МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт

Виконав: студент IV курсу, групи 6.171.12
спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Електроніка
(код і назва освітньої програми)

Р. В. Сухенко
(ініціали та прізвище)

Керівник старший викладач Гуренцев К.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент дир. ТП "НВКФ "ЕКОТЕХ" Шарапов С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)
Освітня програма Електроніка
(код і назва)
Спеціалізація

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Критська Т.В.
"9" 02 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Сухенко Роман Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт

керівник роботи Гуржиєв Костянтин Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "23" грудня 2025 року № 1830-с

2 Строк подання студентом роботи 15.06.2026 р.

3 Вихідні дані до роботи Джерело живлення - однофазна промислова мережа 50 Гц, напруга живлення - 220,0 ± 22,0 В, вихід потужність - 1,0 кВт, вихідна напруга - 35,0 В струм навантаження - 30,0 А

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Бібліографічна. Аналіз джерел живлення, 2 Вибірка джерела живлення установки гальванопластики, 3. Розрахункова частина, 4 Конструкторсько - технічна частина, 5. Техніко - економічне обґрунтування.

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

1. Джерело живлення. Схема електрична структурна. 2. Джерело живлення. Схема електрична функціональна з джерелом живлення. Схема електрична принципова. 4. Джерело живлення. Результати моделювання. 5. Загальні характеристики. 6. Економічні показники

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Гуртовий К.О, старший викладач	09.02.26	03.03.26
2	Гуртовий К.О, старший викладач	08.03.26	07.04.26
3	Гуртовий К.О, старший викладач	07.04.26	05.05.26
4	Гуртовий К.О, старший викладач	05.05.26	17.05.26
5	Гуртовий К.О, старший викладач	17.05.26	30.05.26

7 Дата видачі завдання 09.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз ринку джерел живлення	03.03.2026	
2.	Розробка джерела живлення	07.04.2026	
3.	Розрахункова частина	05.05.2026	
4.	Конструкторська частина	17.05.2026	
5.	Техніко-економічне обґрунтування	30.05.2026	
6.	Оформлення пояснювальної записки	06.06.2026	
7.	Оформлення графічної частини	15.06.2026	

Студент _____ Сухий Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Гуртовий К.О
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Гуртовий К.О
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 89 стор., 17 рис., 16 табл., 20 джерел літератури.

ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА, ЕЛЕКТРОЛІТИЧНА ВАННА, СТРУМ, НАПРУГА, МЕТАЛЕВЕ ПОКРИТТЯ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, РЕВЕРС, ПОЛЯРНІСТЬ, ТРАНСФОРМАТОР, ДРОСЕЛЬ, ВЕНТИЛЬ, ТИРИСТОР

У дипломному проекті розглянуті основні параметри електролітичних процесів нанесення металевих покрить, виконаний аналіз ринку сучасних джерел живлення гальванічних ванн, які виробляються в Україні і проаналізовані їх переваги та недоліки.

Відповідно до завдання на проектування, розроблено та описано структурну, функціональну та принципову схеми установки гальванопластики і її джерела живлення. Виконано аналіз управляючих та інформаційних сигналів системи управління джерела живлення.

Виконані розрахунки необхідних вихідних параметрів джерела живлення, що забезпечують можливість нанесення покриттів кольорових металів (срібла, міді, хрому тощо) на матрицю та параметрів елементів силової частини однофазного реверсивного випрямляча.

Наведено результати моделювання електромагнітних процесів у схемі керованого однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом. Розглянуто питання охорони праці при пайці і випалюванні ізоляції, виконано розрахунок заземлювального пристрою.

В економічній частині виконано розрахунок собівартості виробу

Роботу виконано на кафедрі ЕІСПЗ ІННІ ім. Ю.М Потебні ЗНУ з 09.02.2026 по 07.06.2026.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ 6

1 ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА. АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВОК ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ 8

1.1 Основні параметри електролітичних процесів 10

1.2 Джерела живлення установок гальванопластики 15

1.2.1 Продукція компанії BVP Electronics 15

1.2.2 Продукція компанії ЕТАЛОН-ПРИЛАД 18

1.3 Постановка завдання на проектування 23

2 ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВКИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ ПОТУЖНІСТЮ 1 КВТ 26

2.1 Опис електричної структурної схеми установки гальванопластики 26

2.2 Аналіз управляючих та інформаційних сигналів системи управління 29

2.3 Опис електричної функціональної схеми джерела живлення 32

2.4 Опис електричної принципової схеми джерела живлення 39

3 РОЗРАХУНОК ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВКИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ ПОТУЖНІСТЮ 1 КВТ 44

