

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему **«Модернізація електропривода зварювальної установки типу YS-020»**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дігтяр С.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Бісмицька С.Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій



О.В. Шефер

«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Дігтяру Станіславу Олександровичу

1. Тема роботи «Модернізація електропривода зварювальної установки типу
YS-020»

керівник роботи Єрмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент

затверджена наказом вищого навчального закладу від 03. 03. 2025 року
№ 306/1- ф.а.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Тягове зусилля установки – 859 Н; час
опускання зварювальної головки – 0,8 с; довжина робочого ходу
зварювальної головки – 0,27 м; швидкість обертання зварювальної головки
5,6 ±20% об/ хв., швидкість зварювання лінійна 40±20% м/год. Розробити
частотно-регульований електропривод для забезпечення точності підтримки
швидкості не менше 5%. Забезпечити необхідні характеристики перехідних
процесів та мінімальний час проходження повного циклу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити)) Розгляд сутності процесу зварювання. Опис будови установки та
аналіз технологічного процесу її роботи. Постановка завдань. Розрахунок
основних параметрів приводу опускання пальника. Розроблення
конструкції, та розрахунок основних параметрів приводу повороту
стола. Розроблення електроприводу механізму опускання зварювальної
головки. Синтез системи автоматичного керування. Перевірка системи на
стійкість і якість.

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра Дігтяра Станіслава Олександровича
«Модернізація електроприводу зварювальної установки типу YS-20»

Робота містить 61 сторінки, 15 рисунків, 7 таблиць та 15 використаних джерел літератури.

Ключові слова: зварювальний автомат, електропривод, механізм опускання зварювальних головок, поворотний стіл.

Метою даної роботи є заміна застарілого електроприводу зварювального автомата сучасним електроприводом, що суттєво підвищує точність роботи, спрощує його експлуатацію за рахунок використання сучасного спеціалізованого обладнання та розроблення системи контролю за технологічним процесом. Керування автоматом здійснюється за допомогою програмованого мікроконтролера, завдяки чому процес керування має високу точність та швидкодію. Розроблена система керування була досліджена на якість та стійкість. Модернізована установка після більш детальної доробки може бути використана на виробництві.

ABSTRACT

of the qualification work of the bachelor Dihtyar Stanislav Oleksandrovych
"Modernization of the electric drive of the welding installation type YS-20"

The work contains 61 pages, 15 figures, 7 tables and 15 sources used.

Keywords: welding machine, electric drive, welding head lowering mechanism, rotary table.

The purpose of this work is to replace the outdated electric drive of the welding machine with a modern electric drive, which significantly increases the accuracy of work, simplifies its operation through the use of modern specialized equipment and the development of a process control system. The machine is controlled using a programmable microcontroller, thanks to which the control process has high accuracy and speed. The developed control system was tested for quality and stability. The modernized installation, after more detailed refinement, can be used in production.

3.3	Перевірка системи на стійкість
3.4	Побудова та аналіз перехідної функції системи
	ВИСНОВКИ
	Використана література
	Додатки

ВСТУП

Раніше основну виробничу потужність складали великі заводи, спеціалізовані на крупносерійному випуску великої кількості однотипної продукції. Таким підприємствам було практично неможливо у відносно короткий час змінити номенклатуру своїх виробів. Це потребувало зміни усього технологічного процесу виробництва, оновлення та розроблення нового обладнання. В результаті розвитку ринкових відносин підприємства, спеціалізовані на крупносерійному виробництві, або притерпіли значних змін, або були реорганізовані та розбиті на декілька невеликих підприємств.

Крім того у даний час створюється багато підприємств, які спеціалізуються на випуску невеликих партій виробів за замовленням покупця. Підприємства, спеціалізовані на дрібносерійному виробництві, швидше пристосовуються до зміни ринку, мають простішу та ефективнішу систему управління та контролю процесу виробництва.

Важливою проблемою таких підприємств є відсутність необхідного для виробництва обладнання, верстатів, інструментів, у тому числі це стосується зварювального обладнання. Вибір якісного зварювального апарату –

продуктивного, компактного та економного у використанні, а головне – такого, що буде відповідати вимогам даного виробництва – доволі складне завдання.

Актуальність теми. Майже у кожному виробництві невід’ємною частиною технологічного процесу є зварювальні роботи. На даний момент ринок пропонує великий асортимент ручних зварювальних апаратів та зварювальних установок для крупносерійного виробництва. Але вони не завжди можуть задовольнити потреби сучасного виробництва, основні вимоги якого: відносно невеликі розміри зварювальної установки, висока продуктивність, простота керування, можливість виконання зварних швів дугової форми, відповідний рівень автоматизації, тому модернізація існуючих установок є дуже актуальною.

Більшості з вимог крупносерійного виробництва відповідає широко розповсюджений зварювальний автомат моделі YS-020. Відповідно до вищевказаного, його виробничі характеристики та продуктивність можна покращити, виконавши його модернізацію.

Мета і задачі роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи є модернізація застарілого приводу зварювального автомата YS-020, який дозволяє проводити зварювання деталей як стандартних, так і з певними геометричними відхиленнями зварними швами дугової форми, сучасним електроприводом, що дасть змогу суттєво підвищити точність його роботи, спростити експлуатацію за рахунок використання сучасного спеціалізованого обладнання та розроблення системи контролю за ходом технологічного процесу зварювання.

Для модернізації зварювальної установки необхідно провести аналіз існуючого обладнання приводів повороту столу, опускання пальника та привода повороту зварювальної головки; оновити систему керування як кожним електроприводом, так і усією установкою; провести розрахунок та вибір елементів схем для систем керування

електроприводами установки, провести перевірку модернізованої системи на відповідність заданим параметрам.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Зварювання – це процес отримання нероз’ємних з’єднань матеріалів шляхом встановлення міжатомних зв’язків між звареними частинами з їх частковим або загальним нагріванням.

Загалом відомо більш ніж 150 типів процесів зварювання, основними є контактне, електродугове, аргонно-дугове та газове зварювання [1]. Для різних типів зварювання використовують різні види зварювальних апаратів, при виборі яких необхідно враховувати такі характеристики, як величину та тип струму зварювання, напругу живлення, діаметр електрода, потужність, масу та робочий цикл [2].

1.1 Сутність процесу зварювання

У процесі дугового зварювання нагрівання, плавлення та зварювання металів здійснюється теплом електричної дуги, що запалюється між зварюваним металом та електродом [3]. Для живлення електричної дуги тут використовується джерело постійного або змінного струму. Зварювання можна зробити електродами, що плавляться, та електродами, що не плавляться.

- 1) Зварювання електродом, що не плавиться

Зварювання за цим методом здійснюється прямою або непрямою дугою. Більше того, електродний матеріал тут практично не бере участі у процесі формування зварювання. У цьому випадку зазвичай використовується вольфрам або графіт (вугілля).

При використанні графітового електрода живлення дуги здійснюється від джерела постійного струму. Зварювання проводиться на прямій полярності (електрод підключений до негативного полюса джерела, а зварений метал – до позитивного). При використанні вольфрамового електрода зварювання проводиться змінним або постійним струмом прямої полярності.

2) Зварювання електродом, що плавиться

Зварюванням з плавленим електродом здійснюється дугою, що виникає між електродом і зварюваним металом. Матеріал електрода використовується для утворення зварювального шва. Зазвичай використовуються електроди з металів: залізо, мідь, чавун. До складу електродів можуть бути додані різні добавки, які покращують якість зварювального шва або підвищують стійкість горіння дуги. Електрод подається до зони зварювання по мірі його плавлення. Живлення дуги може здійснюватися як від джерела постійного, так і змінного струму. Зварювання можна проводити як на прямій, так і зворотній полярності струму [3]. В якості електродів плавлення використовуються штучні зварювальні електроди, а також суцільний або порошковий зварювальні дроти.

При дуговому зварюванні з плавленим електродом перенос металу (від електрода до місця зварювання) визначається впливом ряду перелічених нижче факторів.

Фактор 1. Випаровування та конденсація. На кінці електрода відбувається інтенсивне виділення тепла, завдяки якому частина металу випаровується. Частина цих парів розсіюється, але більшість конденсується у зварювальній ванні, котра має більш низьку температуру.

Фактор 2. Сила тяжіння. При зваренні в нижньому положенні сила гравітації допомагає спрямовувати розплавлений метал з електрода в зварювальну ванну. В інших просторових положеннях сила тяжіння може запобігти нормальному перенесенню металу у зварювальну ванну. У цьому випадку варто використовувати більш тонкі електроди, оскільки сили поверхневого натягу не в змозі підтримувати велику кількість металу у зварювальній ванні.

Фактор 3. Ефект стиснення (пінч-ефект). Навколо електричної дуги, як поблизу будь-якого лінійного провідника зі струмом, утворюється кільцеве магнітне поле. Оскільки струм в дузі тече перпендикулярно до напрямку магнітного поля, то на дугу діє сила, спрямована на її центр (радіальна сила стиснення). Більш того, якщо поперечний переріз каналу провідника нерівномірний, то виникає сила, спрямована від меншого перерізу цього провідника до більшого. Ця сила затискає краплю розплавленого металу і відриває її від електрода. У той же час краплі надається імпульс руху, який спрямовує цю краплю в бік зварювальної ванни.

Фактор 4. Поверхневий натяг. Сили поверхневого натягу допомагають утримувати розплавлений метал на кінчику електрода та у зварювальній ванні, а також формують контури зварного шва.

Фактор 5. Газовий потік в дузі. Газові потоки, спрямовані вздовж осі, експериментально зустрічаються у всіх дугах. Як правило, вони виникають при струмах понад 50 А, а їх швидкість сягає 50-150 м/с. Потік газу, який йде від кінчика електрода, створює тиск на зварювальну ванну, завдяки чому на поверхні розплавленого металу утворюється виїмка, яка називається зварювальним кратером. При стисненні дуги швидкість потоку газу може досягти певного критичного значення, в якому буде видалено весь метал із зварювальної ванни. Подібні режими використовуються в різанні металу [2].

Природа переносу металу при дуговому зварюванні залежить від щільності струму, від довжини та атмосфери дуги, від використовуваної

полярності. Також треба звернути увагу, що перенос металів може бути крупнокрапельним, дрібнокрапельним і туманоподібним.

1.2 Будова зварювальної установки типу YS-010 та опис технологічного процесу її роботи

Зварювальний автомат моделі типу YS-020 призначений для виконання зварних швів дугової форми з кутом дуги 240–280°. Цими швами з'єднуються деталі «втулка» і «основа».

Конструкція поверхонь для встановлення деталей дозволяє використовувати автомат для зварювання декількох відмінних за конструкцією аналогічних деталей, завдяки стандартизованій конструкції деталі «втулка». У базовому варіанті автомат налагоджується на виконання дугових швів із кутом дуги 280°. Орієнтація деталей «втулка» і «основа» виконується одна відносно одної під кутом 240° (у загальній площині симетрії спеціальним притискачем). Цей кут регулюється при налагодженні автомата.

Загальний вигляд зварювальної установки представлений на рис. 1.1.

На відміну від існуючих установок та обертальних пристроїв, зварювальний автомат YS-020 дозволяє проводити зварювання деталей, що мають певні геометричні відхилення. Вивантаження готових виробів механізоване, що дозволяє зменшити час операції.

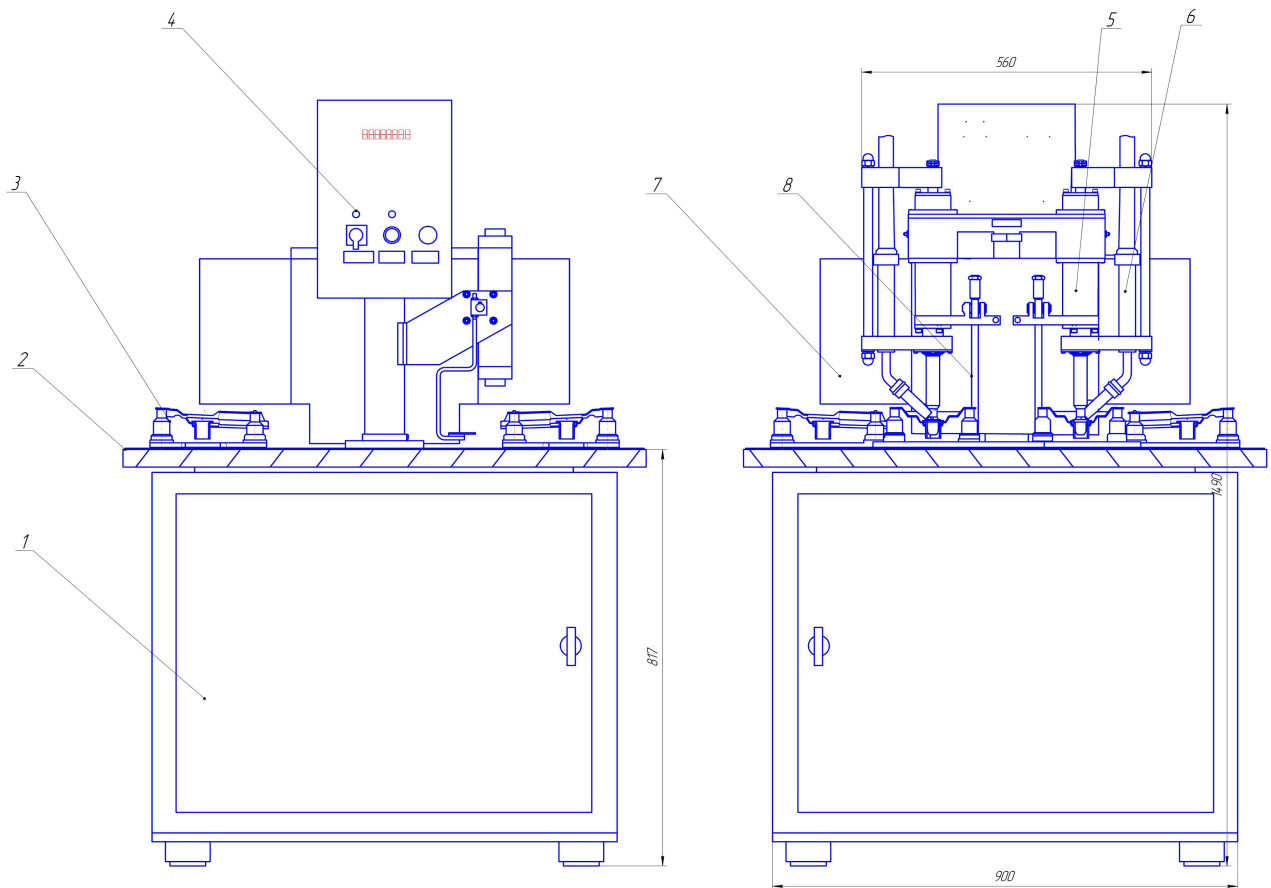


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд зварювальної установки:

1 – основа; 2 – стіл, що повертається; 3 – заготовка; 4 – пульт керування;
 5 – двигун повороту зварювальної головки; 6 – зварювальна головка; 7 – захисний щиток; 8 – рейка механізму опускання зварювальної головки

Даний автомат згідно прийнятому стандарту може експлуатуватися у районах із помірними кліматичними умовами в закритих приміщеннях, він відповідає вимогам безпеки праці і пройшов атестацію у відповідному органі Держнагляду з охорони праці.

В базовому виконанні автомат має дві зварювальні головки, кожна з яких має гідроциліндр та мотор-редуктор. Гідроциліндр виконує опускання та підймання зварювальної головки разом з мотор-редуктором, а мотор-редуктор дозволяє зварювальній головці повертатися на кут до 280° . Положення зварювальної головки визначається за допомогою безконтактних датчиків.

Технологічний процес роботи зварювального автомата складається з наступних кроків:

- ✓ Завантаження заготовок на стіл що повертається;
- ✓ Запуск технологічного циклу;
- ✓ Поворот стола у робоче положення до спрацювання датчика;
- ✓ Опускання зварювальних головок, фіксація заготовки штоком;
- ✓ Ввімкнення зварювання, поворот зварювальних головок;
- ✓ Вимкнення зварювання після спрацювання датчика;
- ✓ Підйом зварювальних головок;
- ✓ Викид звареної деталі;
- ✓ Поворот стола у положення для завантаження;
- ✓ Повтор циклу.

1.3 Будова механізму опускання зварювальних головок

Опускання пальника відбувається за рахунок поздовжнього руху штока гідроциліндра. При використанні електродвигуна необхідно перетворити обертовий рух вала двигуна у повздовжній. Цього можна досягти, використовуючи гвинтову або рейкову передачу. Недоліком гвинтової передачі порівняно з рейковою є більш високе тертя та менша швидкість. Тому при модернізації для механізму опускання зварювальної головки доцільно використати рейкову передачу (рис 1.2).

Найбільш прийнятним місцем знаходження двигуна опускання пальника є розташування в середині установки, оскільки вагою двигуна не створюється згинаючий момент на стійці пальника, рухомі частини закриті, шум від працюючого двигуна частково знижується корпусом автомата. Двигун повинен обертатись разом зі столом, тому монтажні з'єднання для двигуна встановлюють на внутрішньому боці основи стола.

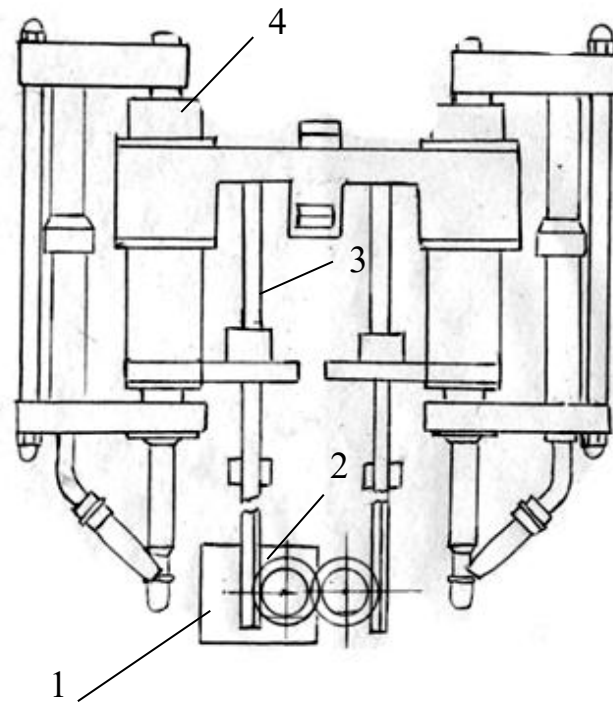


Рисунок 1.2 –Механізм опускання зварювальних головок з рейковою передачею

1. Мотор-редуктор;
2. Рейкова передача;
3. Напрямна;
4. Гільза.

Для передачі руху від редуктора до зварювальних головок варто використовувати напрямні зі сталевих рейок. Для зменшення вірогідності перекосу системи пальників і для створення рівномірного руху зварювальної системи, встановлено дві напрямних. Для того, щоб передавати рух від двигуна до двох рейок встановлено редуктор-розподільник з двох однакових шестерней, одна з яких з'єднана з редуктором двигуна, а інша закріплена вільно і дозволяє другій рейці рухатись одночасно з першою, без зміни передаточного числа (рис.1.3).

