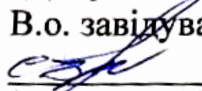


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри
 С.В.Драган
«17» 12 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

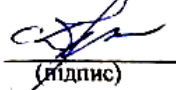
на тему: РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ
НАПЛАВЛЕННЯ ПУЧКОМ ЕЛЕКТРОДІВ

Виконав: студент групи 6121м

 **Баша С.В.**
(підпис)

Керівник роботи:

В. о. зав. каф., к.т.н., професор НУК
(посада, науковий ступень, вчене звання)

 **Драган С.В.**
(підпис)

Миколаїв, 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
_____ С.В.Драган
«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту

Баши Сергію Васильовичу
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **Розробка та дослідження роботи системи керування автоматизованої установки для наплавлення пучком електродів.**

Керівник роботи **Драган Станіслав Володимирович, професор, к.т.н.**

Затверджені наказом ректора № _____ від «___» _____ 20__ року

2. Термін подання роботи: 15.12.2024 р.

3. Вихідні дані по роботі: Розробка та дослідження роботи системи керування автоматизованої установки для наплавлення пучком електродів.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
Аналіз систем автоматичного керування установками для дугового зварювання та наплавлення. Розробка системи автоматичного керування наплавочної уста-новки. Експериментальне дослідження роботи системи автоматичного керу-вання установкою для наплавлення пучком електродів. Техніка безпеки та охорона праці при роботі наплавочної установки. Розрахунок витрат на розробку та виготовлення системи керування дослідного зразка наплавочної установки.

5. Перелік презентаційних матеріалів:

Тема, мета та завдання кваліфікаційної роботи. Керування процесом зварюван-ня. Зварювання з автоматичним регулюванням напруги дуги. Збудження та стабілізація горіння дуги. Основа для макету та розробка майбутньої автомати-чної системи керування. Пристрій початкового збудження дуги та стабільності її горіння. Зворотній зв'язок за струмом дуги. Приводи переміщення пучка електродів. Зворотний зв'язок по переміщенню

пучка електродів. Принципова схема плати контролера. Блок контролера. Результати розробок та досліджень. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Драган С.В., професор, к.т.н.	15.09.2024	30.09.2024
2.	Драган С.В., професор, к.т.н.	15.09.2024	14.10.2024
3.	Драган С.В., професор, к.т.н.	15.09.2024	04.11.2024
4.	Драган С.В., професор, к.т.н.	15.09.2024	18.11.2024
5.	Драган С.В., професор, к.т.н.	15.09.2024	02.12.2024

7. Дата видачі завдання 15.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз систем автоматичного керування установками для дугового зварювання та наплавлення.	15.09.2024-30.09.2024	
2.	Розробка системи автоматичного керування наплавочної установки.	01.10.2024-14.10.2024	
3.	Експериментальне дослідження роботи системи автоматичного керування установкою для наплавлення пучком електродів	15.10.2024-04.11.2024	
4.	Техніка безпеки та охорона праці при роботі наплавочної установки.	05.11.2024-18.11.2024	
5.	Розрахунок витрат на розробку та виготовлення системи керування дослідного зразка наплавочної установки.	19.11.2024-02.12.2024	
6.	Складання змісту, загальних висновків по роботі та списку використаних джерел інформації, оформлення пояснювальної записки	03.12.2024-09.12.2024	
7.	Оформлення презентаційних матеріалів	10.12.2024-15.12.2024	

Студент _____ Баша С.В.
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи _____ Драган С.В.
(підпис) (ПІБ)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота має: 94 с., 49 рис., 36 формул, 9 табл., 44 джерела.

У роботі розроблена система автоматичного керування наплавленням пучком електродів.

Виконана модернізація електроімпульсного копіювально-прошивочного верстату 4Б723М, що дозволило провести комплекс експериментальних досліджень для оцінки роботи розробленої системи.

Розроблений та виготовлений блок безконтактного збудження дуги (осцилятор) та доведена стабільність його роботи при використанні різних матеріалів дослідного зразка та покритих електродів у пучку.

Розроблена та виготовлена плата підсилювача сигналу зворотного зв'язку від датчика Холла. Завдяки чому, встановлена можливість стабілізації процесу наплавлення пучком електродів.

Проведене тестування системи керування приводами переміщень на базі крокових двигунів 86HS156, NEMA34 та драйверів SEA2D810 для переміщення пучка електродів за трьома осями. Висока точність переміщення була забезпечена використанням потенціометричних лінійок LTM.

Розглянуті основні небезпечності при експлуатації установки та наведені правила експлуатації кожного обладнання, які входять до її складу. Розраховано захисне заземлення. Рекомендовані основні заходи з запобігання потрапляння газів, аерозолів та пилу в атмосферу.

Для економічного розрахунку витрат на проєктні розробки та виготовлення дослідного зразка наплавочної установки пучком покритих електродів визначено якісний та кількісний склад проєктної групи. Загальна сума витрат становить 497814 грн.

Ключові слова: система автоматичного керування, наплавочна установка, пучок електродів, стійкість, стабільність, безконтактне збудження дуги, осцилятор, кроковий двигун, драйвер, датчик Холла.

SUMMARY

Qualifying work has: 94 p., 49 pictures, 36 formulas, 9 tables, 44 sources.

There is the developed automatic control system by surfacing by the bunch of electrodes in work.

Executed modernization of electro-impulsive to the copying-firmware machine-tool of 4B723M, that allowed to conduct the complex of experimental researches for estimation of work of the developed system.

The developed and made block of contactless excitation of arc (oscillator) is the that led to stability of his work at the use of different materials of pre-production model and covered electrodes in a bunch.

Developed that made pay of strengthener of signal of feed-back from the Holla sensor. Due to what, set possibility of stabilization of process of surfacing by the bunch of electrodes.

Conducted testing of the control system by the occasions of moving on the base of foot-pace engines 86HS156, NEMA34 and the drivers SEA2D810 for moving of bunch of electrodes after three axes. High exactness of moving was provided with the use of the potentiometric lines LTM.

Considered basic to no unconcern during exploitation of setting and the resulted rules of exploitation of every equipment, which enter to its composition. The protective grounding is expected. Recommended basic measures on prevention of hit of gases, aerosols and dust in an atmosphere.

For the economic calculation of charges for design developments and making of pre-production model of the surfacing setting by the bunch of the covered electrodes high-quality and quantitative composition of design group is certain. The lump sum of charges makes 497814 UAH.

Keywords: automatic control system, design setting, bunch of electrodes, firmness, stability, contactless excitation of arc, oscillator, foot-pace engine, driver, the Holla sensor.

Зміст

Вступ.....	5
1. Аналіз систем автоматичного керування установками для дугового зварювання та наплавлення.....	8
1.1. Процес дугового зварювання як об'єкт автоматичного керування.....	9
1.2. Способи та системи автоматичного керування процесами збудження дугового розряду при зварюванні плавленням.....	16
1.2.1. Збудження дуги контактним способом.....	16
1.2.2. Збудження дуги безконтактним способом.....	18
1.3. Системи автоматичного підтримання стійкості горіння дуги.....	22
1.3.1. Механізоване та автоматичне зварювання електродом, що плавиться, з постійною швидкістю подачі.....	23
1.3.2. Зварювання електродом, що плавиться, з автоматичним регулюванням напруги дуги.....	29
1.4. Висновки та постановка завдань магістерської роботи.....	31
2. Розробка системи автоматичного керування наплавочної установки	33
2.1. Вимоги до системи керування установкою та розробка загальної блок-схеми.....	34
2.2. Розробка пристрою початкового збудження дуги та стабільності її горіння.....	40
2.3. Розробка датчика зворотного зв'язку за струмом дуги з підсилювачем сигналу.....	44
2.4. Розробка приводів переміщення електродного пучка в процесі наплавлення.....	48
2.5. Розробка програмного забезпечення системи керування наплавочної установки.....	55
Висновки.....	56
3. Експериментальне дослідження роботи системи автоматичного керування установкою для наплавлення пучком електродів.....	58
3.1. Методика, зразки та апаратура для дослідження.....	59
3.2. Дослідження процесу початкового збудження дуги.....	62

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР.131.6121м.02.05.00.ПЗ

Аркуш

3

3.3. Дослідження та забезпечення стійкості роботи системи при плавленні пучком електродів.....	64
3.4. Дослідження роботи приводу подачі та приводів переміщення електродного пучка.....	68
Висновки.....	72
4. Техніка безпеки та охорона праці при роботі наплавочної установки.	73
4.1. Аналіз небезпечностей при експлуатації установки.....	74
4.2. Розрахунок електробезпеки (заземлення).....	77
4.3. Охорона навколишнього середовища.....	80
Висновки.....	82
5. Розрахунок витрат на розробку та виготовлення системи керування дослідного зразка наплавочної установки.....	83
Висновки.....	89
Загальні висновки.....	90
Список використаних джерел інформації.....	92

					КР.131.6121м.02.05.00.ПЗ												
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Вступ						Лім.		Арк.	Аркушів			
Разраб	Баша С.В.																
Перевір	Драган С.В.															5	3
Н. Контр.																НУК ім. адмірала Макарова	
Во.зав.каф.	Драган С.В																

Вступ

Зварювання - провідний технологічний процес при виробництві металевих конструкцій. Забезпечення необхідного рівня якості зварених конструкцій і їх експлуатаційної надійності, підвищення продуктивності праці при поліпшенні умов роботи людей вимагають комплексної механізації й автоматизації в одному синхронізованому потоці всіх переділів, пов'язаних з виготовленням звареної конструкції. Прикладом такої організації виробництва є виготовлення електрозварних труб, опалювальних радіаторів і інших виробів з масовим характером випуску продукції.

Ціль автоматизації зварювальних процесів - одержання зварних з'єднань із необхідними властивостями при найвищих техніко-економічних показниках без особистої участі людини.

Соціальний аспект автоматизації, що припускає звільнення людини від безпосереднього виконання функцій керування зварювальними процесами й передачу цих функцій автоматичним пристроям, в останні роки здобуває все більшу значимість. Як відзначив академік Б. Є. Патон, «...гуманне бажання звільнити людину від важкої й стомлюючої праці у зварювальному виробництві шляхом його механізації й автоматизації стає усе більш важливим, а іноді й вирішальним фактором при визначенні доцільного рівня, методів і технічних засобів механізації й автоматизації зварювального виробництва в цілому й процесів зварювання - зокрема».

У загальному обсязі операцій виробництва зварних конструкцій саме зварювальний процес становить 15-20 % і не перевищує 30%. Однак він є ключовим елементом виробництва, що визначають кінцеві властивості й експлуатаційну надійність зварених з'єднань і всієї конструкції. Автоматизація зварювальних процесів, при якій підвищується точність керування й контролю, а також виключається вплив на технологічний процес суб'єктивних факторів (майстерність працюючого, його стомлюваність і т.п.), спрямована насамперед на підвищення якості зварних з'єднань і його стабілізацію в межах усієї партії однотипних виробів.

					КР.131.6121м.02.05.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Автоматизація виявляється обов'язковою умовою успішного виконання зварювальних процесів, тому що велика кількість параметрів і висока швидкість їх змін пов'язані з обробкою значної за обсягом інформації в одиницю часу, що виявляється недоступним людині. Перші автоматичні регулятори дуги були запропоновані винахідниками дугового зварювання М. М. Бенардосом і М. Г. Славяновим. М. Г. Славянов указував, що якщо електрод плавкий, то неможливо підтримувати безперервну вольтову дугу без автоматичного регулювання. Виходячи із цього, він вважав, що тільки наявність регуляторів дуги може забезпечити реальну можливість промислового застосування дугового зварювання електродом, що плавиться.

Це досягається в результаті застосування автоматизації, виключення або зведення до мінімуму кількості неприпустимих дефектів зварних швів, зниження втрати робочого часу, енергетичних і матеріальних ресурсів, пов'язаних з виправленням браку. Усе це супроводжується реальним підвищенням продуктивності праці, економією трудових ресурсів при виготовленні зварних конструкцій і дозволяє розглядати автоматизацію зварювальних процесів як важливу складову комплексної автоматизації зварювального виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження роботи системи керування автоматизованої установки для наплавлення пучком електродів.

					КР.131.6121м.02.05.01.ПЗ				
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Аналіз систем автоматичного керування установками для дугового зварювання та наплавлення	Літ.	Арк.	Аркушів	
Разраб		Баша С.В.							
Перевір		Драган С.В.					8	25	
						НУК ім. адмірала Макарова			
Н. Контр.									
Во.зав.каф.		Драган С.В							

1. Аналіз систем автоматичного керування установками для дугового зварювання та наплавлення

1.1. Процес дугового зварювання як об'єкт автоматичного керування.

Сучасний рівень розвитку зварювальної техніки й технології відрізняє велика різноманітність джерел нагрівання, їх енергетичних характеристик і способів теплового впливу на виріб. При розгляді процесів зварювання як об'єктів автоматичного керування доцільно виходити із загальної для всіх способів зварювання послідовності перетворення енергії.[1-3]

Електрична енергія, що надходить із промислової мережі, перетвориться в джерелі живлення у форму, що найбільше повно відповідає кожному конкретному джерелу нагрівання, яке потім перетворить електричну енергію в термічний вплив на виріб і електродний матеріал.

Таким чином, формування зварного з'єднання можна розглядати як результат функціонування системи «джерело живлення - джерело нагрівання - виріб» (див. рис. 1.1).

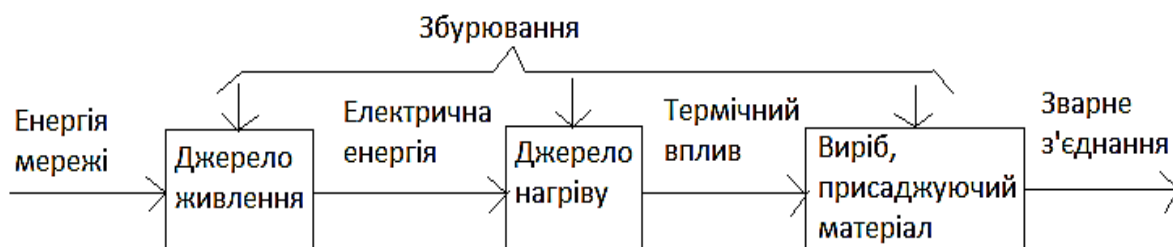


Рис. 1.1. Узагальнена схема зварювального процесу.

Окремі компоненти цієї системи об'єднані зворотними зв'язками в складну систему, що має багато зв'язків. Дія цих зв'язків проявляється в тому, що зміни процесу формування зварювального з'єднання впливають на джерела нагрівання й живлення.

Так, при дуговому зварюванні зміни глибини проплавлення супроводжуються зміною дуги, у результаті чого змінюється напруга дуги й режим роботи джерела живлення. При електрошлаковому зварюванні зміна

температури жужільної ванни приводить до змін швидкості плавлення електрода й струму зварювального трансформатора.

У сучасних зварювальних установках для живлення зварювальних ланцюгів використовують джерела змінного струму (трансформатори спеціальних конструкцій), джерела постійного струму (зварювальні випрямлячі й генератори різноманітних конструкцій), джерела живлення акумульованою енергією.

Зі зварювальних джерел нагрівання найбільше поширення одержали: електрична дуга (дугове й плазмове зварювання); джоулеве тепло, що утворюється при проходженні електричного струму через розплав шлаків (електрошлакове зварювання) або метал деталей, що зварюються (контактне зварювання); електронний промінь (електронно-променеве зварювання); промінь лазера й ін.

Кожний зварювальний процес можна охарактеризувати деяким числом узагальнених координат (параметрів зварювального процесу), між якими існують певні зв'язки. Наприклад, між струмом і напругою на дузі існує зв'язок, обумовлений властивостями джерела живлення. Частота коротких замикань дугового проміжку краплями розплавленого металу залежить від струму й напруги на дузі, але ця залежність не однозначна, вона має імовірнісний характер і може бути представлена у вигляді відповідної кореляційної функції.

Усе різноманіття параметрів процесу зварювання можна умовно розділити на три групи (рис. 1.2):

енергетичні, що характеризують внесок енергії в процес утвору звареного з'єднання;

кінематичні, що характеризують просторове переміщення або положення джерела нагрівання щодо виробу;

технологічні умови, що характеризують, формування й кристалізації зварених швів, переносу електродного металу.

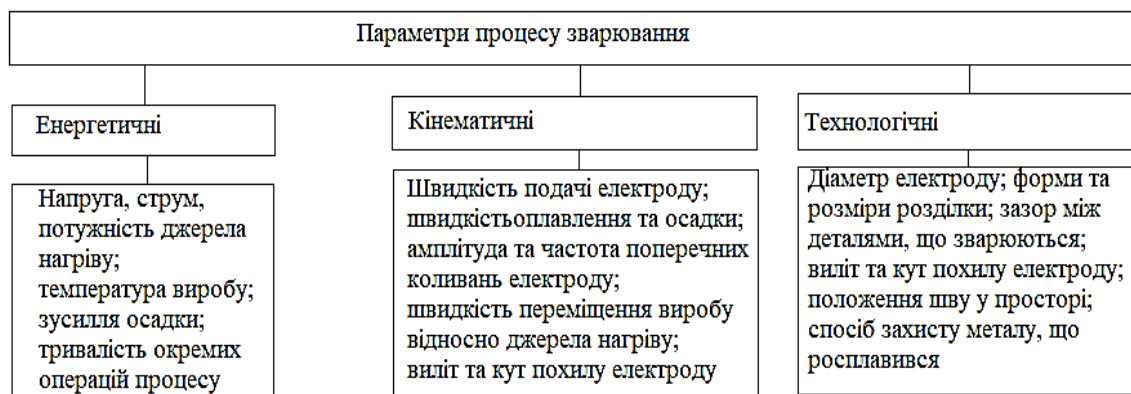


Рис. 1.2. Класифікація параметрів процесу зварювання.

У виробничих умовах технологічний процес зварювання піддається впливам - збурюванням, що порушують його нормальне протікання, й приводять до відхилень показників якості зварного з'єднання від необхідних значень. Збурювання можуть бути прикладені до кожного із трьох компонентів зварювального процесу (див. рис. 1.1), однак класифікувати їх зручніше не по місцю прикладання, а за аналогією з параметрами зварювального процесу (рис. 1.3).

Джерелами енергетичних і кінематичних збурень є промислова мережа й зварювальне устаткування: джерела живлення, апаратура керування, приводи подачі електроду, переміщень і т.д. Джерело технологічних збурень - недосконалість технології підготовки заготовок і їх складання.

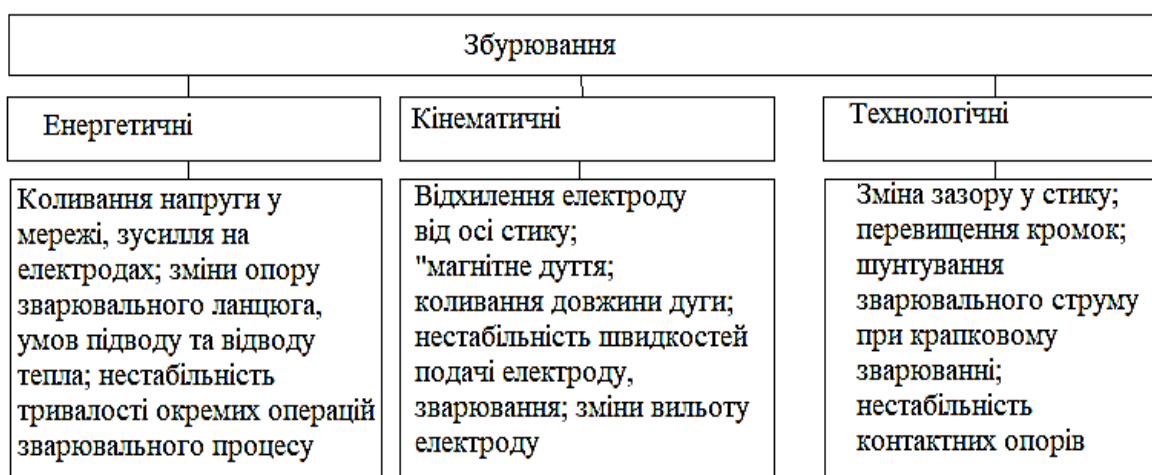


Рис. 1.3. Класифікація збурень.

Удосконалювання конструкцій зварювального устаткування, застосування тиристорних приводів, сучасної техніки керування

зварювальним циклом дозволяють усунути багато з енергетичних і кінематичних збурень.

У той же час важко забезпечити усунення всіх технологічних збурень, оскільки пов'язане із цим ускладнення технологічного оснащення й технології заготовки, складання й зварювання виробів не завжди технічно можливо й економічно виправдане. Щоб оцінювати вплив збурювань на технологічні характеристики звареного з'єднання, необхідно враховувати закон зміни збурень, який може бути заздалегідь відомий або невідомий, і інерційність процесу формування звареного з'єднання. Наприклад, збурювання по довжині дуги й куту нахилу електрода, що виникають при наплавленні крайок штампових матриць по робочому контуру, можна визначити заздалегідь із достатньою точністю. Однак звичайно збурювання мають випадковий характер, наприклад, коливання напруги мережі протягом робочого дня, що виникають при включенні й відключенні сусідніх потужних споживачів електроенергії.

Інерційність формування зварювального з'єднання обумовлена особливостями поширення тепла у виробі. Числовою характеристикою інерційності процесу нагрівання й плавлення металу виробу є теплова постійна τ_T , яка виміряється в одиницях часу, визначається теплофізичними властивостями матеріалу, обсягом зварювальної ванни й енергетичними характеристиками джерела нагрівання.

Якщо час впливу збурювання $t_B \ll \tau_T$, то таке збурювання, що не приводить до порушення процесу, наприклад обриву дуги, практично не відбивається на геометрії звареного з'єднання. Східчасті й аперіодичні збурювання можуть привести до зміни форми зварювальних з'єднань, що вимагає введення обмежень на величину такого роду збурень.

У результаті аналізу сучасних зварювальних процесів як об'єктів керування, виявлені їхні характерні риси, що вказують на актуальність завдання їх повної автоматизації:

- швидкоплинність деяких етапів енергетичних перетворень і процесу утворення зварювального з'єднання;

					КР.131.6121м.02.05.01.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- неприступність зони зварювання для безпосереднього виміру й контролю;
- підвищений рівень шкідливих впливів на здоров'я людини;
- необхідність оперативної оптимізації зварювальних процесів відповідно до обраного критерію (наприклад, мінімізація зварювальних деформацій і т.п.).

Безпосереднє розв'язання загального завдання автоматизації зварювальних процесів утруднене багатомірністю об'єктів автоматизації, тому це завдання звичайно розчленовується на окремі частки, у яких система «джерело живлення - джерело нагрівання - виріб» розглядається у вигляді спрощеної сукупності одномірних об'єктів. При цьому в якості змінних ухвалюються тільки параметри, що тією чи іншою мірою характеризують процес утворення зварювальних з'єднань і підлягають у зв'язку із цим стабілізації або зміні по заздалегідь обраному закону.

Якісний аналіз зварювальних процесів як об'єктів автоматичного керування й чітке розуміння явищ, що відбуваються в них, дозволяють перейти до визначення кількісних характеристик цих об'єктів. Розв'язок цього завдання в загальному випадку називається ідентифікацією об'єкта. При цьому реальний об'єкт ототожнюють деякою прийнятою апріорі формалізованою моделлю.

Для одномірних об'єктів керування зв'язок між вхідною і вихідною величинами у стані, що встановився, визначається статичною характеристикою. При дослідженні об'єктів з безліччю їх статичних характеристик у кожному конкретному випадку використовується тільки та, яка зв'язує параметри процесу, що підлягають керуванню. Найбільш широке застосування статичні характеристики знаходять при дослідженні стійкості системи «джерело живлення - джерело нагрівання» [4].

У більшості випадків зварювальні процеси можна описати з достатньою точністю нелінійними диференціальними рівняннями, аналіз і розв'язок яких складні. Тому прибігають до лінеаризації таких рівнянь,

обмежуючи тим самим вивчення процесу тільки случаємо малих відхилень його від рівноважного стану.

Методи дослідження об'єктів по їхніх статичних характеристиках і лінійним диференціальним рівнянням дозволяють скласти лише загальне судження про їхню стійкість і динамічних властивостях, необхідне для розв'язку порівняно простих завдань керування. Сучасний рівень розвитку зварювального виробництва вимагає розв'язку якісно більш складних завдань, основними з яких є:

- 1) оптимізація керування зварювальним процесом;
- 2) прогнозування якісних показників зварювальних з'єднань у процесі зварювання;
- 3) побудова адаптивних і самонастроювальних систем управління зварювальними процесами.

Для розв'язку цих завдань необхідно формалізувати опис об'єкта керування, тому що тільки тоді можна залучити потужний апарат технічної кібернетики. Така формалізація здійснюється перетворенням зварювального процесу у вигляді його математичної моделі, що описує тільки ті особливості процесу, які істотні для його керування, а також обмеження, обумовлені технологічними, економічними й іншими причинами. При такій постановці завдання ціль моделювання – установлення математичної залежності між показником якості (y_n) і параметрами (x_{pn}) процесу (рис. 1.4): $y_n = A\{x_{1n}, \dots, x_{pn}\}$.

Математичні моделі можна одержати з використанням двох основних методів.

Сутність першого методу полягає у встановленні зв'язків між вхідними й вихідними параметрами на підставі існуючих фізичних закономірностей процесу.

Моделі, що представляються у вигляді рівнянь, називаються детермінованими й можуть бути статичними й динамічними. Статичні моделі найбільш прості й описуються алгебраїчними рівняннями, які не враховують випадкові зміни параметрів, перехідні процеси, а також повільні зміни

характеристик об'єкта в часі, пов'язані зі спрацюванням устаткування, старінням і т.д. Більш складними є детерміновані динамічні моделі, що відбивають особливості поведінки об'єкта в часі.

Як правило, такі моделі являють собою диференціальні рівняння в частинних похідних. Не менш складні стохастичні (імовірнісні) моделі, у яких частина або всі характеристики процесу описуються випадковими функціями часу.