3.1 Визначення основних характеристик установки гальванопластики 44

3.2 Розрахунок параметрів елементів силової схеми випрямляча 47

3.2.1 Розрахунок напруги вторинної обмотки трансформатора 49

3.2.2 Визначення напруги холостого ходу керованого випрямляча 50

3.2.3 Розрахунок основних параметрів силової частини випрямляча 54

3.2.4 Розрахунок коефіцієнтів пульсації випрямленої напруги 57

3.2.5 Розрахунок індуктивності згладжуючого дроселя 58
4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 60
4.1 Моделювання електромагнітних процесів у схемі однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом 60
4.2 Опис шкідливих факторів і заходів з охорони праці при виготовленні виробу 64
4.2.1 Охорона праці при пайці і випалюванні ізоляції 64
4.2.2 Розрахунок захисного заземлення 70
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВКИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ 74
Висновки 82
Перелік джерел посилання 83
Додаток А 85
Додаток Б 87

ВСТУП

Гальванопластика – технологія формоутворення металевих виробів шляхом електрохімічного осадження металу на поверхню спеціально підготовленої форми (матриці). Дана технологія дозволяє створювати точні копії предметів із відтворенням найдрібніших деталей рельєфу поверхні. Товщина шару, що нарощується, становить від 0,25 до 2 міліметрів, що робить технологію універсальною для виготовлення як тонкостінних, так і міцних товстостінних металевих виробів.

Гальванопластика є розділом гальванотехніки, що ґрунтується на процесі електролізу. На відміну від традиційного гальванічного покриття, при якому метал, з метою захисту або декорування, наноситься на виріб тонким шаром, гальванопластика створює самостійний металевий виріб, який після завершення процесу відокремлюється від форми (матриці).

Метод нанесення металів за допомогою електричного струму було відкрито видатним фізиком та електротехніком Борисом Семеновичем Якобі у 1838 році. Першим виробом стала копія монети, отримана електрохімічним шляхом. У жовтні 1838 року вчений представив своє відкриття Петербурзької академії наук. Перший посібник із застосування технології було випущено в 1840 році.

Відкриття Якобі започаткувало нову еру в металообробці. Технологія швидко поширилася у Європі та використовувалася для копіювання творів мистецтва, створення скульптур та виготовлення друкованих форм. У XX столітті гальванопластика стала застосовуватись у промислових масштабах.

Технологічний процес заснований на явищі електролізу і полягає у розкладанні речовини з подальшим нанесенням її на поверхню фори під дією електричного струму. При пропусканні постійного струму через електроліт, іони металу анода, що розчиняється, переміщаються до катода і осаджуються на його поверхню, утворюючи щільний металевий шар. Швидкість нарощування товщини металевого покриття залежить від щільності струму,

температури електроліту та його хімічного складу.

Основними компонентами установки гальванопластики є:

- електролітична ванна із розчином солей металу; - розчинний анод з металу, що осаджується;

- катод – матриця з струмопровідним покриттям;

- джерело постійного струму;

- система контролю, регулювання та стабілізації температури електроліту;

- система контролю, регулювання та стабілізації струму електролітичної ванни.

Форми (матриці) виготовляються з металевих та неметалічних матеріалів. Металеві форми виготовляються з алюмінію, міді, латуні або сталі з наступним нанесенням шару. Неметалічні форми створюються із воску, гіпсу, пластмас або силіконів. Якість кінцевого виробу залежить від правильної підготовки форми (матриці).

Гальванопластика має низку незаперечних переваг перед традиційними методами металообробки:

- висока точність відтворення мікрорельєфу досягається без додаткової механічної обробки.

- можливість виготовлення тонкостінних виробів складної форми недоступна для лиття або штампування.

- технологія забезпечує невелику вагу готових виробів у порівнянні з литими аналогами.

- відсутність механічних напруг у матеріалі гарантує стабільність розмірів.

- висока повторюваність результатів дозволяє тиражувати вироби із збереженням усіх параметрів.

1 ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА. АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВОК ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ

Гальванічний елемент (гальванічна пара) утворюється при контакті двох різних металів в рідкому електропровідному середовищі за рахунок різниці електродних потенціалів, яка при цьому виникає. Схематично гальванічний елемент показаний на рисунку 1.1.

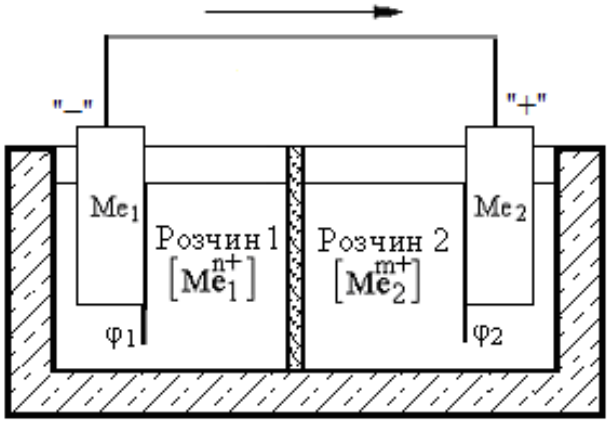


Рисунок 1.1 – Гальванічний елемент

Якщо обидва метали з'єднати провідником, по якому електрони переміщаються від більш негативного електроду до менш негативного (від Me_1 до Me_2), як показано на рис. 1.1 стрілкою, то перший метал почне розчинятися унаслідок безперервного переходу його в розчин у вигляді іонів. Розчинний електрод називають анодом, роль якого в гальванічному елементі виконує негативно заряджений електрод, на відміну від електролізного вічка, де під дією електричного струму від зовнішнього джерела розчинним електродом (анодом) є позитивно заряджений електрод [1].