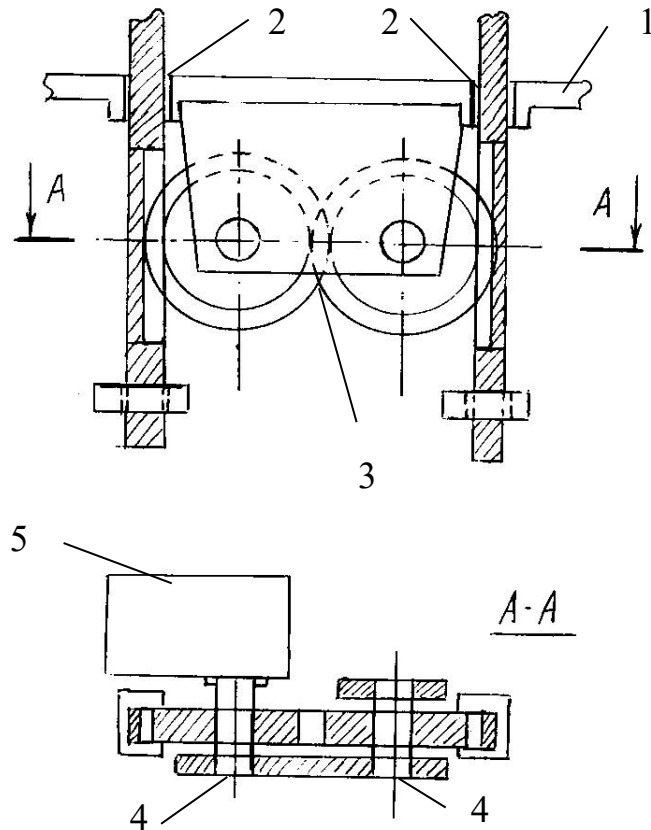


Рисунок 1.3 – Редуктор-розподільник

1. Стіл що повертається;
2. Рейка;
3. Редуктор з коефіцієнтом передачі 1;
4. Напрявні;
5. Мотор-редуктор.

Висновок до розділу. При виконанні кваліфікаційної роботи необхідно проаналізувати та провести модернізацію трьох приводів зварювальної установки:

- приводу повороту столу,
- приводу опускання пальника;
- приводу повороту зварювальної головки.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок основних параметрів приводу опускання пальника

2.1.1 Розрахунок та вибір редуктора механізму опускання зварювальних головок

Навантаження на даний двигун створюють три сили: сила тертя у траверсі, вага установки та динамічні сили під час перехідних процесів (2.1). Сума сил, які діють на вал двигуна:

$$Q = Q_T + Q_D + G \quad ,$$

(2.1)

де Q_T - сили тертя;

Q_D - динамічні сили, що виникають під час перехідних процесів;

G - сила тяжіння установки опускання зварювальних головок.

$$G = m \cdot g \quad ,$$

(2.2)

де m – сумарна маса усієї установки, кг;

g – прискорення вільного падіння, m^2/c .

Маса установки визначена, як сума мас всіх її елементів (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Маса елементів механізму підймання зварювальної головки

№	Назва елемента	Кількість	Маса (кг)	
			елементу	Загальна
1	Мотор-редуктор	2	10,3	20,6
2	Зварювальна головка	2	1,2	2,4
3	Шток	2	0,4	0,8
4	Траверса	2	5,1	10,2
5	Корпус	1	8,4	8,4
6	Датчик	4	0,05	0,2
7	Напрямна	2	0,6	1,2
Разом				43,8

Тоді сила тяжіння буде становити:

$$G = 43,8 \cdot 9,81 = 429,678 \text{ Н.}$$

Необхідно зазначити, що при русі штока вгору силу тяжіння необхідно брати зі знаком (+), а при русі штока вниз силу тяжіння необхідно брати зі знаком (-).

Оскільки найбільше навантаження на двигун виникає під час підйому зварювальної головки, то сила тяжіння у розрахунках використана з додатнім знаком.

На рух установки впливає тертя у гільзах та напрямних, тому внутрішня поверхня гільз виконана з фторопласту марки Ф4. Цей композиційний матеріал має малу масу і коефіцієнт тертя $f = 0,4$.

$$Q_T = G \cdot f \cdot k_1 \quad ,$$

(2.3)

де $k_1 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує тертя у інших елементах.

$$Q_T = 429,68 \cdot 0,4 \cdot 1,2 = 206,245 \text{ Н.}$$

При попередньому виборі двигуна для врахування динамічного моменту прийнято коефіцієнт запасу $k_2 = 1,35$. Точне визначення динамічного моменту враховане при перевірці двигуна. При попередньому виборі двигуна формула (2.1) набуває вигляду:

$$Q = (Q_T + G) \cdot k_2 \quad .$$

(2.4)

$$Q = (206,245 + 429,678) \cdot 1,35 = 858,497 \text{ Н.}$$

Для вибору двигуна визначено момент, який створюється на валу двигуна. Момент визначений за виразом:

$$M = 2 \cdot Q \cdot R / i_r \quad ,$$

(2.5)

де $R = 0,1\text{ м}$ – радіус шестерні редуктора-розподільника;

i_r - передаточне число редуктора.

Передаточне число редуктора визначено за наступними даними:

- час підймання зварювальної головки (t_p) – 0,8 секунди.
- швидкість обертання валу двигуна (n_D) – 750 об/хв.

Переведемо об/хв в об/с:

$$750 \text{ об/хв} = 12,5 \text{ об/с.}$$

Кількість обертів за одну секунду, яку виконує вал на виході редуктора:

$$n = \frac{l}{t_p \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}, \quad (2.6)$$

де $l = 0,27\text{ м}$ – довжина робочого ходу зварювальної головки.

$$n = \frac{0,27}{0,8 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1} = 0,54 \text{ (об/с).}$$

Розраховуємо передаточне число редуктора:

$$i_r = \frac{n_D}{n}, \quad (2.7)$$

$$i_r = \frac{12,5}{0,54} = 23,148.$$

Використовуючи данні отримані з (2.7) та (2.4) вибираємо редуктор типу 1Ц2У-100 з наступними характеристиками (табл.2.2):

Таблиця 2.2 – Характеристики редуктора 1Ц2У-100

Переда- точне число	Допустимий крутний момент на вихідному валу Нм	Допустиме радіальне консольне навантаження Н	Термічна потужність кВт	ККД %	Маса кг
25	317	500	не	97	31

			лімітована		
--	--	--	------------	--	--

Допустимі умови використання редуктора:

1. Навантаження постійне та змінне одного напрямку та реверсування;
2. Робота довготривала, або з періодичними зупинками;
3. Обертання валів в любий бік;
4. Частота обертання вхідного валу не повинна перевищувати 1800 об/хв.;
5. Атмосфера типів I и II згідно діючого стандарту при запиленості повітря – не більше 10 мг/м³;
6. Кліматичне виконання У, Т для категорії розміщення 1...3 і кліматичне виконання УХЛ О для категорії розміщення 4.

2.1.2 Розрахунок та вибір двигуна механізму опускання зварювальних головок

Розраховуємо момент на валу двигуна згідно (2.5):

$$M = 2 \cdot 858,497 \cdot 0,1/25 = 6,868 \text{ Нм.}$$

Необхідна потужність двигуна [7]:

$$P = M \cdot \omega_0 \cdot 10^{-3}, \quad (2.8)$$

де ω_0 – задана синхронна швидкість обертання двигуна, сек⁻¹.

Розраховуємо синхронну швидкість двигуна через задану кількість обертів за секунду:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}, \quad (2.9)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 750}{60} = 78,5 \text{ с}^{-1}.$$

Таким чином маємо потужність:

$$P = 6,868 \cdot 78,5 \cdot 10^{-3} = 0,539 \text{ кВт}$$

За розрахунковим значенням потужності P , а також за заданою синхронною швидкістю обертання ω_0 вибираємо двигун за умови:

$$P_n > P, \quad (2.10)$$

де P_n – номінальна потужність вибраного двигуна.

Попередній розрахунок показав, що найближчий за потужністю двигун на 0,75 кВт на задану швидкість обертання не задовольняє умові нагріву, тому було вибрано більш потужний двигун типу АІР-90L-B8 з каталогу [9], що задовольняє потрібним вимогам, характеристики якого наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики електродвигуна АІР-90L-B8

Р, кВт	n_0 , об/хв	I_n , А	$\cos\phi$	η , %	M_n , Нм	U_n , В	Часто- та, Гц	Маса, кг	GD^2 , кгм ²
1,1	750	3,36	0,74	72	14,8	380	50	28	5,7

Трифазні двигуни серії АІР – це сучасні загальнопромислові асинхронні електродвигуни з короткозамкнений ротором, які призначені для тривалого режиму роботи від мережі змінного струму частотою 50 Гц. Ці електродвигуни призначені для роботи у складі привода різноманітних механізмів: вентиляторів, насосів, димососів, дробилок, промислових верстатів та інших установок для різних галузей промисловості: нафтогазового господарства, ЖКХ, електростанцій різноманітного типу, сільського господарства і т.ін.

Робимо висновок, що обраний двигун можна використати до електроприводу механізму пересування зварювальних головок.

2.2 Розроблення конструкції, та розрахунок основних параметрів приводу повороту стола

2.2.1 Вибір типу двигуна для приводу повороту стола

Розвиток сучасного моторобудування дозволяє створювати електродвигуни специфічної конструкції для виконання різноманітних завдань [7]. Одну з таких розробок – синхронний поворотний двигун серії RSM, найбільш доцільно використати для розробки механізму повороту стола.

Цей двигун складається з нерухомої частини (статора) і внутрішнього кільця що обертається (ротора). Статор вміщує групу котушок, залитих теплопровідним компаундом. Ротор складається з сталевого кільця з наклеєними постійними магнітами. Гладкість переміщення досягається завдяки синусоїдальній комутації струму в обмотках двигуна.



Рисунок 2.1 – Ротор двигуна RSM - S- 36-275-xxx

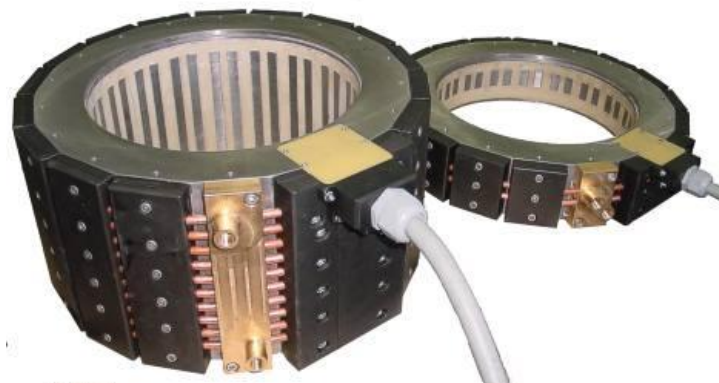


Рисунок 2.2 – Статор двигуна RSM - S- 36-275-xxx

Зусилля передається безпосередньо через повітряний зазор, це забезпечує високі динамічні та точнісні параметри двигуна та його надійність.

Головною перевагою поворотного синхронного двигуна, на відміну від асинхронного, є відсутність механічної передачі, висока точність, широкий діапазон регулювання швидкості, плавність переміщення та простота встановлення.

2.2.2 Розрахунок та вибір двигуна приводу повороту стола

Навантаження на двигун будуть створювати три сили: сила тертя стола, вага установки та динамічні сили під час перехідних процесів.

У даному випадку сила тяжіння, приведена до ротора двигуна, може бути визначена за виразом:

$$G_2 = G + (m_r + m_s) \cdot g, \quad (2.11)$$

де G_2 – сила тяжіння стола який повертається, Н ;

m_s - маса стола;

m_r - маса ротора двигуна повороту стола.

В результаті розрахунку отримуємо

$$G_2 = 429,678 + (21,4 + 44,2) \cdot 9,81 = 1129,131 \text{ Н.}$$

На рух стола буде впливати тертя, тому в даному випадку також доцільно використати напрямні з фторопласту Ф4. Силу тертя розраховуємо за формулою

$$Q_T = G_2 \cdot f \cdot k_T, \quad (2.12)$$

де f – коефіцієнт тертя фторопласту.

k_T – коефіцієнт запасу, що враховує тертя у інших елементах установки.

$$Q_T = 1129,131 \cdot 0,4 \cdot 1,2 = 541,983 \text{ Н.}$$

При попередньому виборі двигуна для врахування динамічного моменту прийнято коефіцієнт запасу $k_2 = 1,35$. Точне визначення динамічного моменту враховане при перевірці двигуна на перегрів.

Сумарну діючу силу розраховуємо за формулою (2.4):

$$Q = (1129,131 + 541,983) \cdot 1,35 = 2256,004 \text{ Н}.$$

Момент, який буде створюватись на валу двигуна визначеними з попередніх розрахунків силами:

$$M = Q \cdot R_s, \quad (2.13)$$

де R_s – радіус основи поворотного стола, маємо $R_s = 0,58 \text{ м}$;

$$M = 2256,004 \cdot 0,58 = 1308,428 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Конструкція поворотного двигуна не потребує редуктора, що суттєво підвищує його надійність (зменшення числа рухомих частин) та спрощує розрахунки.

Так як маси, які поступово рухаються, в даному випадку великі (тобто $J_{\text{дв}} \ll J_{\text{мех}}$), то врахування тільки статичних моментів недостатньо [8]. Необхідно також розрахувати динамічні моменти при пускові та гальмуванні в номінальному режимі ($M_{\text{п}}$, $M_{\text{г}}$).

Сумарний момент інерції:

$$J_{\Sigma} = k_3 \cdot J_{\text{мех}}, \quad (2.14)$$

де $k_3 < 2$ – коефіцієнт запасу, який враховує невідомі моменти інерції двигуна, муфти та ін., прийmemo $k_3 = 1,2$.

Для номінального режиму:

$$J_{\Sigma} = 1,2 \cdot (m_D + m_r + m_s) \cdot R_s. \quad (2.15)$$

$$J_{\Sigma} = 1,2 \cdot (21,4 + 5,7 + 44,2) \cdot 0,58 = 49,625 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тоді моменти при пускові та гальмуванні:

$$M_{II} = M + J_{\Sigma} \cdot \varepsilon ; \quad (2.16)$$

$$M_{I} = M - J_{\Sigma} \cdot \varepsilon . \quad (2.17)$$

Час пуску і час гальмування розраховані з урахуванням максимально допустимого прискорення, що становить 0,8-1,4 м/с² для механізму пересування та повороту приводу стола.

Прийmemo прискорення для механізму повороту стола $a = 1$ м/с².

$$\varepsilon = a / R_s , \quad (2.18)$$

де a – прискорення стола при повороті, м/с². Тоді

$$\varepsilon = 1 / 0,58 = 1,724$$

$$M_{II} = 1308,428 + 49,625 \cdot 1,724 = 1393,988 \text{ Нм.}$$

$$M_{I} = 1308,428 - 49,625 \cdot 0,862 = 1222,868 \text{ Нм.}$$

Необхідний час пуску розраховано за формулою:

$$t_{II} = t_z = \frac{v_H}{a} , \quad (2.19)$$

де t_{II} - час пуску, с.;

t_z - час гальмування, с.;

v_H - лінійна швидкість, м/с..

Час повороту стола з положення встановлення деталі у положення зварювання за технічними характеристиками апарату $T = 2$ сек. Тоді швидкість повороту стола визначаємо за формулою:

$$v_H = \frac{\pi \cdot R_s \cdot \alpha}{360 \cdot T} , \quad (2.20)$$

де $\alpha = 180^0$ - кут повороту стола.

$$v_H = \frac{3,14 \cdot 0,58 \cdot 180}{360 \cdot 2} = 0,455 \text{ м/с.}$$

$$t_{II} = t_z = \frac{0,455}{1} = 0,455 \text{ с.}$$

Час роботи механізму:

$$t_p = \frac{l}{v_H}, \quad (2.21)$$

де l - лінійне переміщення стола приведенне до радіуса основи, м.

$$l = \frac{\pi \cdot R_s \cdot \alpha}{360}, \quad (2.22)$$

$$l = \frac{3,14 \cdot 0,58 \cdot 180}{360} = 0,91 \text{ м.}$$

$$t_p = \frac{0,91}{0,455} = 2,001 \text{ с.}$$

Звідки визначаємо час усталеного руху:

$$t_y = t_p - 2 \cdot t_{II}. \quad (2.23)$$

$$t_y = 2,001 - 2 \cdot 0,455 = 1,091 \text{ с.}$$

Попередній розрахунок потужності двигуна механізму повороту стола проводимо за методом середньоквадратичного моменту [6]:

$$M_{cp} = \sqrt{\frac{M_n^2 \cdot t_n + M^2 \cdot t_y + M_z^2 \cdot t_z}{t_n + t_p + t_z}}, \quad (2.24)$$

$$M_{cp} = \sqrt{\frac{1393,988^2 \cdot 0,455 + 1308,428^2 \cdot 2,001 + 1222,868^2 \cdot 0,455}{0,455 + 2,001 + 0,455}} = 1309,302 \text{ Нм.}$$

Якщо поворот стола на 180^0 виконується за 2 секунди, тоді, один повний оберт буде виконуватися за 4 секунди, тобто 15 об/хв.

Синхронна швидкість двигуна визначається з вищеприведеної формули (2.9)

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15}{60} = 1,57 \text{ с}^{-1}.$$

Тоді необхідна потужність двигуна в кВт (2.8):

$$P = 1309,302 \cdot 1,57 \cdot 10^{-3} = 2,056 \text{ кВт.}$$

На відміну від механізму підйому, двигун механізму повороту стола вибираємо за розрахунковим значенням моменту M_{cp} , а також за заданою синхронною швидкістю ω_0 , при виконанні умови:

$$M_n > M_{cp}, \quad (2.25)$$

де M_n – номінальний момент вибраного двигуна.

Вибираємо поворотний синхронний двигун типу RSM-P-36-550*50 параметри якого наведені у табл.2.4

Таблиця 2.4 – Характеристики двигуна типу RSM-P-36-550*50

Тривалий момент, Н·м	Піковий момент, Н·м	Максимальна швидкість, об/хв	Маса, кг	ККД, %	Кількість пар полюсів
1348	1679	57	68	0,83	38

2.2.3 Перевірка електродвигуна механізму повороту стола на нагрів

Для перевірки вибраного двигуна на нагрів, необхідно побудувати навантажувальну діаграму електропривода для заданого циклу роботи. Відомо, що час повного циклу не повинен перевищувати 10 хв.

Навантажувальну діаграму механізму повороту стола (протягом циклу) необхідно представити як діаграму, що складається з навантажень приводу при повороті стола з усім розміщеним на ньому обладнанням.

Розраховуємо час пуску приводу:

$$t_{n.s} = \frac{J_{np.s} \cdot \omega_n}{M_{n.cp} + M}, \quad (2.26)$$

де $t_{n.s}$ – час пуску;

$J_{пр.с}$ – приведений до валу двигуна момент інерції всіх мас, які обертаються разом зі зварювальним столом, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$M_{п.ср}$ – середній пусковий момент двигуна, Нм;

ω_n – номінальна кутова швидкість двигуна, с^{-1} ;

M – статичний момент ротора поворотного двигуна, Нм.

Приведений до валу двигуна момент інерції:

$$J_{пр.в} = \delta \cdot J_r + m_s \cdot \frac{v_{н.ф}^2}{\omega_n^2 \cdot \eta_n}, \quad (2.27)$$

де m_s – маса вантажів що поступово рухаються, кг;

$v_{н.ф}$ – фактична швидкість переміщення стола, м/с;

η_n – ККД поворотного стола;

δ – коефіцієнт, який враховує моменти інерції частин, що обертаються (приймається рівним 1,05-1,25);

J_r – моменти інерції ротора поворотного електродвигуна $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

$$J_{пр.в} = 1,1 \cdot 49,625 + 65,6 \cdot \frac{0,445^2}{2^2 \cdot 0,83} = 58,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

При невеликому моменті інерції механізму динамічний момент зумовлений, в основному, тільки прискоренням ротора двигуна і навантажує передачі механізму незначно. Додаткові втрати, викликані передачею динамічних зусиль, при цьому можна не враховувати [6].

Середній пусковий момент двигуна:

$$M_{п.ср} = \frac{M_1 + M_2}{2}, \quad (2.28)$$

де M_1 – пусковий момент;

M_2 – момент переключення.