Сутність другого методу одержання математичних моделей полягає у встановленні зв'язків між вхідними й вихідними параметрами на підставі експериментально-статистичних методів, що дозволяють одержати модель у вигляді рівнянь регресії, що описують кореляційну залежність між цими параметрами, що є випадковими величинами. Для кількісної оцінки величини зв'язків використовується метод регресійного аналізу. Такі статистичні моделі досить повно відбивають закономірності процесу при зварюванні конкретного виробу (марки матеріалу, товщини) на даному типі устаткування й певному режимі та дозволяють із необхідною точністю прогнозувати якість зварювального з'єднання й управляти процесом зварювання для забезпечення заданих розмірів швів.

Будь-який зварювальний процес можна описувати безліччю моделей, кожна з яких у рамках певної концепції фіксує формалізоване відбиття складної реальності.

При побудові математичної моделі необхідно мати на увазі, що складна модель, що враховує безліч деталей процесу, зазвичай виявляється малоефективною. Це пояснюється тим, що зварювальні процеси настільки складні, що їх докладні деталізовані моделі виявляються дуже громіздкими й обчислення по них приводять до значних помилок.

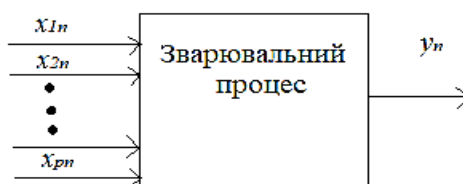


Рис. 1.4. Формалізоване представлення зварювального процесу.

Тому всю вибірку експериментальних даних піддають кореляційному аналізу й на цій основі включають у модель тільки ті параметри x_{pn} (див. рис. 1.4) процесу, які найбільше тісно зв'язані (корельовані) з якісним показником y_n . На рис. 1.4 позначено: $x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{pn}$ – параметри режиму зварювання; y_n – обраний показник якості зварювального з'єднання; n – кількість реалізацій процесу (число зварювань).

1.2. Способи та системи автоматичного керування процесами збудження дугового розряду при зварюванні плавленням.

У зварювальних технологіях використовуються два способи збудження дугового розряду: контактний (електрод або плазмовий газ чергової дуги приводяться до прямого контакту з виробом) та безконтактний за рахунок пробою високовольтним високочастотним розрядом газового проміжку між електродом і виробом (наприклад, зварювання неплавким електродом у інертному захисному газовому середовищі) [5-10].

1.2.1. Збудження дуги контактним способом.

Тут використовується принцип примусового розриву наперед сформованого кола короткого замикання джерела з вихідною напругою неробочого ходу, яким є електрод закоротко механічно замкнений на виріб (рис. 1.5).

У такому електромеханічному контакті під дією е.р.с. джерела (вихідна напруга холстого ходу) протікає струм короткого замикання пікового значення $I_{пк}$. Оскільки е.р.с. $e_{дж}$ джерела із спадною вольтамперною характеристикою (ВАХ) не в стані забезпечити довготривале підтримування такого струму, та напруга на такому контакті спадає, що призводить до зменшення пікового струму до квазістабільного струму короткого замикання $I_{кз}$. Робота струму через велику його густину на локальних струмопровідних контактах, обумовлених шаруватістю торця електрода, призводить до часткового розплавлення та випаровування металу у контакті електрод – деталь, що означає появу вільних носіїв електрики (електронів та іонів). При

					КР.131.6121м.02.05.01.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічному розриванні кола короткого замикання (підйом) електроду над поверхнею виробу завдяки вільним носіям заряду починає формуватися дуговий розряд.

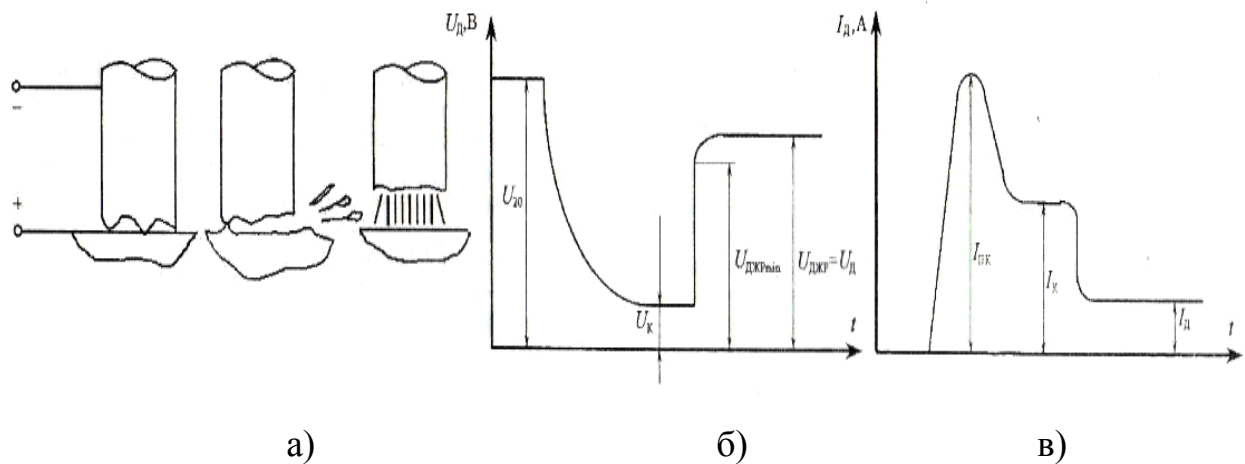


Рис. 1.5. Запалювання дуги контактним способом: а) рухомий електромеханічний контакт; б) зміна вихідної напруги та в) струму джерела при формуванні дугового розряду.

Напруга на джерелі, завдяки такій початковій провідності зростаючого між електродного газового проміжку сягає значення $U_{d\text{min}} = U_a + U_k$, що є мінімально припустимою умовою існування дугового розряду. При подальшому подовженні дугового проміжку джерело збільшенням вихідної напруги забезпечує існування дуги певної довжини та напруженості електричного поля, встановлюється режим енергетичної рівноваги, який характеризується заданим значенням дугового струму I_d та напруги U_o .

Таким чином, з рештою рівних умов, провідним чинником формування енергетично збалансованого дугового розряду є кінцева довжина дуги.

Для механізованих способів зварювання характерна наявність другого чинника – швидкість подавання електродного дроту $V_{\text{пд}}$. Так із зростанням швидкості подавання на відносно малих значеннях струму запалювання дуги погіршується. Виконати стабільне запалювання дозволяють джерела з жорсткою ВАХ, які обмежені за величиною та часом існування струму короткого замикання опором частини електродного дроту між

струмовідводом та виробом, що працює як електрична запобіжна плавка вставка.

Проте для джерел з будь – якою ВАХ базовим показником надійності запалювання дуги способом короткого замикання є умови швидкості наростання та критичної величини струму короткого замикання.

У сучасних джерелах для надійного запалювання дуги широко використовуються такі підходи: а) «гарячий старт», при якому штучно короткочасно (300мс) підвищується вихідна напруга джерела в режимі короткого замикання за рахунок повно фазного увімкнення електронних (тиристири, транзистори) або магнітних (керовані дроселі та підсилювачі) ключових елементів; б) використання реактивних накопичувачів енергії з метою її керованого імпульсного використання в момент запалювання дуги або її підтримування при переході дугового струму через фазовий нуль, у тому числі модульованого, відмінного від $\sin$ – подібного.

1.2.2. Збудження дуги безконтактним способом.

Особливістю зварювання неплавким електродом є небажаність збудження дуги прямим його контактуванням із виробом. Напруга неробочого ходу таких джерел (60...100В) недостатня для електричного пробоя газового проміжку між електродом і виробом.

Для утворення у дуговому проміжку вільних носіїв електрики необхідний короткочасний імпульс великої пробивної напруги достатній для початкового іскрового розряду з подальшим його розвитком у дуговий.

Такий розряд створюється додатковими пристроями джерела, як осцилятор, імпульсний збуджувач і стабілізатор горіння дуги або їх комбінацією в одному функціональному вузлі, а також стабілізаторами горіння дуги резонансного типу.

Осцилятори

У зварюванні використовують, за схемою увімкнення відносно дугового проміжку, осцилятори двох типів - паралельні та послідовні (рис. 1.6). За електричною схемою осцилятор являє генератор згасаючих коливань (час згасання 2мс) високої частоти (0,1...3 МГц) напругою 2...20 кВ. Осцилятори застосовують у джерелах постійного струму (початкове збудження дуги; можливе підтримування дуги і в часі зварювання при

коливаннях довжини дугового проміжку) та у джерелах змінного струму – поновне збудження дуги після зміни полярності дугового струму при зварюванні неплавким електродом.

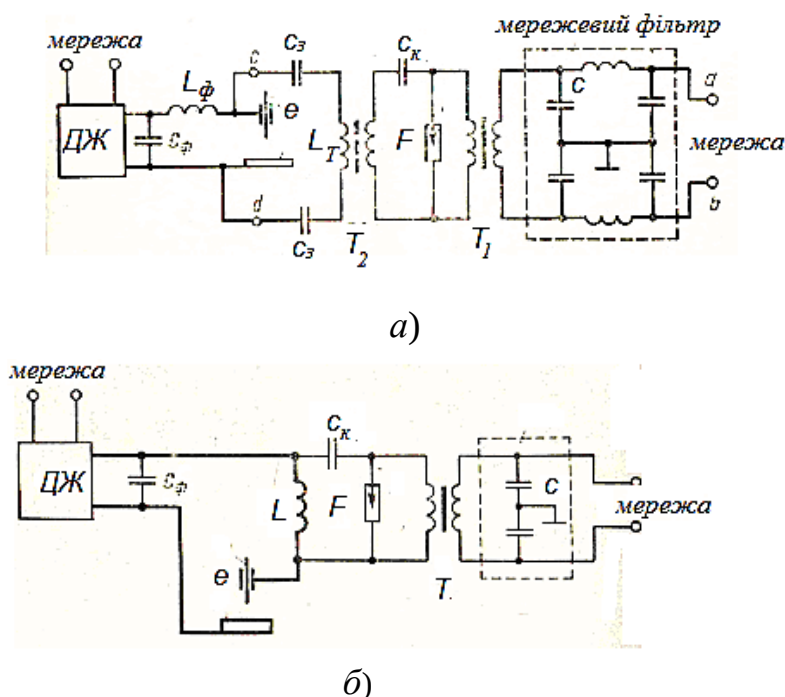


Рис. 1.6. Типові схеми електричні принципові осциляторів:

а) паралельні; б) послідовні.

Суттєвим недоліком осцилятора паралельного типу (рис. 1.6, а) є чутливість до режиму короткого замикання електроду на виріб.

Осцилятор послідовного типу (рис. 1.6, б) дозволяє увімкнення індуктивності коливного контуру послідовно з дуговим проміжком, що робить такий осцилятор мало чутливим до режиму короткого замикання, проте при конструктивному рішенні L – індуктивності такого коливного контуру слід враховувати, що індуктивність одночасно комутує зварювальний струм. Для використання осцилятора у високострумівих джерелах дана індуктивність виконується за паралельним з'єднанням її елементів.

Імпульсні збуджувачі – стабілізатори дуги

При зварюванні на змінному струмі крім початкового збудження дугового розряду виникає необхідність повного його поновлення в умовах залишкової іонізації дугового проміжку в момент переходу напруги джерела через фазовий нуль.

Надійно реалізувати процес подальшого горіння дуги у такому випадку дозволяють імпульсні збудники дуги (рис. 1.7), що генерують синхронізовані з частотою напруги джерела височастотні імпульси підвищеної напруги (200...300В) у момент зміни полярності е.р.с. $e_{дж}$ при стандартній напрузі неробочого ходу джерела.

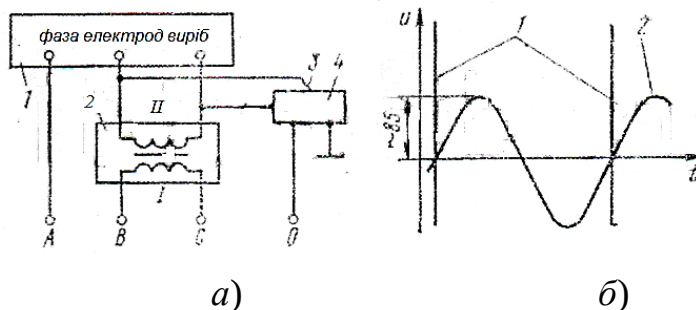


Рис. 1.7. Схема зовнішньої електричної комутації стабілізатора (а) та осцилограми стабілізуючих імпульсів та напруги джерела (б):

- а) 1 – стабілізатор; 2 – зварювальне джерело; 3 – електрод; 4 – виріб;
б) 1- імпульс стабілізації; 2 – напруга на виході джерела.

Імпульсні стабілізатори більш стійкі у роботі ніж осцилятори, не створюють радіоперешкод, проте невисокий рівень амплітуди напруги імпульсу не гарантує строгого запалювання дуги без торкання електроду з виробом. Тому для використання їх при дуговому зварюванні неплавким електродом слід передбачати наявність осцилятора (первинне запалювання дуги), а функцію її підтримування виконує стабілізатор.

Можливість обійтися без осцилятора дозволяють збуджувачі – стабілізатори горіння дуги (рис. 1.8), які працюють у резонансно – діодному режимі, що дозволяє отримати на накопичувальному конденсаторі напругу, яка у 5-6 разів перевищує напругу окремого джерела постійного струму (ДПС).

Використання потужної накопичувальної ємності дозволяють створити простіші імпульсні стабілізатори горіння дуги (рис. 1.9) без вимоги забезпечення схемою резонансу напруг, як вказано вище.

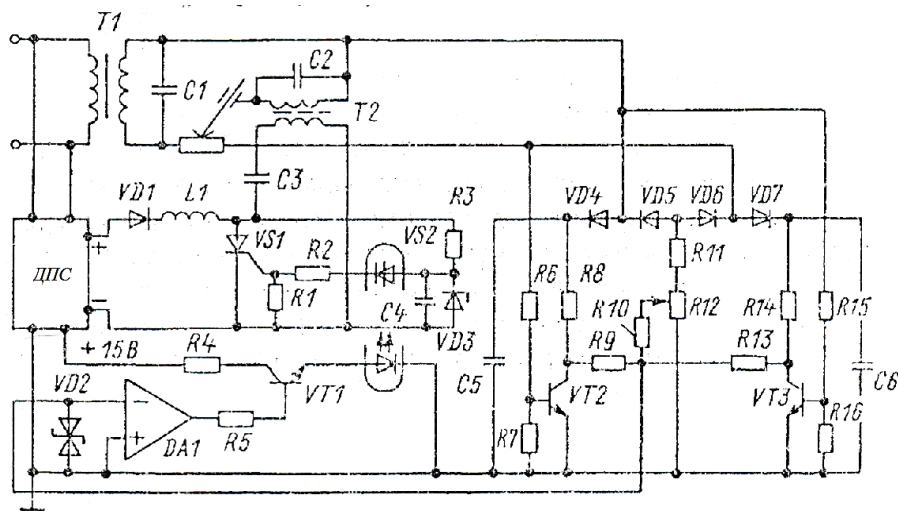


Рис. 1.8. Схема електрична принципова збудника – стабілізатора горіння дуги, який працює у резонансно-діодному режимі.

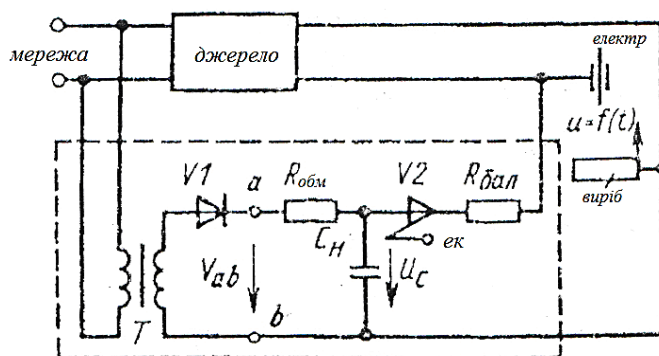


Рис. 1.9. Схема електрична принципова імпульсного стабілізатора горіння дуги без забезпечення резонансу напруг.

Такий пристрій являє собою імпульсний генератор з амплітудою вихідної напруги 600...1000В, піковим струмом 60...80А тривалістю 60...80мкс і тактом імпульсів 50Гц.

Забезпечити 100Гц імпульсну стабілізацію горіння дуги дозволяє схема двотактного стабілізатора (рис. 1.10), кожне плече якого катодною напругою тиристорів VS_1 , VS_2 синхронізоване з фазою напруги зварювального джерела.

Подавання керуючого сигналу на тиристорні ключові елементи у вищенаведених схемах може бути забезпечене зворотним зв'язком за напругою або струмом дугового проміжку (рис. 1.11), що дозволяє змінювати параметри та момент подавання імпульсу в залежності від технологічних умов процесу зварювання.

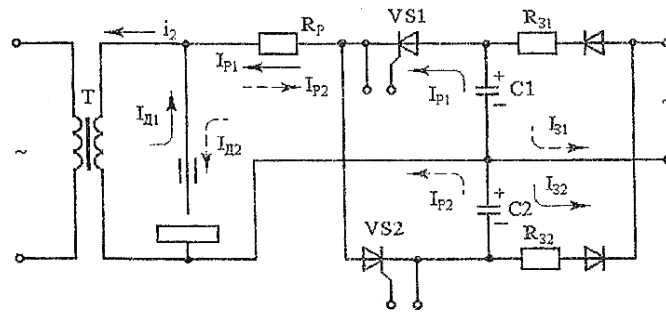


Рис.1.10. Схема електрична принципова двотактного імпульсного стабілізатора горіння дуги змінного струму.

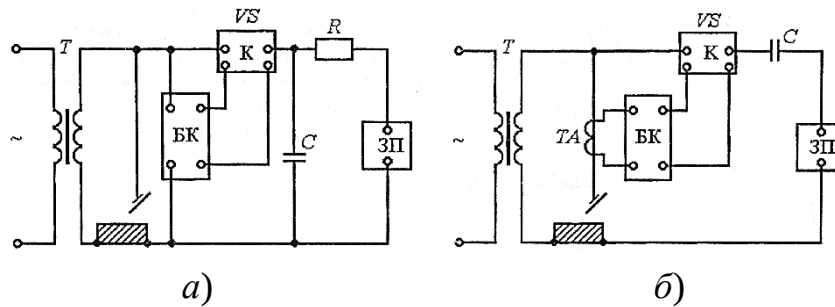


Рис.1.11. Зворотні зв'язки для керування ключовими елементами стабілізації режиму горіння дуги: а) за напругою на дузі; б) за дуговим струмом: БК – блок керування ключовими елементами; ЗП – зарядний пристрій.

1.3. Системи автоматичного підтримання стійкості горіння дуги при зварюванні плавким електродом.

Енергетична система джерело – дуга знаходиться у рівноважному стані та лишається незмінною у часі і просторі лише при відповідності енергії, що виробляється джерелом, до енергетичних витрат у зварювальному ланцюзі та енергетичних витрат, достатніх та необхідних, для підтримування дугового розряду з заданими фізичними параметрами, тепловий енергетичний еквівалент якого використовується для розплавлення електродного дроту або присадки і формування зварювальної ванни [11].

У реальних умовах зварювання зміна довжини дуги, крапле перенесення електродного металу, зміна геометрії торця електроду тощо об'єктивно призводить до енергетичного дисбалансу. Розвиток дисбалансу обмежений двома критичними умовами: 1. Зростання довжини дуги та подальший її обрив; 2. Зменшення довжини дуги та подальше коротке замикання електроду на виріб, який повинен бути компенсований джерелом

за природними його характеристиками або примусово за сигналами зворотних зв'язків, або, у певних межах, саморегулюванням власне дугою.

- Компенсація неврівноваженості системи джерелом його напруга та, відповідно, дуговий струм приймають нові значення, які відповідають умові енергетичної стабільності горіння дуги, наприклад при зміні довжини дуги.

- Компенсація неврівноваженості системи джерелом у комплексі з механізмом подавання дроту (механізовані способи зварювання у захисних газах або під шаром флюсу) – при незалежній швидкості подавання дроту проявляється ефект саморегулювання дуги або шляхом забезпечення строгої відповідності швидкості подавання дроту від вихідної напруги джерела.

- Компенсація неврівноваженості системи за рахунок створення зворотних від'ємних зв'язків системи керування вихідної напруги джерела або його реактивного опору з напругою дуги та струмом у зварювальному ланцюзі, що дозволяє ефективно впливати на форму та нахил ВАХ – джерела і максимально її узгоджувати з ВАХ – дуги при заданому значенні технологічно доцільного зварювального струму.

При компенсації дисбалансу не обов'язково джерело повинне відновити початкові задані енергетичні умови. Якщо новий енергетичний стан дуги задовольняє якісні показники шва, то такі властивості знов збалансованої енергетичної системи є технологічно прийнятними. Таким чином, можна завдати можливу глибину регульовальної енергетичної спроможності як власне джерела, так й додаткових із ним пристроїв.

1.3.1. Механізоване та автоматичне зварювання електродом, що плавиться, з постійною швидкістю подачі.

Функціональна схема системи автоматичного регулювання дуги саморегулюванням (АРДС) приведена на рис. 1.12, а. Задатчик струму ЗС формує сигнал $U_{зс}$ керування струмом дуги I_d , хоча фактично налаштовує тільки швидкість подачі $V_{под}$. Сигнал завдання підсилюється тиристорним (транзисторним) регулятором ТР до величини $U_{ТР}$ та подається на двигун М. С двигуна обертання через редуктор Р передається на ролик, який переміщує проволочку в дугу, яка живиться джерелом ДЖ. Частота обертання двигуна ω ,

					КР.131.6121м.02.05.01.ПЗ	Аркуш
						23
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а тому і швидкість подачі $V_{\text{под}}$, в процесі зварювання підтримуються постійними — у цьому є відмінна особливість системи саморегулювання.

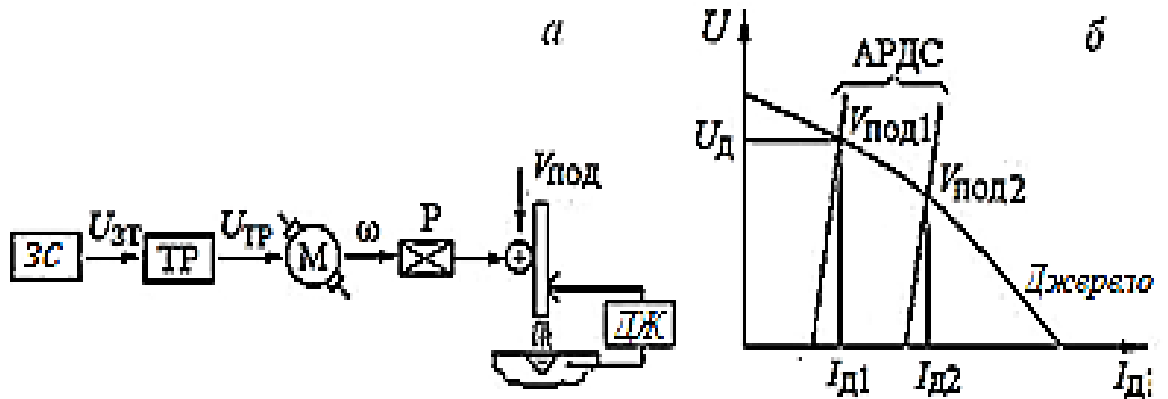


Рис. 1.12. Система саморегулювання АРДС:

а — функціональна схема, б — статичні характеристики.

Принцип саморегулювання покладений в основу забезпечення стійкого горіння дуги при зварюванні з постійною швидкістю подачі електродної проволоки [12]. Саморегулювання дуги пояснюється її здатністю при помірних збуреннях відновлювати свою довжину за рахунок зміни швидкості плавлення електрода $V_{\text{пл}}$. Швидкість плавлення збільшується зі збільшенням струму та зменшенням напруги:

$$\Delta V_{\text{пл}} = k_{\text{ст}} \Delta I_{\text{д}} - k_{\text{сн}} \Delta U_{\text{д}}. \quad (1.1)$$

Тут $k_{\text{ст}} = \Delta V_{\text{пл}} / \Delta I_{\text{д}}$ [см/(сА)] — коефіцієнт саморегулювання за струмом — залежить від діаметра та теплофізичних характеристик матеріалу електрода. Наприклад, для сталюого електрода $k_{\text{ст}} = 0,00453 \alpha_{\text{р}} / d_{\text{е}}^2$, де $\alpha_{\text{р}}$ — коефіцієнт розплавлення електродного металу [г/А·ч]. Коефіцієнт саморегулювання за напругою $k_{\text{сн}} = \Delta V_{\text{пл}} / \Delta U_{\text{д}}$ [см/(сВ)]. Вплив напруги на швидкість плавлення менш значний, ніж струму.

Саморегулювання найбільш виразно проявляється у вигляді реакції на збурення за довжиною дуги $\Delta l_{\text{д}}$. Наприклад, при підході дуги до прихватки, що була виконана раніше, дуга різко вкорочується, що могло б призвести до короткого замикання електрода на виріб. Але разом з довжиною знижується і напруга, та при характеристиці джерела, яка полого спадає, різко збільшується струм. Згідно (1.1) збільшується швидкість плавлення

електрода, що приводить до збільшення довжини дуги, точніше, до її відновлення до вихідного значення:

$$I_d \downarrow \Rightarrow U_d \downarrow \Rightarrow I_d \uparrow \Rightarrow V_{пл} \uparrow \Rightarrow I_d \uparrow.$$

Збурення за довжиною дуги відпрацьовується повністю — без статичних помилок. Більшість других збурювань, при їх помірній величині, система АРДС також відпрацьовує, хоча і зі статичними помилками.

Система саморегулювання звільнює зварника від обов'язку безперервно підтримувати дугу. Але вона не має у своєму складі автоматичного регулятора, та її надійна робота можлива тільки в порівняно вузькому діапазоні зміни параметрів її частин «джерело – механізм, що подає – дуга». Рівняння статичної характеристики системи саморегулювання:

$$I_d = \frac{V_{под}}{k_{ст}} + \frac{k_{сн}}{k_{ст}} \cdot U_d. \quad (1.2)$$

На рис. 1.12, б приведено графічне зображення характеристики АРДС. На її перетині з характеристикою джерела маємо крапку режиму, що установився, зі струмом $I_{д1}$ ($I_{д2}$) та напругою U_d .