При нанесенні металевих покриттів на деталях приладів і машин утворюються сполучення різнорідних металів, і для забезпечення надійного захисту від корозії деталей використовують таке покриття, яке в парі з металом деталі служитиме анодом (анодне покриття). Так, для сталевих деталей

анодними покриттями є цинк, кадмій, алюміній, і в тому випадку, якщо в пори покриття або в місця його пошкодження проникне волога і почнеться корозійний процес, розчиненню піддаватиметься не метал деталі, а покриття. Анодне розчинення металу в результаті дії гальванічної пари є одним з головних чинників, що прискорюють процес корозії.

У таблиці 1.1 приведені дані про допустимі і недопустимі пари металів, що сполучаються, в конструкціях, розрахованих на експлуатацію в тяжких умовах. Знаком «+» відмічені допустимі пари, а знаком «–» – недопустимі.

Таблиця 1.1 – Допустимі і недопустимі контакти між металами [1]

Метал	Ag, Au, Pt, Pd	Хромонікелева сталь	Хром	Мідь і її сплави	Нікель	Олово і його сплави	Титан	Хромиста сталь	Вуглецева сталь	Кадмій і цинк	Алюміній (оксидований)	Алюміній	Магній
Ag, Au, Pt, Pd	+	+	+	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Хромонікелева сталь	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
Хром	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Мідь і її сплави	+	+	–	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Нікель	–	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
Олово та його сплави	–	+	–	–	+	+	+	–	–	–	+	–	–
Титан	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
Хромиста сталь	+	+	+	–	+	–	+	+	–	–	–	–	–
Вуглецева сталь	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–
Кадмій і цинк	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	–
Алюміній (оксидований)	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	+	+	–
Алюміній	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–
Магній	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+

Існують різні способи захисту виробів від корозії; до найбільш поширених відносяться захисні покриття: металеві, хімічні, емалеві та лакофарби.

Залежно від способу нанесення, металеві покриття можуть бути електролітичні (гальванічні), гарячі, дифузійні й тому подібне.

Гальванічні покриття отримують за допомогою виділення металів з розчинів їх солей під дією електричного струму. Деталі, що покриваються, служать катодами, а анодом – допоміжний електрод, підключений до позитивного полюсу джерела струму [1].

1.1 Основні параметри електролітичних процесів

Основним параметром, що характеризує процес електролізу, є щільність струму на катоді $D_к$ або на аноді D_a, що є відношенням сили струму до площі електроду. Щільність струму виражають в А/м^2 (частіше застосовується А/дм^2 як робоча одиниця) [2].

Відповідно до закону Фарадея кількість речовини, що виділилася на катоді або розчинилася на аноді, прямо пропорційна кількості електричної енергії, яка проходить через розчин. Кількість електричної енергії може бути виражена числом кулонів (1Кл = 1А·1с). Для виділення на катоді одного грам-еквіваленту будь-якої речовини необхідно пропускати через електроліт 96 500 Кл, або 96,5 ККл. Кількість речовини, яка виділяється при проходженні через електроліт одиниці кількості електричної енергії, називають електрохімічним еквівалентом [2].

На катоді окрім осадження металу відбуваються побічні процеси, до яких відносяться: виділення водню, відновлення металів до нижчої валентності (Fe^{3+} до Fe^{2+}), а також відновлення органічних речовин, що попали в електроліт. В результаті цього сумарна кількість електричної енергії, що витрачається на виділення речовини, перевищує кількість електричної енергії, розрахованої за законом Фарадея [2].

Значення електрохімічних еквівалентів речовин наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Електрохімічні еквіваленти [2]

Хімічний елемент	Валентність	Електрохімічний еквівалент		Хімічний елемент	Валентність	Електрохімічний еквівалент	
		мг / Кл	г / (А·ч)			мг / Кл	г / (А·ч)
Алюміній	3	0,093	0,335	Нікель	2	0,304	1,095
Вісмут	3	0,720	2,600	Олово	4	0,307	1,107
Водень	1	0,010	0,038		2	0,615	2,214
Залізо	3	0,193	0,694	Паладій	2	0,553	1,990
	2	0,289	1,042	Платина	2	1,011	3,640
Золото	3	0,681	2,452	Родій	3	0,356	1,280
	1	2,044	7,370	Свинець	2	1,074	3,865
Індій	3	0,399	1,429	Срібло	2	1,118	4,025
Кадмій	2	0,582	2,097	Сурма	3	0,421	1,514!
Кисень	2	0,083	0,298	Хлор	1	0,367	1,323
Кобальт	2	0,305	1,099	Хром	6	0,090	0,324
Марганець	2	0,285	1,025		3	0,180	0,648
Мідь	2	0,330	1,186	Цинк	2	0,339	1,220
	1	0,659	2,372	--	--	--	--

