ С.В. Денбновецький, І.В. Мельник, Л.Д. Писаренко., 2018. – С. 161.

27. Князьков В.С., Волченская Т.В. Введение в теорию автоматов. – М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. – 90 с.
28. Arduino PID Library [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary/>
29. Процес компіляції [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cppstudio.com/uk/post/200/>
30. ГОСТ 12.2.007–75 Система стандартов безопасности труда ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ Общие требования безопасности
31. ГОСТ 15150–69 МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
32. ГОСТ 23571–86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.
33. ГОСТ 23752–79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия.
34. ГОСТ 29137–91 ФОРМОВКА ВЫВОДОВ И УСТАНОВКА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ Общие требования и нормы конструирования.
35. ГОСТ Р 50621–93 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ ОДНО– И ДВУСТОРОННИЕ С НЕМЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ Общие технические требования
36. ДСТУ 3008:2015 ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура та правила оформлювання
37. ОСТ 4.010.022 – 85 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Методы конструирования и расчёта

					<i>ДП.ДЕ-п81.003 ПЗ</i>	Арк.
						65
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Лістинг програми

```

#define PID_OPTIMIZED_I    // активація режиму оптимізації інтегральної суми, (різкі скачки значення з датчика (вхід
регулятора) поблизу меж, можуть призводити до обнуління інтегральної суми. Ця установка їх прибирає)

#include<LiquidCrystal.h> // Підключаємо бібліотеку дисплея
LiquidCrystal lcd (7,8,9,10,11,12); // Вказуємо ніжки Ардуїно до яких підключений дисплей
#include "PID.h"          // Підключаємо бібліотеку PID регулятора
#include <avr/eeprom.h>    // Підключаємо бібліотеку EEPROM для збереження коефіцієнтів после відключення живлення
float I_setpoint = 1.00;  // Вказуємо значення установки PID регулятора
int Button_debounce = 20; // Час між змінами показань при постійно утримуючи кнопку
float regulator_step = 0.01; // Крок зміни коефіцієнтів при натисканні кнопки
float A_setpoint = ((I_setpoint*255.00)/2.00); //Переводимо свідчення установки з Ампер в цілочисельні значення для
розрахунків.

float current_threshold = ((1.9*255.00)/2.00); // Переводимо рівень 1.9А в в цілочисельні значення
float K_p;          //Оголошуємо змінну для коеф. КР
float K_i;
float K_d;
int Dt_ms = 10;     //період дискретизації для PID регулятора
int sensor_threshold = 512; //Вказуємо поріг спрацьовування датчиків двері і рівня жидкості.Діапазон 0-1024, що відповідає
0-5В

unsigned long errorTimer = 0; //Оголошуємо змінну для таймера, який вважає скільки часу пройшло від перевищення порога
в 1.9А датчика

PID regulator(K_p, K_i, K_d); // Вказуємо бібліотеці оголошені коефіцієнти
void setup() {
    //Serial.begin(9600);      //Запускаємо UART
    pinMode(2, INPUT);        //Вказуємо що ніжки Ардуїно, підключені до кнопок працюватимуть на ВХІД
    pinMode(4, INPUT);
    pinMode(5, INPUT);
    pinMode(6, INPUT);
    pinMode(13, INPUT);

    K_p = eeprom_read_float(10); //Зчитуємо з пам'яті значення Коефіцієнтів
    K_i = eeprom_read_float(20);
    K_d = eeprom_read_float(30);

    lcd.begin(16,2);          // ініціалізуємо дисплей
    lcd.clear();              // очищуємо дисплей
    regulator.Kp = K_p;       // Повіdomляємо регулятору значення K_p
    lcd.setCursor(0,0);       // встановлюємо курсор дисплея на потрібні координати
    lcd.print("Kp");          // Выводим на дисплей надпись "Kp"
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(K_p);           // Выводимо на дисплей значення Kp
    regulator.Ki = K_i;
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print("Ki");