Умови забезпечення асимптотичної стійкості системи АРДС з'ясуємо за аналізом диференційного рівняння для струму при малому збуренні за довжиною дуги Δl_d :

$$L \frac{d^2 \Delta I_d}{dt^2} + (\rho_d - \rho_{дж} + R_{зов} + L \varepsilon_{ст} k_{сн}) \frac{d \Delta I_d}{dt} + \varepsilon_{ст} [k_{ст} - k_{сн} (\rho_{дж} - R_{зов})] \Delta I_d = -\varepsilon_{ст} \frac{d \Delta l_d}{dt}. \quad (1.3)$$

де L — індуктивність зварювального кола, $\rho_d = dU_d/dI_d$ та $\rho_{дж} = dU_{дж}/dI_d$ — диференціальні опори дуги та джерела (нахили їх статичних вольт-амперних характеристик), $\varepsilon_{ст}$ — градієнт потенціалу в стовпі дуги.

Для забезпечення стійкості системи, що описується дифрівнянням другого порядку, за Раусом–Гурвіцем необхідно та достатньо, щоб всі коефіцієнти при ΔI_d були додатні:

$$1) L > 0; 2) \rho_d - \rho_{дж} + R_{зов} + L \varepsilon_{ст} k_{сн} > 0; 3) \varepsilon_{ст} [k_{ст} - k_{сн} (\rho_{дж} - R_{зов})] > 0.$$

Перша умова виконується завжди. Друга умова представляє собою коефіцієнт стійкості системи АРДС:

$$k_y = \rho_d - \rho_{дж} + R_{зов} + L\varepsilon_{ст}k_{сн} > 0 \quad (1.4)$$

Оскільки при механізованому та автоматичному зварюванні $\rho_d \geq 0$, умова виконується при $\rho_{дж} < 0$, тобто при характеристиці джерела, яка падає. Як правило, $L\varepsilon_{ст}k_{сн} > 0$. Стійкість підвищується також при збільшенні опору зовнішнього зварювального ланцюга $R_{зов}$ (зварювальні дроти, виліт дротового електрода, контакт струмовідводу, що ковзає). Третя умова виконується практично завжди, оскільки при реальних поєднаннях параметрів $k_{ст} - k_{сн} (\rho_{дж} - R_{зов}) > 0$. Для підвищення запасу стійкості необхідно збільшувати нахил зовнішньої характеристики джерела, яка падає ($|\rho_{дж}| \uparrow$), та зменшувати діаметр електрода ($k_{ст} \uparrow$).

Перехідний процес за струмом при стрибкоподібному збуренні за довжиною дуги ($\tilde{\Delta}l_d = \text{const}$) описується рівнянням у вигляді:

$$\Delta I_d = -\frac{\varepsilon_{ст}\Delta l_d}{L\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} \left(e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}}\right), \quad (1.5)$$

де T_1 и T_2 — постійні часу, що залежать від характеристик джерела, зварювального кола, дуги та електрода.

Графік аперіодичного перехідного процесу за цим рівнянням при $\tilde{\Delta}l_d < 0$ приведений на рис. 1.13, а. Видно, що відхилення струму ΔI_d спочатку збільшується до $\Delta I_{дин}$, а потім зменшується до 0, тобто система АРДС при такому збуренні стійка. Більш того, вона ще й астатична, оскільки статична похибка регулювання: $\Delta I_{стат} = I_{ду2} - I_{ду1} = 0$.

Важливими властивостями систем автоматичного регулювання являються швидкодія та характер перехідного процесу, а також статичні та динамічні похибки регулювання.

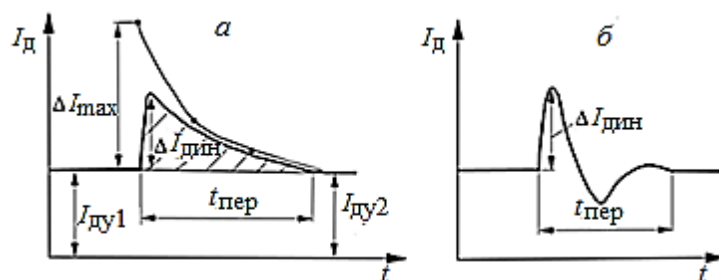


Рис. 1.13. Аперіодичний (а) та коливальний (б) перехідні процеси в системі АРДС при збуренні за довжиною дуги $\tilde{\Delta}l_d < 0$.

Швидкодію системи *АРДС* можливо оцінити за часом перехідного процесу:

$$t_{\text{пер}} \approx \frac{6L}{-\rho_{\text{дж}} - \sqrt{\rho_{\text{дж}}^2 - 4L\varepsilon_{\text{ст}}k_{\text{ст}}}}. \quad (1.6)$$

При механізованому зварюванні в захисних газах дротами від 0,6 до 2,0 мм порядок величин $t_{\text{пер}}$ від 0,1 до 0,5 с, при автоматичному зварюванні під флюсом більш товстими дротами — більш 0,8 с [13 - 16]. Для прискорення перехідного процесу обмежують індуктивність L зварювального ланцюга, знижують діаметр d_e електродного дроту (для збільшення $k_{\text{ст}}$), знижують нахил зовнішньої характеристики (зменшують $|\rho_{\text{дж}}|$).

Характер перехідного процесу може бути аперіодичним чи коливальним (рис. 1.13). Для забезпечення більш сприятливого аперіодичного процесу обов'язкове виконання умови:

$$\rho_{\text{дж}}^2 - 4L\varepsilon_{\text{ст}}k_{\text{ст}} > 0. \quad (1.7)$$

Видно, що для запобігання розкачки системи треба збільшувати нахил зовнішньої характеристики, зменшувати індуктивність зварювального ланцюга та збільшувати діаметр дроту (зменшувати $k_{\text{ст}}$).

Непрямі ознаки стійкості системи саморегулювання призначаються з одночасним врахуванням вимог асимптотичної стійкості, високої швидкодії та відсутності коливань, а також зменшення похибок регулювання.

Нахил зовнішньої характеристики джерела $\rho_{\text{дж}}$ - непрямий критерій, величина котрого призначається на основі компромісу між вимогами стійкості ($|\rho_{\text{дж}}| \uparrow$) та швидкодії ($|\rho_{\text{дж}}| \downarrow$). На цій підставі стандартом ДСТУ EN ІЕС 60974-1:2024 сформульований єдиний термін «жорстка зовнішня характеристика», що узагальнює нечіткі терміни «пологопадаюча, жорстка, пологозростаюча». Жорстка характеристика за ДСТУ має нахил від $-0,07$ до $+0,1$ В/А як специфічний атрибут джерел у складі системи саморегулювання. Цей інтервал підтверджується і прямими технологічними дослідженнями. Так, у фундаментальній роботі [17] для механізованого зварювання в

вуглекислому газі дротами від 0,5 до 1,4 мм перевірений та рекомендований інтервал нахилів від $-0,08$ до $+0,04$ В/А.

При механізованому зварюванні у аргоні джерело може мати більш крутий нахил характеристики — від $-0,2$ до $-0,04$ В/А. Для автоматичного зварювання під флюсом дротами до 4–5 мм оптимальний нахил від $-0,1$ до $-0,01$ В/А.

Індуктивність зварювального кола L — непрямий критерій стійкості, значення котрого також визначається вимогами швидкодії та відсутності коливань. У припущенні вже прийнятих діаметра дроту та нахилу характеристики джерела з (1.7) можна сформулювати обмеження індуктивності для запобігання розкачки системи саморегулювання:

$$L < \frac{\rho_{дж}^2}{4\varepsilon_{ст}k_{ст}}. \quad (1.8)$$

Правда, слід відмітити, що при зварюванні в вуглекислому газі короткою дугою головним фактором, що визначає значення індуктивності, являється розбризкування електродного металу. Ці значення знаходяться у інтервалі $0,1-1$ мГн.

Діаметр електродного дроту d_e — непрямий критерій стійкості у всіх її аспектах, оскільки від величини діаметра залежать як принципова можливість реалізації зварювання, так і швидкодія, та характер перехідного процесу. Хоча цей критерій не відноситься до електричних характеристик системи саморегулювання, але як і вони оказує суттєвий вплив на параметри плавлення дроту, зокрема величину $k_{ст}$. Наприклад, вважається, що система саморегулювання при автоматичному зварюванні під флюсом забезпечує прийнятну швидкодію тільки з електродами діаметром до 4–5 мм. При механізованому зварюванні у захисних газах процес саморегулювання ефективний у всьому діапазоні розповсюджених діаметрів суцільного дроту від 0,5 до 2,5 мм, а порошкового дроту — до 4 мм.

Напруга холостого ходу U_x та швидкість подачі дроту $V_{под}$ — непрямі критерії, які не враховують при аналізі асимптотичної стійкості за рівняннями (1.3) – (1.5), але які впливають на стійкість при їх великих

збуреннях. Запас стійкості збільшується при збільшенні U_x та до певного рівня — при зниженні $V_{\text{под.}}$

1.3.2. Зварювання електродом, що плавиться, з автоматичним регулюванням напруги дуги.

Функціональна схема системи автоматичного регулювання напруги дуги (АРНД) за рахунок дії на швидкість подачі електродного дроту приведена на рис. 1.14, а. Тут сигнал зворотного зв'язку у вигляді напруги U_d з допомогою пристрою порівняння ПП порівнюється з уставкою $U_{\text{зн}}$, що налаштована у задатчику напруги ЗН. Різниця $U_d - U_{\text{зн}}$ після підсилення у тиристорному чи транзисторному регуляторі ТР до значення $U_{\text{тр}}$ потрапляє на якір двигуна М. Двигун, що обертається зі змінною частотою ω , з допомогою редуктора Р переміщує дріт зі швидкістю подачі $V_{\text{под.}}$. ДЖ — джерело живлення зварювання [13].

Принцип дії системи АРНД заснований на залежності швидкості подачі дроту від напруги дуги:

$$V_{\text{под}} = k_{\text{рн}}(U_d - U_{\text{зн}}), \quad (1.9)$$

де $k_{\text{рн}}$ — коефіцієнт підсилення регулятора напруги, $\left[\frac{\text{см}}{\text{с} \cdot \text{В}}\right]$. Його збільшення веде до підвищення запасу стійкості, стабільності напруги, швидкодії, та відсутності розкачування системи. Його типові значення — від 0,2 до 3 $[\text{см}/(\text{сВ})]$.

Проаналізуємо роботу системи при збуренні по довжині дуги Δl_d . Наприклад, при скороченні дуги знизиться її напруга, що за співвідношенням (1.9) призведе до зниження швидкості подачі дроту та, як наслідок, до подовження дуги, тобто відновлення дугового проміжку:

$$l_d \downarrow \Rightarrow U_d \downarrow \Rightarrow V_{\text{под}} \downarrow \Rightarrow l_d \uparrow.$$

Рівняння статичної характеристики системи АРНД:

$$U_o = U_{\text{зн}} + \frac{k_{\text{ст}}}{k_{\text{рн}}} \cdot I_o. \quad (1.10)$$

де $k_{\text{ст}} = \Delta V_{\text{пл}} / \Delta I_d$, $\left[\frac{\text{см}}{\text{с} \cdot \text{В}}\right]$ — коефіцієнт саморегулювання за струмом — залежить від діаметру та теплофізичних характеристик матеріалу електроду.

Наприклад, для сталевого електроду $k_{ст} = 0,00453 \frac{\alpha_p}{d_e^2}$, де α_p — коефіцієнт розплавлення електродного металу [г/А·ч]. Коефіцієнт саморегулювання за напругою $k_{сн} = \Delta V_{пл} / \Delta U_d \left[\frac{см}{с \cdot В} \right]$. $V_{пл}$ — швидкість плавлення електроду. I_d — струм дуги.

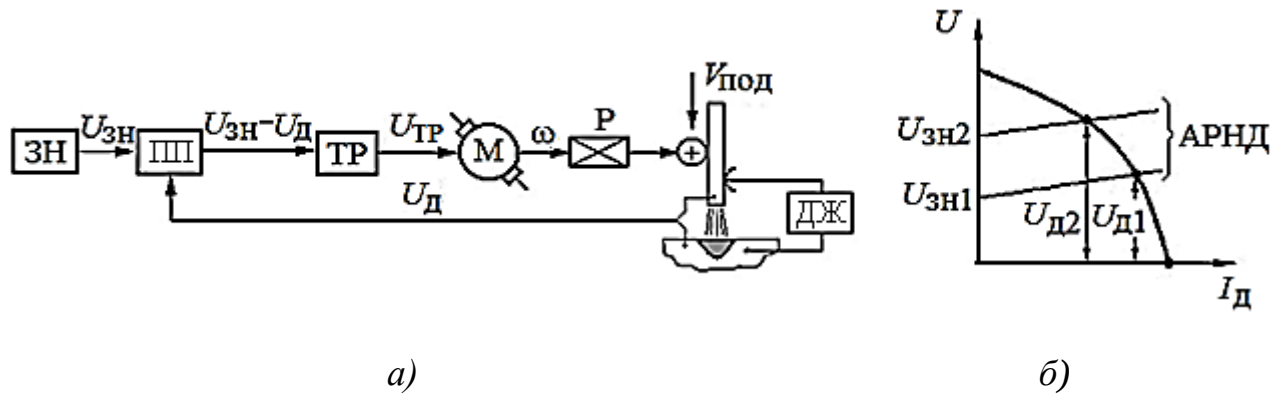


Рис. 1.14. Система АРНД: функціональна схема (а) и статичні характеристики (б).

Її графік (рис. 1.14, б) має вигляд, близький до горизонталі, тобто це система стабілізації напруги дуги.

Для забезпечення стійкості системи АРНД необхідно та достатньо виконання наступних умов:

- 1) $L > 0$;
- 2) $-\rho_{дж} + L\varepsilon_{ст}k_{рн} > 0$;
- 3) $k_{ст} - k_{рн}\rho_{дж} > 0$,

(1.11)

де L - індуктивність зварювального кола - непрямий критерій стійкості, значення котрого визначаються вимогами швидкодії та відсутністю коливань; $\rho_{дж}$ - нахил зовнішньої характеристики джерела - непрямий критерій, величина котрого призначається на основі компромісу між вимогами стійкості ($|\rho_{дж}| \uparrow$) та швидкодії ($|\rho_{дж}| \downarrow$). На цій підставі стандартом ДСТУ EN ІЕС 60974-1:2024 сформульований єдиний термін «жорстка зовнішня характеристика», та має нахил від $-0,07$ до $+0,1$ В/А. Цей інтервал підтверджується прямими технологічними дослідженнями. Так, у роботі [18]

для механізованого зварювання у вуглекислому газі дротами від 0,5 до 1,4 мм перевіреним та рекомендованим інтервал нахилу від $-0,08$ до $+0,04$ В/А.

При механізованому зварюванні у аргоні джерело може мати більш крутий нахил характеристики – від $-0,2$ до $-0,04$ В/А. Для автоматичного зварювання під флюсом дротами до 4–5 мм оптимальний нахил від $-0,1$ до $-0,01$ В/А; $\varepsilon_{\text{ст}}$ — градієнт потенціалу в стовпі дуги.

Перша умова (1.11) виконується завжди. Друга виконується при використанні джерел з характеристиками, що падають, оскільки у них $\rho_{\text{дж}} < 0$. Третя умова виконується завжди, якщо виконана друга умова.

Збурення за довжиною дуги система АРДС відпрацьовує астатично.

Система автоматичного підтримання стійкості горіння дуги при зварюванні плавким електродом втілена у лабораторному комплексі УПЕ-500. Комплекс в автоматичному режимі виконує зварювання в усіх просторових положеннях, з одночасною стабілізацією процесу, та здійснює автоматичну фіксацію, обробку та реєстрацію отриманих даних, що дозволяє кількісно оцінювати зварювально-технологічні характеристики покритих електродів без суб'єктивного втручання оператора [19].

1.4. Висновки та постановка завдань магістерського дослідження.

На підставі аналізу розглянутих систем керування процесами та сучасними установками, верстатами для дугового зварювання та наплавлення можна зробити наступні висновки.

1. Різноманітність зварювальних процесів та автоматизованого обладнання для їх реалізації обумовлює значних витрат на проєктування нових або удосконалення існуючих зразків обладнання.

2. Ліцензійне програмне забезпечення та обладнання іноді з завершенням строку служби не підтримується виробником і вимагає заміни на більш сучасне та вартісне.

3. Розроблений у середині минулого століття спосіб дугового наплавлення пучком штучних електродів, поряд з отриманими позитивними результатами має суттєві недоліки, характерні для ручного зварювання та наплавлення, зокрема складність підтримання стабільних параметрів режиму

					КР.131.6121м.02.05.01.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

протягом тривалого часу, залежність якості шва від кваліфікації зварювальника, несприятливі санітарно-гігієнічні умови для роботи виконавця тощо.

4. Переважна більшість розроблених систем автоматичного керування зварювальним процесом стосується способів зварювання електродним дротом і тому не може бути використана без переробки при автоматизованому процесі наплавлення пучком покритих електродів.

5. У проаналізованих літературних джерелах інформації відсутні відомості про системи та відповідні пристрої для автоматизації процесу наплавлення покритим електродом або пучком електродів.

Виходячи з вказаних висновків для досягнення мети даної кваліфікаційної роботи сформульовані наступні завдання магістерського дослідження.

1. Розробити принципову блок-схему системи автоматичного керування дослідної установки для автоматичного наплавлення пучком покритих електродів з можливістю переміщення пучка електродів за трьома координатними осями.

2. Розробити та дослідити роботу пристрою для безконтактного збудження та стабільного горіння зварювальної дуги.

3. Дослідити роботу системи автоматичного підтримання довжини дуги під час наплавлення пучком електродів.

4. Розробити датчик зворотного зв'язку за струмом дуги з перетворювачем сигналу до рівня, необхідного для ефективної роботи системи керування наплавочної установки.

5. Розробити та дослідити роботу приводів переміщення електродного пучка в процесі наплавлення.

6. Розробити програмне забезпечення системи керування наплавочної установки та дослідити її роботу у тестовому режимі.

7. Виконати економічну оцінку розробок.

					КР.131.6121м.02.05.02.ПЗ											
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Розробка системи автоматичного керування наплавочної установки						Літ.	Арк.	Аркушів			
Разраб	Баша С.В.													33	25	
Перевір	Драган С.В.															
Н. Контр.																
В.о.зав.каф.	Драган С.В.										НУК ім. адмірала Макарова					

2. Розробка системи автоматичного керування наплавочної установки

2.1. Вимоги до системи керування та розробка загальної блок-схеми установки.

З метою розробки дослідної установки для автоматичного дугового наплавлення пучком електродів було взято електроімпульсний копіровально-прошивочний верстат 4Б723М (рис. 2.1).

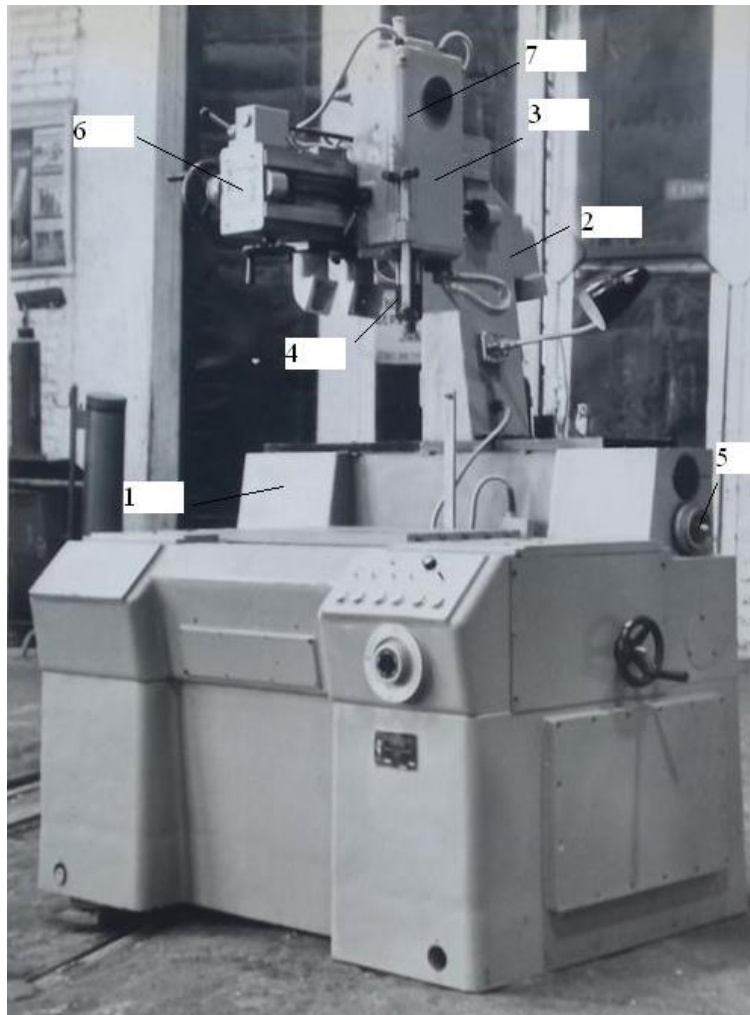


Рис. 2.1. Верстат електроімпульсний копіровально-прошивочний 4Б723М: 1 – станина; 2 – траверса; 3 – шпиндельна головка; 4 – шпиндель; 5 – механізм повздовжнього (вісь X) переміщення траверси зі шпиндельною головкою; 6 – механізм поперечного (вісь Y) переміщення шпиндельної головки; 7 – механізм вертикального (вісь Z) переміщення шпинделя (робоча подача пучка електродів).

Виходячи з технології ручного наплавлення штучними електродами [20-24] на першому етапі розробки дослідної установки для автоматичного наплавлення пучком покритих електродів, були сформульовані наступні основні вимоги до системи автоматичного керування:

1. Система повинна забезпечувати можливість переміщення пучка електродів за трьома координатними осями.
2. Керування роботою установки здійснюється оператором з персонального комп'ютера чи ноутбука.
3. Основним елементом автоматичної системи керування має бути плата контролера, яка здійснює прийом команди від оператора, формує сигнали керування приводами переміщення пучка електродів по координатних осях, контролює параметри переміщення електродів і напругу дуги при наплавленні, передає данні на монітор оператора.
4. Система керування має забезпечувати виконання вимог техніки безпеки, охорони праці та охорони навколишнього середовища.

На підставі викладеного вище, була побудована функціональна блок-схема (рис. 2.1) проєктованої системи автоматичного керування дослідної установки.

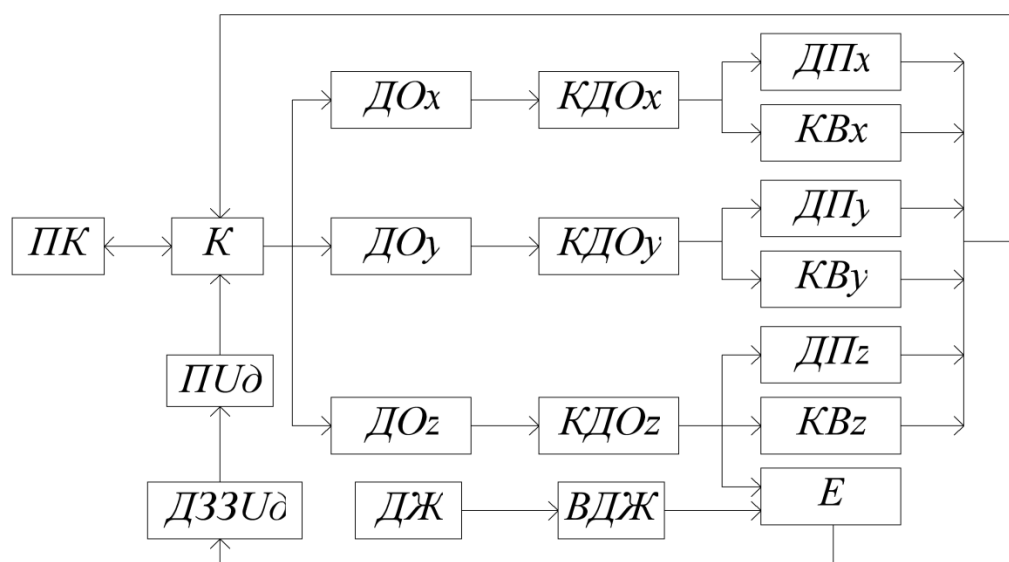


Рис. 2.2. Функціональна блок-схема системи автоматичного керування дослідної установки.

На рис. 2.2 умовно позначені функціональні блоки: *ПК* – персональний комп’ютер (чи ноутбук); *К* – плата контролера; *ДОх*, *ДОу*, *ДОz* – драйвера керування приводами переміщення вздовж осей X, Y, Z відповідно; *КДОх*, *КДОу*, *КДОz* – крокові двигуни приводів відповідних переміщень; *ДПх*, *ДПу*, *ДПz* – датчики сигналів відповідних лінійних переміщень; *КВх*, *КВу*, *КВz* – кінцеві вимикачі відповідних переміщень; *Е* – електрод (пучок електродів); *ДЖ* – джерело живлення; *ВДЖ* – високовольтне джерело живлення; *ДЗЗU_д* – датчик зворотного зв’язку за напругою дуги; *ПУ_д* – перетворювач сигналу з датчика зворотного зв’язку до рівня необхідного для контролера.

Як джерело зварювального струму для наплавлення у данній розробці обрано випрямляч ВД-306 (рис. 2.3), оскільки для проведення досліджень він забезпечує необхідні параметри режиму [25] та є у наявності на підприємстві, на якому здійснюється розробка дослідної наплавочної установки.



Рис. 2.3. Випрямляч ВД-306.