Це явище характеризується коефіцієнтом корисного використання струму, або виходом по струму, який визначається відношенням:

$$\eta = \frac{q_{\text{т}}}{q_{\text{п}}} 100 = \frac{m_{\text{ф}}}{m_{\text{т}}} 100,$$

де: q_m, q_n – кількості електричної енергії, що теоретично (за законом Фарадея) і практично витрачається на одиницю продукту, відповідно;

$m_ф$, m_m – кількості речовини, що фактично і теоретично виділяються на електроді, відповідно.

У гальванотехніці значення виходу по струму визначається відношенням кількості металу, що відклався на катоді (катодний вихід по струму) або

розчинився на аноді (анодний вихід по струму), до кількості металу, розрахованого за законом Фарадея.

Відповідно до закону Фарадея розрахунок товщини δ, мкм металевого покриття, що облягає, робиться по формулі:

$$\delta = \frac{3{,}6 D_к C \eta T}{\gamma},$$

де: $D_к$ – рекомендована для даного електроліту і його температури катодна щільність струму, *А / дм²*;

C – електрохімічний еквівалент, *мг / Кл*;

η – вихід по струму %;

T – тривалість процесу електролізу, *год.*;

γ – щільність металу, *г / см³*.

Для розрахунку часу, необхідного для осадження покриття заданої товщини δ, користуються співвідношенням [2]:

$$T = \frac{\delta \gamma}{3{,}6 D_к C \eta},$$

Визначення часу витримки в гальванічних ваннах залежно від катодної щільності струму роблять зазвичай по довідкових таблицях. При орієнтовних визначеннях часу витримки зручно користуватися даними таблиці 1.3, де представлені швидкості осадження покриття для різних електролітів при щільності струму *I А / дм²*.

Сила струму на ванну встановлюється по формулі [2]

$$I = D_к S,$$

де: S – поверхня деталей, що покриваються, з врахуванням поверхні підвісних

пристосувань, що становить *5…10 %* від сумарної поверхні деталей, *дм*^{2}.

Таблиця 1.3 – Швидкість осадження покриттів [2]

Метал	Тип електроліту	Вихід по струму %	Швидкість осадження, мкм / год.
Цинк	Кислий	96	17
	Ціаністий	80	14
Кадмій	Кислий	95	23
	Ціаністий	90	22
Олово	Кислий	90	27
	Лужний;	65	8
Мідь	Кислий	100	13
	Ціаністий	60	16
Нікель	Кислий	96	12
Хром	Кислий	13	0,6
Свинець	Кислий	100	33
Срібло	Ціаністий	100	37
Золото	Ціаністий	70	13
Паладій	Аміачний	90	15

Напруга на ванну визначається з метою правильного вибору джерела струму і для стаціонарних ванн обчислюється за формулою:

$$U = (1 + \beta)[\phi_{\text{а}} - \phi_{\text{к}} + (1 + \alpha)I \cdot R] ,$$

де: β – коефіцієнт, що враховує втрати напруги на контактах деталей, що покриваються, з підвісним пристосуванням;

φ_a, $\varphi_к$ – потенціали анода і катода, відповідно, В;

α – коефіцієнт, що враховує втрати напруги в електроліті за рахунок газонаповнення;

I – сила струму на ванну, А;

R – опір електроліту, Ом.

У таблиці 1.4 представлені всі необхідні для розрахунку відомості та значення для найбільш поширених електролітів.

Таблиця 1.4 – Основні параметри гальванічних ванн [2]