```

```

    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print (K_i);
    regulator.Kd = K_d;
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("Kd");
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print (K_d);
    regulator.setDirection(NORMAL); // повідомляємо регулятору напрямок регулювання
    regulator.setLimits(0, 255); // повідомляємо регулятору межі ( для 8 бітного ШІМ)
    regulator.setpoint = A_setpoint; // повідомляємо регулятору струм, який він повинен підтримувати
    regulator.setDt(Dt_ms); // повідомляємо регулятору період дискретизації
    errorTimer = 0;
}

void loop() { // Основний цикл програми
    static uint32_t tmr; // Оголошуємо змінну таймера дискретизації
    byte er_flag=1; // Прапор для виведення даних на екран після помилки
    if ((analogRead(A4) > sensor_threshold) || (analogRead(A5) > sensor_threshold)){ //Перевіряємо значення датчиків дьвері і
рівня рідини
        lcd.clear(); // якщо їх значення вище порогового виводимо на екран помилку і
відключаємо ШІМ
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("SENSOR ERROR");
        analogWrite(3, 0);
        er_flag = 0;
        while((analogRead(A4) > sensor_threshold) || (analogRead(A5) > sensor_threshold)){
        }; // Чекаємо поки їх значення не буде нижче порогового
        lcd.clear(); // очищаємо дисплей
        if (er_flag == 0){ // якщо прапор нуль виводимо дані на екран
            lcd.setCursor(0,0); // встановлюємо курсор дисплея в потрібні координати
            lcd.print("Kp"); // Виводимо на дисплей напис "Kp"
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print (K_p); // Виводимо на дисплей значення Kp

            lcd.setCursor(6,0);
            lcd.print("Ki");
            lcd.setCursor(6,1);
            lcd.print (K_i);
            lcd.setCursor(12,0);
            lcd.print("Kd");
            lcd.setCursor(12,1);
            lcd.print (K_d);
        }
    }

    int voltage_value1 = analogRead(A1); //Зчитуємо показання АЦП з шунта
    float Sensor_val_to_PWM = voltage_value1/3.86; // Перетворимо значення до діапазону 0-255

```

```

        if((Sensor_val_to_PWM > current_threshold) && (errorTimer == 0)){ // Якщо показання з датчика вище 1.9 А і таймер ще не
запущений
            Sensor_val_to_PWM = A_setpoint; // Прирівнюємо значення датчика до установки
            errorTimer = millis(); // Запускаємо таймер
        }

        else if((Sensor_val_to_PWM > current_threshold) && (millis() - errorTimer < 200)){ // Якщо він вже в роботі менше 0.2 с, то
прирівнюємо значення датчика до установки
            Sensor_val_to_PWM = A_setpoint;
        }

        else if ((Sensor_val_to_PWM > current_threshold) && (millis() - errorTimer >= 200)) { // Якщо ж він вже в роботі більше або
= 0.2 с, то відключаємо ШІМ і виводимо на дисплей помилку
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("CURRENT ERROR");
            while(digitalRead(2) == 1){ // Чекаємо, поки не натиснуть кнопку 7, щоб відновити роботу після помилки
                analogWrite(3, 0);
            }
            lcd.clear();
            errorTimer = 0; // Обнуляємо таймер
            lcd.clear(); // очищаємо дисплей
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("Kp");
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print (K_p);
            lcd.setCursor(6,0);
            lcd.print("Ki");
            lcd.setCursor(6,1);
            lcd.print (K_i);
            lcd.setCursor(12,0);
            lcd.print("Kd");
            lcd.setCursor(12,1);
            lcd.print (K_d);
        }
        else{
            errorTimer = 0;
        }

        if (millis() - tmr >= Dt_ms) { // Якщо час перевищив період дискретизації, то оновлюємо значення на вході ПІД
            tmr = millis(); // Прирівнюємо значення таймера до поточного часу
            regulator.input = Sensor_val_to_PWM; // повідомляємо регулятору поточні показання з датчика
            regulator.getResult(); // беремо значення з виходу регулятора
            analogWrite(3, regulator.getResultTimer()); // відправляємо значення виходу ПІД регулятора у вигляді ШІМ сигналу на
натікач

            // Serial.print(Sensor_val_to_PWM); // Виводимо всі показники на ПК
            // Serial.print(" ");
            // Serial.print(A_setpoint);