Виходячи з поставлених завдань даної кваліфікаційної роботи та вимог до САК дослідною установкою, було обрано малопотужний 8-розр. КМОП мікроконтролер АТmega128 (рис. 2.4), заснований на розширеній AVR RISC-архітектурі і який містить 128 кбайт внутрішньосистемної програмованої флеш-пам'яті з підтримкою читання під час запису, 4 кбайт ЕСППЗУ, 4 кбайт статичного ОЗП, 53 лінії універсального введення-виведення, 32 універсальних робочих регістра, лічильник реального часу (RTC), чотири гнучких таймера-лічильника з режимами порівняння і ШІМ, 2 УСАПП, двухпроводний послідовний інтерфейс орієнтований на передачу байт, 8-канальний 10-розр.

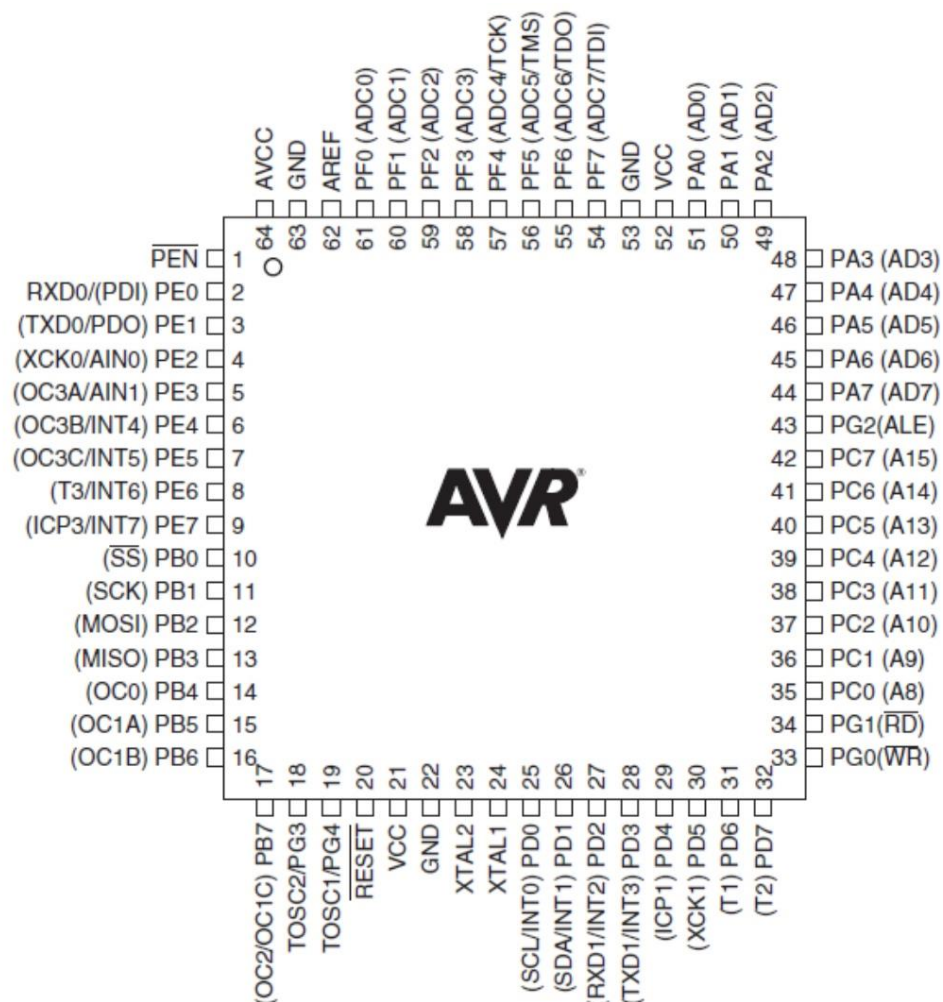


Рис. 2.4. Мікроконтролер ATmega128.

Дана архітектура володіє більшою ефективністю коду за рахунок досягнення продуктивності в 10 разів вище в порівнянні зі звичайними CISC-мікроконтролерами. ATmega128 АЦП з опціональним диференціальним входом з програмованим коефіцієнтом підсилення, програмований сторожовий таймер з внутрішнім генератором, послідовний порт SPI, випробувальний інтерфейс JTAG сумісний зі стандартом IEEE 1149.1, який також використовується для доступу до вбудованої системи налагодження і для програмування, а також шість програмно обраних режимів зменшення потужності. Режим холостого ходу (Idle) зупиняє ЦПП, але при цьому підтримуючи роботу статичного ОЗП, таймерів-лічильників, SPI-порту і системи переривань. Режим виключення (Powerdown) дозволяє зберегти вміст регістрів, при зупиненому генераторі і виключенні вбудованих функцій до наступного переривання або апаратного скидання. В економічному

режимі (Power-save) асинхронний таймер продовжує роботу, дозволяючи користувачеві зберегти функцію відліку часу в той час, коли інша частина контролера знаходиться в стані сну. Режим зниження шумів АЦП (ADC Noise Reduction) зупиняє ЦПП і всі модулі введення-виведення, крім асинхронного таймера і АЦП для мінімізації імпульсних шумів в процесі перетворення АЦП. У черговому режимі (Standby) кварцовий/резонаторний генератор продовжують роботу, а інша частина мікроконтролера знаходиться в режимі сну.

За рахунок виконання більшості інструкцій за один машинний цикл ATmega128 досягає продуктивності 1 млн. операцій за секунду на МГц, що дозволяє проєктувальникам систем оптимізувати співвідношення енергоспоживання і швидкодії.

ATmega128 підтримується повним набором програмних і апаратних засобів для проєктування, у т.ч.: Сі-компілятори, макроасемблер, програмні отладчики / симулятори, внутрішньосистемні емулятори та оціночні набори.

З допомогою програмного забезпечення PCAD була розроблена принципова схема плати контролера (рис. 2.5) та отримано макет друкованої плати з розташуванням електронних компонентів та доріжок для подальшого виготовлення.

Основним елементом плати контролера є процесор DD1 ATMEGA 128L. Його програмування (так зване «нижнього рівня»), налагодження програми роботи системи, пробна робота всієї установки в цілому, здійснюється через інтерфейс JTAG сумісний зі стандартом IEEE 1149.1(виводи 54 - 57) з допомогою спеціального JTAG-адаптера з персонального комп'ютера чи ноутбука. Цей інтерфейс працює у середовищі програмування мікроконтролерів фірми ATMEL AVRStudio.

Для подальшого нормального робочого керування установкою з персонального комп'ютера чи монітора передбачений інтерфейс RS485 на мікросхемі DA8 MAX485CSA, з використанням протоколу MODBUS RTU у режимі MASTER (виводи мікроконтролера 27 - 29).

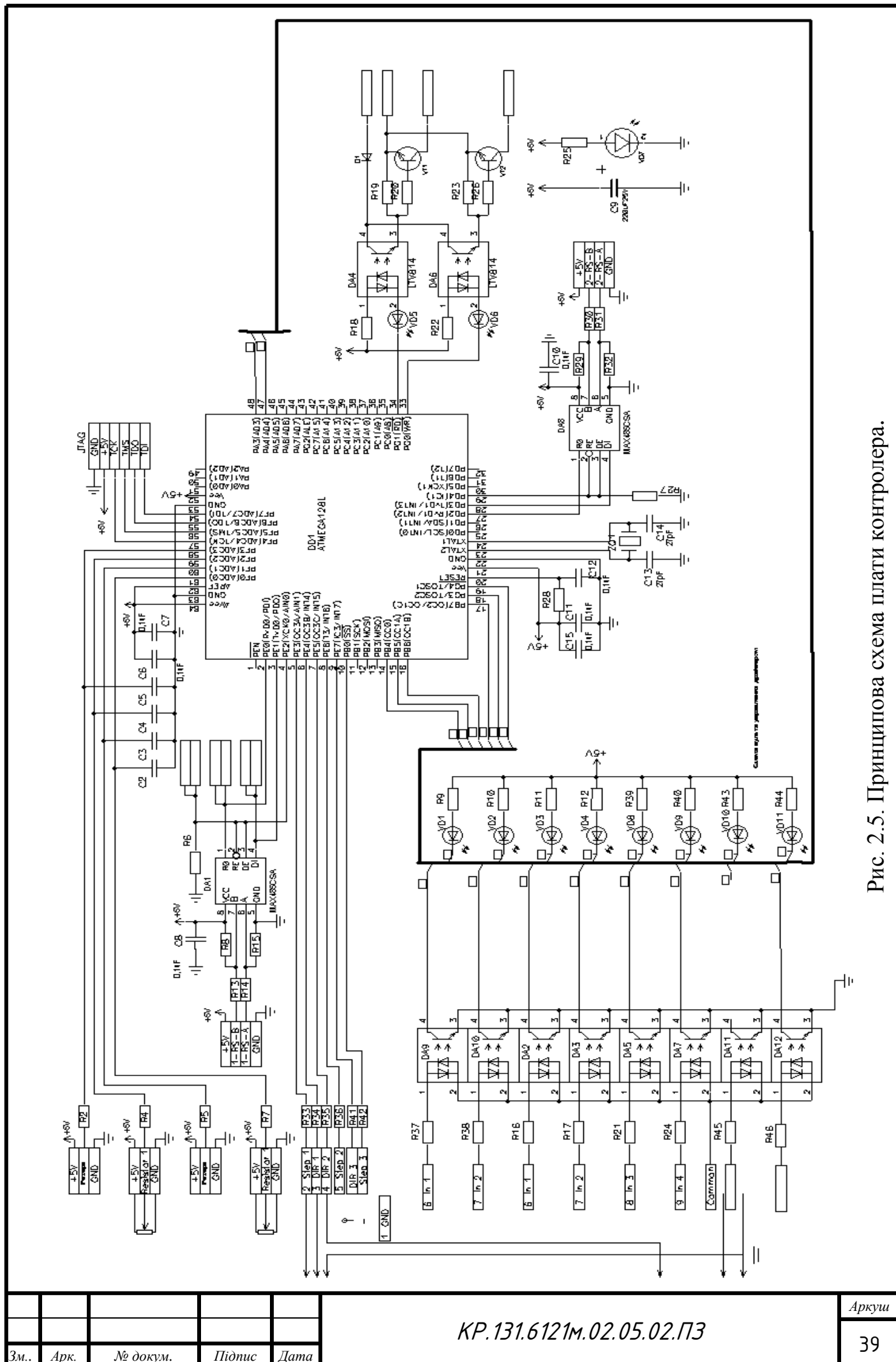


Рис. 2.5. Принципова схема плати контролера.

Таке інженерне рішення обґрунтоване наступним чином. Через такий саме інтерфейс RS485 на такий саме мікросхемі DA1 MAX485CSA з використанням протоколу MODBUS RTU, тільки у режимі SLAVE (виводи мікроконтролера 2 - 4), здійснюється зв'язок з коловими датчиками для визначення положення вала кожної осі. Ця можливість закладена на майбутнє, як варіант слідкування за положенням пучка електродів, замість лінійних датчиків.

Опторанзистори DA2 – DA7, DA9 – DA12 на мікросхемах LTV814 слугують для гальванічної опторозв'язки процесора від зовнішніх кіл. Через DA2, DA3, DA5, DA7, DA9 та DA10 на процесор надходять сигнали про спрацювання кінцевих вимикачів осей. DA4, DA6, DA11 та DA12 – резервні, вони можуть бути використані у подальшій модернізації установки.

ZQ1 – кварцовий резонатор, необхідний для функціонування процесору.

Транзистори VT1, VT2 слугують для підсилення сигналу керування з процесора до більш високого рівня, достатнього для зовнішніх кіл.

З датчика зворотного зв'язку (датчика Холла) за струмом дуги, та з датчиків лінійних переміщень по осях, сигнали подаються на аналогово-цифрові входи (виводи 58 - 61) процесора.

Через порти виводу PE3 – PE7 та PB0 (виводи 5 - 10) процесор видає сигнали на драйвери крокових двигунів для здійснення переміщення вздовж відповідних осей.

2.2. Розробка пристрою початкового збудження дуги та стабільності її горіння.

Для розробки пристрою початкового збудження дуги та забезпечення стабільності її горіння приймемо схему осцилятора на базі коливального контуру, що вмикається паралельно дуговому проміжку. При цьому виходили з умови створення пристрою з мінімальними витратами на комплектуючі вироби, доступні в умовах ринкової економіки.

					КР.131.6121м.02.05.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Принципову схему осцилятора, сконструйованого за допомогою програмного забезпечення PROTEUS з урахуванням вище визначеної умови, наведено на рис. 2.6. Головні параметри елементів схеми визначимо розрахунками.

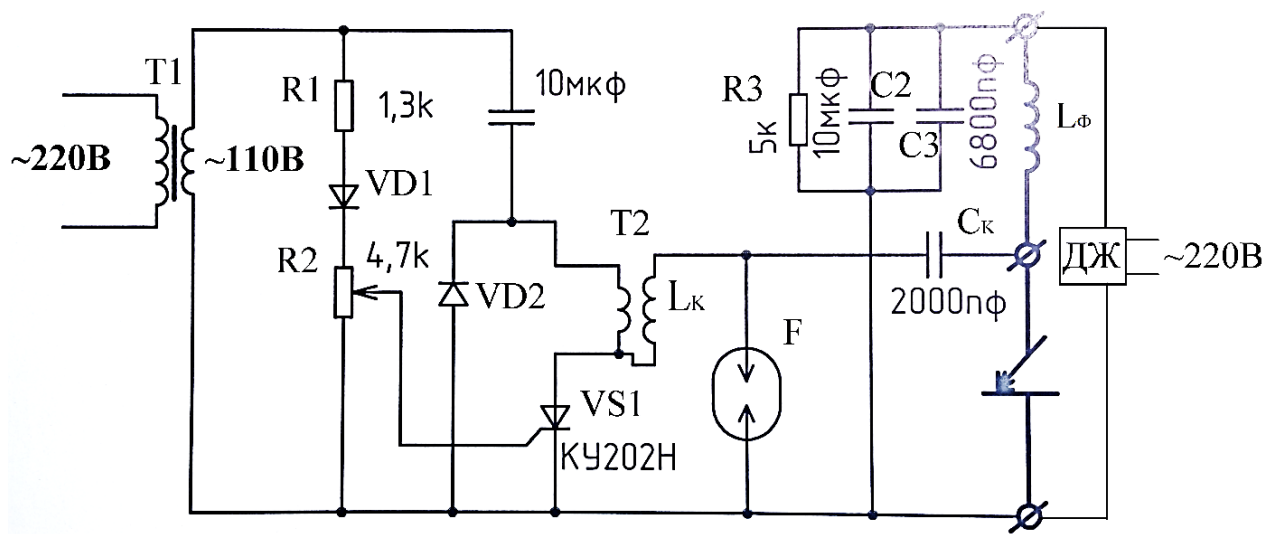


Рис. 2.6. Принципова схема осцилятора увімкненого паралельно з дуговим проміжком.

На схемі (див. рис. 2.6) розв'язуючий трансформатор промислової частоти T1 живиться від мережі через подвоєний відносно землі П-подібний мережевий фільтр (на схемі не показаний) і навантажений на котушку запалювання T2. Резонансний контур складається з ємності C_k , індуктивності L_k вихідної обмотки котушки T2, тиристора VS1 та розрядника газопровивного типу F.

Методику розрахунку запозичено із [26].

При резонансі напруг реактивні ємність C_k та приведена до резонансного контуру індуктивність L_k взаємно компенсуються за спадом напруги на них, а струм у контурі визначається лише умовами досягнення дійсного резонансу.

Струм контуру становить:

$$I_{pk} = \frac{U_{L_k}}{\rho_0} = \frac{U_{C_k}}{\rho_0} = \frac{U_D}{r}, \quad (2.1)$$

де ρ_0 - опір одиниці довжини стержня покритого електрода; U_{L_k}, U_{C_k}, U_d - напруги на індуктивності, ємності та дюзі відповідно; r – активний опір контуру.

Складові формули (2.1) розраховуються як:

$$\rho_0 = \omega_0 \cdot L_k = \sqrt{\frac{L_k}{C_k}} = \frac{1}{\omega_0 \cdot C_k}; \quad (2.2)$$

де ω_0 - резонансна частота контуру.

Напруги U_{L_k}, U_{C_k} :

$$U_{L_k} = U_{C_k} = U_d \frac{\rho_0}{r}, \quad (2.3)$$

$$\text{де } \frac{\rho_0}{r} = \frac{r}{\omega_0 L_k} = r \cdot \omega_0 \cdot C_k = \frac{r}{\sqrt{\frac{L_k}{C_k}}} = m - \text{характерний параметр контуру.} \quad (2.4)$$

З формули (2.4) витікає, що напруга на ємності та індуктивності буде тим більшою, чим менше значення параметру m , тобто менше відносне значення опору кола.

При зростанні напруги на вторинній обмотці котушки Т2, конденсатор C_k заряджається за півперіод до амплітудного її значення з накопиченням енергії в електричному полі $E = \frac{C_k \cdot U_{\max}^2}{2}$. При перевищенні напруги пробою на розряднику F коливний контур замикається і в ньому починає протікати струм I_{pk} .

Якщо умова строго резонансу не виконується, тобто для будь-якої частоти не характерне відношення $\omega = k \cdot \omega_0$ ($0 \leq k \leq \infty$) де k – числовий коефіцієнт, дійсне значення струму у такому коливному контурі, а відповідно і струму осциляції у дуговому проміжку, буде становити:

$$I_{\text{конт}} = \frac{U_d}{\rho_0 \cdot \sqrt{m^2 + (k - \frac{1}{k})^2}}. \quad (2.5)$$

При протіканні струму енергія електричного поля конденсатора, з урахуванням втрат на активних опорах коливного контуру трансформується

у магнітну енергію індуктивності $\frac{L_k \cdot I_{\text{конт}}^2}{2}$. У контурі виникає коливальний процес енергетичного обміну, що в умовах неповного резонансу оцінюють за дійсними значеннями напруг на ємності та індуктивності

$$U_{C_k} = \frac{I_{\text{конт}}}{k \cdot \omega_0 \cdot C_k}; \quad U_{L_k} = k \cdot \omega_0 \cdot L_k \cdot I_{\text{конт}} \quad (2.6)$$

При розрахунку конструктивних параметрів коливального контуру слід виходити з наперед прийнятої умови повного резонансу: досягнення повних напруг на ємності та індуктивності, коли числовий коефіцієнт k становить

$$\begin{cases} k = k_{C_k} = \sqrt{\frac{2-m^2}{2}} \\ k = k_{L_k} = \frac{1}{k_{C_k}} \\ U_{C_k \text{ резон max}} = \frac{2 \cdot U_{\text{Д}}}{m \cdot \sqrt{4-m}} = U_{L_k \text{ резон max}} \end{cases} \quad (2.7)$$

З рівнянь (2.7) витікає, що індуктивність та ємність мають максимум напруги при різних частотах, проте відносне значення таких частот має відповідати умові:

$$k_{L_k} \cdot k_{C_k} = 1; \quad k_{C_k} \leq 1, \text{ а } k_{L_k} \geq 1 \quad (2.8)$$

Також з (2.7) витікає, що чим менша величина характеристичного параметру m коливного контуру осцилятора, тобто $r \leq \sqrt{\frac{L_k}{C_k}}$, тим більшими будуть значення напруг на ємності та індуктивності. Конструктивно важливо мінімізувати величину параметру m , що дозволить виконати умову однаковості напруг приблизно на одній частоті $\omega_{\text{онт}} = \omega_0 \cdot k_{\text{онт}}$, де $k_{\text{онт}}$ - числовий коефіцієнт, який відповідає вищезазначеній умові.

У осциляторах досягнути умови повного резонансу не можливо, максимальну енергетичну високочастотну віддачу коливного контуру у дуговий проміжок можна за рахунок регулювання зазору у пробійнику F , який, у даному випадку, є нелінійним активним опором.

Для захисту джерела від високочастотної складової осцилюючого розряду використовується Г- подібний фільтр з елементів $L_{\text{Ф}}$, C_2 , C_3 та R_3 .

2.3. Розробка датчика зворотного зв'язку за струмом дуги з підсилювачем сигналу.

На практиці струм вимірюють спеціальними вимірювальними перетворювачами, такими як шунти, трансформатори струму, пояс Роговського, датчики Холла та ін. У даній роботі для проведення досліджень обираємо як датчик сигналу зворотного зв'язку за струмом дуги датчик Холла, виконаний на базі елемента "SS49E", який дозволяє виявляти магнітне поле (рис. 2.7). [27]

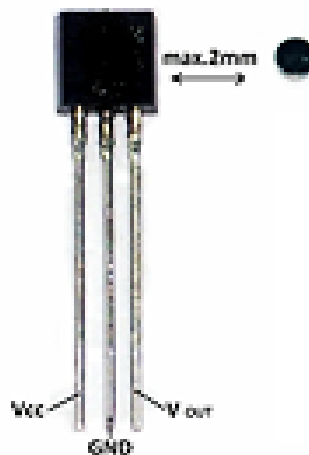


Рис. 2.7. Датчик Холла SS49E.

Принцип роботи такого датчика полягає у наступному. Якщо поряд з датчиком нема магнітного поля, то на сигнальному виході датчика напруга відсутня і навпаки, якщо поле присутнє, то на виході присутня деяка аналогова напруга. Таким чином датчик перетворює магнітне поле, яке утворює струм, в аналогову напругу на виході датчика. як правильно встановлення датчика для отримання достовірних даних зображено на рис. 2.8, його структура та робочі характеристики – на рис. 2.9, технічні характеристики – в табл.2.1.

При правильному встановленні датчика в розріз сталевого кільця, через середину якого має проходити провідник зварювального струму має проходити через середину сталевого кільця з розрізом.

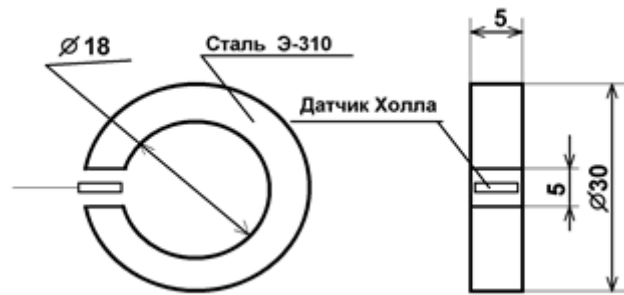


Рис. 2.8. Розміщення датчика Холла при вимірюванні струму.

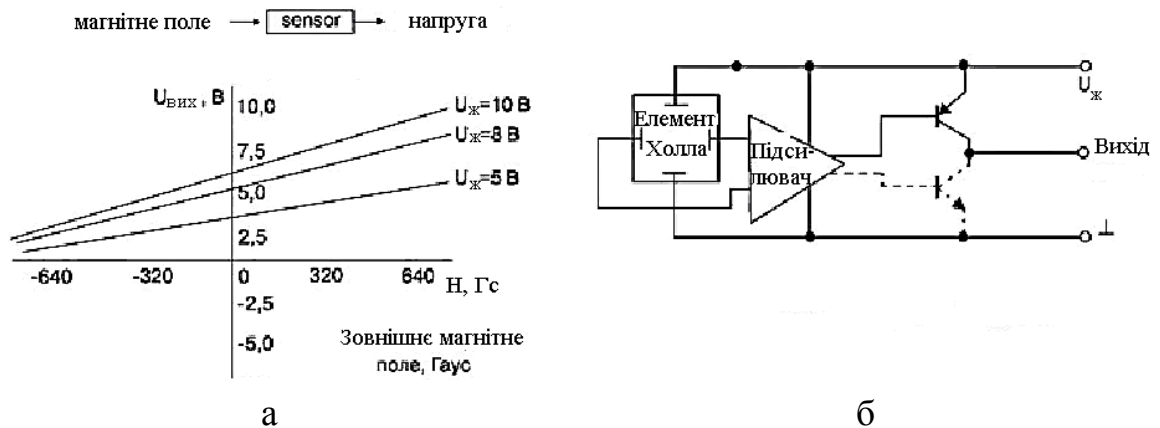


Рис. 2.9. Паспортні характеристики датчика Холла SS49E:

а – залежність вихідної напруги від зовнішнього магнітного поля;

б – внутрішня структура датчика.

Таблиця 2.1. Технічні характеристики датчика Холла SS49E:

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	4,5-6
Струм споживання, мА	7
Діапазон вимірювання магнітного поля, мТл	± 50
Вихідна напруга, В	2,5-4,5
Точність вимірювання, %	± 1
Температурний діапазон, °C	-40... +85
Корпус	ТО-92S

У даній роботі за допомогою програмного забезпечення PCAD була розроблена принципова схема (рис. 2.10) підсилювача сигналу з датчика Холла, яка дозволила створити макет для виготовлення друкованої плати.

Розглянемо принцип роботи розробленої схеми підсилювача сигналу.

Особливістю схеми є те, що її верхня частина (див. рис. 2.10) дозволяє одержати із звичайного живлення двополярне, а, вона сама є стабілізатором.

Цей пристрій є підсилювачем постійного струму виконаний на операційному підсилювачі (ОП) DA1 КР544УД2 і транзисторах VT1 і VT2, які ввімкнені за схемою емітерного повторювача. Напруга, що задає, подається на неінвертуючий вхід ОП DA1 з ділянки R1-R2. На інвертуючий вхід ОП DA1 подається сигнал з емітерного повторювача. Напруга на виході емітерного повторювача визначається положенням змінного резистора R3. З його допомогою встановлюється рівно половина вхідної напруги, оскільки підібрати два ідентичні резистори і транзистори VT1 та VT2 з однаковими параметрами проблематично.

Оскільки, на інвертуючий вхід ОП DA1 подається вихідна напруга з підсилювача струму на транзисторах VT1 і VT2, то цей блок виконує функцію "земля".

Наявність зворотного зв'язку за напругою забезпечує стабільність вихідної напруги, не залежної від навантаження.

На мікросхемах DA2, DA3 лінійних стабілізаторів зібрана схема двополярного стабілізатора (+5 В, -5 В) для живлення датчика Холла.

На ОП DA4 КР544УД2 зібраний неінвертуючий підсилювач для датчика Холла з коефіцієнтом посилення 1...3. Резистором R5 регулюється вихідна напруга датчика Холла, яка повинна дорівнювати нулю за відсутності струму (магнітного поля). Резистором R10 встановлюється коефіцієнт посилення (у нашому випадку не більш 2,5 В) для узгодження зі входом АЦП контролера. Резистором R9 встановлюємо баланс виходу ОП DA4 КР544УД2 який повинен бути рівний нулю при вхідному нульовому значенні.