Електроліт	Щільність струму, А/дм^2		Потенціал, В		Питома електропровідність Ом$^{-1}$·см$^{-1}$	Коефіцієнти	
	$D_к$	$D_а$	$\varphi_к$	$\varphi_а$		α	β
1	2	3	4	5	6	7	8
Хромування	27,0	10,0	–0,80	+ 1,80	0,60	0,20	0,10
Нікелювання	1,0	0,5	–0,68	+0,30	0,40	0,01	0,05
Цинкування:							
ціанистий	1,0	1,0	–1,70	–1,20	0,20	0,10	0,04
цинкатний	2,0	1,0	–1,45	–1,50	0,30	0,02	0,04
амміакатний	1,0	1,0	–1,40	–0,90	0,11	0,02	0,04
кислий	1,0	1,0	–0,78	–0,60	0,10	0,01	0,04
Кадміювання:							
ціанистий	1,0	1,0	–1,60	–1,20	0,15	0,10	0,04
кислий	1,0	1,0	–0,48	–0,30	0,08	0,02	0,04
Міднення:							
кислий	1,0	1,0	+0,25	+0,35	0,50	0,00	0,02
ціанистий	1,0	0,5	–1,50	–0,30	0,15	0,10	0,04
Сріблення:							
ціанистий	0,5	0,5	–0,70	+0,10	0,05	0,01	0,02
роданисто синєродистий	0,5	0,5	–0,60	+0,80	0,17	0,01	0,02
Золочення:							
ціанистий	0,3	0,3	– 1,40	+0,08	0,06	0,10	0,05
лимоннокислий	0,2	0,3	–0,90	+1,00	–	–	–
Лудіння:							
кислий	1,0	1,0	–0,50	+0,15	0,20	0,01	0,03
лужний	1,0	2,0	–1.50	–0,80	0,18	0,15	0,05

Розрахунок напруги на ванну робиться стосовно стовпа електроліту перетином *1 дм*^{2} і довжиною *l*, що дорівнює відстані між анодом і катодом [2].

В цьому випадку замість сили струму I приймається середня щільність струму $D_{ср}$, яка обчислюється як середньоквадратична із значень анодної і катодної щільності струму, тобто:

$$D_{\text{ср}} = \sqrt{D_a D_{\text{к}}}\,.$$

Опір електроліту R визначається із співвідношення, *Ом*:

$$R = \frac{l}{s\chi} = \frac{l}{100\chi},$$

де: l – відстань катод–анод,

s – площа перетином в 1 дм^2;

χ – питома електропровідність, Ом$^{-1}$·см$^{-1}$.

Мінімальна напруга джерела електролітичної ванни визначається як сума напруги на клемах ванни і втрат напруги в струмопровідних шинах, які складають до 10%.

1.2 Джерела живлення установок гальванопластики

Провідними підприємствами з виробництва джерел живлення гальванічних (електролітичних) ванн в Україні є компанії BVP Electronics та ЕТАЛОН-ПРИЛАД.

1.2.1 Продукція компанії BVP Electronics [3]

Компания BVP Electronics (ФОП Безкоровайна С.В.) є українським розробником-виробником лабораторних та промислових імпульсних стабілізованих джерел живлення, випрямлячей для гальваніки, джерел струму, джерел напруги, перетворювачів AC/DC. Компанія створена в 2003 році.

Унікальність продукції, що пропонує компанія, полягає у вдалому поєднанні високих технічних характеристик, сучасній елементній базі та невисокій вартості.

Широкий діапазон вихідної потужності, стабільність параметрів, можливість безперервної роботи на повній потужності джерел живлення дозволяє використовувати їх в багатьох галузях.

Джерела живлення BVP Electronics відносяться до категорії базових приладів, які знаходять дуже широке використання: від конструкторського бюро і метрологічної лабораторії до потужних автоматизованих систем на виробництві.

Лабораторні блоки живлення постійного струму і напруги використовуються під час розробки електронних приладів, виконання наукових дослідів, вихідному контролі, виробництві силової апаратурі, у системах безперебійного енергопостачання, при живленні гальванічних ванн, автомобільного обладнання, а також в багатьох інших областях.

Компанія BVP Electronics виробляє потужні блоки живлення серії BVP TFT, призначені для застосування як джерела живлення електролітичних (гальванічних) ванн [4]. Їх ключовими особливостями є:

- максимальна вихідна потужність у діапазоні 990-1650 ват;
- великий РК-дисплей з діагоналлю 2.4 та 2.8 дюйма;
- наявність виносного термометра з функціями терморегуляції;
- можливість віддаленого керування з комп'ютера через порт RS-485.

Блоки живлення розміщуються у стандартних корпусах власного виробництва та оснащуються великим TFT-екраном:

- моделі потужністю 900 Вт оснащені екраном з діагоналлю 2.4 дюйми;
- моделі потужністю 1500 Вт оснащені екраном з діагоналлю 2.8 дюйма.

Дозвіл обох екранів становить 320 на 240 пікселів, що дозволило значно збільшити розмір цифр, що відображаються, а також розмістити ще один інформаційний "рядок", на якому відображається поточна вихідна потужність і показання датчика температури.

Технічні параметри джерел живлення серії BVP TFT наведено у таблиці 1.5 [4].