```

```

// Serial.print(" ");
// Serial.println(regulator.output);
}
if ((digitalRead(4) == 0) && (digitalRead(5) == 1)) { // Перевіряємо чи натиснута кнопка 1 і НЕ натиснута кнопка 2
    K_p = K_p + regulator_step; // Якщо натиснута збільшуємо значення на заданий раніше крок,
    повідомляємо нове значення регулятора і виводимо на дисплей
    regulator.Kp = K_p;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Kp");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print (K_p);
    delay(Button_debounce);
}
if ((digitalRead(5) == 0) && (digitalRead(4) == 1)) {
    K_p = K_p - regulator_step;
    regulator.Kp = K_p;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Kp");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print (K_p);
    delay(Button_debounce);
}
if ((digitalRead(6) == 0) && (digitalRead(13) == 1)) {
    K_i = K_i + regulator_step;
    regulator.Ki = K_i;
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print("Ki");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print (K_i);
    delay(Button_debounce);
}
if ((digitalRead(13) == 0) && (digitalRead(6) == 1)) {
    K_i = K_i - regulator_step;
    regulator.Ki = K_i;
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print("Ki");
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print (K_i);
    delay(Button_debounce);
}
if ((analogRead(A2) < 512) && (analogRead(A3) > 512)) {
    K_d = K_d + regulator_step;
    regulator.Kd = K_d;
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("Kd");

```

```

    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print (K_d);
    delay(Button_debounce);
}

if ((analogRead(A3) < 512) && (analogRead(A2) >512)) {
    K_d = K_d - regulator_step;
    regulator.Kd = K_d;
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("Kd");
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print (K_d);
    delay(Button_debounce);
}

if (digitalRead(2) == 0) { // Перевіряємо чи натиснута кнопка 7
    eeprom_write_float(10, K_p); // Якщо так зберігаємо в пам'ять значення коефіцієнтів
    eeprom_write_float(20, K_i);
    eeprom_write_float(30, K_d);
    delay(Button_debounce);
}
}

```

**Публікація у міжнародній студентській науковій конференції
«ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ ТА ВЕКТОРИ РОЗВИТКУ СВІТОВОЇ
НАУКИ»**

Якщо перейти за посиланням конференції
<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/liga/issue/view/21.05.2021/536>, на 195с. можна
ознайомитися зі текстом статі.

**ПІД РЕГУЛЯТОР ТИСКУ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ ГАРМАТИ
ДЛЯ ПЛАВКИ МЕТАЛІВ**

Чевичелов Юрій Олексійович

здобувач вищої освіти факультету електроніки

НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Науковий керівник: Тугай Сергій Борисович

канд. наук, доцент, доцент кафедри "Електронних приладів та систем"

НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Україна

Газорозрядна електронна гармата для плавки металів належить до генераторів пучків розігнаних електронів на основі високовольтного тліючого розряду і широко застосовується для електронно-променевої плавки металів та сплавів.

Керування газорозрядними гарматами здійснюється шляхом впливу на параметри плазми розряду у розрядному проміжку гармати. Для гармати діодного типу, представленої на (рис. 1.1), такий вплив можливо здійснювати або зміною прискорюючої напруги або зміною тиску в розрядному проміжку гармати, тобто здійснюючи зміну кількості носіїв заряду, які приймають участь в процесі генерації електронного пучка.

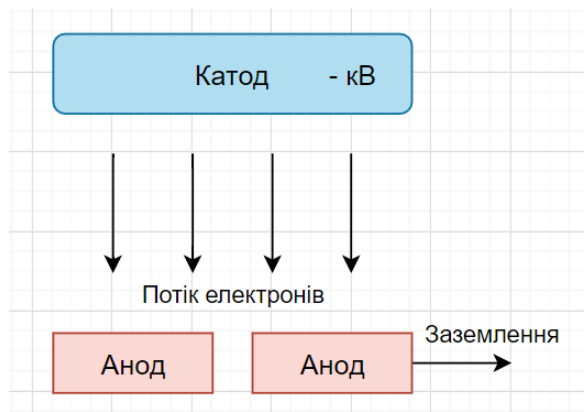


Рис 1.1 Схема розрядного проміжку газорозрядної гармати

Керування високою напругою, яка прикладається до розрядного проміжку гармати, вимагає застосування елементної бази зі специфічними характеристиками. Це помітно ускладнює конструктивне виконання системи керування. Тому традиційно використовується газодинамічний спосіб керування газорозрядними гарматами, який полягає у створенні динамічної рівноваги тиску всередині розрядного проміжку при контрольованому напуску газу в гармату при її постійному відкачуванні вакуумною системою технологічної установки через променепровід гармати.

Система автоматичного регулювання газорозрядною гарматою з холодним катодом має зворотній зв'язок, тобто сигнал з датчика струму гармати і показана на (рис. 1.2), взята з першого джерела. У ній блок R називають регулятором, P - об'єктом регулювання, r - уставкою, e - сигналом неузгодженості, u - вихідною величиною регулятора, y - регульованою величиною.