Номінальний момент M_n визначається співвідношенням:

$$M_n = \frac{P_{ном}}{\omega_n} = \frac{2100}{2} = 1050 \quad \text{Нм.}$$

(2.29)

Для знаходження пускового моменту необхідно визначити коефіцієнт кратності λ_m , тобто відношення максимального і номінального моментів вибраного двигуна:

$$\lambda_m = \frac{M_{max}}{M_n} = \frac{1679}{1050} = 1,599$$

(2.30)

Для синхронних двигунів обраної конструкції, які мають кратність по максимальному моменту $\lambda_m < 2,5$, пусковий момент може бути прийнятий:

$$M_1 = (1 \div 2,4)M_n, \quad (2.31)$$

де M_n – номінальний момент двигуна. При цьому необхідно врахувати зміну моменту при можливому падінні напруги, а саме:

$$M_1 = 2,4 \cdot M_n \cdot 0,92. \quad (2.32)$$

$$M_1 = 2,4 \cdot 1050 \cdot 0,92 = 2318,4 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Момент переключення буде рівним:

$$M_2 = 1,15 \cdot 1309,3 = 1505,7 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

де M_{cp} – середній статичний момент механізму повороту стола (розрахований вище).

За значеннями M_1 і M_2 визначаємо середній пусковий момент двигуна за співвідношенням (2.28):

$$M_{n.сп} = \frac{2318,4 + 1505,718}{2} = 1912,059 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

За формулою (2.26) визначаємо час пуску приводу при повороті стола:

$$t_{n.г} = \frac{58,5 \cdot 2}{1912,059 - 1309,302} = 0,194 \text{ сек.}$$

За заданою фактичною швидкістю переміщення $v_{n.\phi} = 0,445$ м/с і довжиною дуги переміщення стола, визначаємо час руху, що встановиться при повороті стола:

$$t_y = \frac{0,5 \cdot l}{v_{n.\phi}}. \quad (2.33)$$

$$t_y = \frac{0,5 \cdot 0,91}{0,445} = 1 \text{ сек.}$$

Сумарний час руху за цикл роботи при повороті стола:

$$\sum_{i=1}^n t_{y.i} \approx 2t_y. \quad (2.34)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{y.i} \approx 2 \cdot 1 = 2 \text{ сек.}$$

Сумарний час пуску за цикл:

$$\sum_{i=1}^n t_{n.i} = 2t_{n.B}, \quad (2.35)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{n.i} = 2 \cdot 0,194 = 0,388 \text{ сек.}$$

Робочий час за цикл:

$$t_p = \sum_{i=1}^n t_{y.i} + \sum_{i=1}^n t_{n.i}, \quad (2.36)$$

$$t_p = 2 + 0,388 = 2,388 \text{ сек.}$$

Повний час циклу:

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_Z + 2 \cdot t_{PS} + t_{ZV} + t_0. \quad (2.37)$$

де $t_Z = 4,8$ с. - час завантаження;

$t_{PS} = 2,31$ с. - час опускання та підймання зварювальних головок;

$t_{ZV} = 7,2$ с. - час зварювання;

$t_0 = 4,1$ с. - час вивантаження.

$$t_u = 2,388 + 4,8 + 2 \cdot 2,31 + 7,2 + 4,1 = 18,23 \text{ сек.}$$

Перевірку вибраного двигуна на нагрів проводимо методом еквівалентного моменту, за формулою:

$$M_e = \sqrt{\frac{M_{n.cp}^2 \cdot \sum_{i=1}^n t_{n.i} + \sum_{i=1}^n M_{c.i}^2 \cdot t_{y.i}}{\beta \sum_{i=1}^n t_{n.i} + \sum_{i=1}^n t_{y.i} + \beta_0 \sum_{i=1}^n t_{o.i}}}, \quad (2.38)$$

де $M_{п.ср}$ – середній пусковий момент електродвигуна;

$M_{с.і}$ – статичні моменти на валу двигуна при повороті стола;

$\sum_{i=1}^n t_{n.i}$ – сумарний час пуску протягом одного циклу;

$\sum_{i=1}^n t_{y.i}$ – сумарний час усталеного руху;

$\sum_{i=1}^n t_{o.i} = 15,3$ с. – загальний час пауз;

$\beta = \frac{1 + \beta_0}{2}$ – коефіцієнт, за допомогою якого можна врахувати

зміну умов охолодження під час пуску та гальмування;

β_0 – коефіцієнт, за допомогою якого можна врахувати зміну умов охолодження під час пауз. Приймаємо $\beta_0 = 0,33$ – для закритих двигунів з ребрами та зовнішнім обдуванням.

$$\beta = \frac{1 + 0,33}{2} = 0,665.$$

Підставляємо всі ці дані, отримуємо значення моменту

$$M_e = \sqrt{\frac{1912,059^2 \cdot 0,388 + 1309,302^2 \cdot 1}{0,665 \cdot 0,338 + 2 + 0,33 \cdot 15,3}} = 656,275 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Перевірка вибраного двигуна на нагрів задовольняє умові:

$$M_e \leq M_n, \quad \text{тобто } 656,274 < 1309,302 \text{ Н}\cdot\text{м;}$$

де M_n – номінальний момент вибраного двигуна.

2.3 Розроблення електроприводу механізму опускання зварювальної головки

2.3.1 Функціональна схема управління електроприводом

Як відомо, у склад реверсивного електроприводу входять наступні основні функціональні блоки:

- датчик швидкості,
- блок керування швидкістю електродвигуна,
- тиристорний блок,
- дроселі для згладжування пульсацій,
- запобіжники для струмового захисту,
- тахогенератор в якості датчика швидкості.

Система керування електроприводом є типовою двоконтурною і включає регулятори струму (РС) і швидкості (РШ) [15]. Регулятор швидкості – це пропорційний регулятор на операційному підсилювачі AV , що збільшує сигнал похибки між напругою завдання U_z і напругою зворотного зв'язку з тахогенератора U_{TG} (рис. 2.3).

Сигнал зворотного зв'язку пропорційний величині швидкості двигуна. Регулятор швидкості формує вихідний сигнал, який складається з сигналом $U_{ДС}$ від датчика струму US й надходить до регулятора струму AS .

Регулятор струму виконаний у вигляді ПІ-регулятора на основі операційного підсилювача AS , резистора R_6 , конденсатора C_4 . Потім сигнал U_P з регулятора струму надходить до ланки тиристорного перетворювача, що керує електродвигуном.

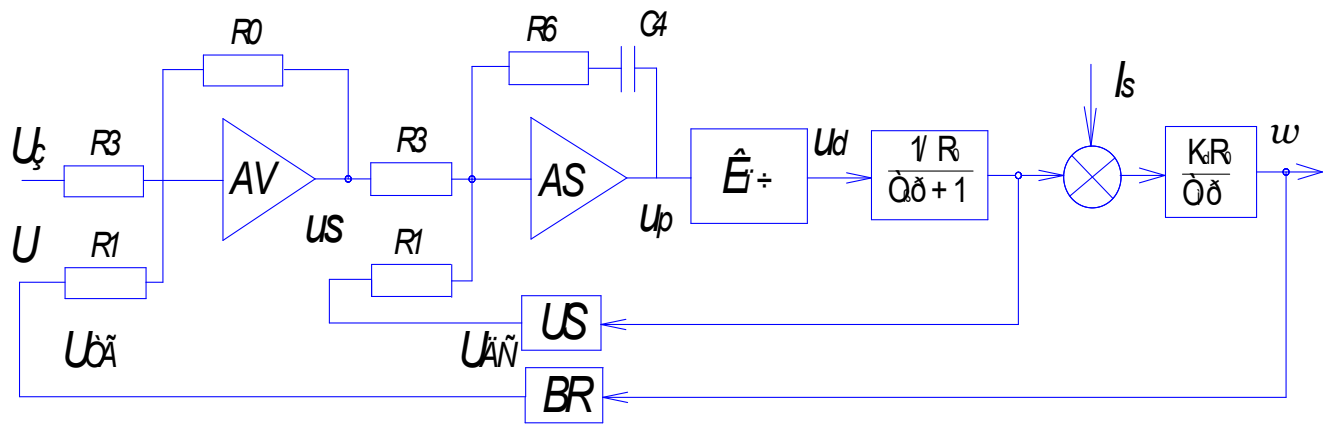


Рисунок 2.3 – Схема системи автоматичного регулювання координат механізму опускання зварювальних головок

Тиристорний перетворювач являє собою керований випрямляч змінної трифазної напруги на основі схеми імпульсно-фазового керування (СІФК). Керування тиристорами здійснюється від СІФК, до складу якої входять формувачі імпульсів, що подають сигнали на комплекти тиристорів. Введення сигналу керування до формувача імпульсів, а також його зміщення (α_0) і обмеження (α_{\min} , α_{\max}) здійснюється за рахунок зміни опорів резисторів.

2.3.2 Розрахунок параметрів регуляторів

Розрахунковий опір двигуна складає:

$$R_0 = 1,2R_\phi + R_{\text{пр}} + R_a + R_p, \quad (2.39)$$

де R_ϕ – опір фази при 15°C , Ом;

$R_{\text{пр}}$ – приведений опір обмоток Ом;

R_a – опір перекриття анодних струмів, Ом;

R_p – опір реактора, Ом.

Напруга на вторинній обмотці трансформатора дорівнює:

$$U_2 = E_2 \cdot k_\alpha \cdot k_{\text{мер}} \cdot k_R, \quad (2.40)$$

тут $E_2 = k_e U_n - E_{PC}$ вторинної обмотки трансформатора, В;

k_e – відношення напруги вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленої напруги, для трифазної схеми приймаємо значення $k_e = 0,857$;

k_α – коефіцієнт, що враховує можливе неповне відкриття вентилів при максимальному сигналі, приймаємо $k_\alpha = 1,2$;

$k_{мер}$ – коефіцієнт, який враховує можливе падіння напруги мережі, приймаємо $k_{мер} = 1,1$;

k_R – коефіцієнт запасу, що враховує можливе падіння напруги в вентилях і обмотках трансформатора, приймаємо значення $k_R = 1,05$.

Після розрахунку отримуємо

$$U_2 = 0,857 \cdot 380 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 451,37 \text{ В.}$$

Розраховуємо струм на вторинній обмотці трансформатора:

$$I_2 = k_i \cdot k_2 \cdot I_{я.н}, \quad (2.41)$$

де k_i – коефіцієнт прямокутності струму, приймаємо $k_i = 1,1$;

k_2 – коефіцієнт, який характеризує відношення діючого значення лінійного струму вторинної обмотки силового трансформатора до середнього значення випрямленого струму, приймаємо $k_2 = 0,578$;

$I_{я.н}$ – номінальний струм двигуна, А.

Після розрахунку отримуємо

$$I_2 = 1,1 \cdot 0,578 \cdot 19,5 = 12,398 \text{ А.}$$

Розраховуємо суму опорів обмоток трансформатора $R_{тр}$ і опору R_a :

$$R_{тр} + R_a = 0,06 \cdot U_{2л} / I_2. \quad (2.42)$$

$$R_{тр} + R_a = 0,06 \cdot 451,37 / 12,398 = 2,184 \text{ Ом.}$$

Опір зрівняльного реактора становить:

$$R_p \approx (0,1 \dots 0,2) R_d \quad (2.43)$$

$$R_d = 1,2(R_{z/l} + R_{l/g}) + (R_n + R_f) + R_o \quad (2.44)$$

$$R_d = 1,2(0,245 + 0,162) + 0,63 + 0,1 = 1,2184 \text{ Ом.}$$

$$R_p = 0,15 \cdot 1,2184 = 0,18276 \text{ Ом.}$$

Тоді відповідно до формули (2.39) маємо опір двигуна:

$$R_o = 1,2 \cdot 0,245 + 0,63 + 0,1218 = 1,05 \text{ Ом.}$$

Розрахункова індуктивність двигуна становить:

$$L_0 = L_y + L_{TP}, \quad (2.45)$$

де L_{TP} — індуктивність обмотки.

$$L_{TP} = \frac{x_{TP}}{2\pi f} \quad (2.46)$$

Розраховуємо реактивну складову опору обмотки:

$$x_{TP} = \frac{U_k \cdot U_2}{I_2} = \frac{0,095 \cdot 451,37}{12,398} = 3,459 \text{ Ом,} \quad (2.47)$$

де U_k — величина напруги короткого замикання, приймаємо величину $U_k = 0,095$;

$$L_{TP} = \frac{1,001}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 11,011 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

$$L_y = k_k \frac{U_n}{2 p n_n I_{я.н}} = 5,5 \cdot \frac{380}{3 \cdot 750 \cdot 19,5} = 0,048 \text{ Гн,} \quad (2.48)$$

де $k_k = 5 \dots 6$ для компенсованих машин;

n_n – номінальна частота обертання двигуна, об/хв.

Тоді індуктивність двигуна дорівнює

$$L_0 = 0,011 + 0,048 = 0,0586 \text{ Гн.}$$

Знаходимо електромагнітну постійну часу через раніше знайдені параметри:

$$T_e = \frac{L_0}{R_0} = \frac{0,0586}{1,34} = 0,0438 \text{ с;} \quad (2.49)$$

Знаходимо електромеханічну постійну часу для заданого значення величини J_Σ :

$$T_M = \frac{J_\Sigma \cdot R_0 \cdot \omega_n^2}{(U_n - I_{ян} \cdot R_\gamma)^2} \quad (2.50)$$

Швидкості обертання валів двигуна та тахогенератора будуть однаковими і визначаються як:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ рад/с} \quad (2.51)$$

Тоді маємо

$$T_M = \frac{1,568 \cdot 0,063 \cdot 1,34 \cdot 78,5^2}{(380 - 19,5 \cdot 0,245)^2} = 0,057 \text{ с.}$$

Передаточний коефіцієнт двигуна знаходимо як:

$$k_\delta = \frac{\omega_n}{e_{\delta,n}} = \frac{\omega_n}{U_n - I_{ян} R_z} = \frac{78,5}{380 - 19,5 \cdot 0,4884} = 3,127 \quad (2.52)$$

Для тахогенератора передаточний коефіцієнт:

$$k_{mz} = \frac{U_{н.мz}}{\omega_{н.мz}} = \frac{230}{78,5} = 2,93 \quad (2.53)$$

Відтепер можна визначити передавальний коефіцієнт тиристорного перетворювача (ТП) з використанням регулювальної характеристики перетворювача $E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha$, де E_{d0} – величина максимального значення ЕРС тиристорного перетворювача при нульовому куті керування:

$$E_{d0} = \sqrt{2} U_2 \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} = \sqrt{2} \cdot 451,37 \frac{3}{3,1416} \sin \frac{3,1416}{3} = 530,568 \text{ В} \quad .$$

(2.54)

Максимальну напругу керування приймаємо $U_{к.мак} = 10 \text{ В}$.

Величина кута α (при мінімальній швидкості з номінальним навантаженням) буде рівною:

$$\alpha_{\omega.\min} = \arccos \left[\frac{\omega_{\min} c + I_{я} R_0}{E_{d0}} \right]. \quad (2.55)$$

$$\text{Тут} \quad \omega_{\min} = \frac{\omega_H}{D} \quad .$$

(2.56)

$$\omega_{\min} = \frac{78,5}{2000} = 0,039 \text{ рад}/c \quad .$$

$$c = \frac{1}{k_o} \quad .$$

(2.57)

$$c = \frac{1}{3,127} = 0,319 \frac{\text{В} \cdot c}{\text{рад}} \quad .$$

Підставляючи ці значення, отримаємо

$$\alpha_{\omega.\min} = \arccos \left[\frac{0,039 \cdot 0,319 + 19,5 \cdot 1,34}{530,568} \right] = 87^\circ$$

Такий кут відповідає величині ЕРС перетворювача:

$$E_d = E_{ТП} = E_{d0} \cos \alpha \quad \omega \cdot \text{мін.} \quad (2.58)$$

$$E_{ТП} = 530,568 \cdot \cos 87^\circ = 27,768 \text{ В.}$$

Визначимо коефіцієнт підсилення ТП $k_{ТП}$:

$$k_{ТП} = \frac{E_{mn}}{U_\kappa} \quad (2.59)$$

$$k_{ТП} = \frac{27,768}{0,7} = 39,668.$$

Тоді можна визначити передавальну функцію ТП:

$$W_{ТП}(p) = \frac{k_{ТП}}{T_{ТП}p + 1}; \quad (2.60)$$

де $T_{ТП}$ – постійна часу тиристорного перетворювача (приймаємо величину $T_{ТП} = 0,007$ с).

Визначимо передавальний коефіцієнт шунта, котрий встановлений у колі зворотного зв'язку по струму (тут $R_{ш}$ – опір шунта)

$$k_{шунт} = 1,24R_{ш}. \quad (2.61)$$

$$k_{шунт} = 1,24 \cdot 0,162 = 0,201 \text{ Ом.}$$

Передавальна функція регулятора струму

$$W_{РС}(p) = k_{РС} + \frac{1}{T_{РС}p}; \quad (2.62)$$

де $k_{РС}$ - коефіцієнт підсилення регулятора струму,

$T_{РС}$ – постійна часу регулятора струму.

Щоб обмежити величину струму, треба обмежити максимальну величину напруги на регуляторі швидкості $U_{РШmax}$ (вона є задаючим сигналом для цього контуру).

Для цього вибираємо стабілітрон з потрібними параметрами $U_{PШmax} = 10\text{В}$; $I_{СТ} = 45,83\text{А}$.

Тоді можна визначити передавальний коефіцієнт ланцюга зворотного зв'язку по струму:

$$k_c = \frac{U_{p.u.max}}{I_{ст}} = \frac{10}{45,83} = 0,2182. \quad (2.63)$$

Визначаємо коефіцієнт підсилення і постійну часу для регулятора струму:

$$k_{PC} = \frac{R_0 T_{я}}{2T_{\mu} k_{mn} k_c} = \frac{1,34 \cdot 0,0438}{2 \cdot 0,007 \cdot 0,2182 \cdot 39,668} = 0,484; \quad (2.64)$$

$$T_{PC} = \frac{2T_{\mu} k_c k_{m.n}}{R_0} = \frac{2 \cdot 0,007 \cdot 0,2182 \cdot 39,668}{1,34} = 0,082 \text{ с} \quad (2.65)$$

Також можна визначити коефіцієнт підсилення датчика струму:

$$K_{ДС} = \frac{k_c}{k_{инт}} = \frac{0,218}{0,201} = 1,086. \quad (2.66)$$

Розглянемо контур швидкості. Ми прийняли величину напруги завдання $U_{PШmax} = 10 \text{ В}$, тоді можна визначити величину передавального коефіцієнту зворотного зв'язку по швидкості:

$$k_{ш} = \frac{U_{зи.max}}{\omega_n} = \frac{10}{78,5} = 0,127 \quad (2.67)$$

З врахуванням раніше визначених параметрів знайдемо величину коефіцієнту підсилення для регулятора швидкості:

$$k_{ру} = \frac{k_c \cdot T_m}{4T_\mu k_{ш} k_\rho R_0} = \frac{0,2182 \cdot 0,057}{4 \cdot 0,007 \cdot 0,127 \cdot 3,127 \cdot 1,34} = 8,347$$

(2.68)

2.4 Розроблення системи керування установкою

2.4.1 Розроблення структурної схеми

Система керування зварювальною установкою повинна керувати трьома електроприводами: повороту стола, опускання зварювальних головок та повороту пальників. Дії цих електроприводів повинні бути скоординовані. Тому кожним з електроприводів керує своя система керування, а системами керування електроприводів керує загальна система керування технологічним процесом (рис.2.4). Системи керування живляться напругою 15 В, яка подається через понижувальний трансформатор.