Таблиця 1.5 – Технічні параметри джерел живлення серії BVP TFT

Модель	Вихідна напруга, В	Вихідної струм, А	Вихідна потужність, Вт
BVP TFT 15V 60A	0,5 – 15.7	0,6 – 63	900
BVP TFT 30V 60A	0,5 – 31,5	0,3 – 31,5	900
BVP TFT 60V 15A	0,5 – 63	0,15 – 15,7	900
BVP TFT 15V 100A	0,5 – 15,7	1 – 105	1500
BVP TFT 30V 50A	0,5 – 31,5	0,5 – 52.5	1500
BVP TFT 60V 25A	0,5 – 63	0,25 – 26,2	1500

Зовнішній вигляд блоків BVP TFT потужністю 900 Вт наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд блоків BVP TFT потужністю 900 Вт

Джерела живлення мають модуль терморегуляції, який разом з датчиком температури та вбудованим реле може керувати зовнішніми пристроями для підтримки заданого рівня температури (вбудоване реле може давати сигнал для включення нагрівачів, охолоджувачів, змішувачів і так далі). Датчик здатний вимірювати температуру в діапазоні від - 30 до + 110 °С з кроком 0,5 °С (при мінусових температурах – 1 °С). Є опція температурної гістерези, яка задається в діапазоні від 0,5 °С до 5,0 °С.

У блоках живлення передбачено можливість їх паралельного (збільшення струму навантаження) та послідовного (збільшення вихідного напруги) з'єднання. До асортименту продукції входять випрямлячі для гальваніки із вбудованим таймером (секундоміром) та лічильниками ампер-годин (накопичувальним та лічильником-дозатором). Керування джерелами живлення може здійснюватися через порти RS-232 або RS-485 від комп'ютера (дистанційно).

Живлення джерел живлення серії BVP TFT здійснюється від однофазної мережі змінного струму напругою 220 В частотою 50...60 Гц.

1.2.2 Продукція компанії ЕТАЛОН-ПРИЛАД [5]

Компанія ЕТАЛОН-ПРИЛАД спеціалізується на:

- постачанні засобів вимірювальної техніки;
- розробці та виробництві приладів (джерел живлення змінного та постійного струму, генераторів, щитових цифрових амперметрів, вольтметрів та частотомірів);
- виробництві та модернізації установок технологічного нагріву та загартування металів струмом високої частоти.

Компанія створена в 2001 році.

До асортименту продукції, що випускається компанією ЕТАЛОН-ПРИЛАД, входить широка номенклатура джерел живлення гальванічних ванн різної потужності. Технічні параметри джерел живлення серії ЕП3 наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічні параметри джерел живлення серії ЕП3 [5]

Модель	Вихідна напруга, В	Струм навантаження, А	ДЖ	«-»	«+»	«R»	«M»	Таймер	Наявність памяти
ЭП3.2040Г.1.3	0 ÷ 20	0 ÷ 40	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.30100Г.1.3	0 ÷ 30	0 ÷ 100	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.30010Г.1.3	0 ÷ 300	0 ÷ 10	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.20150Г.1.3	0 ÷ 20	0 ÷ 150	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.15100Г.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 100	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.15200Г.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 200	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.15250Г.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 250	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.15300Г.1. 3	0 ÷ 15	0 ÷ 300	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.10300Г.1.3	0 ÷ 10	0 ÷ 300	+	+	+	+	+	+	+
ЭП3.30100МР.1.3	0 ÷ 30	0 ÷ 100	+			+		+	
ЭП3.30010МР.1.3	0 ÷ 300	0 ÷ 10	+			+		+	
ЭП3.20150МР.1.3	0 ÷ 20	0 ÷ 150	+			+		+	
ЭП3.15200МР.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 200	+			+		+	
ЭП3.15250МР.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 250	+			+		+	
ЭП3.15300МР.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 300	+			+		+	
ЭП3.10300МР.1.3	0 ÷ 10	0 ÷ 300	+			+		+	
ЭП3.30100МТ.1.3	0 ÷ 30	0 ÷ 100	+					+	
ЭП3.30010МТ.1.3	0 ÷ 300	0 ÷ 10	+					+	
ЭП3.20150МТ.1.3	0 ÷ 20	0 ÷ 150	+					+	
ЭП3.15200МТ.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 200	+					+	
ЭП3.15250МТ.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 250	+					+	
ЭП3.15300МТ.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 300	+					+	
ЭП3.10300МТ.1.3	0 ÷ 10	0 ÷ 300	+					+	
ЭП3.30100М.1.3	0 ÷ 30	0 ÷ 100	+						
ЭП3.30010М.1.3	0 ÷ 300	0 ÷ 10	+						
ЭП3.30150М.1.3	0 ÷ 30	0 ÷ 150	+						
ЭП3.20200М.1.3	0 ÷ 20	0 ÷ 200	+						
ЭП3.20150М.1.3	0 ÷ 20	0 ÷ 150	+						
ЭП3.15200М.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 200	+						
ЭП3.15250М.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 250	+						
ЭП3.15300М.1.3	0 ÷ 15	0 ÷ 300	+						
ЭП3.10300М.1.3	0 ÷ 10	0 ÷ 300	+						

Відповідно до даних, наведених у таблиці 1.6, джерела живлення серії ЕП3 розрізняються по вихідній потужності, значенням діапазонів

регулювання вихідної напруги та струму навантаження, наявності фіксованих опцій (вбудований таймер, наявність елемента пам'яті) та передбачених, залежно від типу моделі, режимів роботи.