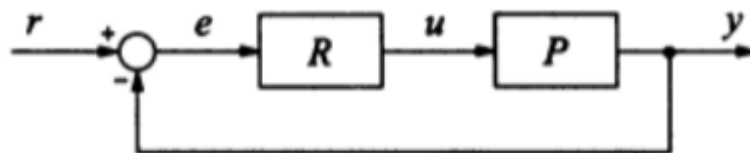


Рис 1.2 Система автоматичного регулювання

У цій схемі вихідна змінна регулятора описується залежністю:

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

де t - час, а K , T_i , T_d - пропорційний коефіцієнт, постійна інтегрування і постійна диференціювання відповідно, то такий регулятор називають ПД регулятором.

Для створення приладу регулювання натікачем гармати була створена принципова схема приладу (рис 1.3).

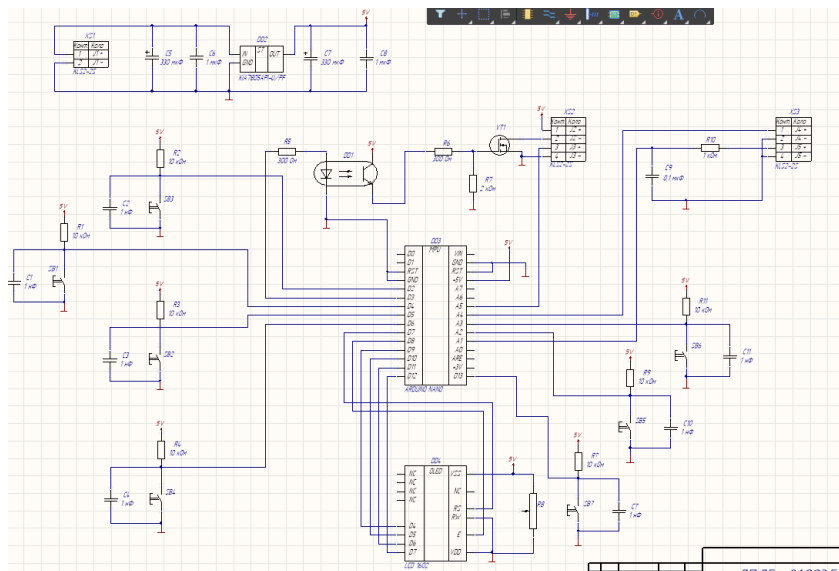


Рисунок 1.3 – Загальна принципова схема приладу

Ця схема відрізняється від більшості схем ПД регулювання газорозрядним джерелом електронів, наявністю незалежного джерела живлення, додаткових вимог щодо безпеки технологічного обладнання, забезпечення захисту обслуговуючого персоналу, завдяки обробці таких дозволяючих сигналів, як “Двері в технологічну зону” та “Наявність охолоджувальної рідини”.

Алгоритм роботи системи керування захищає гармату від довготривалих електричних пробоїв, що по специфіці робіт у промисловій плавціметалів притаманні для такого типу гармат. Програма мікроконтролера в автоматичному режимі може ігнорувати короткочасні електричні пробої, які відбуваються не довше ніж 0,2 с.

Для налаштування ПД-регулятора використовується група кнопок що відповідає за інтегральний, диференційний, пропорційний коефіцієнти. Налаштовування системи ПД-регулювання під будь-яку гармату для плавки металів виконується відомими методами, наприклад метод Зіглера-Нікольса. Для оптимального застосування газорозрядної гармати параметри налаштування системи зберігаються в ПЗУ

мікроконтролера. Також було розроблено друковану плату з 3D моделями компонентів у САПР яка зображена на (рис 1.4).