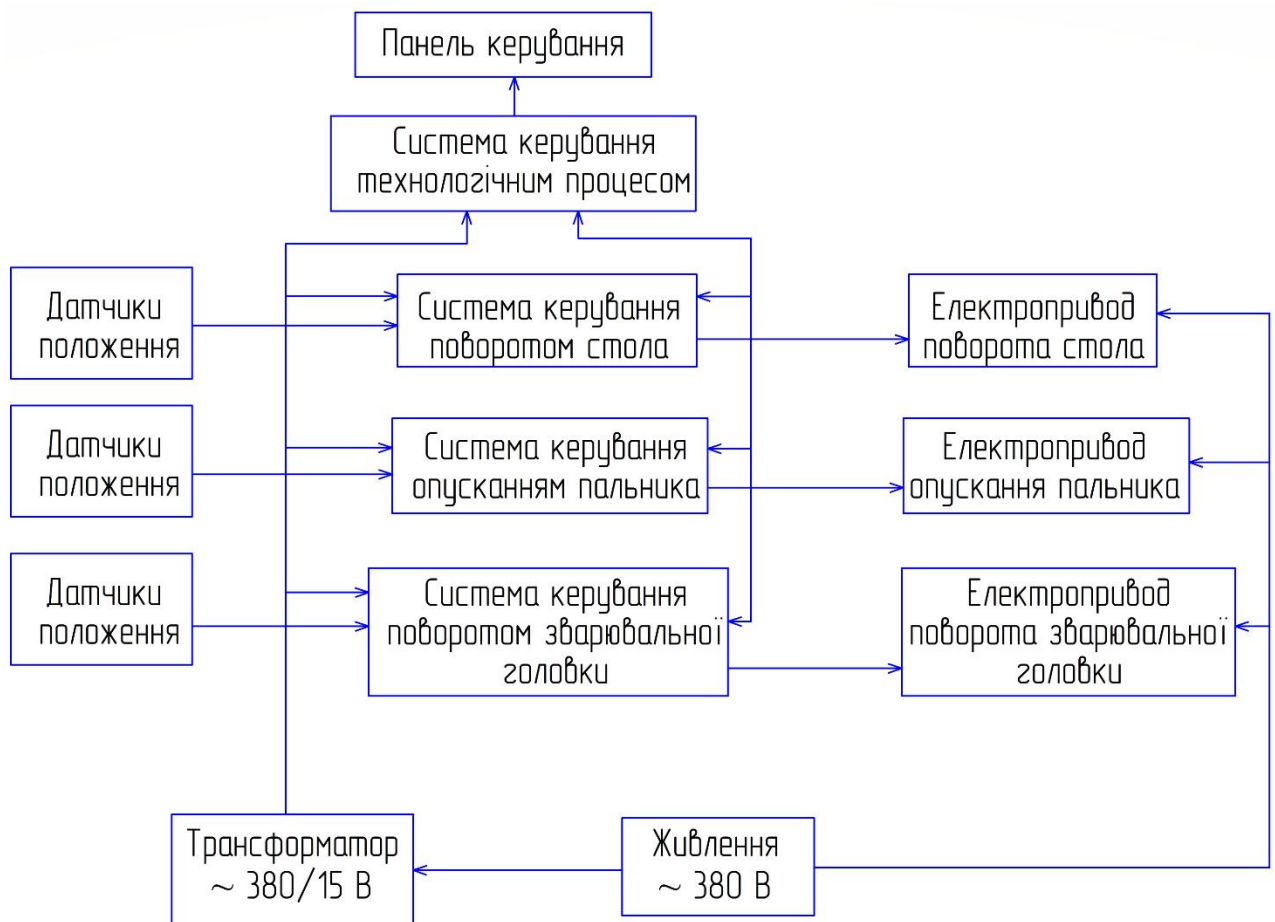


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи керування зварювальною установкою

При отриманні сигналу на початок роботи система керування технологічним процесом, згідно з програмою, подає керуючі сигнали на системи керування кожним електроприводом. Системи керування електроприводами отримують сигнали із загальної системи керування технологічним процесом та датчиків положення і формують відповідні сигнали керування. Також системи керування електроприводами подають зворотні сигнали до загальної системи керування технологічним процесом про свій стан.

2.4.2 Розроблення системи керування технологічним процесом зварювання

Для забезпечення технологічного процесу роботи зварювального автомата розробимо систему керування на базі мікроконтролера МК51.

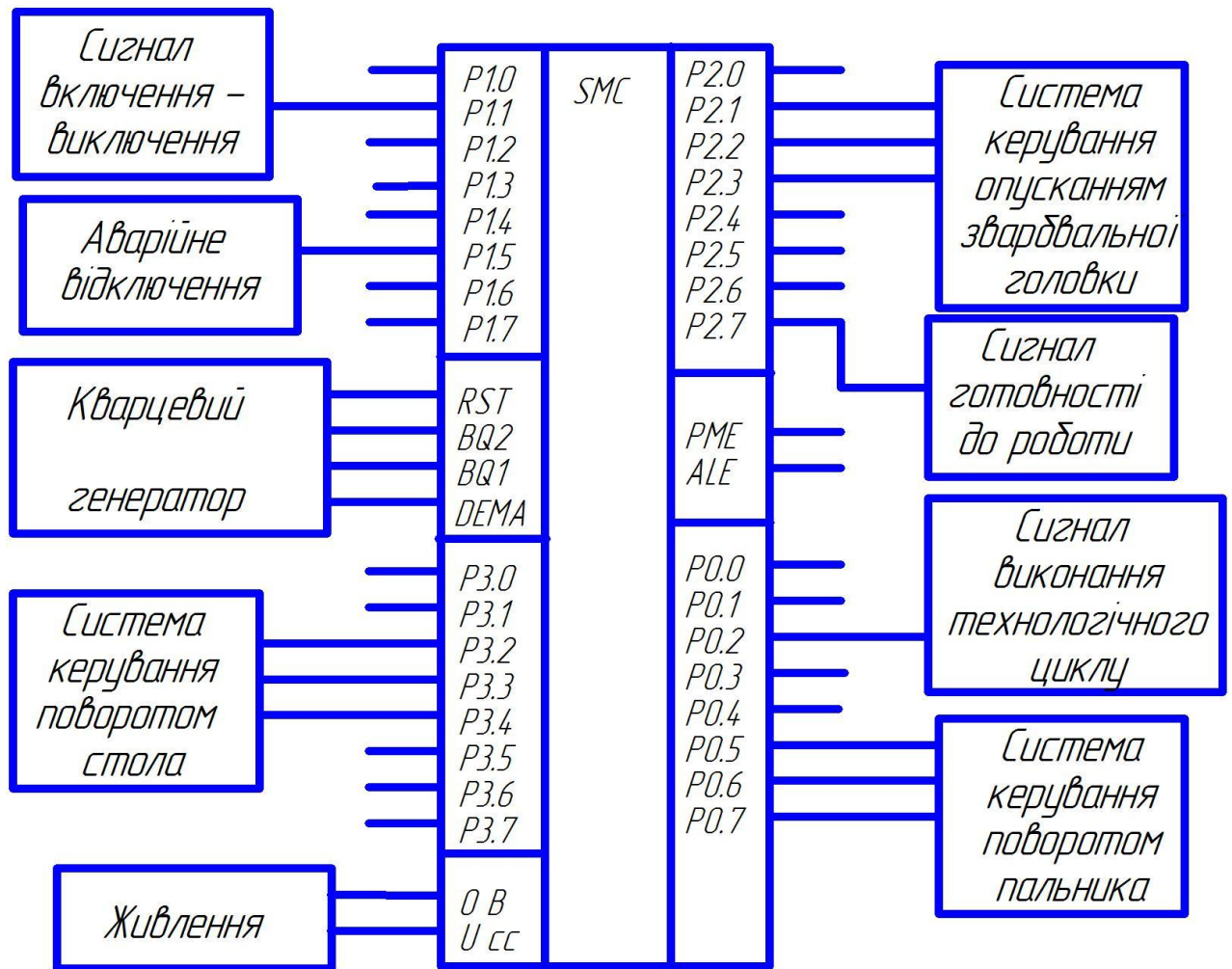


Рисунок 2.5 – Схема реалізації системи керування технологічним процесом зварювання

Контролер МК51 взаємодіє із зовнішнім середовищем через чотири програмовані порти вводу-виводу, які відповідають стандарту TTL-схем. У корпусі мікроконтролера передбачено два виводи для підключення кварцового генератора, виводи для сигналів, що керують режимами роботи МК, а також 8 ліній порту, які можна запрограмувати для виконання спеціалізованих функцій обміну даними із зовнішнім середовищем.

На вхід пристрою подаються сигнали з автоматичного вимикача апарату, блоку аварійного захисту та кварцового генератора (рис. 2.5). Всі сигнали надходять у вигляді імпульсних сигналів. Система керування технологічним процесом подає сигнали на системи

керування електроприводами та візуальні сигналізатори. У свою чергу блоки керування електроприводами подають сигнали про закінчення операції.

Входи та виходи схеми мають наступні призначення:

- P1.1 – запуск технологічного процесу на виконання;
- P1.5 – сигнал аварійного відключення;
- P3.2 – сигнал на включення привода повороту стола;
- P3.4 – закінчення повороту стола;
- P2.1 - сигнал на включення привода опускання зварювальної головки;
- P2.3 – шток знаходиться в робочій зоні;
- P0.5 - сигнал на включення привода повороту пальника;
- P0.7 – закінчення повороту стола;
- P2.7 – сигнал готовності автомата до роботи;
- P0.2 – виконання технологічного процесу;
- P3.3 – додатковий сигнал для електроприводу повороту стола;
- P2.2 – додатковий сигнал для електроприводу опускання зварювальної головки;
- P3.3 – додатковий сигнал для електроприводу повороту пальника;

Кварцовий генератор підключається до системи керування для вимірювання та контролю проміжків часу. Під час виконання технологічного процесу програма виконує циклічну перевірку умови переходу на наступний крок, виконуючи між перевірками паузу, що дорівнює мінімальному робочому такту. Перед виконанням кожного наступного кроку контролер виконує перевірку на наявність аварійного сигналу.

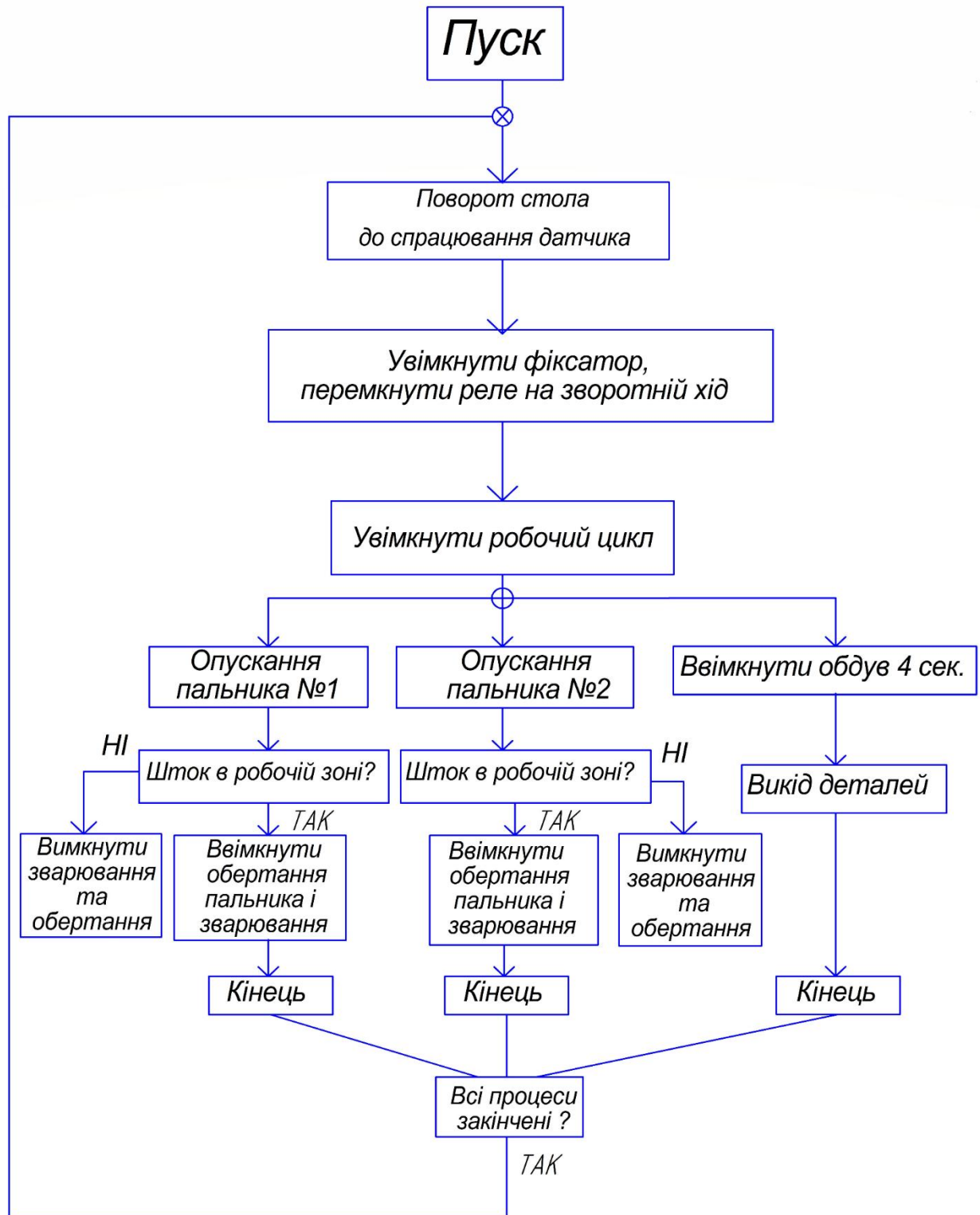


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму роботи системи керування технологічним процесом зварювання

Алгоритм роботи системи керування технологічним процесом наведений на рис. 2.6.

На початку роботи (при включенні живлення) всі робочі органи повертаються у початкове положення. Після чого видається сигнал про готовність до роботи та система переходить у режим очікування сигналу пуску.

Після подання сигналу на поворот стола (натискається кнопка «пуск»), система переходить у режим очікування сигналу від системи керування поворотом стола (сигнал свідчить про те, що стіл повернувся у задане положення). Після отримання сигналу подається команда на опускання першої або другої зварювальної головки (пальника). Система переходить у режим очікування сигналу, який свідчить, що шток знаходиться у робочій зоні. Йде процес зварювання.

Далі система переходить у режим очікування сигналу про закінчення зварювання. Наступний крок – підймання зварювальних головок. Після отримання сигналу з системи керування опусканням зварювальних головок (головки знаходяться у верхньому положенні) подається сигнал на поворот стола, після чого перевіряється чи є дозвіл на продовження циклу. Якщо так (сигнал включення присутній) відбувається невелика пауза для встановлення нових деталей, та цикл повторюється.

2.4.3 Розроблення систем керування електроприводами повороту стола, опускання зварювальної головки та повороту пальника

Кожен з електроприводів зварювальної установки повинен мати власну систему керування. Для забезпечення технологічного процесу роботи зварювального автомата реалізацію системи керування електроприводами запропоновано також здійснити на базі мікроконтролера МК51. Кожна з мікропроцесорних систем керування електроприводами має однакову структуру і призначена для своєчасного вмикання і вимикання електроприводу. На вхід пристрою

подаються сигнали з кінцевих датчиків положення, кварцового генератора та загальної системи керування технологічним процесом.

Загальна система керування електроприводом подає сигнали на транзисторні ключі, що подають напругу до релейних елементів, які, в свою чергу, комутують подачу енергії до електродвигуна. Блоки керування електроприводами подають сигнали про закінчення операції до системи керування технологічним процесом. Схема підключення пристроїв до мікроконтролера приведена на рис. 2.7.

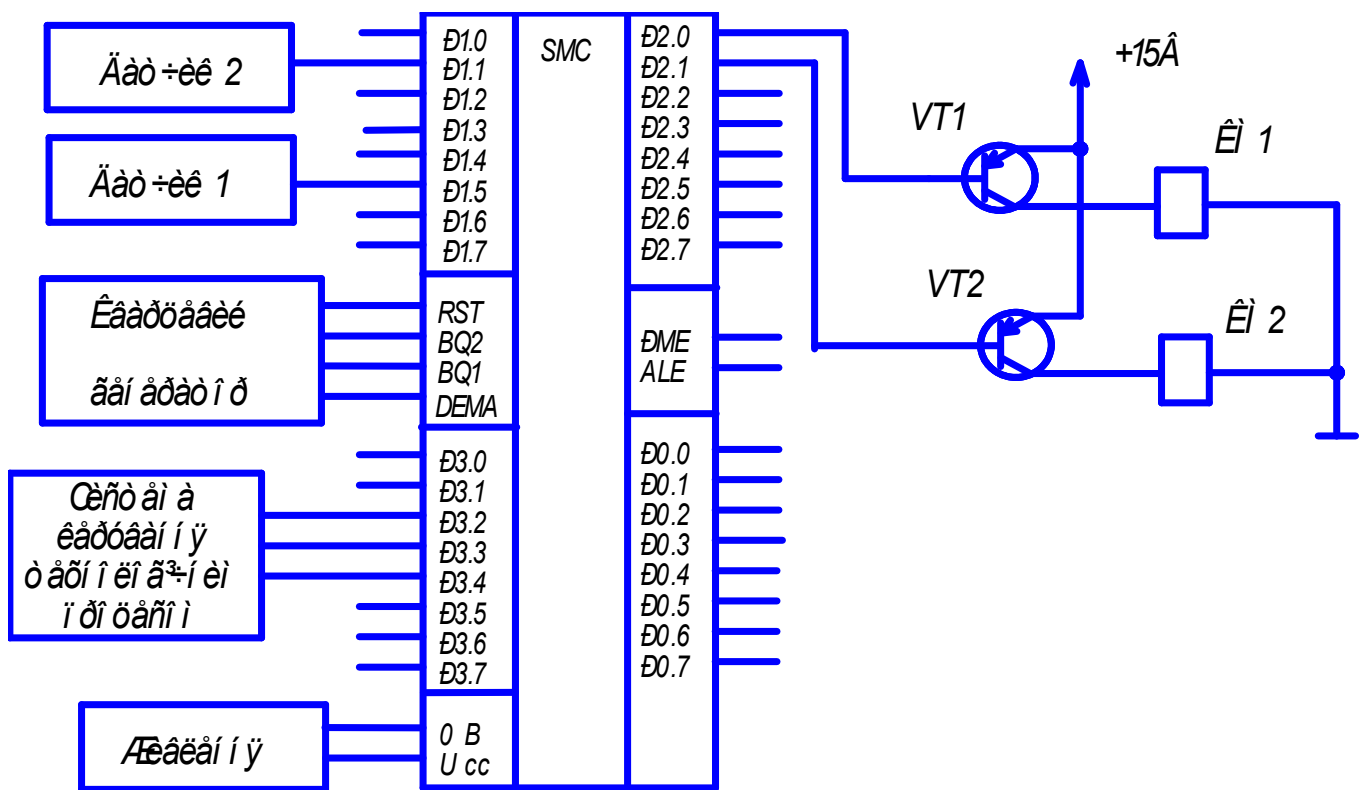


Рисунок 2.7 – Схема реалізації системи керування електроприводами

Входи та виходи схеми мають наступні значення.

- P1.1 – кінцевий датчик першого положення;
- P1.5 – кінцевий датчик другого положення;
- R3.2 – сигнал на включення електропривода;
- R3.4 – сигнал до системи керування технологічним процесом про закінчення операції;

P2.0 - сигнал на включення руху привода в прямому напрямку;

P2.1 – сигнал на включення руху привода в зворотному напрямку.