Повний комплект режимів включає шість режимів роботи [5]:

1. Режим «ДЖ» – режим джерела живлення. У цьому режимі, залежно від положення регуляторів напруги та сили струму, а також залежно від величини опору навантаження, автоматично встановлюється стабілізація напруги або струму.

2. Режим «СС» – режим стабілізації струму навантаження. У цьому режимі, залежно від положення регуляторів напруги та сили струму, а також, залежно від величини опору навантаження, автоматично встановлюється стабілізація струму та обмеження величини вихідної напруги.

3. Режим «–» – режим негативної полярності постійного струму. У цьому режимі джерело живлення є стабілізованим джерелом постійного струму з додаванням функції тимчасового дозування впливу електричного струму в процесі електролітичного осадження тонкого шару металу на поверхні металевого предмета.

4. Режим «+» – режим позитивної полярності постійного струму аналогічний попередньому режиму. Полярність струму на вихідних клемах джерела живлення зворотня полярності струму в попередньому режимі.

5. Режим «R» – реверсування струму навантаження. У режимі реверсування відбувається чергування напрямків електричного струму. Величини амплітуд сили постійного струму обох полярностей та тривалості негативного та позитивного імпульсів струму встановлюються під час задання параметрів.

6. Режим «М» – режим модуляції. У цьому режимі до рівня амплітуди сили постійного струму негативної полярності додається рівень амплітуди сили струму у вигляді уніполярного меандру негативної полярності, що змінюється в часі.

За бажанням замовника, в джерело живлення будь-якої моделі, може бути вбудований блок вимірювання температури розчину в гальванічній ванні або блок вимірювання температури і управління, а також встановлений лічильник ампер годинника.

Найпотужнішою моделлю серії ЕП3 [6] є джерело живлення гальванічних ванн ЕП3.2040Г.1.3-1-3-1011000, що відповідає наступним технічним характеристикам:

- максимальна вихідна потужність – 0,8 кВт;
- режими роботи:
  - режим джерела живлення **(**«ДЖ»**)**;
  - режим стабілізації струму («СС»);
  - реверсування струму («СС + R»);
  - режим модуляції («СС + М»).
- діапазони регулювання**:**
  - напруги постійного струму (в режиме «ДЖ») – від 1,0 В до 200 В;
  - сили постійного струму (в режимах «ДЖ», «СС», «СС + R») – від 1,0 А до 40 А;
  - тривалості протікання постійного струму у прямому та реверсному напрямку протікання в режимі «СТ + R» – від 1,0 с до 240 с;
  - частоти проходження імпульсів в режимі «СТ+М» – від 0,5 кГц до 100 кГц;
  - коефіцієнта заповнення імпульсів в режимі «СТ + М» – від 1,0 % до 75 %;
- роздільна здатність вимірювальних пристроїв:
  - індикатора напруги постійного струму – 1.0;
  - індикатора сили постійного струму – 1,0 А;
  - лічильника ампер-годин – 1 А×ч;
  - індикатора температури – 10 °С.

Зовнішній вигляд джерела живлення ЕП3.2040Г.1.3-1011000 наведено рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд джерела живлення ЕП3.2040Г.1.3-1011000

Джерело живлення гальванічних ванн ЕП3.15100Г.1.3-1010110 [7] відноситься до моделей середньої потужності і відповідає нижченаведеним технічним характеристикам:

- максимальна вихідна потужність – 15 кВт;
- режим джерела живлення (ДЖ);
- режим стабілізації струму («СС»);
- діапазон регулювання напруги постійного струму (в режимах «ДЖ» та «СС») – від 1,0 до 150 В;
- діапазон регулювання сили постійного струму (в режимах «ДЖ» і «СС») – від 1,0 А до 100 А.

роздільна здатність вимірювальних пристроїв:

- індикатора напруги постійного струму – 1,0 В;
- індикатора сили постійного струму – 1,0 А;
- лічильника ампер-годин – 1 А × ч.

Живлення джерел живлення серії ЕП3 здійснюється від трифазної мережі змінного струму напруга 220 / 380 В частотою 50.

Зовнішній вигляд джерела живлення моделі ЕП3.15100Г.1.3-1010110 наведено рисунку 1.4.