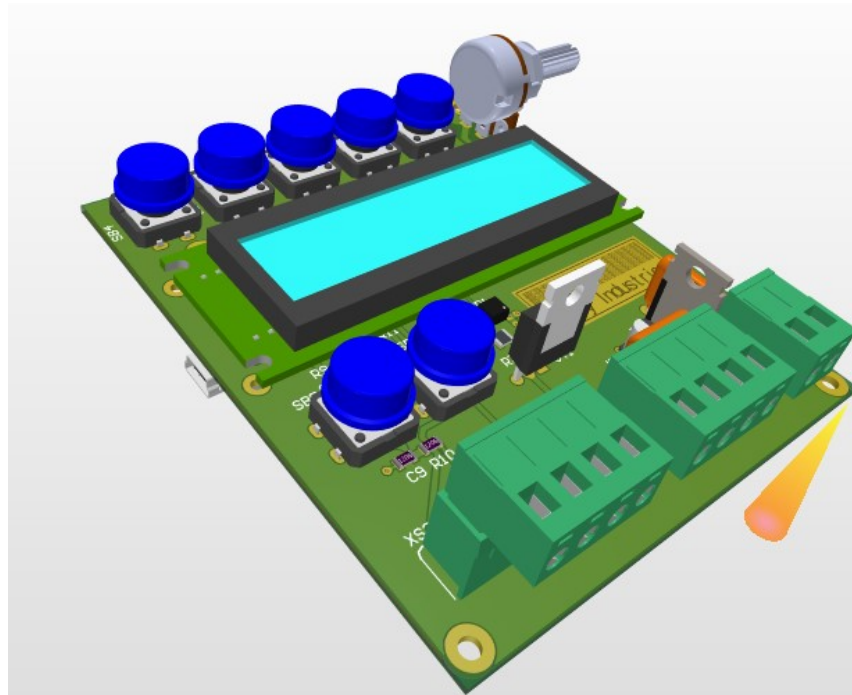


Рисунок 1.4 – 3D модель приладу

Висновки. Представлена система регулювання для газорозрядних гармат на основі високовольного тліючого розряду враховує специфічні вимоги, які висуваються до подібних систем, щодо додаткового захисту персоналу та особливостей роботи таких гармат. Запропонована розробка виконана у відповідності до сучасного рівня електроніки, має перспективи модернізації, відрізняється відносною простотою та низькою вартістю компонентів, що досить важливо з точки зору доступності для багатьох вітчизняних підприємств

Список використаних джерел:

1. Попович М.Г., Ковальчук А.В., Теорія автоматичного регулювання, Підручник, Київ. – Либідь, 2007, – 656с.
2. Тугай С. Б. Дослідження енергетичних характеристик тріодної газорозрядної гармати з холодним катодом // Електроника и связь : научно-технический журнал. – 2012. – № 1(66). – С. 9–12. – Библиогр.: 4 назв.

ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Перелік елементів наведено у файлі ДП.ДЕ-п81.003 ПЕЗ

ПЛАТА. СПЕЦИФІКАЦІЯ

Специфікацію наведено у файлі ДП.ДЕ-п81.003 СП

S U M M A R Y

PID pressure controller of the electronic gun

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171

Electronics, specialization ELECTRONIC DEVICES AND EQUIPMENT

Chevichelov Yurii. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE-p81. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. - 80 p., Ill.65, tables 4.

Keywords: PID controller, arduino, electronic gun, PWM, Altium Designer.

Summary of the project: In modern electron beam technological installations control systems of analog systems which provide functionality of control bodies of processes of analog digital control are widely used. Digital systems provide ample opportunities for remote control of technological equipment, allow the removal of the human operator from the area adjacent to the technological equipment, which has a number of striking factors, such as high pressure, radiation, noise, toxicity of manufactured materials and others.

To solve this problem, the best but at the same time can be the algorithm of the regulator, which includes proportional, integral and differential laws of regulation.

Control of high gas pressure in the discharge chamber of the electronic gun with the help of regulators operating according to the law of PID, allows us to maintain the required pressure values with high enough accuracy regardless of variable parameters of own guns, such as contamination before.

Also with a small refinement and a changed software part of the PID controller can be used when working with any systems of precise control, such as control of thermal systems or positioning systems.

Characteristic features of the PID regulator are.

1. Limited valve capacity.
2. The non-existent possibility of changing the sign of the control effect of the PWM control signal is given only at the opening of the hood.

3. The accuracy of the calculated and obtained measurements required to perform the calculations of the coefficients with the corresponding error.

4. The presence in the control system of processes described by nonlinear differential equations.

5. Random pressure change in the vacuum process chamber and random variations in the parameters of the regulator and the object.

6. Implementation of the controller on discrete properties.

Also in the work will be briefly considered options for solving problems that arise in the presence of these features.

In general, the implementation of full-fledged PID control in a microprocessor device is based on the following subsystems:

- measurement subsystem;
- PID algorithm processing subsystem;
- the subsystem is designed for the user control interface;
- subsystem for issuing regulatory influence.