Розглянемо порядок операцій системи керування кожним електроприводом. На початку роботи (при включенні живлення) всі виходи системи обнулюються, після чого система переходить у режим очікування сигналу пуску. Після подання дозволу на пуск подається сигнал на рух у прямому напрямку, система переходить у режим очікування сигналу від кінцевого вимикача – датчика, сигнал з якого свідчить про те, що операція виконана і робочий орган знаходиться у заданому положенні. Після отримання сигналу з кінцевого датчика подається сигнал на закінчення руху та сигнал до системи керування технологічним процесом. Система переходить у режим очікування другого сигналу (дозволу на зворотній рух робочого органу). Після його отримання подається сигнал на зворотній рух робочого органу. Система знов переходить у режим очікування сигналу від кінцевого вимикача, після надходження якого зупиняє рух робочого органу та подає сигнал до системи керування технологічним процесом. Далі цикл повторюється.

2.5 Розрахунок елементів схем для систем керування електроприводами зварювальної установки

2.5.1 Розрахунок транзисторних ключів

Напругу живлення ключів визначаємо за формулою:

$$E_k = I_{\phi} \cdot R_{\phi} + \Delta U_{ке}, \quad (2.69)$$

де $\Delta U_{ке}$ – падіння напруги на транзисторі (задаємося $\Delta U_{ке} = 1,5 \text{ В}$),

R_{ϕ} – опір фази ($R_{\phi} = 1,894 \text{ Ом}$),

I_{ϕ} – струм фази ($I_{\phi} = 0,23 \text{ А}$).

$$E_k = 0,23 \cdot 1,894 + 1,5 = 1,935 \text{ В}.$$

Вибираємо напругу живлення ключів $E_k = 2$ В.

Транзистор вибираємо виходячи з наступних вимог:

$$U_{кедоп} > 2 \cdot E_k \quad \text{та} \quad I_{кдоп} > I_{\phi}. \quad (2.70)$$

Вибираємо транзистор 1Т102А з наступними параметрами (табл.2.5):

Таблиця 2.5 – Параметри транзистора

$U_{кедоп}$, В	$I_{кдоп}$, А	$P_{кmax}$, мВт	β
5	6	30	25

Коефіцієнт підсилення:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{25}{25 + 1} = 0,9615. \quad (2.71)$$

Колекторний струм насичення

$$I_{кнас} = I_{\phi} = 0,43 \text{ А}. \quad (2.72)$$

Максимальні струми та напруги в схемі виберемо з коефіцієнтом запасу $K_{зj} = K_{зu} = 0,8$.

$$I_{кmax} = I_{кдоп} \cdot K_{зj} = 6 \cdot 0,8 = 4,8 \text{ А}. \quad (2.73)$$

Опір навантаження визначається лише опором фази і становить:

$$R_n = R_{\phi} = 1,894 \text{ Ом}. \quad (2.74)$$

Знаходимо максимальний струм намагнічування полюсів двигуна:

$$j_{max} = \frac{E_k}{L_{\phi}} \cdot k = \frac{1,814}{6,2 \cdot 10^{-3}} \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 0,0073 \text{ А}. \quad (2.75)$$

Звідси максимальний струм $I_{maxн}$ з урахуванням колекторного струму насичення

$$I_{maxн} = j_{max} + I_{кнас} = 0,0073 + 0,43 = 0,4373 \text{ А}. \quad (2.76)$$

Струм насичення бази транзистора можна розрахувати:

$$I_{\text{бнас}} = \frac{I_{\text{maxн}}}{\beta} = \frac{0,4373}{25} = 0,0175 \text{ A.} \quad (2.77)$$

2.5.2 Розрахунок трансформатора блоку живлення

Для підвищення ККД та покращення характеристик блоку живлення нам необхідно розрахувати параметри трансформатора (рис. 2.8).

Насамперед розраховуємо використовувану потужність трансформатора з умови:

$$P_v = 1,3 \cdot P_H, \quad (2.78)$$

де P_H - потужність, споживана навантаженням (маємо $P_H = 2,4$ Вт).

$$P_v = 1,3 \cdot 2,4 = 3,12 \text{ Вт.}$$

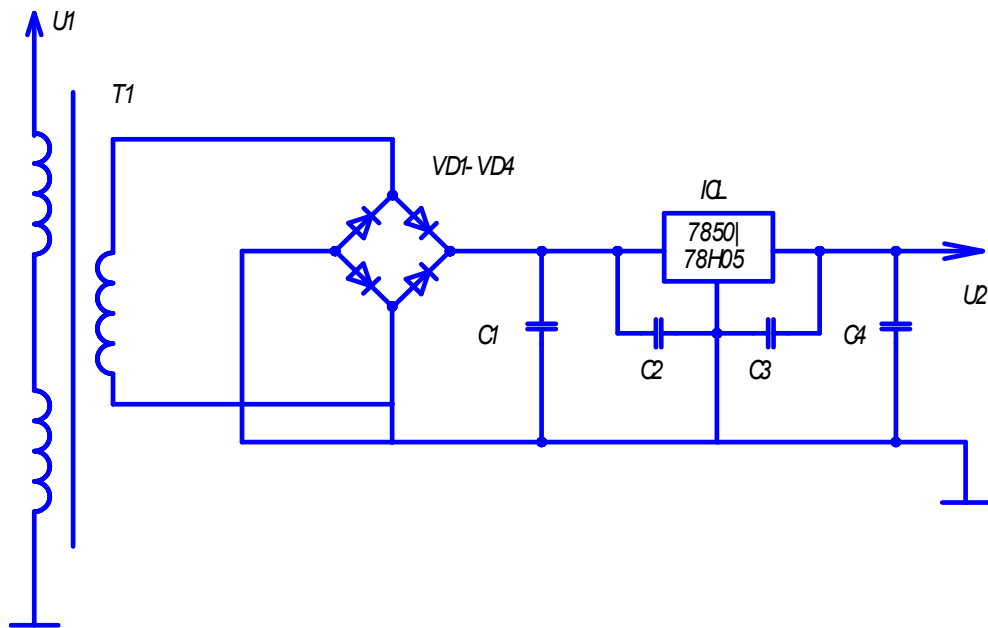


Рисунок 2.8 – Блок живлення мікропроцесорної системи керування

Відомо, що задана габаритна потужність P_r повинна задовольняти умові:

$$P_r \geq P_v. \quad (2.79)$$

Вибираємо тороїдальний феритовий магнітопровід. Його параметри пов'язані з P_r співвідношенням:

$$P_r = S_C \cdot S_o \cdot f \cdot B_{\max} / 150, \quad (2.78)$$

де f - частота перетворення напруги, Гц:

S_C - площа перетину магнітопровода, см²;

S_o - площа вікна магнітопровода, см²;

B_{\max} - максимальне значення індукції, що залежить від марки фериту і може бути визначене з довідникових даних по феромагнітних матеріалах (величина Т).

У якості магнітопровода застосуємо кільце типорозміру Д038Х24Х7 з фериту марки 2000НН ($B_{\max} = 0,25$ Т).

$$S_C = (D - d) \cdot \frac{h}{2}, \quad (2.79)$$

де D - зовнішній діаметр, $D = 15$ см;

d - внутрішній діаметр, $d = 13$ см;

h - висота кільця, $h = 4$ см;

$$S_C = (15 - 13) \cdot \frac{4}{2} = 4 \text{ см}^2.$$

$$S_o = \pi \cdot d^{\frac{2}{4}}. \quad (2.80)$$

$$S_o = 3,14 \cdot 13^{\frac{2}{4}} = 11,321 \text{ см}^2.$$

Звідси отримаємо величину P_r

$$P_r = 4 \cdot 11,321 \cdot 50 \cdot 0,25 / 150 = 3,774 \text{ Вт.}$$

Виходячи з умови (2.79):

$$3,774 = P_r \geq P_v = 3,12.$$

Отже можна зробити висновок, що розміри магнітопровода вибрані вірно.

Після цього, задавшись напругою на первинній обмотці трансформатора U_1 , знаходимо число витків на цій обмотці

$$w_1 = \frac{0,25 \cdot 10^4 \cdot U_1}{f \cdot B_{\max} \cdot S_c}, \quad (2.81)$$

$$U_1 = U_g / 2 - U_k, \quad (2.82)$$

де U_g - напруга живлення перетворювача,

U_k - напруга насичення колектор - емітер транзисторів VT1, VT2

(рис. 2.7).

$$U_1 = 380 / 2 - 1,34 = 575,757B.$$

$$w_1 = \frac{0,25 \cdot 10^4 \cdot 575,757}{50 \cdot 0,25 \cdot 4} = 28787,876.$$

Значення w_1 приймемо рівним 28788 витків (округлюємо в більшу сторону).

Далі визначаємо максимальний струм I_{1max} (в амперах) первинної обмотки:

$$I_{1max} = P_H / \eta \cdot U_1, \quad (2.83)$$

де η - ККД перетворювача, зазвичай приймають 0,8.

$$I_{1max} = 2,4 / 0,8 \cdot 575,757 = 0,005A.$$

$$d_1 = 0,6 \cdot \sqrt{I_{1MAX}}. \quad (2.84)$$

$$d_1 = 0,6 \cdot \sqrt{0,005} = 0,043 \text{ мм.}$$

Далі знаходимо число витків та струм у вторинній обмотці трансформатора:

$$w_2 = \frac{w_1 \cdot U_2}{U_1}. \quad (2.85)$$

$$w_2 = \frac{28788 \cdot 15}{575,757} = 750.$$

$$I_{2max} = 2,4 / 0,8 \cdot 15 = 0,2A.$$

Визначаємо діаметр проводу:

$$d_2 = 0,6 \cdot \sqrt{I_{2\max}} . \quad (2.86)$$

$$d_2 = 0,6 \cdot \sqrt{0,2} = 0,268 \text{ мм.}$$

2.6 Вибір електрообладнання установки

Для управління електроприводом зварювального автомата використовують контактори та силові контролери. Контакторм називають пристрої, що призначені для замикання та розмикання силових електричних кіл. Контролери – це складні комплектні комутаційні пристрої, що забезпечують певну програму перемикачів у головних електричних ланцюгах.

Для механізму підйому зварювальної головки вибираємо контактор серії КТК-1-20УХЛ2, розрахований на номінальний струм $I_n = 5 \text{ А}$ [10]. Цей контактор використовується в механізмах загального призначення, що працюють в легкому та середньому режимі роботи (табл. 2.6).

Для механізму повороту стола контактори вибираються за номінальним струмом і числом головних та допоміжних контактів. Вибираємо контактор серії ТКПД-114ВУ2 [10], розрахований на номінальний струм $I_n = 8 \text{ А}$.

Таблиця 2.6 – Вибір контакторів

Тип контактору	Струм, А	Кількість вмикань у годину	Потужність котушки, Вт	Кількість допоміжних контактів
КТК-1-20УХЛ2	5	1200	20	4
ТКПД-114ВУ2	8	600	25	4
АС-3	2,5	600	16	4

Для механізму повороту зварювальної головки вибираємо контактор типу АС-3. Ланцюг керування виконаний на змінному струмі напругою 380В [10]. Контактор АС-3 розрахований на номінальний струм $I_n = 2,5$ А.

Для захисту всього ланцюга електрообладнання механізмів від перевантаження використовуємо електромагнітне реле миттєвої дії типу РЕ. Реле настроюється на струм спрацьовування, рівний сумі номінальних струмів статорів двигунів.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 10,02 \text{ А.}$$

Вибираємо реле типу РЕ13-2, на номінальний струм котушки $I_k = 16$ А, з межами регулювання 8...32 А.

Для захисту головного ланцюга електрообладнання механізму опускання зварювальних головок від перевантаження використовуємо електромагнітне реле миттєвої дії типу РЕ13-2 [10]. Реле настроюється на струм спрацьовування, рівний 2,5-кратному значенню номінального струму статора двигуна.

$$I = 2,5 \cdot I_1 = 25 \text{ А.}$$

Вибираємо реле РЕ13-5, на струм котушки $I_k = 25$ А, з межами регулювання 17,5-50 А.

Для захисту головного ланцюга електрообладнання механізму повороту стола від перевантаження використовуємо електромагнітне реле миттєвої дії типу РЕО 401 [10]. Для захисту від надструмів використовуємо реле, яке настроюється на струм спрацьовування, рівний 2,5-кратному значенню номінального струму статора двигуна.

$$I_1 = 5,5 \text{ А, тоді } I = 2,5 \cdot I_1 = 13,75 \text{ А.}$$

Вибираємо реле типу РТ40/50 на струм котушки $I_k = 15$ А, з межами регулювання 12-25 А.

У відповідності до вимог державного комітету України з охорони праці зварювальний автомат повинен обладнуватися

захисною панеллю. Захисна панель є комплектним пристроєм в якому розташований загальний рубильник живлення автомату, комплект максимальних струмових реле, лінійний контактор для забезпечення нульового захисту, запобіжники ланцюгів керування тощо. Виходячи із загальної потужності електроприводів вибираємо захисну панель типу ПЗКБ 50 [10]. Панель розрахована на напругу живлення 380В, номінальний струм тривалого режиму 50 А і призначена для захисту силових схем та схем керування на кулачкових та магнітних контролерах.

Максимальний струмовий захист панелі забезпечується запобіжниками, струм уставки яких дорівнює сумі струмів усіх котушок реле. У панелі захисту буде ввімкнена котушка контактора КТ 6032, на загальну потужність $P = 81$ Вт.

Таким чином:

$$I_n = \frac{P}{U} = \frac{81}{380} = 0,21 \text{ А.} \quad (2.87)$$

Для захисту панелі беремо запобіжники типу ПРС– 6 на напругу 380 В та максимальний струм $I = 6$ А з комплектацією стандартними плавкими вставками на 1, 2, 4, 6 А.

Для реалізації системи керування (рис. 2.7) нам ще необхідно вибрати кінцеві вимикачі, які призначені для замикання чи розмикання своїх контактів в функції координати (переміщення, кута і т.ін.). Таким чином вони забезпечують шляховий захист. Технічні дані обраних кінцевих вимикачів приведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні дані кінцевих вимикачів

Тип	I_n , А	U_n , В	Ступінь захисту
ХСКН2108Р20 Telemecanique	10	24	IP65 відповідно до стандарту ІЕС 60529

Також для роботи схеми нам необхідно вибрати датчики швидкості та струму.

Найчастіше для контролю швидкості обертання в системах електроприводу застосовують тахогенератори постійного струму.

Вибираємо тахогенератор, виходячи з умови

$$(2.88) \quad n_{\text{дв.ном.}} < n_{\text{тг.мах.}}$$

де $n_{\text{дв.ном.}} = 750$ об/хв.

Було обрано тахогенератор типу ТД-201 [10] з характеристиками:

- напруга збудження, $U_{зб} = 110$ В;
- струм збудження, $I_{зб} = 0,1$ А;
- опір якоря, $R_{я.тг} = 780$ Ом;
- $n_{\text{тг.мах}} = 1000$ об/хв.;
- максимальний струм $I_{\text{мах}} = 0,2$ А.

Визначаємо максимальну вихідну напругу та опір в ланцюзі зворотного зв'язку за швидкістю:

$$U_{\text{вих.мах}} = k_{\text{тг}} \cdot n_{\text{тгмах}}; \quad (2.89)$$

$$U_{\text{вих.мах}} = 0,13 \cdot 1000 = 130 \text{ В.}$$

$$R_{\text{зш}} = \frac{n_{\text{тг.мах}} \cdot k_{\text{тг}}}{I_{\text{мах}}} - R_{я.тг} \quad (2.90)$$

$$R_{\text{зш}} = \frac{1000 \cdot 0,13}{0,1} - 780 = 520 \text{ Ом}$$

В якості датчика струму вибираємо шунт з характеристиками:

- коефіцієнт передачі – 1,5мВ/А;
- номінальний струм – 50 А;
- падіння напруги на опорі – 75мВ.

Висновок до розділу. Розраховані навантаження та вибрані основні елементи приводу опускання пальника та повороту столу, проведена перевірка обраних двигунів на перегрів. Розроблена мікропроцесорна

система керування зварювальним апаратом, яка дає можливість узгоджено керувати трьома електроприводами.

3 ПЕРЕВІРКА МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ НА ВІДПОВІДНІСТЬ ЗАДАНИМ ПАРАМЕТРАМ

3.1 Побудова структурної схеми

Знаючи передаточні функції елементів системи керування, з відповідних диференціальних рівнянь можна на базі раніше розробленої схеми (рис. 2.3) побудувати структурну схему системи керування приводом опускання зварювальної головки.

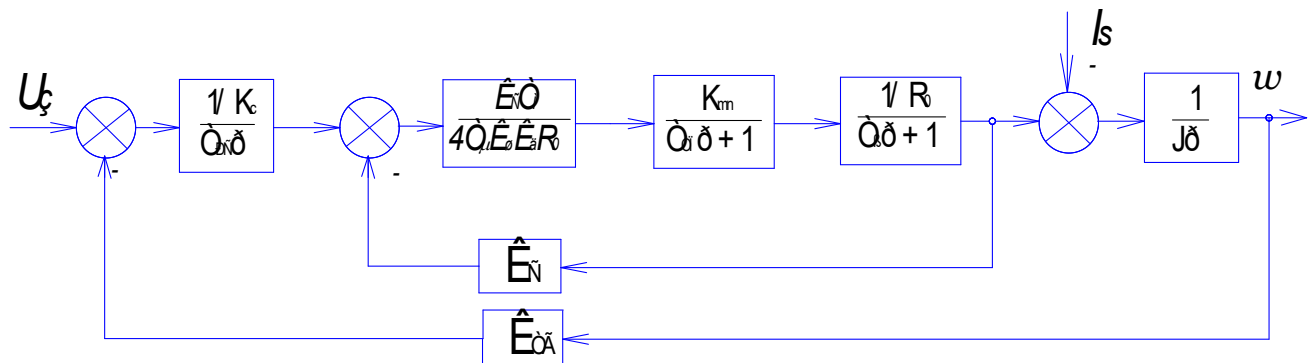


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи керування приводом опускання зварювальної головки

Тут ми маємо входним параметром напругу завдання U_z , вихідним параметром – швидкість обертання ω , та два зворотні зв'язки – по швидкості (K_{TG}) та по струму (K_C).

3.2 Перевірка системи на резонансну частоту

Нам треба перевірити, чи буде відсутній резонанс системи стабілізації з зовнішнім впливом, оскільки при співпадінні частот (явище резонансу) система електропривода може «піти в рознос».

Резонансну частоту визначаємо з відомої формули (величини T_E та T_M були визначені в 2 розділі):

$$\Omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{T_E \cdot T_M}}, \quad (3.1)$$

Підставивши раніше отримані параметри, маємо

$$\Omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{0,0438 \cdot 0,057}} = 20,01 \text{ Гц} .$$

Можна зробити висновок, що частота, яку може створити дана установка або якась з її частин (згідно статистичних даних) значно вище отриманої частоти резонансу.

3.3 Перевірка системи на стійкість

Для перевірки системи на стійкість, потрібно розрахувати передаточну функцію усєї системи (рис. 2.3 та 3.1).

Передаточна функція замкненої системи має вигляд:

$$W(p) = \frac{W_{PC} \cdot W_{PШ} \cdot W_{ПЧ} \cdot W_{дв}}{\frac{1}{W_{PШ} \cdot W_{ПЧ} \cdot W_{дв}} \cdot K_C + W_{PC} \cdot W_{PШ} \cdot K_{ТГ} \cdot W_{дв}}. \quad (3.2)$$

Після підстановки числових значень даний вираз набуває вигляду:

$$W(p) = \frac{4,539744}{(9,936 \cdot 10^{-7}(p)^4 + 2,7 \cdot 10^{-5}(p)^3 + 3,312 \cdot 10^{-5}(p)^3 + 9 \cdot 10^{-3}(p)^2 - 4,085 \cdot 10^{-3}(p) - 1,226 \cdot 10^{-3}(p)^2 - 45,397) \cdot (0,003p + 1)}. \quad (3.2a)$$

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$A(p) = \frac{1}{W_{PШ} \cdot W_{ПЧ} \cdot W_{дв}} \cdot K_C + W_{PC} \cdot W_{PШ} \cdot K_{ТГ} \cdot W_{дв}. \quad (3.3)$$

У числовому вигляді

$$A(p) = 0,03 \cdot 10^{-7} p^5 + 2,797 \cdot 10^{-5} p^4 + 3,3 \cdot 10^{-5} p^3 + 8,975 \cdot 10^{-3} p^2 - 0,136 p^1 - 45,397.$$

Проведемо перевірку системи на стійкість за критерієм Михайлова.