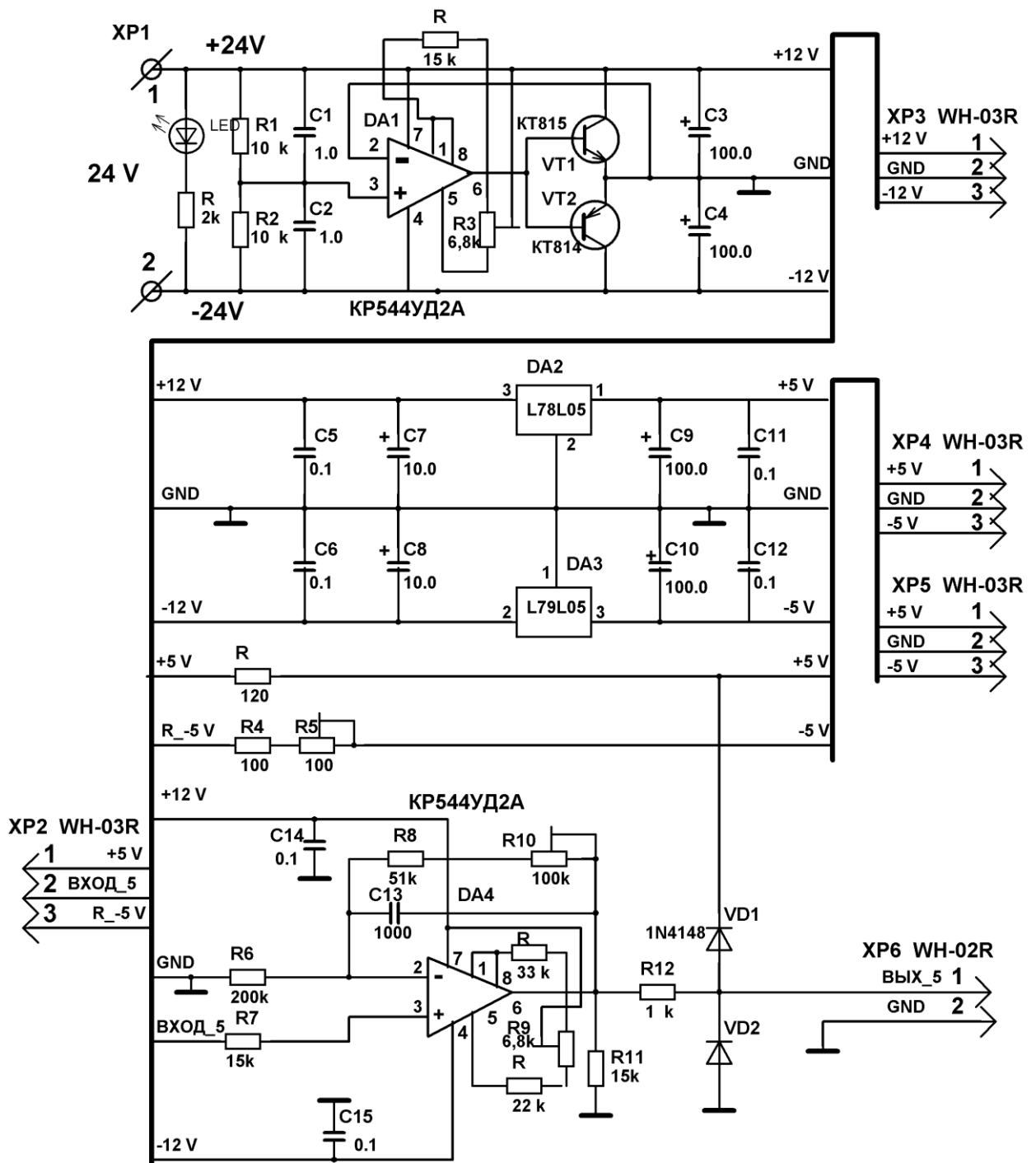


Рис. 2.10. Принципова схема підсилювача сигналу датчика Холла.

До роз'єму XP1 підключається живлення +24 В, до роз'єму XP2 підключається датчик Холла, до роз'єму XP6 підключається вхід АЦП контролера.

2.4. Розробка приводів переміщення електродного пучка в процесі наплавлення.

Як відомо [28], крокові двигуни відносяться до класу безколекторних двигунів постійного струму. Як і будь-які безколекторні двигуни, вони мають високу надійність і великий термін служби, що дозволяє використовувати їх в критичних, наприклад, індустріальних застосуваннях.

В порівнянні зі звичайними двигунами постійного струму, крокові двигуни вимагають значно складніших схем керування, які повинні виконувати всі комутації обмоток при роботі двигуна.

Однією з головних переваг крокових двигунів є можливість здійснювати точне позиціонування і регулювання швидкості. Коли потрібне прецизійне позиціонування і точне керування швидкістю, а необхідний момент і швидкість не виходять за допустимі межі, то кроковий двигун є економним рішенням. Як і для звичайних двигунів, для підвищення моменту може бути використаний знижувальний редуктор. Проте для крокових двигунів редуктор не завжди підходить.

На відміну від колекторних двигунів, у яких момент зростає із збільшенням швидкості, кроковий двигун має більший момент на низьких швидкостях. До того ж, крокові двигуни мають набагато меншу максимальну швидкість в порівнянні з колекторними двигунами, що обмежує максимальне передавальне число і, відповідно, збільшення моменту за допомогою редуктора. Ще одним фактом, що обмежує застосування редуктора, є властивий йому люфт.

З огляду на викладене вище, стосовно верстату 4Б723М, передбачимо розташування крокових двигунів наступним чином:

- по осям X та Z – через перехідну жорстку муфту безпосередньо на тягловий гвинт;
- по осі Y - через перехідну жорстку муфту на редуктор замість маховика, який служив для ручного переміщення. Таке конструктивне

рішення обумовлене відсутністю вільного доступу до торців тяглого гвинта даної осі.

Для уніфікації вузлів наплавочної установки та з економічних причин пропонується застосувати однакові крокові двигуни та драйвери по всіх трьох осях.

Тому логічно і достатньо розрахувати необхідний двигун та драйвер для найбільш навантаженої осі. Такою віссю є вісь X. Кроковий двигун осі X повинен забезпечувати переміщення по напрямних штанги масу траверси та шпіндельної головки разом з кроковими двигунами і вимірювальними лінійками осей Y та Z. Напрямними для переміщення траверси служать кругла труба та плоска планка, на яку траверса опирається через кульковий підшипник, встановлений на осі в нижній її частині. При цьому встановлено, що маса траверси разом з усіма елементами на ній створює по всій довжині сумарне навантаження такої величини, що для її переміщення достатньо прикласти осьове зусилля $P = 600 \text{ Н}$.

На практиці потрібний кроковий двигун обирають за утримуючим моментом, величина якого вказується в паспортних даних двигуна. Чим більший цей момент, тим потужнішим є кроковий двигун. Для гвинтових передач розраховують момент крутіння на ланці, що обертається, збільшують його значення в півтора рази та, за отриманим результатом, обирають кроковий двигун з більшим утримуючим моментом. [29]

У першому наближенні розрахуємо крутний момент на ланці, що обертається (без урахування втрат в опорах) за формулою [30-32]:

$$M = 0,5 Q d_2 \tan(\beta + \rho), [\text{Нм}], \quad (2.9)$$

де $Q = 600 \text{ Н}$ – осьове зусилля; $d_2 = 0,037 \text{ м}$ – середній діаметр гвинта;

$\beta = 30^\circ$ - кут підйому гвинтової лінії; $\rho = 5^\circ 43'$ - кут тертя бронзової олов'янофосфористої гайки.

$$M = 0,5 \cdot 600 \cdot 0,037 \cdot \tan(30^\circ + 5^\circ 43') = 7,77 \text{ Нм}.$$

Помножимо отримане значення на 1,5, та оберемо за каталогами кроковий двигун з утримуючим моментом більшим за це значення.

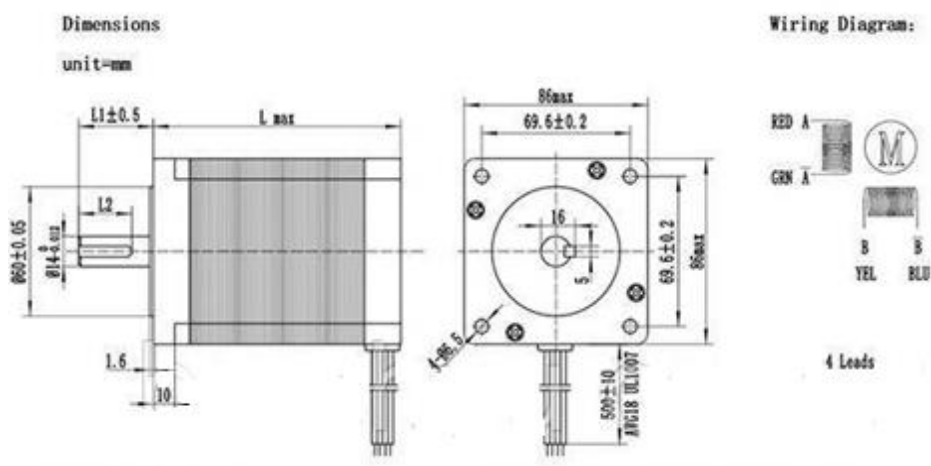
$$1,5M = 1,5 \cdot 7,77 = 11,66 \text{ Нм}.$$

					КР.131.6121м.02.05.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Обираємо кроковий двигун 86HS156-6204A14 (рис. 2.11), момент утримання якого дорівнює 12 Нм. [33].



а



б

Рис. 2.11. Кроковий двигун 86HS156-6204A14:

а – зовнішній вигляд; б – основні параметри.

Технічні характеристики двигуна 86HS156, NEMA34 наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Характеристики крокового двигуна 86HS156, NEMA34.

Характеристика	Значення
Тип двигуна	Безколекторний
Кількість фаз	2
Споживаний струм, А	6,2
Маса, кг	5,5

Тип ротора	Фазний
Кут кроку, град.	1,8
Мінімальна робоча температура, °C	20, 0
Максимальна робоча температура, °C	80,0
Опір ізоляції, МОм	100 (500VDC)
Момент утримання, Нм	12
Діаметр валу, мм	14
Довжина дроту, м	1

За паспортними даними обраний кроковий двигун живиться струмом 6А. Обираємо за каталогами для нього високопродуктивний драйвер SEA2D810 (рис. 2.12), розрахований на живлення крокового двигуна струмом до 8А. Основні характеристики драйвера крокового двигуна SEA2D810 наведені нижче.

Так, спеціальне коло керування знижує шум і збільшує стабільність обертання; селектор має мікрокроків 12/8. Максимальна роздільна здатність 40000 кроків/оберт;

Струм котушки автоматично скорочується наполовину, коли імпульс зупиняється вище 100 мс; Частота відгуку до 200Kpps. Драйвер оснащений системою захисту від перегрівання, перевантаження за струмом та низької напруги; оптичним ізолюваним входним/вихідним сигналом. Двополюсний режим переривання струму забезпечує більшу швидкість і потужність;

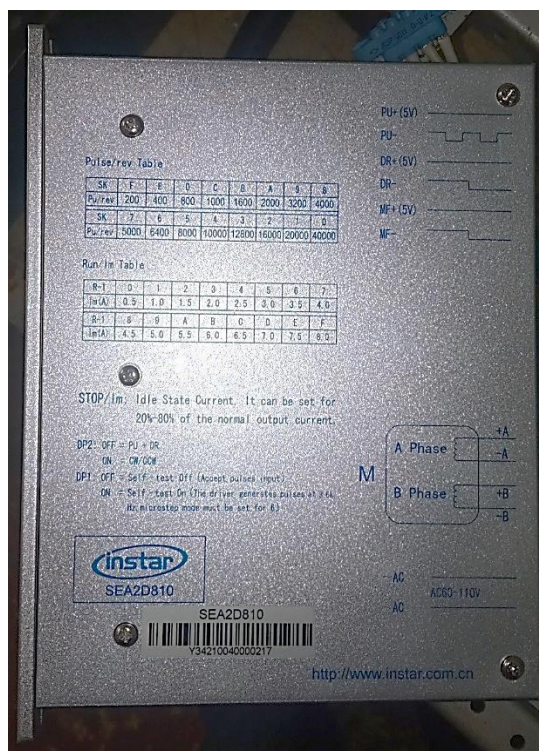
Діапазон струму збудження: 0.5А ~ 8.0А;

Розміри приладу: 136 × 92 × 25 (мм), маса: 2,3кг.

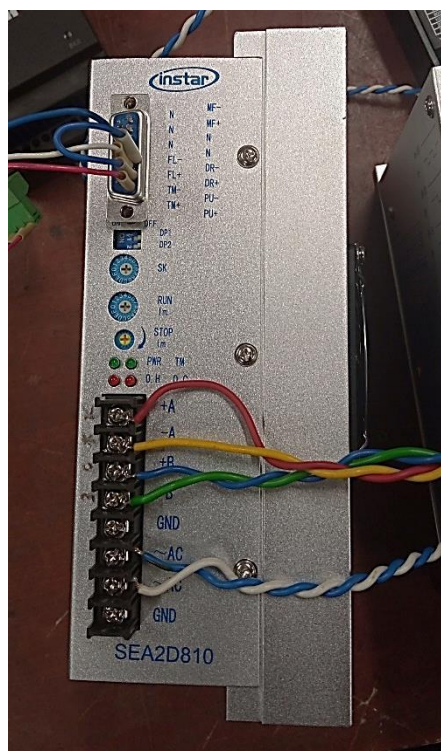
SEA2D810 є високопродуктивним цифровим мікрокроковим драйвером із постійним кутом і крутним моментом, напругою живлення AC60-130V, з одним джерелом живлення. Він відповідає 2-фазним кроковим двигунам із струмом до 8,0 А, розміром 85-130 мм і 4 або 8-дротовим.

Режим біполярного постійного струму, що застосовується всередині, забезпечує плавність роботи двигуна та невеликий шум. Підвищення напруги

покращує швидкодію двигуна та крутний момент на виході. Струм котушки автоматично скорочується наполовину та зменшує перегрівання, коли імпульс перевищує 100 мс.



а



б

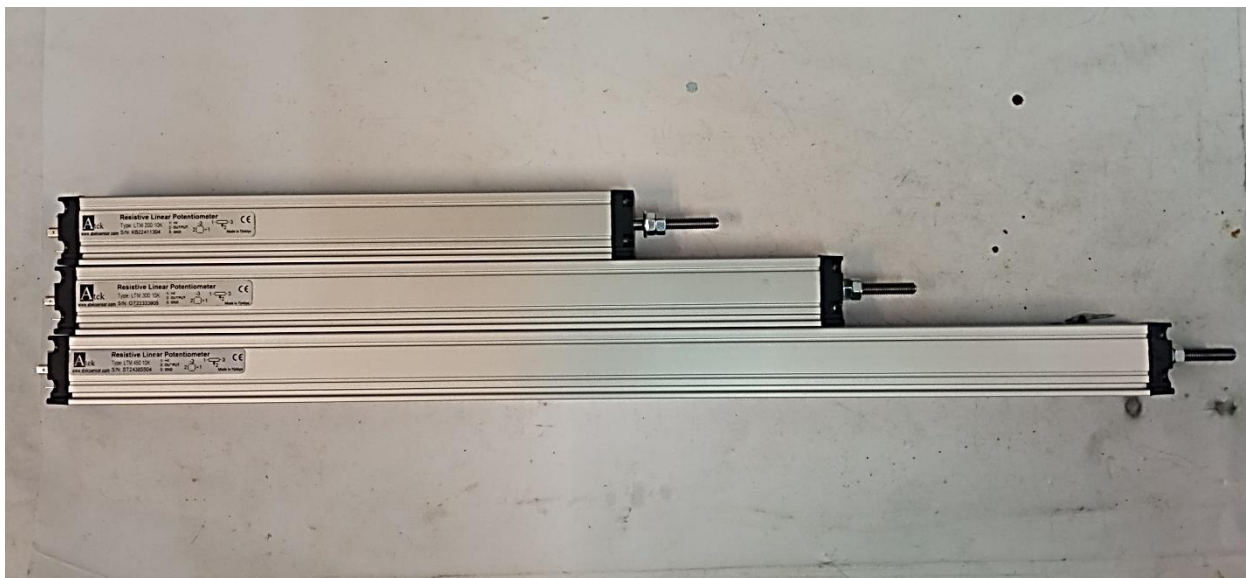
Рис. 2.12. Драйвер крокового двигуна SEA2D810:

а – сторона А; б – сторона Б.

Як зазначалось раніше, для уніфікації блоків установки застосуємо такі самі крокові двигуни і драйвера для двох інших осей Y та Z.

Як датчики зворотного зв'язку за положенням пучка електродів для кожної осі обираємо потенціометричні датчики лінійного переміщення LTM (рис. 2.13).

LTM — це високоточний потенціометричний промисловий датчик лінійного переміщення з довговічною контактною доріжкою для абсолютного вимірювання положення в контрольно-вимірювальних системах. Датчик призначений для прямого абсолютного вимірювання переміщення або довжини в системах вимірювання й керування. Висока роздільна здатність (0,01 мм) у поєднанні з довжиною ходу до 1000 мм дає змогу точно вимірювати лінійне переміщення.



а



б

Рис. 2.13. Датчики лінійного переміщення LTM:

а – загальний вид; б – маркування.

Для визначення конструктивних розмірів датчиків лінійного переміщення LTM були задані найбільші переміщення та робочі ходи виходячи з габаритів деталей, що підлягають напавленню пучком електродів. Відповідні вихідні дані по осях наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Вихідні дані для вибору лінійок LTM.

Координатна вісь	Переміщення, мм		Розміри лінійки LTM, мм
	найбільші	робочий хід	
X	420	400	450
Y	290	260	300
Z	200	180	200

Схематична конструкція та розміри лінійок LTM наведені на рис. 2.14, основні їх технічні характеристики – в табл. 2.4.

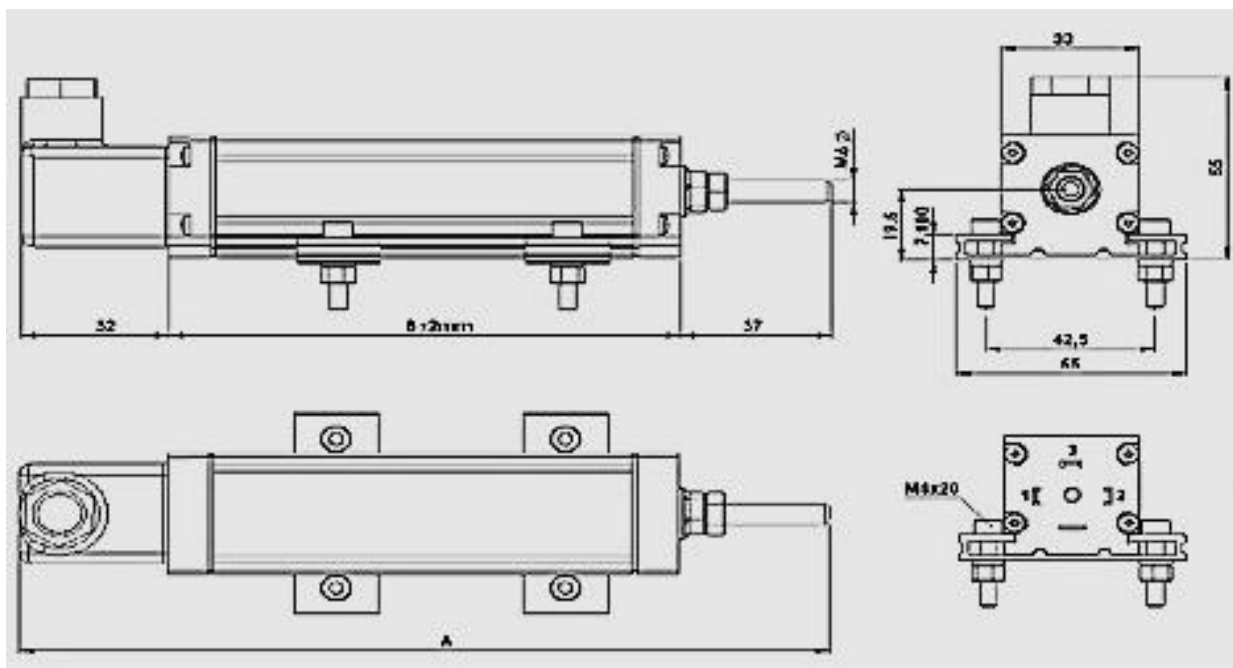


Рис. 2.14. Розміри лінійок LTM.

Таблиця 2.4. Основні характеристики лінійок LTM.

Параметр	Значення
Хід вимірювання, мм	до 1000
Роздільна здатність, мм	0,01
Швидкість переміщення, найбільша, м/с	5
Відхилення від лінійності, найбільше, %	до 0,3
Внутрішній опір, кОм	10
Термін експлуатації, циклів	до 100 мільйонів

2.5. Розробка програмного забезпечення системи керування наплавочною установкою.

Розробка програмного забезпечення системи керування установкою передбачала два види програмування:

1. Програмування процесора плати контролера (програмування «нижнього рівня»).
2. Розробка програмної оболонки (за допомогою спеціального програмного забезпечення) для можливості керування установкою з персонального комп'ютера чи ноутбука (програмування «верхнього рівня»).

Програмна оболонка системи автоматичного керування установкою для напавлення пучком електродів була написана з використанням програмного забезпечення AVR Studio. Одержаний файл з готовою програмою був записаний у процесор плати контролера за допомогою спеціального JTAG-адаптера (рис. 2.15).

Програмна оболонка для можливості керування установкою з персонального комп'ютера чи ноутбука записана за допомогою програмного забезпечення C++Builder (рис. 2.16). Зв'язок персонального комп'ютера чи ноутбука з платою контролера був організований за допомогою IEEE485-адаптера (рис. 2.17). Плата JTAG-адаптера та адаптер IEEE485 були виготовлені та протестовані під час проходження виробничої (науково-дослідної) практики і показали стабільність їх роботи.

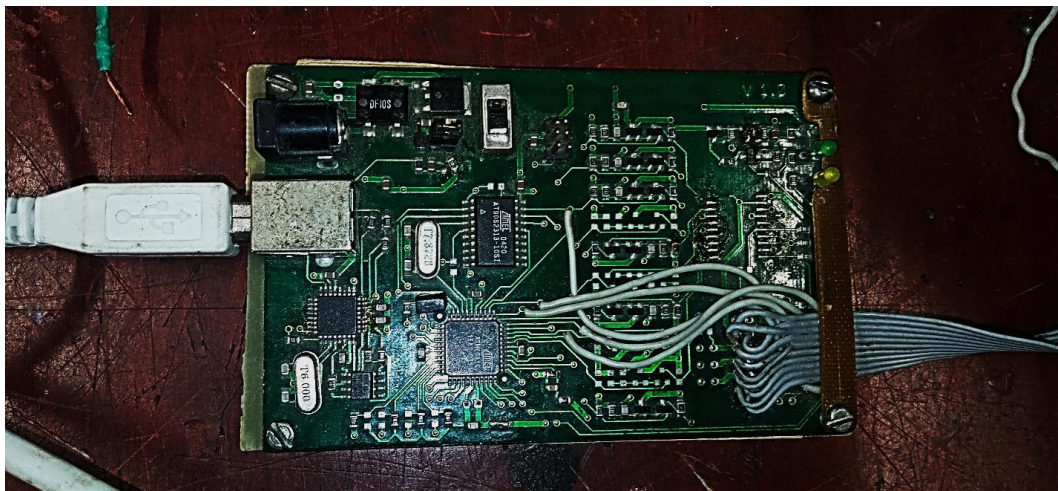


Рис. 2.15. JTAG-адаптер

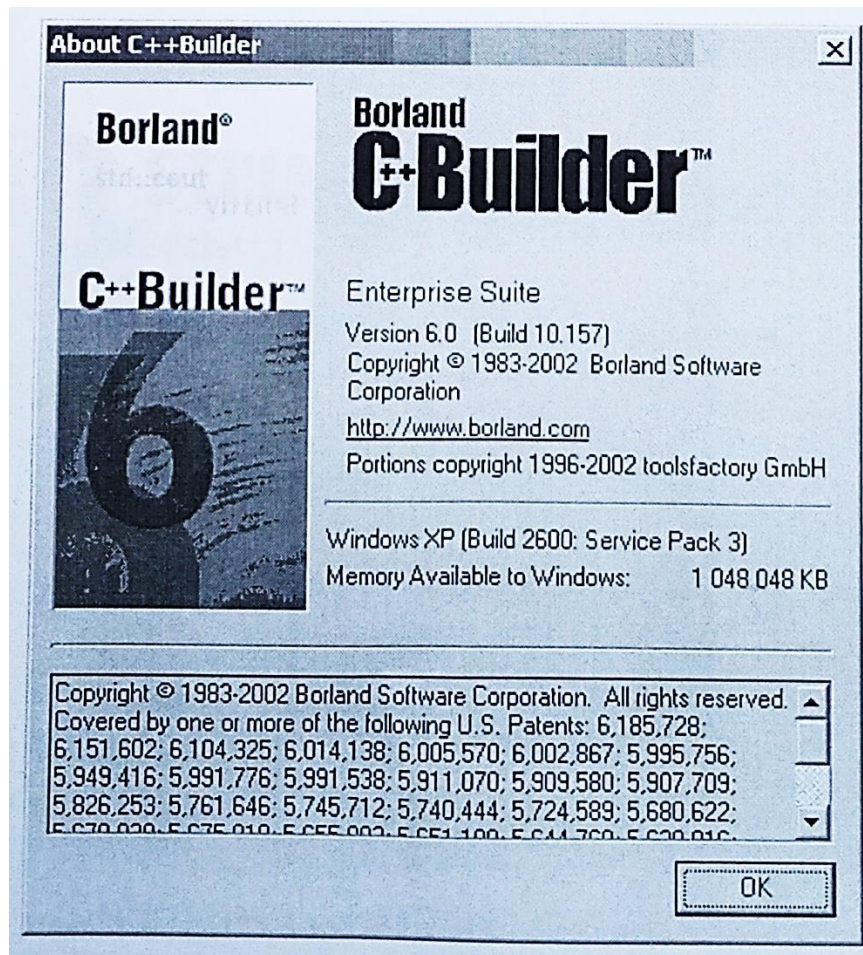


Рис. 2.16. Вигляд програми C++Builder

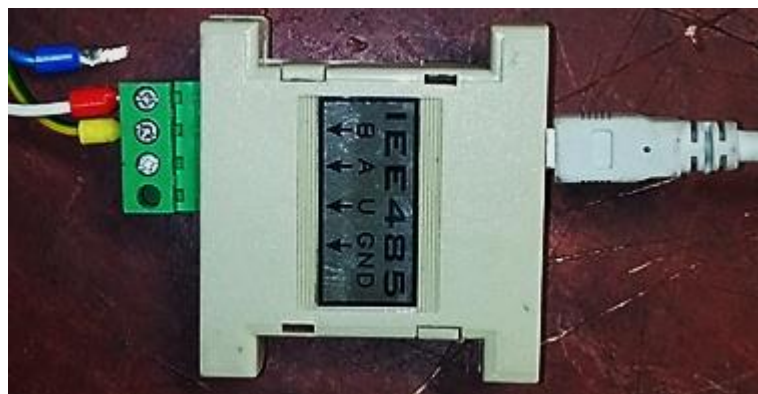


Рис. 2.17. IEE485-адаптер

Висновки

1. Вперше розроблена система автоматичного керування процесом наплавлення пучком штучних електродів для експериментальної установки, яка забезпечує безконтактне збудження дуги, переміщення електродів, стабілізацію параметрів режиму наплавлення та механізацію встановлення виробу у зручне положення при наплавленні.