In the course of the diploma project it is planned to search for the optimal existing algorithms of regulators arranged in the finished library. Based on a comparison of ready-made algorithms, choose the best one that will be included in the program. First of all, when searching, attention will be paid to the level of automation and speed of the control system.

On the basis of the block diagram of the device the schematic diagram and the printed circuit board, the assembly drawing, all set of the design documentation necessary for serial production of the device will be developed.

The main goal of the design is to produce the cheapest, most reliable and accurate PID regulator available to any domestic enterprise, as now Ukrainian production is in a rather difficult situation.

After creating the original scheme of operation of the algorithm of the PID-controller program, on its basis the program which will provide performance of

calculations, communication of the microcontroller with other components of the scheme will be constructed.

The developed PID-regulator should be of interest to companies that plan to modernize or manufacture equipment based on gas-discharge electronic guns for melting metals.

PID-pressure regulator is a separate device that is responsible for supplying gas to the gas discharge chamber of the gun by means of the PWM signal coming to the inflow, feedback is realized by means of lightning reaction of control system to change of current consumption of the gun. by connecting a shunt. The controller must have its own separate power supply, independent of the gun, which is connected to the connectors of the controller board in the absence of a DC voltage of 5-9V. The algorithm of the program operation must include the possibility of the controller to work with the sensors of the presence of coolant and the closed door of the process chamber, provided that they are connected to the connectors. To choose a chip that performs all the mathematical calculations, it should be built on a fairly fast chip with enough memory for the program. The main requirement for the example of the inflow control is to ensure the ability to work with different GRG when changing the settings of the control coefficients, ensuring fast and accurate control of the metal melting despite changes in gun characteristics due to cathode contamination or others.

In the presented diploma project the PID regulator of pressure of the electronic gun was developed. In the process of creating the project, a schematic diagram was developed, a search and selection of the component base was performed, based on the calculations of paths and landings, a printed circuit board was developed and software was designed.

The first section discusses the various methods of regulation, the key points to ensure normal regulation, the rules for adjusting the regulators that must be followed for successful management of the object. It has been determined that each type of regulation has its own unique dependencies, advantages and disadvantages, due to which they may or may not control the object properly. During the review of existing

models, regulators were divided into 2 categories that differ in the level of functionality and availability. Analysis of different models of these categories showed that each of them worked with different control errors and speeds, but not one of the regulators is not able to work with the operator to change the coefficients, monitor and signal dangerous operating conditions of GRG, its staff. In order to be able to change the PID of the controller, it is necessary to display the current data of the coefficients, for which the screen was connected to the PID of the controller. The option of using a touch screen from an economic point of view is not a justified solution, so it was decided to use a push-button interface built into the controller board. To control the power of the electron beam of the GRG, it was decided to use the PID algorithm, which is implemented by including a ready-made library in the firmware of the microcontroller.

The main task of the second section was to create a schematic diagram of the regulator. First, a block diagram was created, which consisted of all the structural elements of the control unit and the relationships between them. Creating a block diagram has greatly facilitated the task of developing a schematic diagram. When choosing components, first of all, the technical parameters of the components were taken into account, after which the price was compared. Only modern elements with a high level of accessibility within Ukraine took part in the selection of all elements. The designed circuit allows you to easily change the coefficients, signal the status of the device and control the intruder.

The purpose of the third section was to develop a printed circuit board. It was decided to use FR4–35–1.25 as the DP material. A two-layer PCB was selected. As a method of making a dielectric layer and applying a copper coating, it was decided to use a positive combined method. The fifth accuracy class was chosen for the conductors. the components on the PCB were arranged according to the functional need and the number of strings. The purpose of placing the components is to reduce the number and length of conductive parts on the PCB.

Before designing the conductive connections on the board, the calculation of the landing sites and the minimum dimensions of the tracks was performed.

The Altium Designer development environment was chosen to create technical documentation and modeling with an intuitive interface and all the necessary features. As a result, a ready-made PCB and assembly drawing were designed based on the schematic diagram.

In the fourth section, the main task was software development. Before the start of programming, a block diagram of the algorithm of the program operation was designed, which at the level of abstraction available to the average user shows the scheme of the program operation, the relationship between the solution blocks and the operation. The program was written and compiled in the Arduino IDE, in the C AVR programming language.

During the execution, all the necessary design documentation was made and executed with the help of which the device can be reproduced.

The results of diploma design were tested at the international student scientific conference "PRIORITY DIRECTIONS AND VECTORS OF WORLD SCIENCE"