У характеристичному рівнянні замкненої системи виконуємо підстановку: $p=j\omega$, де $j=\sqrt{-1}$.

$$A(j\omega) = 0,03 \cdot 10^{-7}(j\omega)^5 + 2,797 \cdot 10^{-5}(j\omega)^4 + 3,3 \cdot 10^{-5}(j\omega)^3 + 8,975 \cdot 10^{-3}(j\omega)^2 - 0,136(j\omega) - 45,397$$

Виділяємо дійсну і уявну частину, зведемо рівняння до вигляду:

$$A(\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$$

(3.4)

$$A(j\omega) = (2,797 \cdot 10^{-5} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-3} \omega^2 - 45,397) - j(0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-3} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-7} \omega^5)$$

Будуємо годограф Михайлова, змінюючи ω від 0 до ∞ (рис 3.2).

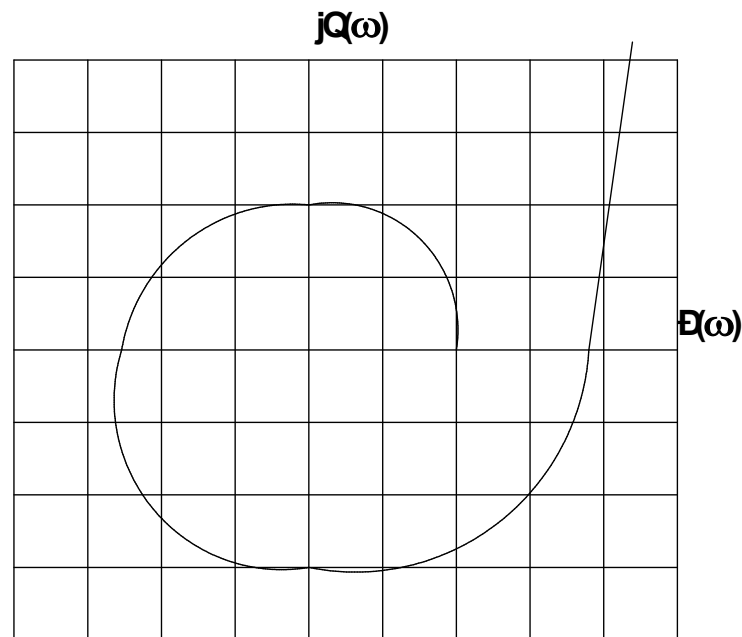


Рисунок 3.2 – Годограф Михайлова

Стійкість системи по Михайлову визначається таким чином: система стійка, якщо годограф Михайлова замкненої системи при зміні частоти $0 < \omega < \infty$ починається на позитивній напіввісі і проходить проти годинникової стрілки, починаючи з 1-го квадранту послідовно п

квадрантів, де n -порядок характеристичного рівняння замкненої системи [15].

В нашому випадку ми маємо характеристичне рівняння 5 порядку, крива Михайлова проходить проти годинникової стрілки 5 квадрантів комплексної площини. Звідси робимо висновок, що система стійка за критерієм Михайлова

Для подальших досліджень побудуємо амплітудно-фазову частотну характеристику (АФЧХ), для цього у рівнянні (3.2а) проведемо заміну оператора p на $j\omega$, в результаті було одержано вираз для АФЧХ:

$$W(j\omega) = \frac{4,539744}{(9,936 \cdot 10^{-7} (j\omega)^4 + 2,7 \cdot 10^{-5} (j\omega)^3 + 3,312 \cdot 10^{-5} (j\omega)^3 + 9 \cdot 10^{-3} (j\omega)^2 - 4,085 \cdot 10^{-3} (j\omega) - 1,226 \cdot 10^{-3} (j\omega)^2 - 45,397) \cdot (0,003 (j\omega) + 1)}$$

Приведемо амплітудно-фазову характеристику до вигляду:

$$W(j\omega) = P(\omega) + j \cdot Q(\omega) \quad ; \quad (3.5)$$

Отримуємо вираз:

$$W(j\omega) = \frac{4,539744}{(2,797 \cdot 10^{-7} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-5} \omega^2 - 45,397) - j(0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-10} \omega^5)}$$

Помноживши на спряжений вираз і зробивши перетворення одержимо:

$$W(j\omega) = \frac{4,54 \cdot (2,797 \cdot 10^{-7} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-5} \omega^2 - 45,397)}{(2,797 \cdot 10^{-7} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-5} \omega^2 - 45,397)^2 + (0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-10} \omega^5)^2} + j \frac{4,54 \cdot (0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-10} \omega^5)}{(2,797 \cdot 10^{-7} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-5} \omega^2 - 45,397)^2 + (0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-10} \omega^5)^2}$$

З рівняння можна виділити дійсну та уявну складові $P(\omega)$ та $Q(\omega)$:

$$P(\omega) = \frac{4,54 \cdot (2,797 \cdot 10^{-7} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-5} \omega^2 - 45,397)}{(2,797 \cdot 10^{-7} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-5} \omega^2 - 45,397)^2 + (0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-10} \omega^5)^2},$$

$$Q(\omega) = \frac{4,54 \cdot (0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-10} \omega^5)}{(2,797 \cdot 10^{-7} \omega^4 - 8,975 \cdot 10^{-5} \omega^2 - 45,397)^2 + (0,136\omega + 3,3 \cdot 10^{-7} \omega^3 - 0,03 \cdot 10^{-10} \omega^5)^2}$$

По цих рівняннях за допомогою програми Matlab побудовано графік амплітудно-фазово частотної характеристики (рис 3.3).

Перевіримо систему на стійкість за критерієм Найквіста: якщо система автоматичного управління стійка в розімкненому стані, то для її стійкості в замкненому стані необхідно і достатньо, щоб АФЧХ розімкненої системи $W(j\omega)$ при зміні частоти ω від нуля до нескінченності не охоплювала точку з координатами $(-1; j0)$ комплексної площини [15].

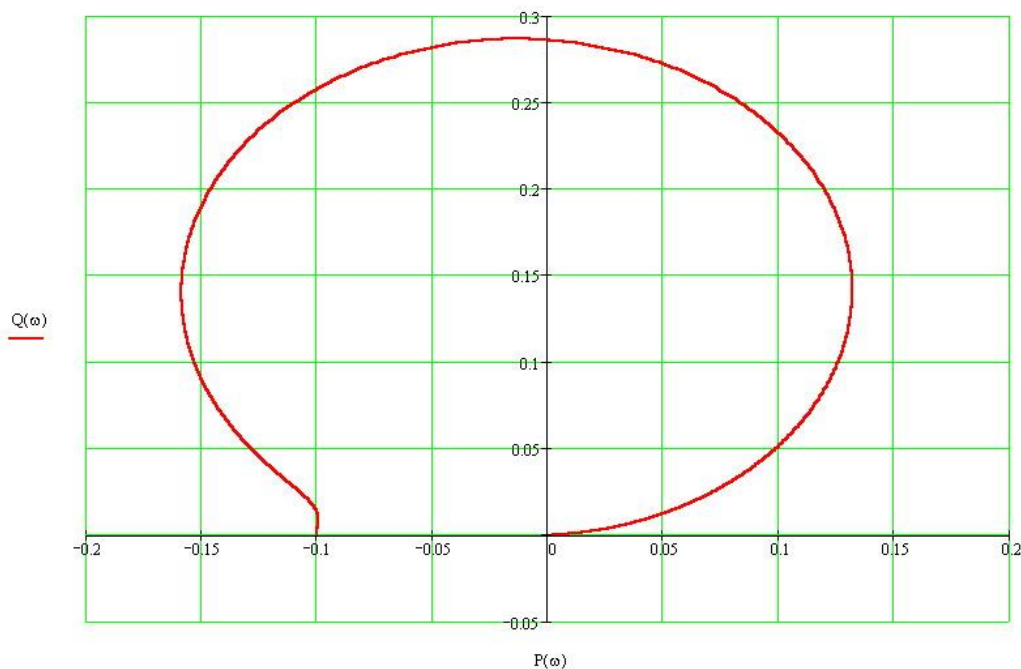


Рисунок 3.3 – Амплітудно фазова характеристика системи

Висновок: з вигляду графіку можна побачити, що АФЧХ не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$ комплексної площини, тому системи можна вважати стійкою за критерієм Найквіста.

3.4 Побудова та аналіз перехідної функції системи

Корені характеристичного рівняння, яке було отримане в п.3.3, знаходимо за допомогою програми Matlab:

$$p_1 = -93232,157;$$

$$p_2 = -89,815 - 134,846j;$$

$$p_3 = -89,815 + 134,846j;$$

$$p_4 = 46,839;$$

$$p_5 = 134,615;$$

Використовуємо другу теорему Хевісайда, щоб визначити оригінал перехідної функції $h(t)$. Сутність теореми полягає в тому, що при такому вигляді зображення $F(p)$ функції $h(t)$:

$$F(p) = \frac{F_1(p)}{p \cdot F_2(p)} \quad (3.6)$$

її оригінал дорівнює:

$$f(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k)}{p_k \cdot F_2'(p_k)} \cdot e^{p_k t}, \quad (3.7)$$

де p_k – корені характеристичного рівняння.

Для нашої системи маємо:

$$F_1(p) = -45,397;$$

$$F_2(p) = 0,03 \cdot 10^{-7} p^5 + 2,797 \cdot 10^{-5} p^4 + 3,3 \cdot 10^{-5} p^3 + 8,975 \cdot 10^{-3} p^2 - 0,136 p - 45,397;$$

$$F_2'(p) = 0,06 \cdot 10^{-7} p^4 + 5,594 \cdot 10^{-5} p^3 + 6,6 \cdot 10^{-5} p^2 + 17,95 \cdot 10^{-3} p - 0,136;$$

Підставляємо одержані корені характеристичного рівняння, отримуємо значення $F_2'(p_i)$:

$$F_2'(p_1) = 0,06 \cdot 10^{-7} (-93232,157)^4 + 5,594 \cdot 10^{-5} (-93232,157)^3 + 6,6 \cdot 10^{-5} \cdot (-93232,157)^2 + 17,95 \cdot 10^{-3} (-93232,157) - 0,136 = 2,267 \cdot 10^8;$$

$$F_2'(p_2) = 0,06 \cdot 10^{-7} (-89,815 - 134,846j)^4 + 5,594 \cdot 10^{-5} (-89,815 - 134,846j)^3 + 6,6 \cdot 10^{-5} (-89,815 - 134,846j)^2 + 17,95 \cdot 10^{-3} (-89,815 - 134,846j) - 0,136 = 4,501 - 0,915j;$$

$$F_2'(p_3) = 0,06 \cdot 10^{-7} (-89,815 + 134,846j)^4 + 5,594 \cdot 10^{-5} (-89,815 + 134,846j)^3 + 6,6 \cdot 10^{-5} (-89,815 + 134,846j)^2 + 17,95 \cdot 10^{-3} (-89,815 + 134,846j) - 0,136 = 4,501 + 0,915j;$$

$$F_2'(p_4) = 0,06 \cdot 10^{-7} (46,839)^4 + 5,594 \cdot 10^{-5} (46,839)^3 + 6,6 \cdot 10^{-5} (46,839)^2 + 17,95 \cdot 10^{-3} (46,839) - 0,136 = -0,01;$$

$$F'_2(p_5) = 0,06 \cdot 10^{-7} (134,615)^4 + 5,594 \cdot 10^{-5} (134,615)^3 + 6,6 \cdot 10^{-5} \cdot (134,615)^2 + 17,95 \cdot 10^{-3} ((134,615) - 0,136) = 2,46;$$

Після підстановки цих значень у вираз оригінала функції за допомогою програми Matlab отримуємо графік перехідної функції замкненої системи, яка зображена на рис. 3.4.

По ній можна визначити основні параметри якості перехідного процесу: перерегулювання, час регулювання, кількість коливань за час регулювання та період коливань [15].

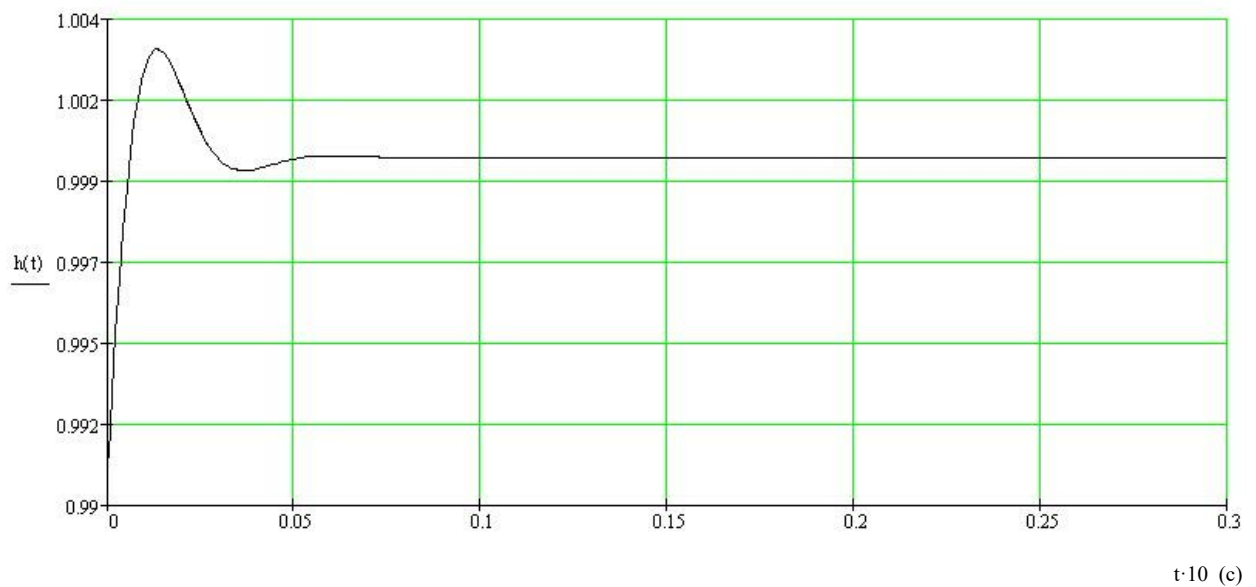


Рисунок 3.4 – Графік перехідної функції замкненої системи

Визначаємо характеристики якості:

$$\text{Перерегулювання системи } \delta = \frac{h_{\max} - h_{\text{nom}}}{h_{\text{nom}}} = \frac{1,003 - 1}{1} \cdot 100\% = 3\%.$$

$$\text{Час регулювання } T_{\text{per}} = 0,85 \text{ с.}$$

Коливальність перехідного процесу:

- число коливань за час регулювання – 1;
- період коливань $T = 0,65$ с.

Робимо висновок, що система задовольняє заданим вимогам по якості.

Висновок до розділу. Проведені в даному розділі дослідження показали, що даний модернізований електропривод зварювальної установки повністю відповідає поставленим задачам.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра проведена модернізація електроприводу зварювального автомата типу YS-20.

Був здійснений аналіз існуючого приводу механізму, зроблені висновки про необхідність модернізації. Розраховані навантаження та вибрані основні елементи приводу опускання пальника та повороту столу, проведена перевірка обраних двигунів на перегрів.

Розроблена мікропроцесорна система керування зварювальним апаратом, яка дає можливість узгоджено керувати трьома електроприводами: повороту столу, опускання пальника та повороту зварювальних головок. Кожним з електроприводів керує власна система керування, а системами керування електроприводів керує загальна система керування технологічним процесом. Розроблені структурна та функціональна схеми електроприводу зварювальної установки.

Розроблена система керування дозволяє ефективно визначати положення робочих органів у просторі та виконувати роботу згідно з технологічним процесом та з великою точністю. Використання спеціалізованих приладів дозволило створити систему, яка має невелику масу та енергоспоживання.

Створена система керування електроприводом була досліджена на стійкість за критерієм Найквіста та Михайлова. Також проведене дослідження системи на якість. Можна зробити висновок, що модернізований електропривод відповідає всім поставленим вимогам.

Модернізована установка після більш детальної доробки може бути використана на виробництві.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Власенко, А. М. Технологія металів та зварювання. Модульний курс : навчальний посібник / А. М. Власенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 250 с.
2. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К. : Основа, 2021.– 400 с.
3. Гуменюк І. В. Обладнання та технології зварювальних робіт : навч. посіб. / І. В. Гуменюк. — К. : Грамота, 2014. – 120 с.
4. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч.посіб.– К.: Арістей, 2006. – 272 с.
5. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів: ч.1. Критерії для вибирання відповідного рівня вимог до якості (ISO 3834-1 : 2005, IDT). – К. : Держспоживстандарт України, 2013. – IV, 5с.
6. Павленко Т.П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т.П. Павленко, О.В. Донець, О.М. Петренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 132с.

7. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
8. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інші. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інші. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
9. Каталог електродвигунів серії АІР. – Режим доступу: https://air.com.ua/katalog_elektrovdigatelei_air/
10. Каталог товарів. Автоматичні вимикачі, силові автомати, контактори, теплові реле, кнопки індикатори. – Режим доступу: <https://hager-shop.com.ua/>
11. Донець О. В. Теорія електропривода/ В. І. Колотило, О. В. Донець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
12. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.
13. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.
14. Farhan A.S Ayman A.Aly.El. Fundamentals of Automatic Control: Theory and Application. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 616 p.
15. Шефер О.В., Єрмілова Н.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» (141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»). – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с.

Додаток А

1 TECHNOLOGICAL PART

Welding is the process of obtaining inseparable joints by installing interatomic cuttings between the welded parts with their partial or overall heating.

In total, more than 150 types of welding processes are known, the main ones are contact, electric arc, argon-argon and gas welding [1]. Different types of welding are used for different types of welding, when choosing, which must take into account such characteristics as the value and type of welding current, power supply, electrode diameter, power, mass and work cycle [2].

1.1 The essence of the welding process

In the process of arc welding of heating, melting and welding of metals is carried out by the heat of an electric arc, which is inflamed between the welded metal and the electrode [3]. A DC or AC source is used to power the electric arc. Welding can be made by melting electrodes and non -melting electrodes.

1) Welding an electrode that does not melt

Welding by this method is carried out by a direct or indirect arc. Moreover, the electrode material here practically does not participate in the process of welding. In this case, tungsten or graphite (coal) is commonly used.

When using the graphite electrode, the Arc power is carried out from a DC source. Welding is carried out on a direct polarity (the electrode is connected to the negative pole of the source, and the welded metal - to the positive). When using a tungsten electrode welding is carried out by AC or DC direct polarity.

2) Welding an electrode that melts

Welding with a melted electrode is carried out by an arc that occurs between the electrode and the welded metal. The electrode material is used to form a weld. Usually used electrodes made of metals: iron, copper, cast iron. Various additives can be added to the electrodes, which improve the quality of the weld or increase the stability of the arc combustion. The electrode is fed to the welding zone as its melting. An arc power can be carried out from both a DC and AC source. Welding can be carried out both on the direct and reverse polarity of the current. Artificial welding electrodes, as well as continuous or powder welding wires, are used as melting electrodes [3].

In arc welding with a melted electrode, the transfer of metal (from the electrode to the welding site) is determined by the influence of a number of factors listed below.