2. Відповідно до розробленої блок-схеми системи керування

					КР.131.6121М.02.05.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

установкою визначені вимоги до конструкції блоків і потрібна елементна база з урахуванням доступності в сучасних економічних умовах.

3. Для безконтактного збудження та стабілізації параметрів режиму наплавлення виконано розрахунок параметрів та сконструйовано осцилятор паралельного вмикання у зварювальне коло. увімкнений паралельно відносно дугового проміжку. Комп'ютерне моделювання роботи осцилятора дозволило перевірити його функціональність і можливість використання у наплавочній установці.

4. Розроблена конструкція датчика зворотного зв'язку за струмом дуги на основі датчика Холла та розроблена принципова схеми плати підсилювача сигналу з датчика. Створений макет для виготовлення друкованої плати підсилювача.

5. Система керування приводами переміщень розроблена на базі крокових двигунів 86HS156, NEMA34 та драйверів SEA2D810 для переміщення пучка електродів за трьома осями, яка забезпечує діапазон швидкості від 0 мм/с до 10 мм/с зі стабілізацією параметрів режиму наплавлення.

6. За результатами розробки принципової схеми плати контролера виготовлено її макет та проведено тестування, яке показало придатність плати для промислового виготовлення.

7. Для контролю величини переміщення по осях в якості зворотних датчиків переміщення було обрано потенціометричні датчики лінійного переміщення LTM з необхідним діапазоном переміщень.

8. Розроблено програмне забезпечення системи керування наплавочної установки на двох рівнях програмування.

9. Розроблена система керування дослідної установки для автоматичного дугового зварювання та наплавлення пучком електродів була опробувана на електроімпульсному копіювально-прошивочному верстаті 4Б723М і показала на практиці достатньо надійну роботу всіх її елементів.

					<i>КР.131.6121м.02.05.03.ПЗ</i>			
<i>Зм..</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ Докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Експериментальне дослідження роботи системи автоматичного керування установкою для наплавлення пучком електродів</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркунів</i>
<i>Разраб</i>		<i>Баша С.В.</i>						
<i>Перевір</i>		<i>Драган С.В.</i>					<i>58</i>	<i>15</i>
						<i>НУК ім. адмірала Макарова</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>В.о.зав.каф.</i>		<i>Драган С.В.</i>						

3. Експериментальне дослідження роботи системи автоматичного керування установкою для наплавлення пучком електродів

3.1. Методика, зразки та апаратура для дослідження.

З метою перевірки роботи розробленої системи автоматичного керування установкою для наплавлення пучком електродів в лабораторних умовах було модернізовано верстат 4Б723М шляхом встановлення на ньому механізмів переміщення по координатних осях з використанням крокових двигунів відповідними драйверами, маніпулятора для розміщення зразків наплавлюваного виробу та датчика Холла. У результаті переробки верстату 4Б723М було створено діючий макет наплавочної установки (рис. 3.1), оснащений зварювальним випрямлячем ВД-306Д.

Для документування роботи технологічного комплексу у наплавочному посту використовували JTAG-адаптер JTAG (див. рис. 2.15), IEEE485-адаптер (див. рис. 2.17), ноутбук ACER N19Q8, цифровий мультиметр M890 та осцилограф Tektronix TDS 2002B (рис. 3.2). Основні характеристики осцилографа наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Основні характеристики осцилографа Tektronix TDS 2002B.

Число каналів	Смуга пропускання	Частота вибірки	Екран
2	40 МГц	500 Мвиб/с	Кольоровий

Програмою дослідження роботи системи автоматичного керування наплавочної установки були передбачені наступні експерименти.

1. Оцінка надійності збудження дуги та підтримка стабільності її горіння у процесі наплавлення.
2. Автоматичне регулювання швидкості подачі пучка електродів у зону зварювання в міру їх оплавлення.
3. Рівномірність продольного переміщення пучка електродів вздовж лінії наплавлення (вісь Y). Продольні переміщення (вісь X) не виконували, хоча системою керування таке передбачено.
4. Програмоване закінчення процесу наплавлення.

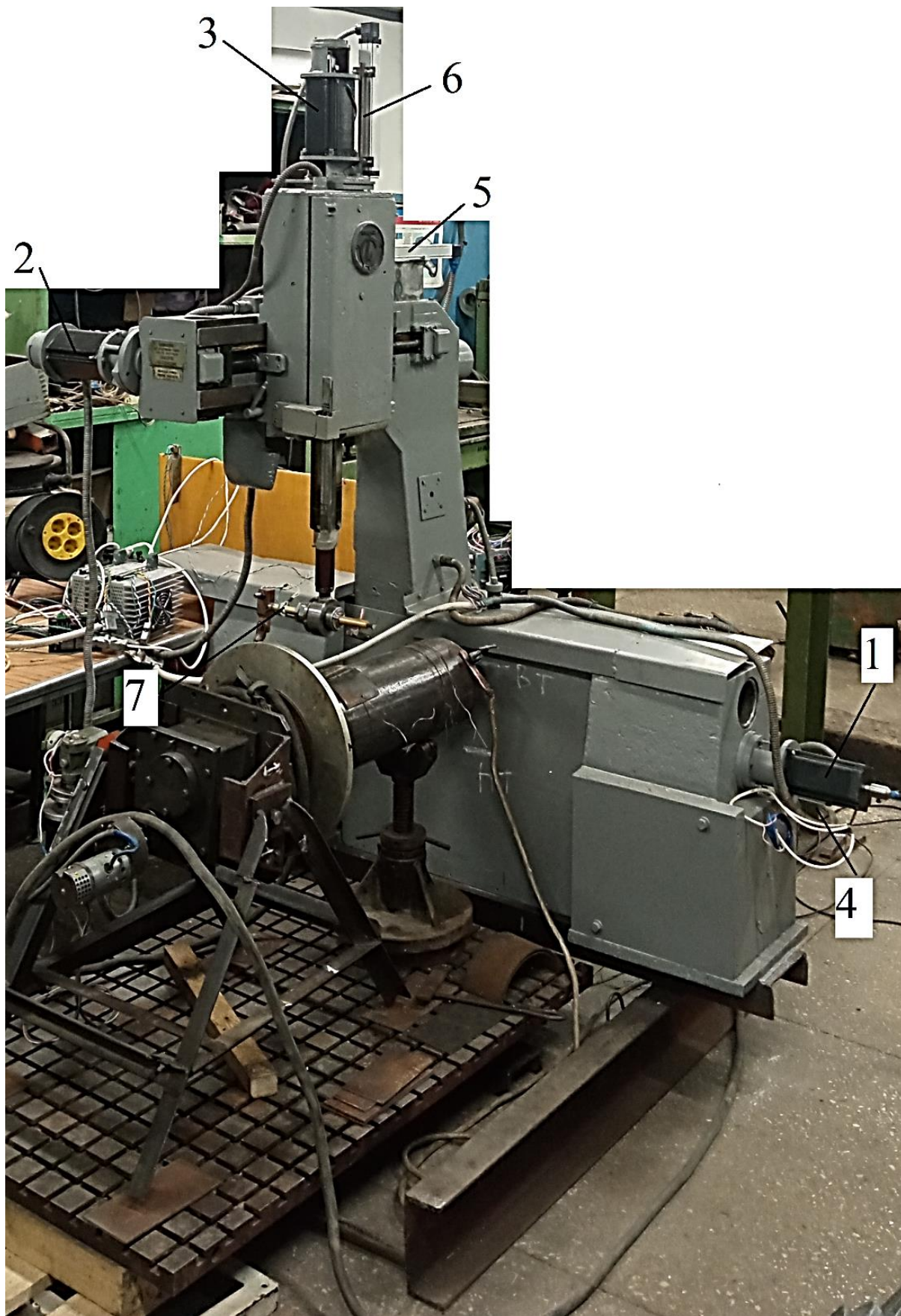


Рис. 3.1. Макет установки для наплавлення пучком електродів:
 1, 2, 3 – крокові двигуни осей x, y, z відповідно; 4, 5, 6 – драйвери
 двигунів осей x, y, z відповідно; 7 – датчик Холла.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР.131.6121м.02.05.03.ПЗ

Аркуш

60



Рис. 3.2. Осцилограф Tektronix TDS 2002B.

Для наплавлення використовували зразки у вигляді сталевих пластин розмірами 200x 100x10 мм, виготовлених з різних матеріалів, та електроди також різних марок, зібраних у пучок (табл.3.2).

Таблиця 3.2. Комбінація матеріалів у дослідях.

№ досліджу	Основний метал	Електроди в пучку
1	Ст20	ITC-4C
2	ЭП 609	Böhler Fox CN 13/4
3	ЭП 609	ESAB OK 63.30
4	12X18H10T	HIAT-1

Три електроди діаметром 3 мм попередньо з'єднували у пучок (3+3+3) типу “гребінка” і у верхній частині закріплювали спеціальним затиском, в середній частині - льняною ниткою або тонким дротом.[34-36]

Силу струму встановлювали та регулювали в межах $I = 250 \dots 300$ А на джерелі живлення і вимірювали за допомогою датчику Холла.

При запалюванні зварювальної дуги та під час наплавлення кут нахилу електродів не змінювали, наплавлення вели кутом назад (рис. 3.3).

Якість формування наплавленого шару оцінювали зовнішнім оглядом, для вимірювання розмірів наплавленого валика та часу наплавлення використовували відповідно слюсарну лінійку довжиною 500 мм з ціною поділки 1,0 мм та секундомір.

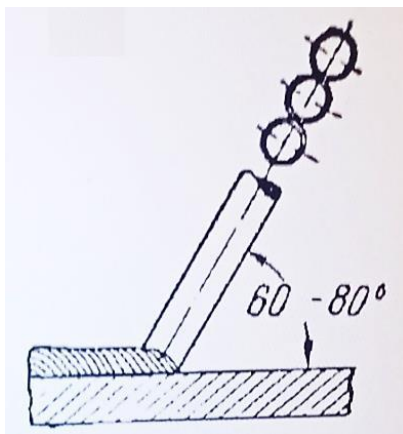


Рис. 3.3. Положення пучка електродів у процесі наплавлення зразків.

Металографічні дослідження проводили у центральній заводській лабораторії АТ НВКГ "Зоря-Машпроект". Результати цих досліджень викладені в окремій кваліфікаційній роботі магістра.

3.2. Дослідження процесу початкового збудження дуги.

У процесі наплавлення оцінювали стабільність початкового збудження дуги за допомогою сконструйованого та описаного у розділі 2 даної роботи осцилятора паралельного підключення.

За принциповою схемою осцилятора (див. рис. 2.6) було виготовлено макет осцилятора, зовнішній вигляд якого зображений на рис. 3.4, а розташування його основних елементів - на рис. 3.5.



Рис. 3.4. Зовнішній вигляд макету осцилятора.

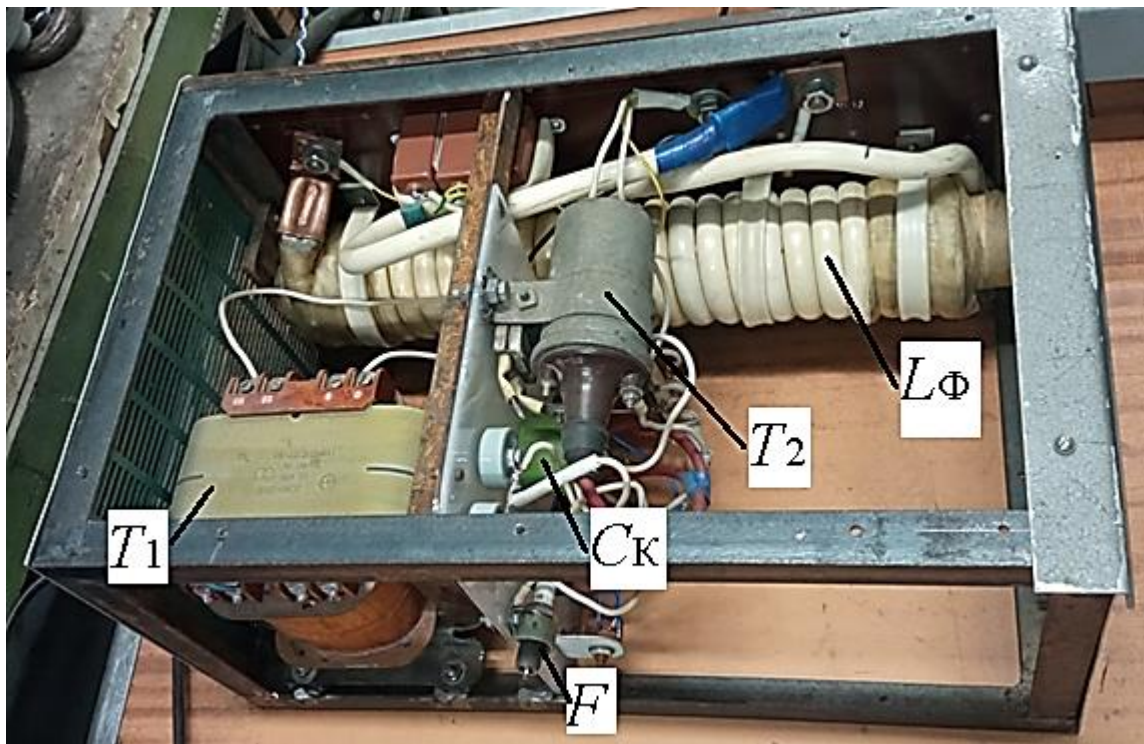


Рис. 3.5. Розташування елементів у корпусі осцилятора:

T_1 – трансформатор; C_k – високовольтний конденсатор; T_2 – котушка запалювання; F – свічка запалювання.

Особливість конструкції даного осцилятора полягає у використанні у ньому переважної більшості доступних (дешевих) та перевірених практикою елементів.

Так, лише котушка фільтра L_Φ потребує спеціального виготовлення. Вона містить 26 витків мідного кабелю перетином 95 мм^2 намотаних на керамічну трубку діаметром 25 мм. Решта елементів: трансформатор T_1 потужністю 1кВА (ОСМ1-1,ОУ3); конденсатор C_k ємністю 2000пФ на напругу 15 кВ, котушка запалювання T_2 (ВК-Б) та свічка запалювання F – є серійними виробами.

Стабільність процесу запалювання оцінювали візуально (рис. 3.6). Встановлено, що осцилятор надійно забезпечує початкове збудження дуги у всіх комбінаціях марок електродів та основного металу.



а



б

Рис. 3.6. Процес збудження зварювальної дуги між основним металом зразка та пучком електродів за допомогою осцилятора:

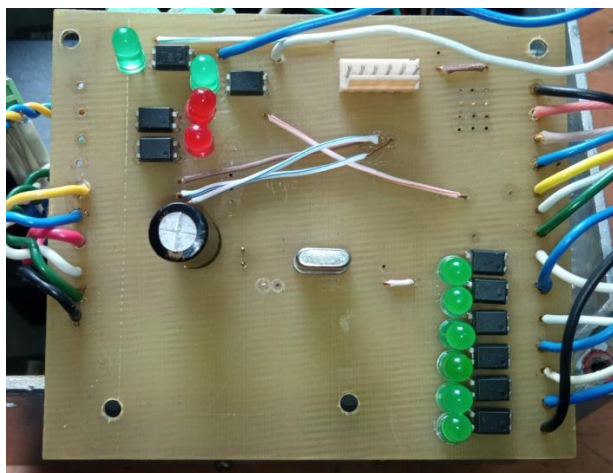
а – фронтальний вигляд; б – вигляд збоку.

Іскроутворення стабільне, з достатньою частотою для запалювання зварювальної дуги. Відмов та недоліків у роботі пристрою не виявлено.

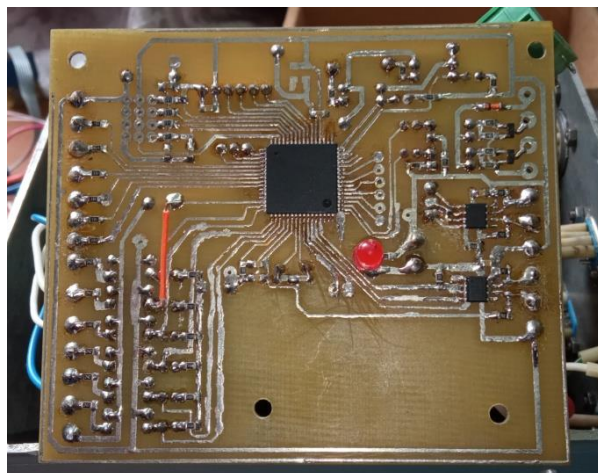
3.3. Забезпечення стійкості роботи системи за наявності технологічних збурень при наплавленні пучком електродів.

Другим етапом запланованих досліджень була оцінка роботи розробленої системи автоматичного регулювання швидкості подачі пучка електродів шляхом контролю сили зварювального струму. За розробленою

принциповою схемою контролера (див. рис. 2.5) було виготовлено друковану плату контролера системи керування установкою (рис. 3.7) та складений блок керування (рис. 3.8).



а



б

Рис. 3.7. Плата контролера системи керування:

а – сторона А; б – сторона Б.



Рис. 3.8. Загальний вигляд блоку контролера системи керування.

На лицьову панель блоку контролера виведені наступні роз'єми: X, Y, Z – для зв'язку з драйверами крокових двигунів; КІНЦЕВИКИ – для контролю датчиків кінцевих положень по кожній осі; ДАТЧИКИ – для зв'язку з датчиками лінійних переміщень по кожній осі; ПК – для зв'язку з ноутбуком.

За розробленою принциповою схемою (див. рис. 2.10) та створеним макетом було виготовлено друковану плату підсилювача сигналу датчика

Холла (рис. 3.9), а за схемою (див. рис. 2.8) було встановлено датчик на тримач пучка електродів (рис. 3.10).

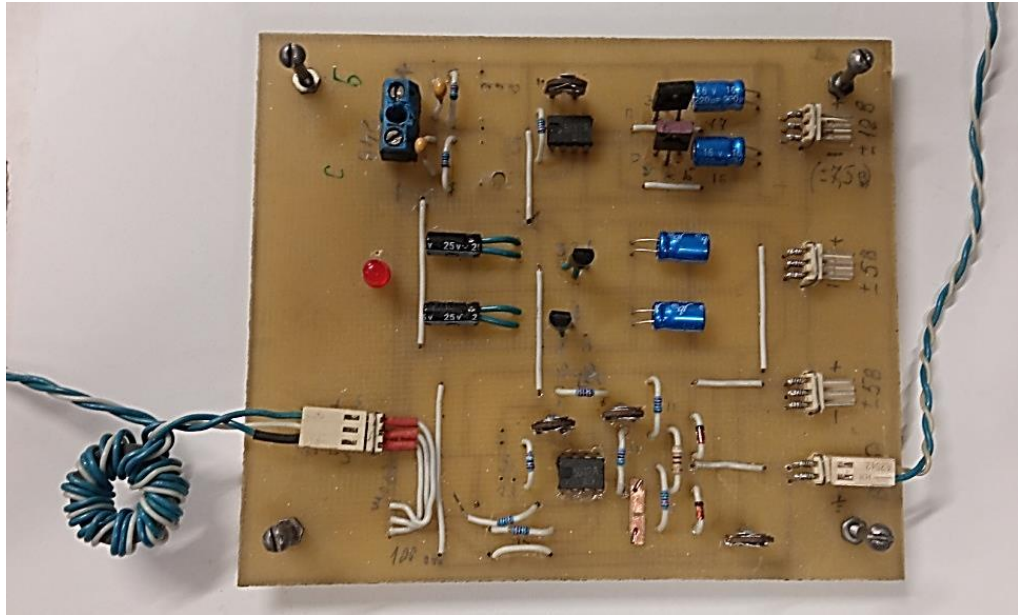


Рис. 3.9. Плата підсилювача сигналу датчика Холла.



Рис. 3.10. Датчик Холла з кільцем.

Робота автоматизованої системи керування полягає у наступному. Завдяки датчику Холла здійснюється контроль сили струму зварювання, а система керування відслідковує його рівень.

У разі його перевищення сили струму заданої величини (тобто при скороченні дугового проміжку між електродами та поверхнею, що наплавляється), система формує сигнал та подає команду на драйвер крокового двигуна осі Z на підняття пучка електродів.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР.131.6121м.02.05.03.ПЗ

Аркуш

Уразі збільшення зазору між електродами пучка та основою для наплавки (струм зменшується), система подає команду на драйвер крокового двигуна осі Z на опускання пучка електродів.

Таким чином забезпечується висока стійкість роботи системи за наявності технологічних збурень при наплавленні пучком електродів.

Візуальне спостереження за процесом наплавлення пучком електродів та роботою автоматичної системи подачі ілюструє рис. 3.11.



а



б



в



г

Рис. 3.11. Скриншот процесу дугового наплавлення пучком з трьох електродів.

Спочатку зварювальна дуга утворюється між одним з електродів пучка та основою для наплавки, котрий знаходиться ближче за інших до поверхні наплавлення (рис. 3.11).

Як тільки даний електрод оплавлюється на довжину близько 3 мм і відстань між ним і поверхнею, що наплавляється, за рахунок цього зростає, дуга перекидається на торець того з електродів, який виявиться ближче в даний момент до поверхні наплавлення. Примітно, що у проведеному дослідженні середній електрод плавиться більш інтенсивно за сусідні.

Внаслідок цього, поперемінно утворюючись на різних електродах, дуга розплавляє їх по черзі, а система керування здійснює відповідну подачу пучка у зону дуги.

Подача пучки триває до повного використання покритої частини електродів.

3.4. Дослідження роботи приводу подачі та приводів переміщення електродного пучка.

Для проведення даного дослідження на станині електроімпульсного копіювально-прошивочного верстату 4Б723М (див. рис. 2.1) були замінені штатні приводи переміщень по координатних осях X, Y, Z на крокові двигуни і змонтовані лінійки для вимірювання величини відповідних переміщень (рис. 3.12 – 3.14), а також див. рис. 3.1.

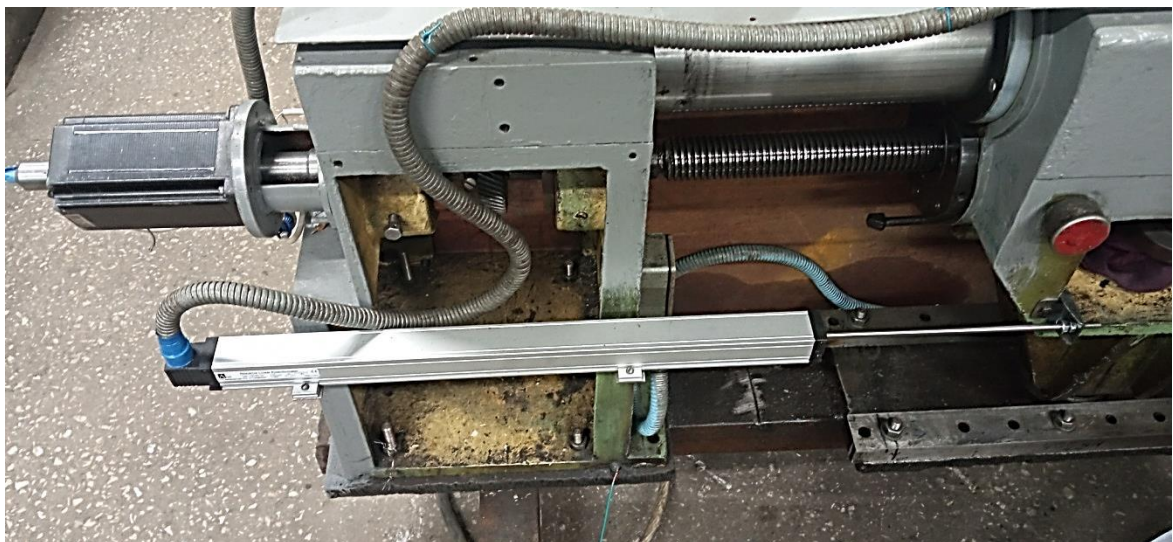


Рис. 3.12. Розташування крокового двигуна та лінійки вимірювання переміщення по осі X.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР.131.6121м.02.05.03.ПЗ

Аркуш

68

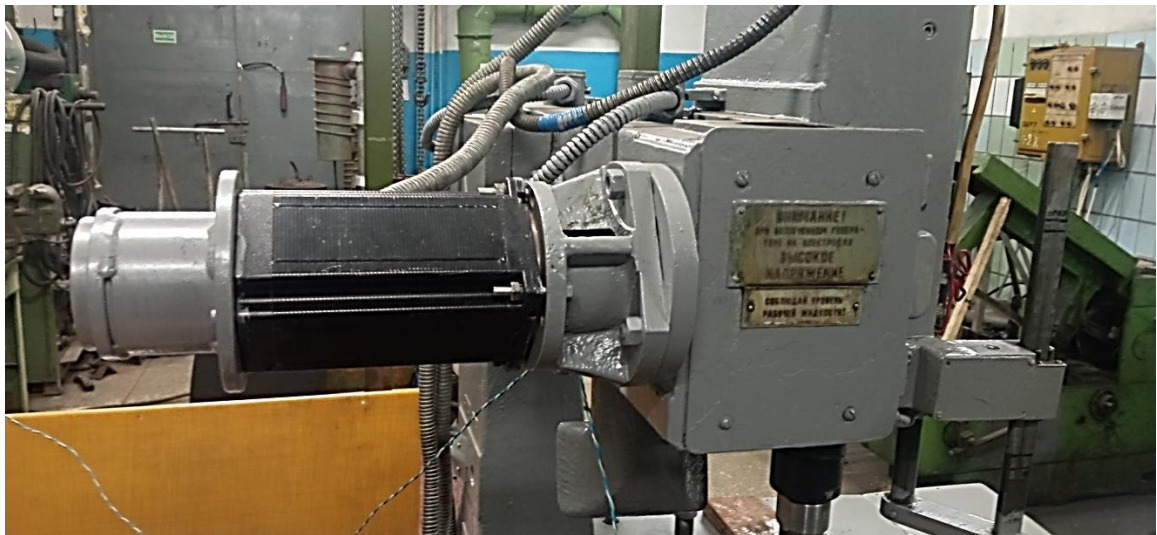


Рис. 3.13. Розташування крокового двигуна для переміщення вздовж осі Y.



Рис. 3.14. Розташування крокового двигуна та лінійки вимірювання переміщення по осі Z (праворуч встановлена лінійка вимірювання переміщення по осі Y).

Для точного вимірювання величин переміщень по осях за допомогою звичайної слюсарної лінійки з ціною поділки 1,0 мм була визначена необхідна кількість імпульсів, що подаються на драйвер крокового двигуна, для переміщення пучка електродів з кроком 1мм.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР.131.6121м.02.05.03.ПЗ

Аркуш

Подібним чином, експериментально, була визначена максимальна частота подачі керуючих імпульсів на драйвер крокового двигуна для переміщення пучка електродів на відстань 100 мм та зафіксовано час переміщення пучка з максимальною швидкістю. При цьому також встановлено, що визначена експериментально максимальна частота подачі імпульсів на драйвер є граничною для роботи вибраних крокових двигунів.

Результати дослідження зведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Результати дослідження роботи приводів переміщення пучка.

Переміщення, мм	Вісь					
	X		Y		Z	
	Кількість імпульсів					
1	2200		3255		500	
100	Час, с	Макс. частота, кГц	Час, с	Макс. частота, кГц	Час, с	Макс. частота, кГц
	36	3	54	3	8	2,9

Типова осцилограма сигналу, що передається з контролера на драйвер крокового двигуна, показана на рис. 3.15.

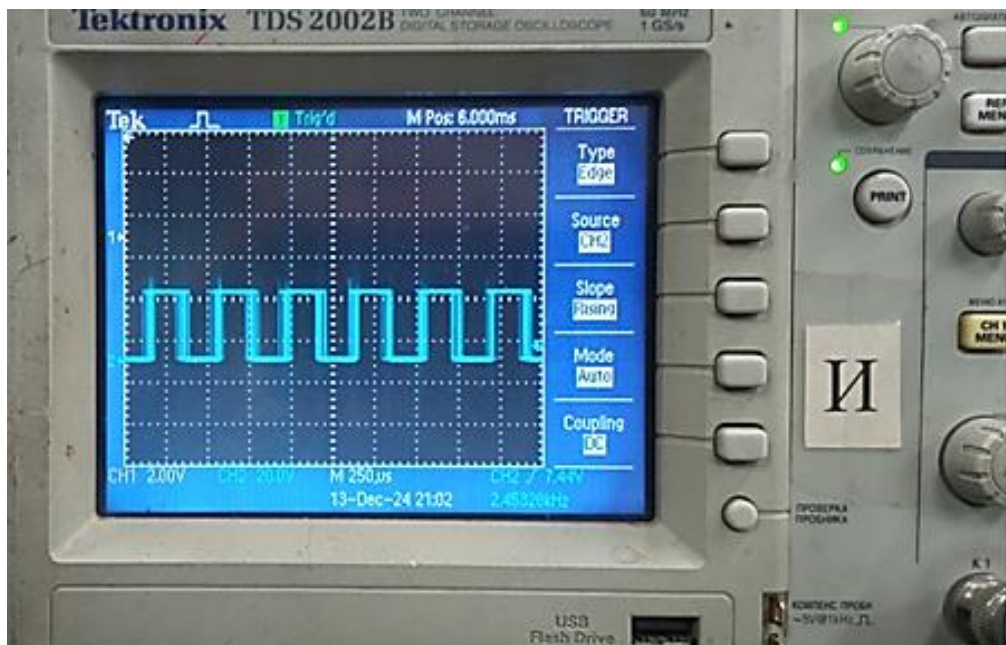


Рис. 3.15. Осцилограма сигналу на драйвері крокового двигуна.

Також експериментально була визначена необхідна напруга на виході потенціометричної лінійки кожної осі для забезпечення переміщення пучка електродів на 1мм.

Отримані під час дослідження результати були враховані та використані під час програмування роботи автоматичної системи керування наплавочною установкою. За допомогою програмного забезпечення AVR STUDIO була розроблена програма роботи наплавочної установки та зашита у процесор плати контролера.

З використанням програмного забезпечення C++Builder була створена оболонка програми керування роботою наплавочної установки з ноутбука. Особливість інтерфейсу програми (рис. 3.16) є його простота та зрозумілість і відсутність потреби у залученні спеціально навченого оператора.

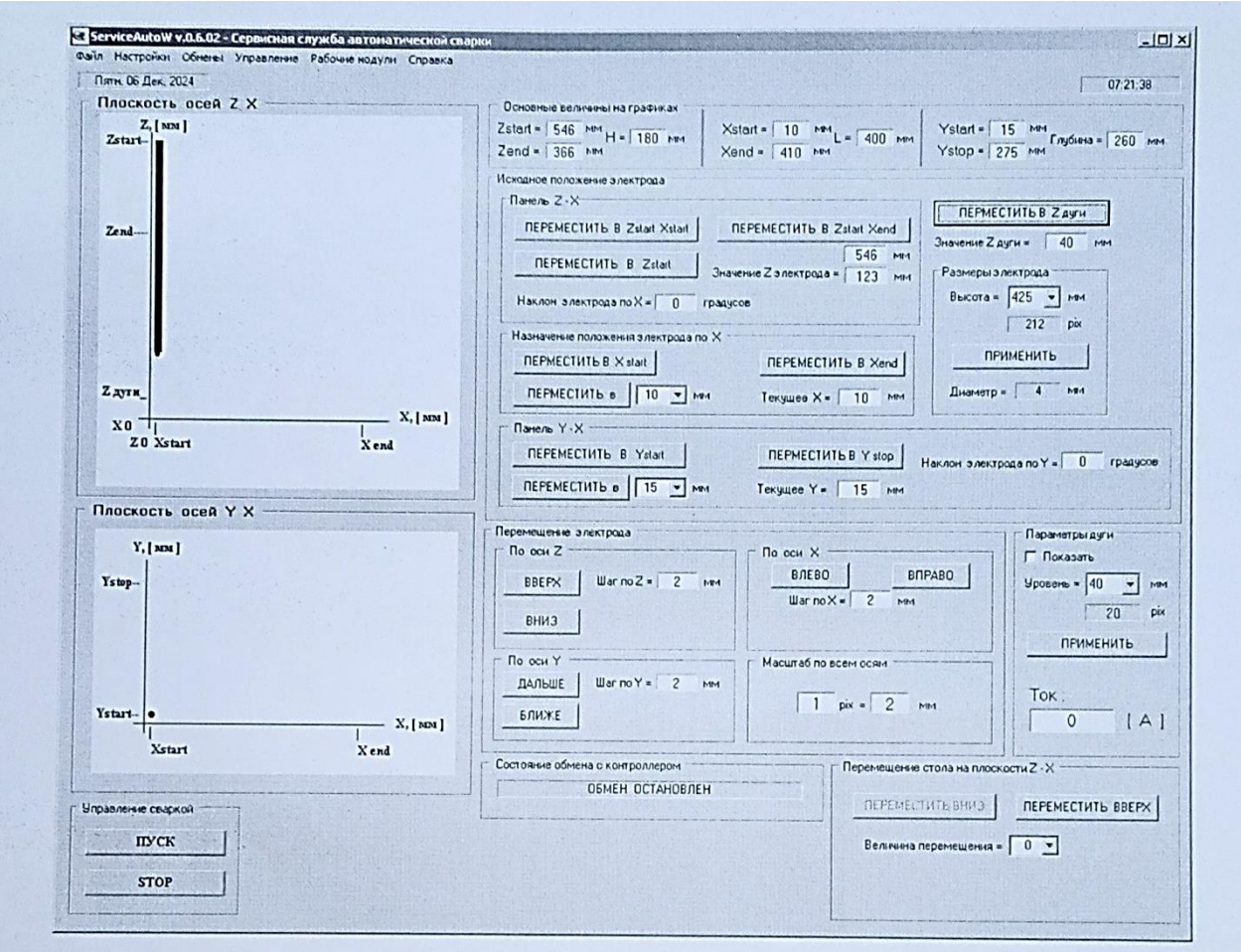


Рис. 3.16. Інтерфейс програми керування роботою наплавочної установки.

Висновки

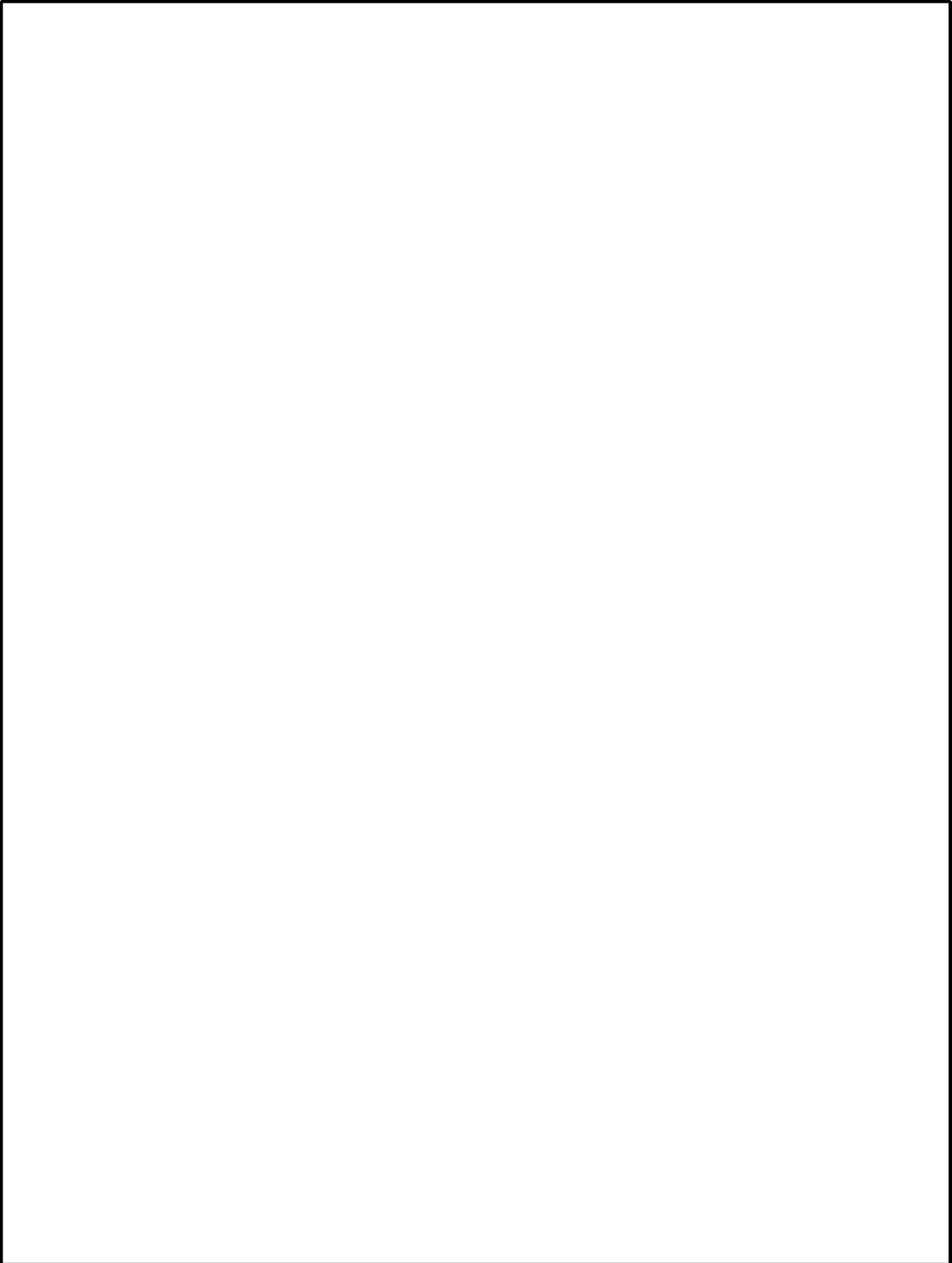
1. Виконана модернізація електроімпульсного копіювально-прошивочного верстату 4Б723М дозволила провести комплекс експериментальних досліджень для оцінки роботи розробленої системи автоматичного керування наплавленням пучком електродів.

2. Дослідження роботи блоку безконтактного збудження дуги (осцилятора) показала стабільність його роботи при використанні різних матеріалів дослідного зразка та покритих електродів у пучку. Особливістю сконструйованого осцилятора є використання перевірених практикою та недорогих елементів електричної схеми.

3. Перевіркою роботи блоків автоматичної системи з використанням датчика Холла і розробленої та виготовленої плати підсилювача сигналу зворотного зв'язку встановлена можливість стабілізації процесу наплавлення пучком електродів.

4. Проведене тестування системи керування приводами переміщень на базі крокових двигунів 86HS156, NEMA34 та драйверів SEA2D810 для переміщення пучка електродів за трьома осями, показало достатню точність підтримання заданих параметрів переміщень по координатних осях в діапазоні зміни швидкості в діапазоні від 0 до 10 мм/с зі стабілізацією параметрів режиму наплавлення.

5. Результати опробування на дослідній установці для автоматичного дугового наплавлення пучком електродів розробленої системи автоматичного керування та її програмного забезпечення свідчать про достатньо надійну роботу всіх її елементів.



					КР.131.6121м.02.05.04.ПЗ								
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата									
Розроб		Баша С.В.			Техніка безпеки та охорона парці при роботі наплавочної установки				Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір		Драган С.В.										73	10
Н. Контр.													
В.о.зав.каф.		Драган С.В.											

4. Техніка безпеки та охорона праці при роботі

наплавочної установки

4.1. Аналіз небезпечностей при експлуатації установки.

Загальні вимоги з охорони праці в Україні регламентовані Законом України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ «Про охорону праці» та відповідними нормативними актами (інструкціями, наказами) профільних Міністерств, відомств.[37]

Зварювальні роботи проводяться відповідно до вимог Наказу МНС України від 14.12.2012 року № 1425 «Про затвердження Правил охорони праці під час зварювання металів».

На підставі відповідних нормативних актів кожне підприємство видає свої накази та інструкції з охорони праці, що стосуються усіх аспектів починаючи з робочого одягу, правил безпеки при переміщенні по підприємству, пожежної безпеки ... та закінчуючи інструкціями з безпеки і правил охорони праці на кожному робочому місці відповідно до робіт, що виконуються.[38, 39]

При наплавленні на розробленій установці, слід строго дотримуватися правил техніки безпеки.[40-42] Якщо цього не робити, то можуть виникнути наступні небезпечності:

1. ураження електричним струмом;
2. отруєння токсичними газами та пилом, що виділяються при зварюванні;
3. ураження очей та відкритих ділянок шкіри ультрафіолетовим випромінюванням дуги;
4. ураження тепловим випромінюванням дуги;
5. опіки розплавленим металом – бризками, шлаком та гарячими деталями, на які наплавляють;
6. ураження очей при очищенні шлаку;
7. травмування виробом, на який виконується наплавлення;
8. травмування під час руху якогось з приводів.

Для проведення дослідницької частини в рамках даної роботи використовувалось різноманітне промислове та лабораторне обладнання. Тож доцільно розглянути правила експлуатації кожного.

Правила експлуатації осциляторів:

- використовувати осцилятори можна як у приміщеннях, так і поза ними;
- не рекомендується використання зварювальних осциляторів на відкритому повітрі, якщо на вулиці йде дощ або сніг;
- працювати з такими пристроями дозволяється за температури навколишнього повітря від -10 до $+40$ градусів Цельсія;
- використовувати осцилятори припустимо при рівні вологості навколишнього повітря, що не перевищує 98%;
- атмосферний тиск, при якому можна використовувати такі пристрої, має перебувати в інтервалі 85–106 кПа;
- не рекомендується використовувати такий пристрій у приміщеннях, атмосфера яких сильно забруднена пилом, їдкими парами та газами, які можуть зруйнувати ізоляцію та метал;
- починати роботу зі зварювальним осцилятором можна лише в тому випадку, якщо він надійно заземлений;
- перед початком роботи завжди слід перевіряти, чи правильно підключено пристрій у зварювальний ланцюг і чи справні його контакти;
- кожух осцилятора в процесі виконання зварювальних робіт завжди повинен бути одягнений на нього, знімати його можна тільки тоді, коли пристрій вимкнено від електричної мережі;
- робоча поверхня розрядника повинна завжди бути в чистоті, на ній не повинно бути слідів нагару. У разі появи нагару його необхідно позбутися за допомогою шліфувальної шкурки.

Правила експлуатації випрямляча зварювального ВД-306УЗ.[25]

Вказівка заходів безпеки.

- Для обслуговуючого персоналу, а також для всіх працівників, пов'язаних з експлуатацією випрямляча необхідно, обов'язкове дотримання « Правил

					КР.131.6121м.02.05.04.ПЗ	Аркуш
						75
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічної експлуатації електроустановок і правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕ і ПТБ), і ДСТУ 12.3.003-86 «Роботи електрозварювання». [43]

- До підключення до джерела живлення випрямляч повинен бути заземлений, для цієї мети випрямляч забезпечений болтом заземлення.

Один з вихідних затисків «+» або «-» і зварювальний стіл (плита) необхідно надійно заземлити.

- Забороняється:

- робота випрямляча без кожуха, із знятим дахом і стінками;
- користуватися заземленням одного випрямляча для заземлення іншого;
- переміщати випрямляч, не відключивши його від мережі;
- експлуатація випрямляча усередині металевих місткостей, колодязях, тунелях.

- При дуговому електрозварюванні слід застосовувати запобіжні засоби проти:

а) ураження промінням електричної дуги очей і відкритої поверхні шкіри;

б) опіків від розбризкування крапель розплавленого металу і шлаку;

в) отруєння газами, що виділяються при зварюванні;

г) вибуху при зварюванні судин, що знаходяться під тиском або місткостей з під горючих речовин, а також при роботі поблизу легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин;

д) пожежі від бризок розплавленого металу.

- Пам'ятайте, що напруга холостого ходу випрямляча є небезпечною, тому повинні бути вжиті заходи обережності, що виключають можливість зіткнення тіла людини з електродом і металевими частинами зварювальних затисків і кабелів.

При зміні електродів і перерві в роботі відключайте випрямляч від мережі.

- Забороняється використовувати як зворотний дріт зварювального ланцюга труби санітарно-технічних пристроїв.

- Для захисту очей і особи від випромінювань електричної дуги і бризок розплавленого металу обов'язково користуйтеся маскою зварювача.
- При роботі користуйтеся спеціальним одягом.
- Зачищайте зварювальні шви від шлаку тільки після повного охолодження і обов'язково в окулярах.
- Робоче місце зварювача повинне добре провітрюватися або штучно вентилюватися і відповідати санітарним нормам СН245-17.
- При проведенні зварювальних робіт, необхідно дотримувати заходи протипожежної безпеки: тимчасові місця проведення зварювальних робіт повинні бути очищені від горючих матеріалів і легкозаймистих рідин в радіусі не менше 3 метрів; місце проведення зварювальних робіт необхідне забезпечити засобами пожежогасіння (вогнегасник або ящик з піском, лопати і відро з водою); приступати до проведення зварювальних робіт можна тільки після виконання всіх вимог пожежної безпеки; використовуються тільки сухі електроди. При необхідності електроди повинні бути просушені при температурі 70...80С.
- **Увага!** Час безперервного горіння зварювальної дуги повинен бути обмежений (ПН 60%), щоб уникнути перегріву, тому періоди зварювання повинні чергуватися з обов'язковими перервами в роботі (паузами).

Правила експлуатації макету наплавочної установки.

1. Використовувати засоби особистого захисту;
2. Не залишати без нагляду установку, під час наплавлення;
3. Не потрапляти у робочу зону установки, під час наплавлення;
4. При виникненні аварійної ситуації, натиснути кнопку аварійного вимкнення.

4.2. Розрахунок електробезпеки (заземлення).

Одним із методів захисту людини від ураження електричним струмом є захисне заземлення, яке призначене для зниження електричного струму, що виникає на металевих частинах обладнання, до безпечного рівня. Принцип його дії полягає в тому, що між заземлюваним корпусом обладнання та

землею створюється металеве з'єднання високої провідимості, тому струм, що проходить через тіло людини, стає безпечним для життя.[40]

Напруга дотику буде тим меншою, чим меншим є опір заземлення. Згідно правил експлуатації електроустановок (ПУУ) опір не повинен перевищувати 4 Ом в установках із напругою до 1000 В та 0,5 Ом в установках із напругою вищою за 1000 В.[44]

Заземленню підлягають всі електроустановки вище 440 В постійного та 380 В змінного струму в приміщеннях із підвищеною небезпекою заземлення виконують при напрузі 42 В та вище змінного струму та 110 В і вище постійного струму.

В будівлях прокладають магістраль заземлення, яку з'єднують із заземлювачем не менше ніж у 2-х місцях. В якості природних заземлювачів рекомендують використовувати заземлювачі опор повітряних ліній електропередач, з'єднаних грозозахисними лініями. Або використовують штучні заземлювачі: стрижні з кутової сталі 50х50, 60х60, 75х75 з товщиною стінки не менше 4 мм, довжиною 2,5-3 м; сталеві труби діаметром 50-60 мм, довжиною 2,5-3 м з товщиною стінки не менше 3,5 мм; пруткова сталь діаметром не менше 10 мм, довжиною до 10 м і більше.

До складу установки входять три крокові двигуни з модулями керування, джерело високовольтного розряду (осцилятор), випрямляч зварювальний. Цей факт викликає необхідність з'єднання обладнання із контуром заземлення. Виконаємо розрахунок мінімально необхідних параметрів контуру заземлення для установки згідно з методикою [41].

Для визначення ефективності контуру заземлення необхідно розрахувати його опір розтіканню струму R_3 та порівняти із допустимим опором, згідно вимог ПУЕ $R_{\text{доп}} = 0,5$ Ом. Умова відповідності контуру: $R_3 < R_{\text{доп}}$.

В якості головного елемента контуру обираємо трубу діаметром $d = 5$ см. Для визначення опору однієї труби використаємо наступну формулу:

$$R_T = \frac{0,366\rho}{l} \left[\log \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \log \frac{4h+l}{4h-l} \right], \text{ Ом}, \quad (4.1)$$

де $\rho = 2,2 \cdot 10^3$ Ом - питомий опір ґрунту (замірювався за допомогою вимірювача опору М-416); $l = 300$ см – довжина труби; $h = 230$ см – глибина закладеної труби від поверхні землі до середини труби.

$$R_T = \frac{0,366 \cdot 2,2 \cdot 10^3}{300} \left[\log \frac{2 \cdot 300}{5} + \frac{1}{2} \log \frac{4 \cdot 230 + 300}{4 \cdot 230 - 300} \right] = 5,97 \text{ Ом.}$$

Визначимо приблизну кількість n вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{R_T}{R_{\text{доп}}}, \text{ шт,} \quad (4.2)$$

$$n = \frac{5,97}{0,5} = 11,94 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n = 13$ труб, труби розташовуємо трикутниками при цьому відстань між ними дорівнює довжині труби. Далі треба розрахувати довжину полоси, яка з'єднує вертикальні заземлювачі:

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n, \text{ м,} \quad (4.3)$$

де $a = 300$ см – довжина між трубами, тоді:

$$L = 1,05 \cdot 300 \cdot 13 = 4095 \text{ см}$$

Розрахуємо опір розтіканню струму лінії заземлюючої смуги:

$$R_n = 0,366 \frac{\rho}{L} \log \frac{L^2}{bn}, \text{ Ом,} \quad (4.4)$$

де $b = 20$ см – ширина смуги, тоді:

$$R_n = 0,366 \frac{2,2 \cdot 10^3}{4095} \log \frac{4095^2}{20 \cdot 13} = 0,945 \text{ Ом}$$

Загальний опір розтіканню струму розраховується за формулою:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\eta_2}{R_n} + \frac{n\eta_1}{R_T}}, \text{ Ом,} \quad (4.5)$$

де $\eta_1 = 0,72$ – коефіцієнт використання заземлювачів; $\eta_2 = 0,5$ – коефіцієнт використання з'єднувальної смуги.

$$R_3 = \frac{1}{\frac{0,5}{0,945} + \frac{13 \cdot 0,72}{5,97}} = 0,47 \text{ Ом.}$$

Таким чином, загальний опір розтіканню струму $R_3 = 0,47 < R_{\text{доп}} = 0,5$, тобто, параметри даного контуру можна вважати задовільними для заземлення наявного високовольтного устаткування. Схематичне зображення контуру заземлення зображено на рисунку 4.1.