Factor 1. Evaporation and condensation. At the end of the electrode there is an intense release of heat, through which part of the metal evaporates. Some of these vapors are scattered, but most condense in a welding bath that has a lower temperature.

Factor 2. The force of gravity. When welded in the lower position, the gravity force helps to direct the molten metal from the electrode to the welding bath. In other spatial positions, gravity can prevent the normal transfer of metal into a welding bath. In this case, thinner electrodes should be used, as surface tension forces are not able to maintain a large amount of metal in the welding bath.

Factor 3. Compression effect (Pinch-effect). A circular magnetic field is formed around the electric arc, like near any linear conductor with current. Since the current in the arc flows perpendicular to the direction of the magnetic field, the arc is affected by the force directed at its center (radial compression force).

Moreover, if the cross -section of the conductor canal is uneven, then there is a force directed from a smaller cross -section of this conductor to a larger one. This force clamps a drop of molten metal and detaches it from the electrode. At the same time, the drops are given a motion pulse that directs this drop towards the welding bath.

Factor 4. Surface tension. The surface tension forces help to hold the molten metal on the tip of the electrode and in the welding bath, as well as form the contours of the weld.

Factor 5. Gas stream in an arc. Gas flows directed along the axis are experimentally occurring in all arcs. As a rule, they occur at currents more than 50 A, and their speed reaches 50-150 m/s. The flow of gas coming from the tip of the electrode creates pressure on the welding bath, which is why the recess is formed on the surface of the molten metal, which is called a welding crater. When the arc is compressed, the gas flow rate can reach a certain critical value, which will remove all the metal from the welding bath. Similar modes are used in metal cutting [2].

The nature of the transfer of metal in arc welding depends on the density of the current, on the length and atmosphere of the arc, on the polarity used. It should also be noted that the transfer of metals can be large-droplet, small-scale and fog.

1.2 The structure of the welding installation type YS-010 and a description of the technological process of its operation

The welding machine of the type YS-020 is intended for execution of welds of arc shape with an angle of arc 240-280°. These seams connect the details of the "sleeve" and "base".

The design of surfaces for installation of parts allows the use of a machine for welding of several different in design of similar parts, thanks to the standardized design of the workpiece. In the base version, the machine is adjusted to perform arc seams with an angle of arc 280°. The orientation of the details "bushing" and "base" is performed relative to each other at an angle of 240° (in the

total plane of symmetry with a special clamp). This angle is adjustable when adjusting the machine.

The general appearance of the welding installation is presented in Fig. 1.1.

Unlike existing installations and rotary devices, YS-020 welding machine allows you to weld parts that have certain geometric deviations. Unloading of finished products is mechanized, which allows to reduce the time of operation.

The automatic machine according to the accepted standard can be operated in areas with temperate climates in closed premises, it meets the requirements of labor safety and has been certified in the relevant body of the State Inspectorate for Occupational Safety. In the base design, the automatic machine has two welding heads, each of which has a hydraulic cylinder and a engine. The hydraulic cylinder performs the lowering and lifting of the welding head together with the engine, and the motor reduction allows the welding head to return to an angle up to 280° . The position of the welding head is determined by means of contact sensors.

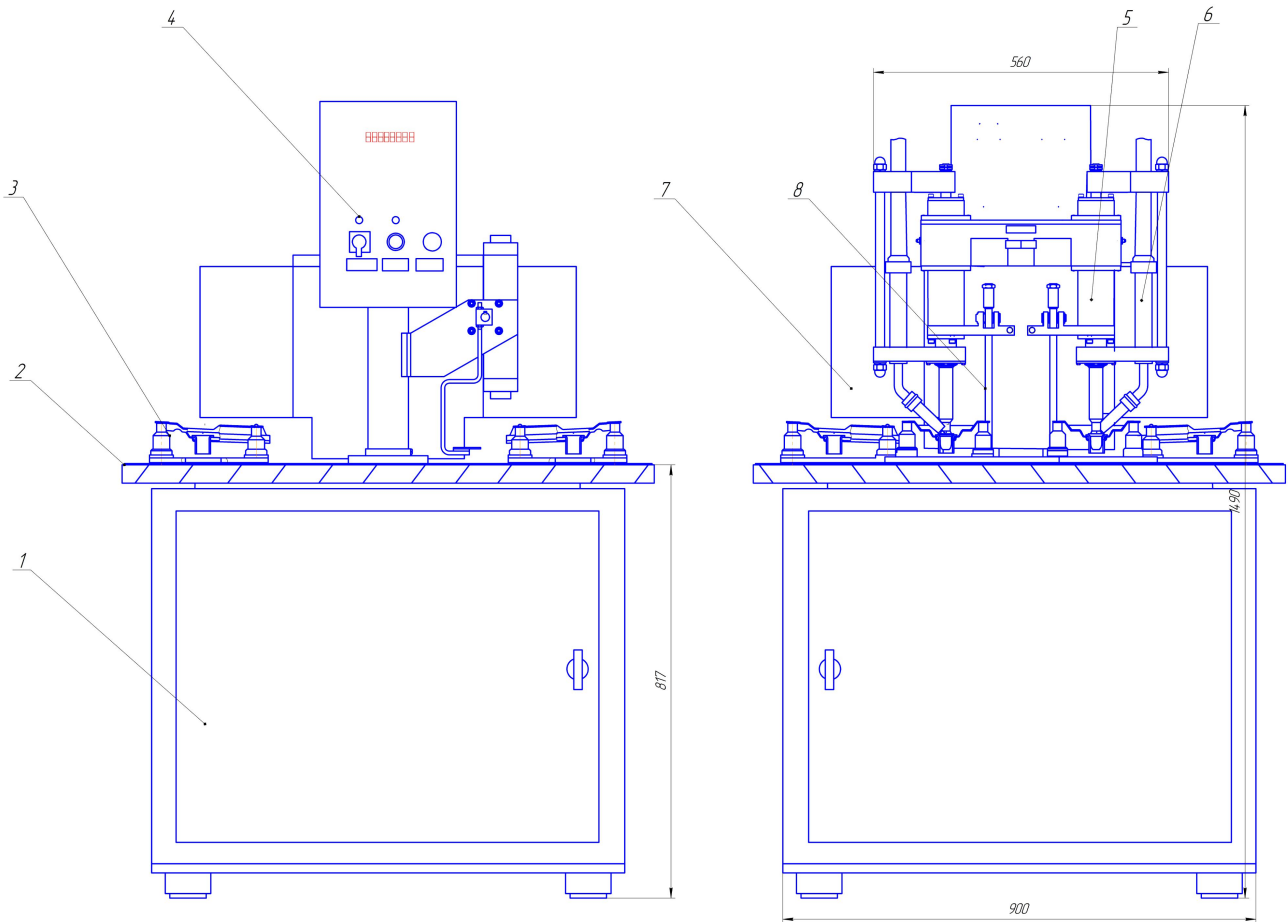


Figure 1.1 - General appearance of the welding installation: 1 - base; 2 - returning table; 3 - workpiece; 4 - control panel; 5 - two rotation of the welding head; 6 - welding head; 7 - protective shield; 8 - rail of the lowering of the welding head

The technological process of work of the welding machine consists of the following steps [3]:

- ✓ loading of workpieces on the reverse table;
- ✓ launch of the technological cycle;
- ✓ rotation of the table to the working position before the sensor is triggered;
- ✓ lowering of welding heads, fixing the workpiece with a rod;
- ✓ turn on welding, rotation of welding heads;
- ✓ shutdown of welding after the sensor is triggered;
- ✓ lifting of welding heads;
- ✓ release of welded workpiece;
- ✓ rotation of the table to loading position;
- ✓ repetition of the cycle.

1.3 Structure of the mechanism of lowering the welding heads

The burner lowering is due to the longitudinal movement of the hydraulic stem. When using the electric motor, it is necessary to convert the rotating motion of the motor shaft into a longitudinal one. This can be achieved using a screw or rail. The disadvantage of screw transmission is higher friction and lower speed compared to the rail. Therefore, when modernizing for the mechanism of lowering the welding head, it is advisable to use the rail (Figure 1.2).

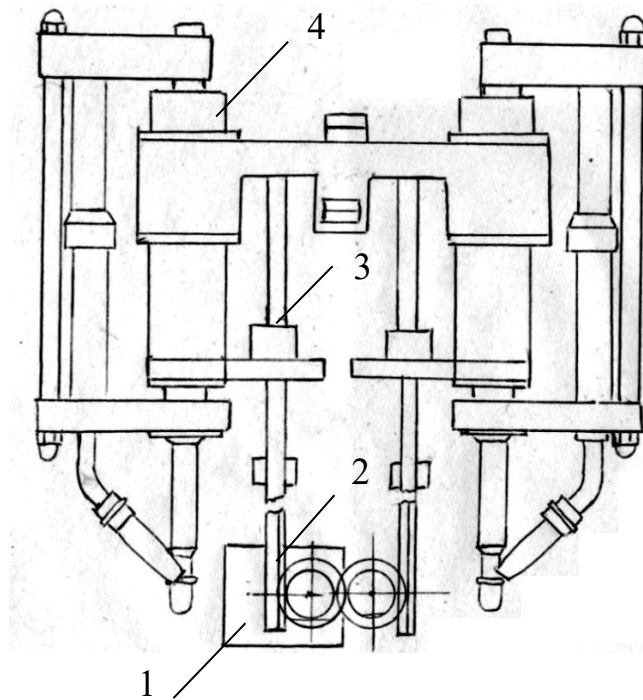


Figure 1.2 - Mechanism of lowering welding heads with rail transmission

1. The editor motor;
2. Raik transmission;
3. Rire;
4. The sleeve.

The most acceptable location of the engine lowering of the burner is the location in the middle of the installation, since the weight of the engine does not create a bending moment on the rack of the burner, the moving parts are closed, the noise from the operating engine is partially reduced by the body of the machine. The engine should rotate with the table, so the installation connections for the engine are installed on the inner side of the table base.

To transmit motion from the gearbox to the welding heads, steel rails should be used. Two guides have been installed to reduce the likelihood of a burner system and to create a uniform movement of the welding system.

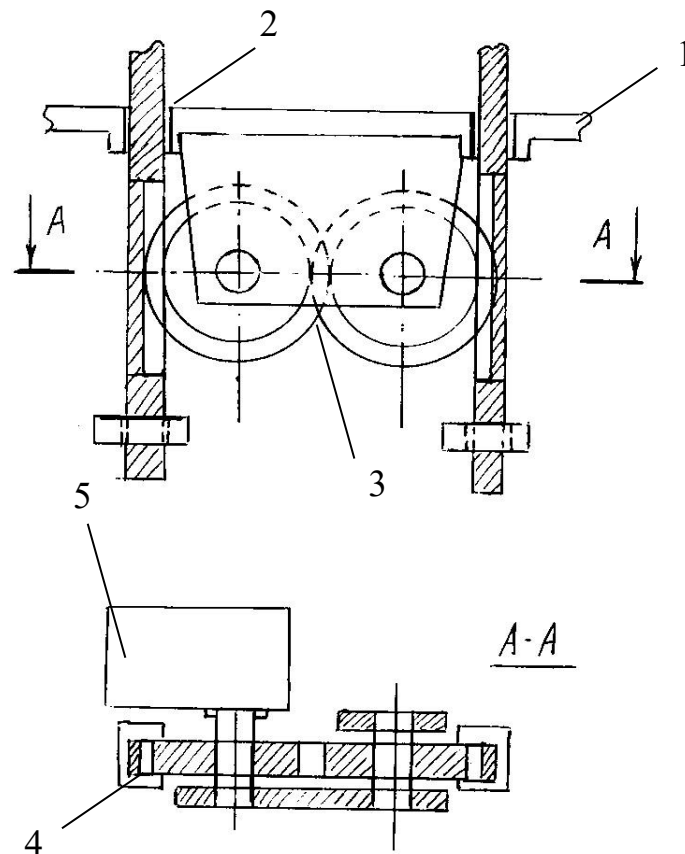


Figure 1.3 - Reductor-distributor

1. The reverse table;
2. Rail;
3. A gearbox with a transmission factor 1;
4. Rirens;
5. Motor-editor.

In order to transmit motion from the engine to two rails, a gear-distributor of two identical gears is installed, one of which is connected to the gearbox, and the other is fixed freely and allows the second rail to move simultaneously with the first, without changing the gear number (Fig. 1.3).

Conclusion to the chapter. When performing qualification work, it is necessary to analyze and modernize the three drives of the welding installation:

- the reason of turning the table,
- the drive of the burner lowering;
- the reason for the rotation of the welding head.

Додаток Б

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматки, електроніки та телекомунікацій

Модернізація електропривода зварювальної установки типу YS-020

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

студент групи 401МЕ

Дігтяр С.О.

Керівник:

доцент, к.т.н.

Срмілова Н.В.

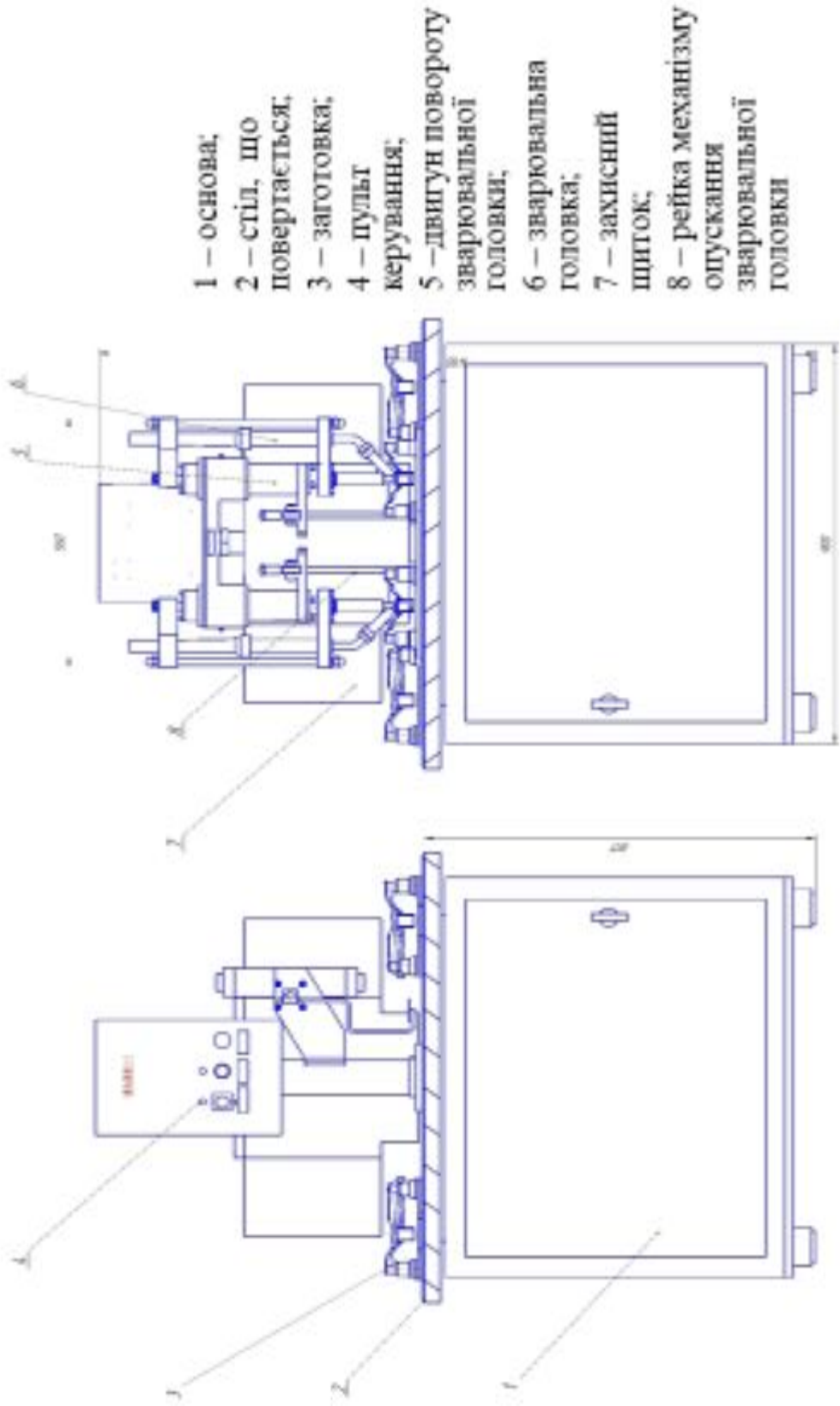
Полтава 2025

Актуальність теми. Майже у кожному виробництві невід'ємною частиною технологічного процесу є зварювальні роботи. На даний момент ринок пропонує великий асортимент ручних зварювальних апаратів та зварювальних установок для крупносерійного виробництва. Але вони не завжди задовольняють потреби сучасного виробництва, основні вимоги якого: відносно невеликі розміри зварювальної установки, висока продуктивність, простота керування, можливість виконання зварних швів складної форми, відповідний рівень автоматизації, тому модернізація існуючих зварювальних установок є дуже актуальною.

Метою даної кваліфікаційної роботи є модернізація застарілого електроприводу зварювального автомата YS-020, який дозволяє проводити зварювання деталей як стандартних, так і з певними геометричними відхиленнями зварними швами дугової форми, сучасним електроприводом, що дасть змогу суттєво підвищити точність та якість його роботи, спростити експлуатацію за рахунок використання спеціалізованого обладнання та розроблення системи контролю за ходом технологічного процесу зварювання.