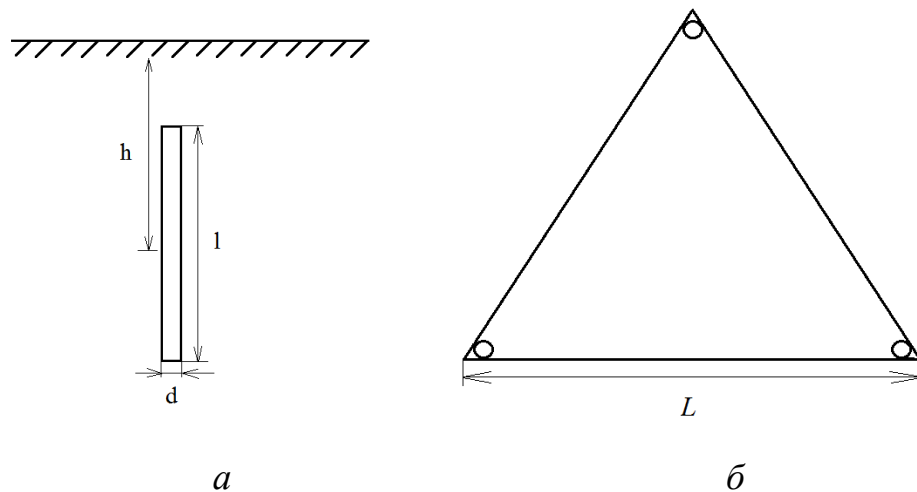


Рис. 4.1. Контур заземлення: а) схема залягання електродів в землі;
б) схематичне розташування електродів, з'єднаних смугою.

4.3. Охорона навколишнього середовища.

Питання з охорони навколишнього середовища є важливим під час організації виробництва.

У 1992 році Верховною Радою України був прийнятий закон «Про охорону навколишнього та природного середовища», спрямований на забезпечення вимог екологічної безпеки, охорони навколишнього та природного середовища, встановлення обов'язків суб'єктів виробничої діяльності з своєчасному здійсненню природоохоронних заходів. Стаття 50 закону проголошує: «Екологічна безпека – це такий стан навколишнього природного середовища, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей». Спеціальними нормативно-правовими актами – будівельними нормами та правилами, санітарно-гігієнічними правилами, технічними стандартами та нормативами визначаються норми та показники екологічної безпеки, обов'язкові для виконання під час прийняття та реалізації економічно значимих рішень. Ці норми встановлюють зобов'язання підприємств з сучасного здійснення природоохоронних заходів, що направлені на зниження та компенсацію негативного впливу виробництва на навколишнє природне середовище, здоров'я та власність людей. Закріплене

правило, згідно з яким фінансування природоохоронних заходів здійснюється за рахунок власних коштів підприємств та інших джерел.

В результаті зварювання та наплавлення наплавочною установкою, виникають викиди шкідливих речовин. При цьому $\frac{3}{4}$ об'єму цих шкідливих викидів видаляється звичайним шляхом - через вікна та отвори у стелях виробничих будівель. Тільки $\frac{1}{4}$ об'єму викидів видаляється з допомогою місцевої витяжної вентиляції, що мають пило-газоочисні пристрої: сухі інерційні пиловловлювачі, мокрі пиловловлювачі та тканинні фільтри, ефективність котрих низька. Ці пило-газоочисні пристрої дозволяють вловлювати крупно дисперсні тверді частки. Дрібнодисперсний пил та токсичні гази затримуються в меншій мірі.

Знешкодження газоподібних викидів, видалення токсичних продуктів, що містяться у пилу, можливе, за схемою, що наведена на рис.4.2.

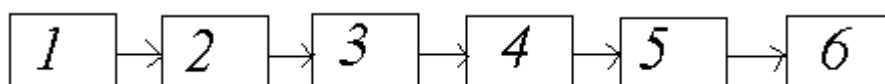


Рис.4.2. Схема очищення викидів

1 – відсмоктувач газів; 2 – циклон; 3 – промивна вежа;

4 – система зрошення; 5 – витяжний вентилятор; 6 – вихлопна труба

Дія цієї системи здійснюється наступним чином.

Аерозолі, що утворюються, витягуються відсмоктувачем 1 та направляються в циклон 2, для грубої очистки. Потім вони надходять в промивну вежу 3, що має систему зрошення 4, де очищується від дрібнодисперсного пилу та витяжним вентилятором 5 викидається через вихлопну трубу 6.

Для уловлювання високодисперсних аерозолів з ефективністю очищення 0,99, з частками 0,05...0,5 мкм, в вентиляційних системах необхідно використовувати фільтруючі матеріали типу ФП, при цьому доцільно застосовувати волокнові передфільтри, котрі мусять вловлювати частки крупніші 1мкм. Очистку витяжного вентиляційного повітря від газо- та пилоподібних домішок варто проводити в абсорберах.

Висновки

1. Були розглянуті основні небезпечності при експлуатації установки та наведені правила експлуатації кожного обладнання, які входять до її складу.

2. Розраховано захисне заземлення. Загальний опір розтіканню струму $R_3=0,47$ Ом. Параметри контуру заземлення задовільні для заземлення наявного устаткування. Зобразили схематично контур заземлення. В якості вертикальних заземлювачів обрали 13 труб та передбачили їхнє розташування трикутниками, при цьому відстань між ними дорівнює довжині труби. Розрахували довжину $L = 4095$ см та ширину $b = 20$ см полоси, яка з'єднує вертикальні заземлювачі.

3. Визначені основні фактори, що призводять до забруднення навколишнього середовища (викиди в атмосферу) при зварюванні та наплавленні.

4. Рекомендовані основні заходи з запобігання потрапляння газів, аерозолів та пилу в атмосферу.

					<i>КР.131.6121м.02.05.05.ПЗ</i>			
<i>Зм..</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ Докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>		<i>Баша С.В.</i>			<i>Розрахунок витрат на розробку та виготовлення системи керування дослідного зразка наплавочної установки</i>			
<i>Перевір</i>		<i>Драган С.В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>В.о.зав.каф.</i>		<i>Драган С.В</i>						
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>	
							<i>83</i>	<i>12</i>
					<i>НУК ім. адмірала Макарова</i>			

5. Розрахунок витрат на розробку та виготовлення системи керування дослідного зразка наплавочної установки.

У результаті викладених вище розробок було створено діючий макет наплавочної установки пучком плавких електродів. Орієнтовно розрахуємо витрати на проєктні розробки та виготовлення дослідного зразка такої установки.

Розрахунок витрат на розробку та на виготовлення дослідного зразка наплавочної установки виконаємо з урахуванням таких статей калькуляції:

- витрати на основну заробітну плату робітників;
- витрати на додаткову заробітну плату робітників;
- відрахування на соціальні заходи;
- визначення розміру матеріальних витрат;
- визначення розміру витрат на електроенергію;
- визначення розміру амортизаційних відрахувань;
- накладні витрати;
- інші витрати.

Витрати на основну заробітну плату робітників визначаються виходячи зі складу і чисельності колективу, розмірів місячної заробітної плати кожного з учасників колективу, а також трудомісткості роботи кожного.

Розрахунок основної заробітної плати учасників колективу здійснюється за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^n (Z_{\text{год}_i} \cdot t_i), \text{ [грн]}, \quad (5.1)$$

де n – кількість виконавців, зайнятих розробкою чи виготовленням установки; $Z_{\text{год}_i}$ – годинна заробітна плата i -го виконавця, [грн]; t_i – трудомісткість робіт, виконаних i -м виконавцем, [год].

Годинна заробітна плата визначається шляхом ділення місячної заробітної плати (оклад + надбавки) на кількість робочих годин у місяці (можна прийняти рівним 168 год.).

При цьому місячна заробітна плата визначається за фактичними даними підприємства:

$$З_{\text{год}i} = \frac{З_{\text{міс}i}}{168}, [\text{грн}], \quad (5.2)$$

де $З_{\text{міс}i}$ – середньомісячна заробітна плата i -го робітника.

Трудомісткість роботи програмістів визначається, виходячи зі складності розроблення програмного забезпечення і обсягу виконуваних функцій та узгоджується з керівником та складається з таких витрат праці:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{по}} + t_o + t_a + t_c + t_{\text{п}} + t_{\text{н}} + t_{\text{т}} + t_{\text{д}} \quad (5.3)$$

де $t_{\text{по}}$ – витрати праці на підготовку опису поставленої задачі (від 3-х до 5-ти днів по 8 год.) (люд.-год.); t_o – витрати праці на опис поставленої задачі, (люд.-год.); t_a – витрати праці на розроблення алгоритму рішення задачі, (люд.-год.); t_c – витрати праці на розроблення блок-схеми алгоритму, (люд.-год.); $t_{\text{п}}$ – витрати праці на створення та зв'язування модулів, (люд.-год.); $t_{\text{н}}$ – витрати праці на кодування програми, (люд.-год.); $t_{\text{т}}$ – витрати праці на налагодження та тестування програми на ПК, (люд.-год.); $t_{\text{д}}$ – витрати праці на оформлення документації (від 3-х до 5-ти днів по 8 годин), (люд.-год.).

Дослідний зразок наплавочної установки було розроблено та виготовлено за три місяці (приблизно 90 календарних днів).

Тоді трудомісткість роботи буде: програмістів ($t_{\text{пр}}$) та інженера електроніка ($t_{\text{інж}}$) (керівника проєкту) - 60 робочих днів по 8 год. роботи (три місяці); інженера-конструктора ($t_{\text{к}}$) - 20 робочих днів по 8 год. роботи (місяць); слюсаря-токаря ($t_{\text{сл}}$), електромеханіка ($t_{\text{ел}}$) та зварювальника ($t_{\text{зв}}$) - 40 робочих днів по 8 год. роботи (два місяці).

Розрахунок витрат на основну заробітну плату станом на 01.12.2024 р. виконаємо у формі табл. 5.1.

Витрати на додаткову заробітну плату. Витрати на додаткову заробітну плату включають виплати, передбачені законодавством про працю (оплата трудових відпусток, пільгових годин, інші виплати, не пов'язані з основною діяльністю виконавців), і визначаються за формулою:

					КР.131.6121м.02.05.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Таблиця 5.1. Розрахунок витрат на основну заробітну плату робітників.

№ за пор.	Посада	Місячна заробітна плата, грн	Годинна заробітна плата, грн	Трудовісткість робіт, год	Зарплата за тарифом, грн
1	Інженер-електронік	17665	105,15	480	50472
2	Інженер-конструктор	19975	118,9	160	19024
3	Програміст нижнього рівня	18040	107,38	480	51542
4	Програміст верхнього рівня	18040	107,38	480	51542
5	Електромеханік	16370	97,44	320	31181
6	Слюсар-токарь	18040	107,38	320	34362
7	Зварювальник	18040	107,38	320	34362
Разом витрати на основну заробітну плату робітників					272485

$$З_d = \frac{З_o \cdot Н_d}{100}, \quad (5.4)$$

де $З_o$ – витрати на основну заробітну плату, грн; $Н_d$ – норматив додаткової заробітної плати, рекомендується брати в межах 10–20 % (або за погодженням з консультантом з економічного розділу).

Відрахування на соціальні заходи.

Відповідно до чинного законодавства єдиний внесок на загальнообов'язкове державне соціальне страхування (єдиний внесок) - консолідований страховий внесок, збір якого здійснюється до системи загальнообов'язкового державного соціального страхування в обов'язковому порядку та на регулярній основі з метою забезпечення захисту у випадках, передбачених законодавством, прав застрахованих осіб на отримання страхових виплат (послуг) за діючими видами загальнообов'язкового

державного соціального страхування. Єдиний внесок нараховується на суму нарахованої кожній застрахованій особі заробітної плати за видами виплат, які включають основну та додаткову заробітну плату, інші заохочувальні та компенсаційні виплати, у тому числі в натуральній формі, що визначаються відповідно до Закону України "Про оплату праці", та суму винагороди фізичним особам за виконання робіт (надання послуг) за цивільно-правовими договорами.

Отже, відрахування на соціальні заходи (єдиний соціальний внесок) визначаються відповідно до чинних законодавчих актів за формулою:

$$P_{\text{соц}} = \frac{(З_0 + З_д) \cdot H_{\text{соц}}}{100}, [\text{грн}], \quad (5.5)$$

де $H_{\text{соц}}$ – норматив відрахувань на соціальні потреби, [%] (22% згідно з чинним законодавством станом на 01.12.2024 р.).

Визначення розміру матеріальних витрат. Визначення витрат на матеріали та окремі комплектуючі вироби (картридж, папір для друку, канцелярські приналежності, flash-пам'ять, електроди, припій, флюс, тощо) треба зробити з урахуванням вирішення поставленого конкретного завдання.

До складу матеріальних витрат потрібно включити витрати на профілактику у розмірі від 1,5 до 2 % від балансової вартості персональних комп'ютерів з периферією, зварювального випрямляча, токарного та свердлильного верстатів.

Розмір матеріальних витрат приблизно складає 5000 грн.

Визначення розміру витрат на електроенергію. Розмір витрат на електроенергію включає:

1. витрати на силову електроенергію;
2. витрати на електроенергію для освітлення.

Витрати на силову електроенергію (грн.) визначаються:

$$З_{\text{се}} = C_e \sum_{i=1}^n (t_i \cdot P_i), \quad (5.6)$$

де C_e – вартість 1 кВт/год (станом на 01.12.2024 р. $C_e = 4,32$ грн). Для розрахунків вартість 1 кВт/год електроенергії береться відповідно до 2 класу

					КР.131.6121м.02.05.05.ПЗ	Аркуш
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги (з ПДВ); P_i – потужність обладнання, на якому працює i -й працівник у кіловат-годинах.

У двох програмістів, інженера-електроніка та інженера-конструктора – це персональний комп'ютер (0,4 кВт). У зварювальника – зварювальний випрямляч (24 кВт). У слюсаря-токаря – токарний (1,5 кВт) та свердлильний (1 кВт) верстати. У електромеханіка – паяльник (0,04 кВт).

На роботу на токарному верстаті, на свердлильному та на монтаж слюсар-токаря витратить по третині всіх витрат праці відповідно.

Зварювальник на процес зварювання витратить половину витрат праці.

Витрати на електроенергію для освітлення визначаються за формулою:

$$Z_{oc} = C_e \sum_{i=1}^n (t_i \cdot P_{ocb_i}), \text{ [грн]}, \quad (5.7)$$

де P_{ocb_i} – потужність у кіловат-годинах, яка йде на освітлення місця роботи i -го працівника. Прийmemo $P_{ocb_i} = 100 \frac{\text{Вт}}{\text{год}}$ однакове для всіх робочих місць.

Загальні витрати на електроенергію розраховують за формулою:

$$V_{ел} = Z_{ce} + Z_{oc}, \text{ [грн]}. \quad (5.8)$$

Визначення розміру амортизаційних відрахувань. Визначення розміру амортизаційних відрахувань (V_a) визначається за формулою:

$$V_a = \frac{N_a}{12 \cdot 100} \cdot \sum_{i=1}^n (K_{б_i} \cdot T_{тм_i}), \text{ [грн]}, \quad (5.9)$$

де $K_{б_i}$ – балансова вартість обладнання на якому працює i -й працівник; N_a – річна норма амортизаційних відрахувань (приймаємо $N_a = 25\%$); $T_{тм_i}$ – тривалість праці i -го працівника у місяцях.

Балансова вартість одного ПК – 5000 грн; токарного верстату – 20000 грн; свердлильного верстату – 10000 грн; зварювального випрямляча – 5000 грн.

Накладні витрати. До накладних витрат відносять витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (заробітна плата апарату управління, канцелярські витрати і т. ін.), утримання та експлуатацію будівель. Накладні витрати включають у вартість розроблення програми

непрямим шляхом – у відсотках (30 – 50 %) до основної заробітної плати розробників за формулою:

$$З_{\text{н}} = \frac{З_{\text{о}} \cdot Н_{\text{нр}}}{100}, [\text{грн}], \quad (5.10)$$

де $H_{\text{нр}}$ – норматив накладних витрат.

Інші витрати. Інші витрати включаються до собівартості установки у відсотках від загальної суми раніше розрахованих витрат за формулою:

$$З_{\text{i.в.}} = \frac{(З_{\text{о}} + З_{\text{д}} + P_{\text{соц}} + З_{\text{н}}) \cdot Н_{\text{i.в.}}}{100}, [\text{грн}], \quad (5.11)$$

де $H_{\text{i.в.}}$ – норматив інших витрат, рекомендується брати в межах 5–10 % від загальної суми витрат на розробку та виготовлення.

Усі розраховані значення витрат на створення установки внесемо у табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Витрати на розробку та на виготовлення дослідного зразка наплавочної установки.

Стаття витрат	Сума, грн
Основна заробітна плата робітників	272485
Додаткова заробітна плата робітників	27248,5
Відрахування на соціальні заходи	65941,37
Матеріальні витрати	5000
Витрати на електроенергію	21668,26
Амортизаційні відрахування	1354,17
Накладні витрати	81745,5
Інші витрати	22371
Загальна сума витрат	497814

Висновки

1. Для економічного розрахунку витрат на проєктні розробки та виготовлення дослідного зразка наплавочної установки пучком покритих електродів визначено якісний та кількісний склад проєктної групи.

2. Розрахунок показав, що загальна сума витрат становить 497814 грн.

Загальні висновки

1. Виконана модернізація електроімпульсного копіювально-прошивочного верстату 4Б723М дозволила провести комплекс експериментальних досліджень для оцінки роботи розробленої системи автоматичного керування наплавленням пучком електродів.

2. Дослідження роботи блоку безконтактного збудження дуги (осцилятора) показала стабільність його роботи при використанні різних матеріалів дослідного зразка та покритих електродів у пучку. Особливістю сконструйованого осцилятора є використання перевірених практикою та недорогих елементів електричної схеми.

3. Перевіркою роботи блоків автоматичної системи з використанням датчика Холла і розробленої та виготовленої плати підсилювача сигналу зворотного зв'язку встановлена можливість стабілізації процесу наплавлення пучком електродів.

4. Проведене тестування системи керування приводами переміщень на базі крокових двигунів 86HS156, NEMA34 та драйверів SEA2D810 для переміщення пучка електродів за трьома осями, показало достатню точність підтримання заданих параметрів переміщень по координатних осях в діапазоні зміни швидкості від 0 до 10 мм/с зі стабілізацією параметрів режиму наплавлення.

5. Результати опробування на дослідній установці для автоматичного дугового наплавлення пучком електродів розробленої системи автоматичного керування та її програмного забезпечення свідчать про достатньо надійну роботу всіх її елементів.

6. Були розглянуті основні небезпечності при експлуатації установки та наведені правила експлуатації кожного обладнання, які входять до її складу.

7. Розраховано захисне заземлення. Загальний опір розтіканню струму $R_3=0,47$ Ом. Параметри контуру заземлення задовільні для заземлення наявного устаткування. Зобразили схематично контур заземлення. В якості вертикальних заземлювачів обрали 13 труб та передбачили їхнє розташування трикутниками, при цьому відстань між ними дорівнює довжині

					КР.131.6121м.02.05.00.ПЗ	Аркуш
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

труби. Розраховали довжину $L = 4095$ см та ширину $b = 20$ см полоси, яка з'єднує вертикальні заземлювачі.

8. Визначені основні фактори, що призводять до забруднення навколишнього середовища (викиди в атмосферу) при зварюванні та наплавленні.

9. Рекомендовані основні заходи з запобігання потрапляння газів, аерозолів та пилу в атмосферу.

10. Для економічного розрахунку витрат на проєктні розробки та виготовлення дослідного зразка наплавочної установки пучком покритих електродів визначено якісний та кількісний склад проєктної групи.

11. Розрахунок показав, що загальна сума витрат становить 497814 грн.

					КР.131.6121м.02.05.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Список використаних джерел інформації

1. <http://science.totalarch.com/book/3383.rar>
2. Патон Б. Е. Проблемы комплексной автоматизации сварочного производства Текст. / Б.Е. Патон // Автоматическая сварка. №1.- 1981.- с.3-9.
3. <http://weldingmuseum.com/assets/files/library/obshhie-knigi/35-svarka-v-sssr-v-2-t.-t.-1-razvitie-svarochnoj-tehniki-s-nauki-o-svarke.-tehnologicheskie-processy-svarochnye-materialy-i-oborudovanie.djvu>
4. Рабинович И.Я. Некоторые вопросы теории устойчивости источников питания и систем регулирования дуговой сварки // Новые проблемы сварочной техники. – Киев: Техника, 1964. –С. 384-387.
5. Милютин В.С. Источники питания для сварки / В.С. Милютин, В.А. Коротков. - Челябинск: Metallurgiya Urala, 1999.- 368 с.
6. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков.- М.: Машиностроение, 1970. -335 с.
7. Смірнов В.В. Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие / Под ред. В.В. Смірнова. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.- 656 с.
8. Белинский С.Н. Оборудование для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов / С.Н. Белинский, Б.А. Каганский, Б.Я. Темкин. –Л.: Енергія, 1975.-118с.
9. Лугин В.П. Возбуждение, стабилизация и ориентация дуги при сварке / В.П. Лугин. – Т.: Тул. политех. инст., 1980, - 56 с.
10. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги. / О.Н. Браткова. – М.: Высшая школа, 1982, - 182 с.
11. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/71955/1/milytin_2019.pdf
12. Патон Б.Е. Історія виникнення та розвитку теорії саморегулювання дуги при зварюванні електродом, що плавиться. Критичний аналіз існуючих представлень. / Б.Е. Патон, В.С. Сидорук, С.Ю. Максимов та ін. // Зварювальне виробництво, 2018, № 6, с. 2-13.
13. Ленивкин В.А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах: 2-е изд. / В.А. Ленивкин, Н.Г. Дюргеров, Х.Н. Сагиров. — М.: ГEFECT, 2011. — 368 с.

					<i>КР.131.6121м.02.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

14. Сварка в машиностроении: справочник в 4 т., Т.4 / под ред. Ю.Н. Зорина — М.: Машиностроение, 1979. — с. 9–41.
- 15.http://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://mospolytech.ru/sveden/files/B1.2.ED.4.2_Avtomatizaciya_svarochnyx_proceccov
16. Цибулькін Г. А. Визначення структури системи з саморегулюванням швидкості плавлення електрода / Г.А. Цибулькін // Автоматичне зварювання. 2017. № 7, с 3-8.
17. Потап'євський А.Г. Зварювання у захисних газах електродом, що плавиться. Ч.1 / А.Г. Потап'євський.— К.: Екотехнологія, 2007.— 192 с.
18. Металургія дугового зварювання. Процеси у дузі та плавлення електродів / під.ред. І.К. Походні. — К.: Наукова думка, 1990. — 244 с.
19. Костін О.М., Ярослав О.О., Ярослав Ю.О., Савенко О.В. Комплекс УПЕ-500 для визначення зварювально-технологічних характеристик покритих електродів. // Автоматичне зварювання, 2021, № 8, – С. 47-52.
20. Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги / А.Г. Мазель. – М.: Машиностроение, 1969. — 178 с.
21. Патон Б. Е, Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки / Б. Е. Патон, В. К. Лебедев.- М.: Машиностроение, 1966.- 359 с.
22. Патон Б. Е. Промышленные роботы для сварки. / Б. Е. Патон., Г. А. Спиноу, В. Г. Тимошенко - К.: Наук. думка, 1977.- 227 с.
23. Потап'євський А.Г. Зварювання у захисних газах електродом, що плавиться.Ч.1. – К.: Екотехнологія, 2007.— 192 с.
24. В. Ф. Мухін. Сучасні технологічні процеси та устаткування для зварювання електродом, що плавиться у середовищі захисних газів: навч. пос. / В. Ф. Мухін, Є. М. Єремін. – О., Видавництво ОМГТУ,-2014. – 140 с.
25. Паспорт на випрямляч зварювальний ВД-306УЗ – С., 2008. – 12с.
26. В.І. Голошубов Зварювальні джерела живлення: Навчальний посібник.-К.: Арістей, 2005.-448с.
- 27.http://mini-tech.com.ua/download/datasheet/sensor/SS49e_Hall_Sensor_Datasheet.pdf

					КР.131.6121м.02.05.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

28. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. Том 2, М.:Снергоатомиздат, 1989.-688с.
29. http://geekmatic.in.ua/ua/vibor_shagovogo_dvigatelja
30. Самохвалов Я.А. Справочник техника-конструктора / Я.А. Самохвалов, Левицкий М.Я., Григораш В.Д. – М.: Техника, - 1975, - 568 с.
31. Анурьев В.П. Справочник конструктора-машиностроителя, кн. 2 / - М.: Машиностроение, 1973. – 576 с.
32. Дмитриев В.А. Детали машин / В.А. Дмитриев В.А. - Л.: Судостроение, 1970. – 792 с.
33. <http://mtech.com.ua/product/shagovyj-dvigatel-86hs156-6204-62a-1-8>
34. Немцева Э.П. Опыт применения метода сварки пучком электродов. / Э.П. Немцева - М.: Морской транспорт, 1955. – 28 с.
35. Володин В.С. Метод ручной дуговой электросварки пучком электродов. / В.С. Володин. - М. 1947, - 24с.
36. Володин В.С. Скоростной метод ручной дуговой сварки пучком электродов./ В.С. Володин, А.С. Щеканенко. - М. 1947, - 14 с.
37. Відомості Верховної Ради України №49, 1992.
38. Інструкція з охорони праці №255 для електрозварювальників ручного зварювання / ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».
39. Робоча інструкція електро-газозварника / ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», ЦНДіТЗ ВТ.
40. Охорона праці / В.Г. Грибан, О.В. Негодченко, Центр учбової літератури, 2019. – 280с.
41. Охорона праці на підприємстві/ В.А. Изгородін, Видавництво «Форт», 2019. – 440с.
42. Основи охорони праці / О. Запорожець, О. Протоєрейський, Центр учбової літератури, 2021. – 264с.
43. Правила безпечної експлуатації електропристроїв / 2019. – 152с.
44. Правила улаштування установок / Міненерговугілля України, Київ, 2017. – 617с.