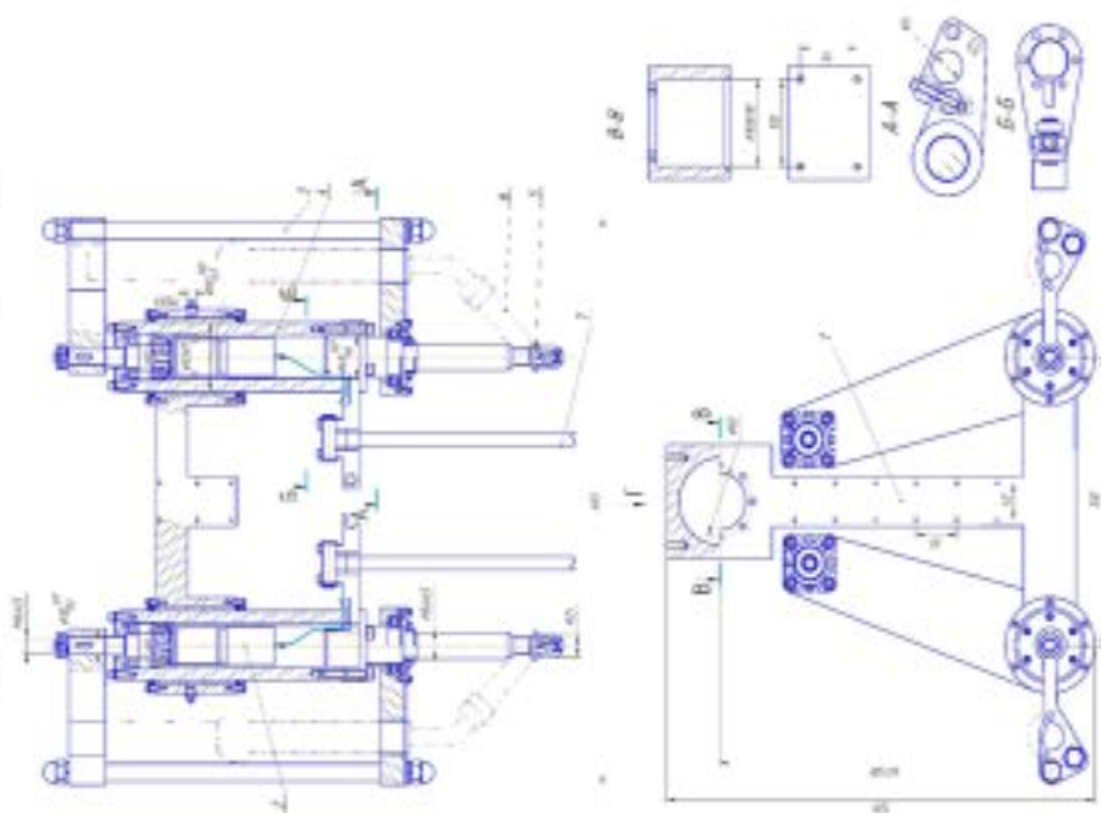
3

Загальний вигляд зварювальної установки



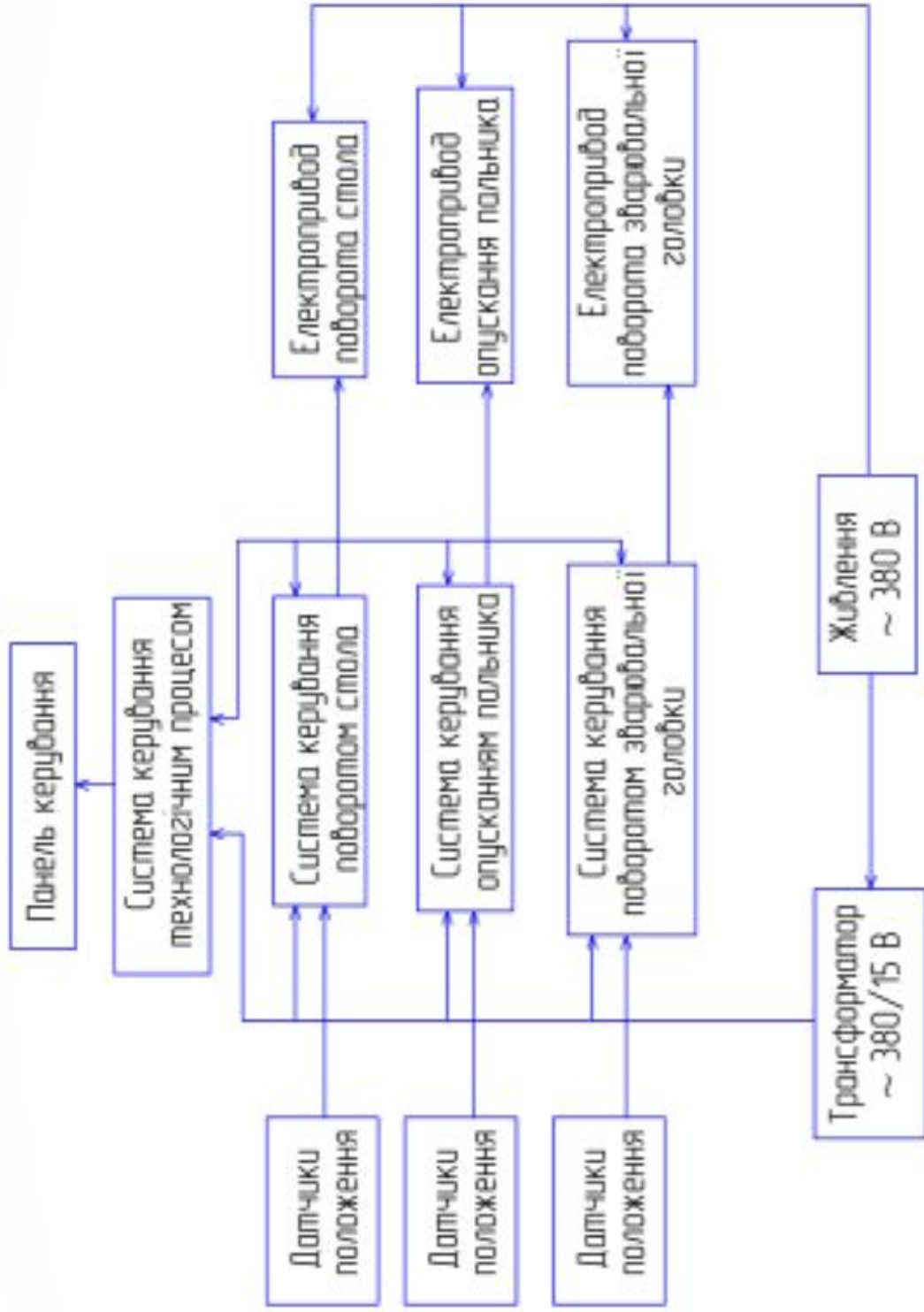
Будова механізму зварювального блоку

4



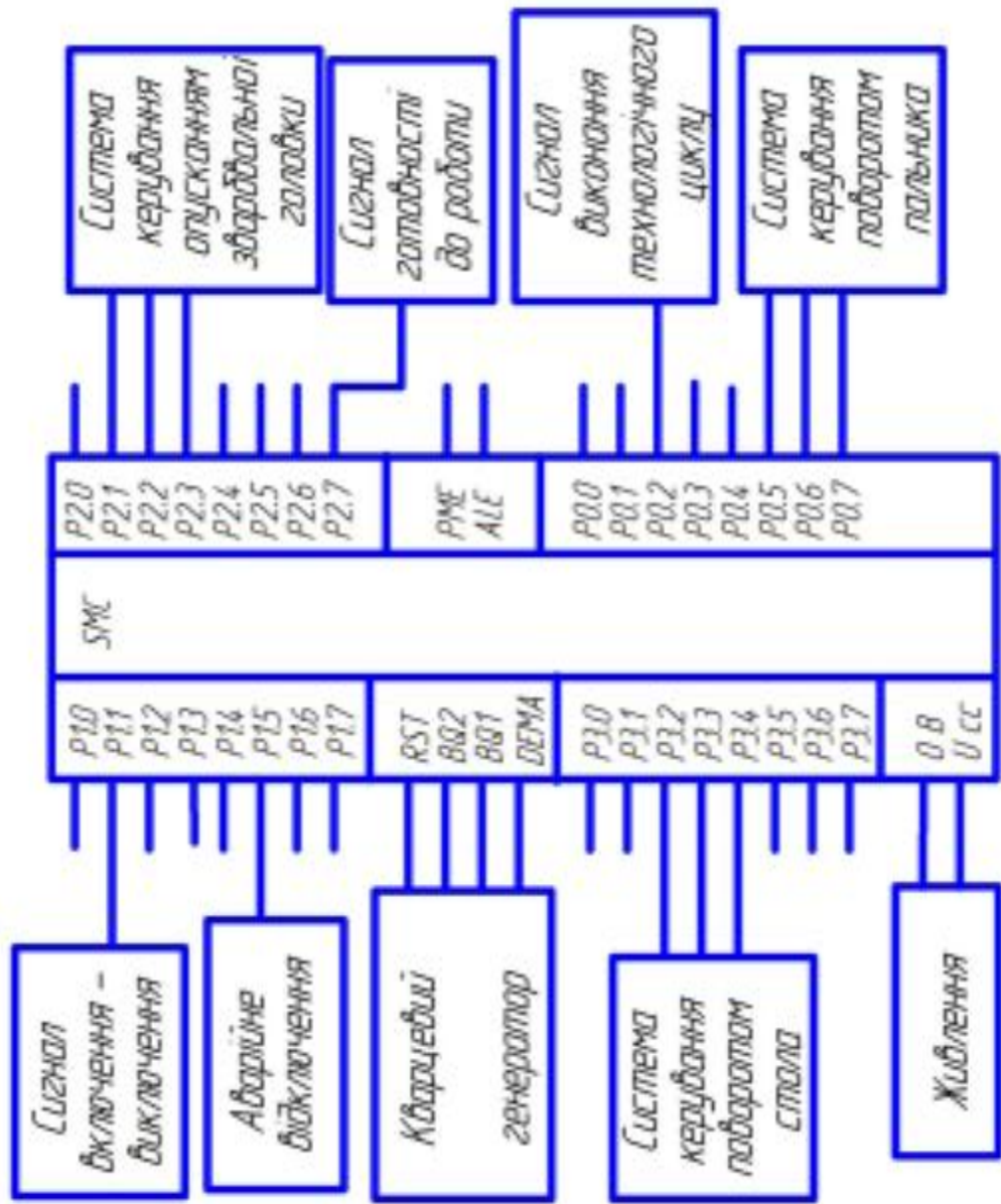
- 1 – основа;
- 2 – двигун повороту зварювальної головки;
- 3 – напрямна;
- 4 – корпус;
- 5 – шток;
- 6 – зварювальна головка;
- 7 – рейка механізму опускання зварювальної головки

Структурна схема системи керування електроприводом 5
зварювальної установки



**Схема реалізації системи керування
технологічним процесом зварювання**

6



Алгоритм роботи електроприводу зварювальної установки

7

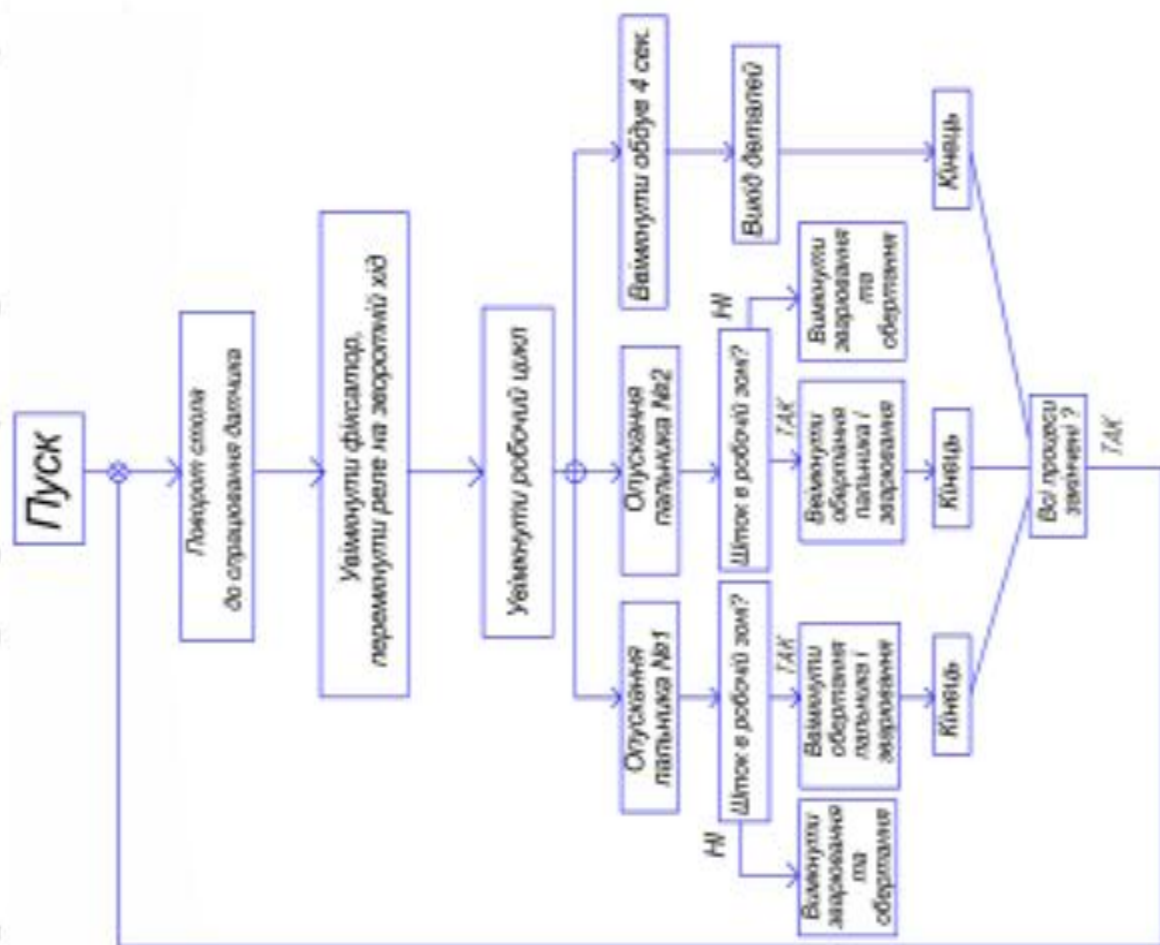
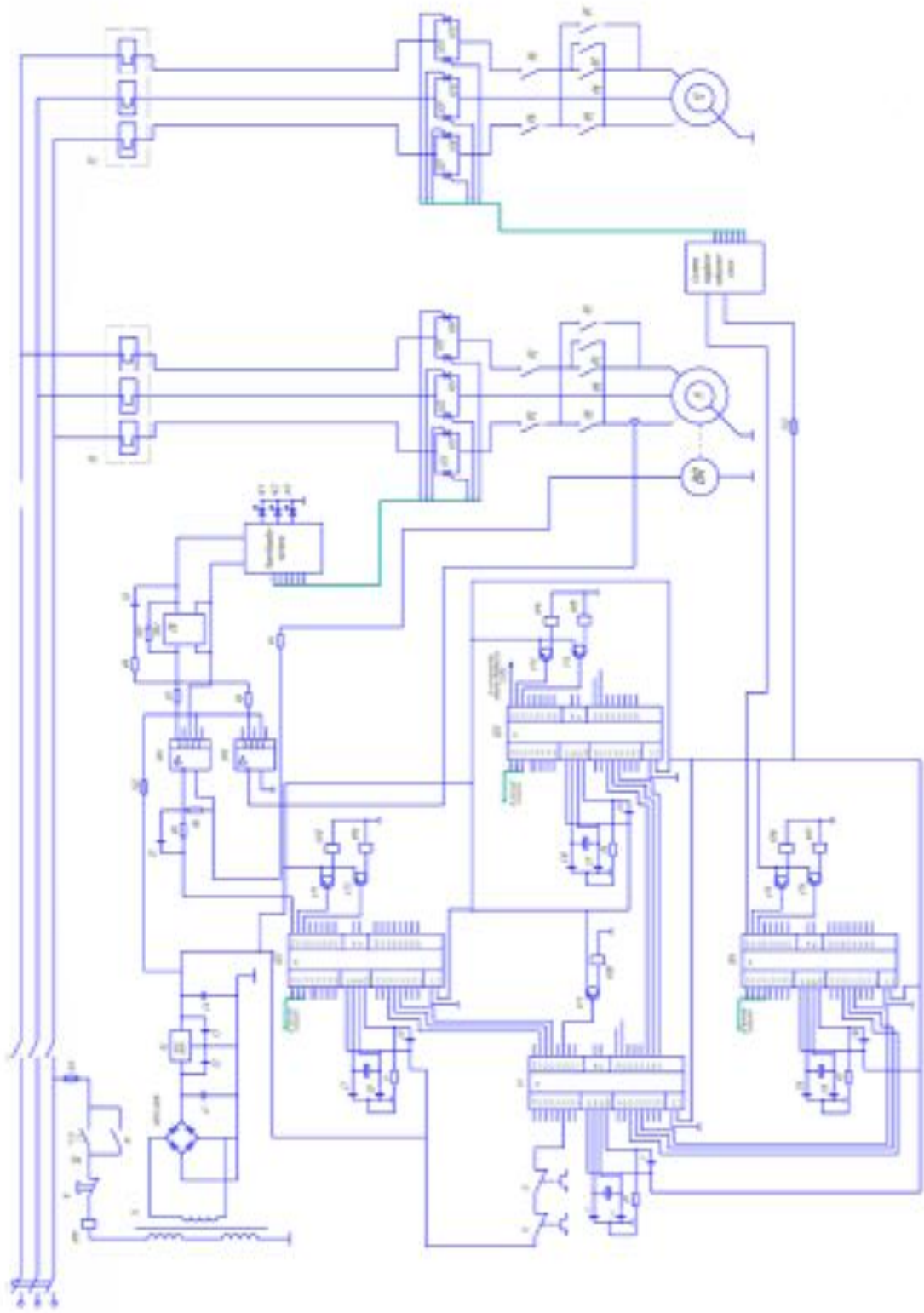
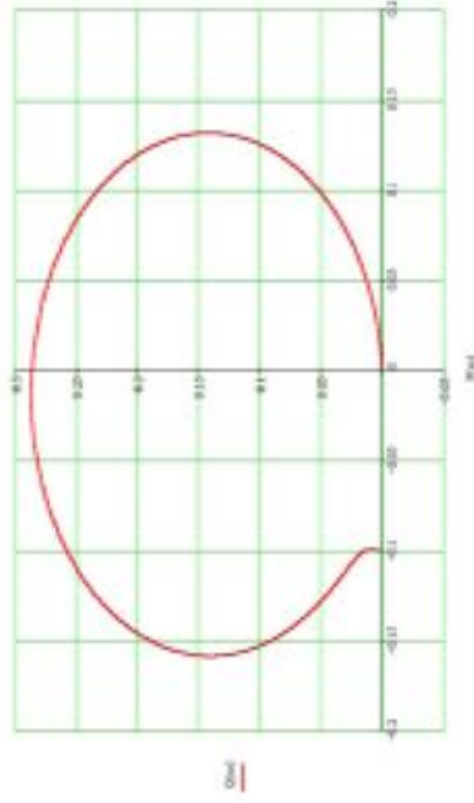


Схема електрична функціональна електронприводу зварювальної установки 8



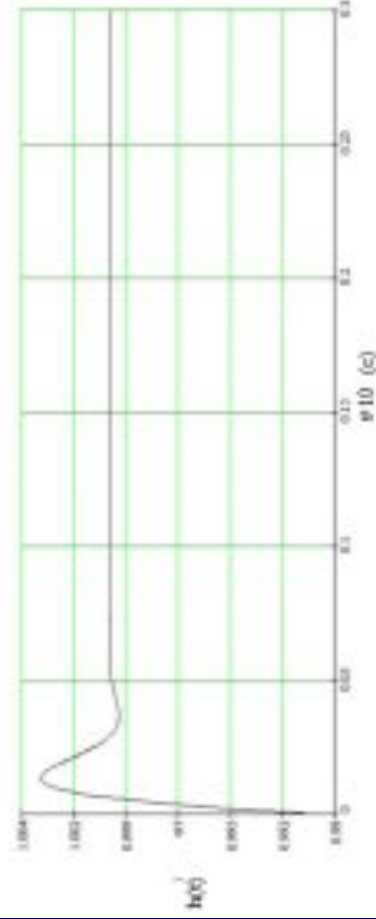
Дослідження системи на стійкість та якість

10



З вигляду графіку можна побачити, що АФЧХ не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$ комплексної площини, тому систему можна вважати стійкою за критерієм Найквіста.

Амплітудно фазова характеристика системи



Перерегулювання

системи складає близько 3%;

Час регулювання 0,85 с.

Кількість

перехідного процесу:

- число коливань за час регулювання – 1;
- період коливань $T=0,65$ с.

Система задовольняє

заданим вимогам по якості.

Перехідна функція замкненої системи

Висновки

- Був проведений аналіз існуючого приводу механізму, зроблені висновки про необхідність модернізації. Розраховані навантаження та вибрані основні елементи приводу опускання пальника та повороту столу, проведена перевірка обраних двигунів на перегрів.
- Розроблена мікропроцесорна система керування зварювальним апаратом, яка дає можливість узгоджено керувати трьома електроприводами: повороту стола, опускання пальника та повороту зварювальних головок. Розроблені структурна та функціональна схеми електроприводу зварювальної установки.
- Розроблена система керування дозволяє ефективно визначати положення робочих органів у просторі та виконувати роботу згідно з технологічним процесом та з великою точністю. Використання спеціалізованих приладів дозволило створити систему, яка має невелику масу та енергоспоживання.
- Створена система керування електроприводом була досліджена на стійкість за критеріями Найквіста та Михайлова. Також проведене дослідження системи на якість. Можна зробити висновок, що модернізований електропривод відповідає всім поставленим вимогам.
- Модернізована установка після більш детальної доробки може бути використана для модернізації зварювальних установок на виробництві.