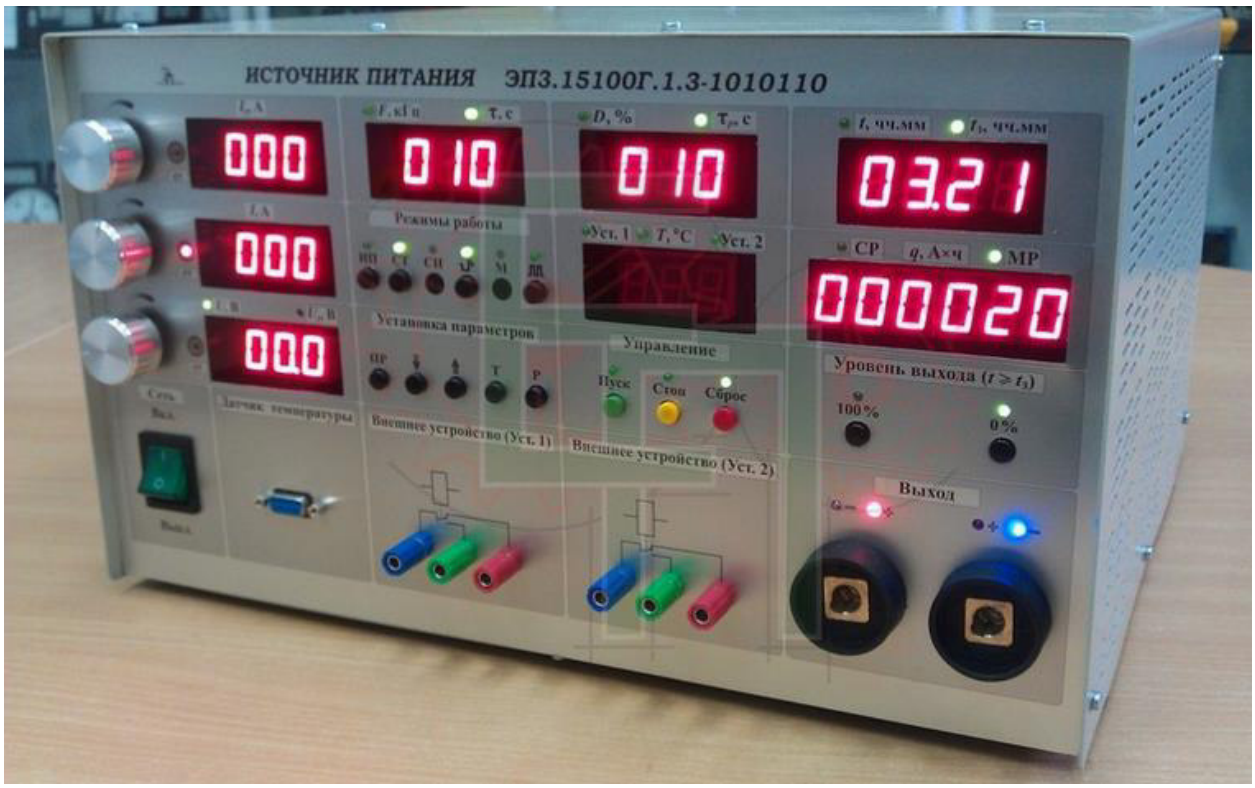


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд джерела живлення ЕП3.15100Г.1.3-1010110

1.3 Постановка завдання на проектування

Перевагами джерел живлення серії BVP TFT є:

- хороша ергономіка та дизайн;
- можливість їх паралельного та послідовного з'єднання;
- наявність виносного термометра з функціями терморегуляції;
- можливість дистанційного керування та збору поточних значень технологічних параметрів (наявність портів RS-232 або RS-485);
- можливість електроживлення від однофазної (у тому числі побутової) мережі.

Основним недоліком джерел живлення є відсутність функції реверсування струму навантаження, що ускладнює можливість їх застосування в гальванопластиці.

Достоїнствами джерел живлення серії ЕП3 є:

- наявність широкого вибору режимів роботи;

- наявність функції реверсування струму навантаження;

- широкий діапазон регулювання величини вихідної напруги та струму навантаження;

- велика кількість опцій, що встановлюються за бажанням замовника;

Основним недоліком джерел живлення серії ЕП3 є потреба у наявності трифазної мережі електропостачання напругою 220 / 380 В частотою 50 Гц.

Проектований виріб призначений для використання у складі комплектного технологічного обладнання з формоутворення, у ванні з електролітом, під впливом електричного струму, на матриці, виробів з кольорового металу.

Джерело живлення установки гальванопластики має відповідати наступним технічним вимогам:

- мережа живлення електрообладнання	однофазна
- номінальна напруга мережі живлення, U_1, В	220
- відхилення напруги мережі живлення від номінального значення, ΔU_1, %	+10...-15
- частота мережі живлення, f_C, Гц	50
- сумарна встановлена потужність обладнання, не більше, S, кВА	2,0
- номінальне значення струму навантаження, I_d, А	30
- діапазон регулювання струму навантаження, А	1...30
- максимальне значення вихідної напруги, U_d, В	35
- площа поверхні, що покривається, S_d, дм^2	10
- вид покриття	будь-яке металеве
- схема випрямляча	двонапівперіодна
- номінальне значення вихідної напруги, U_d, В	35
- діапазон регулювання вихідної напруги, В	12…35
- відхилення вихідної напруги від номінального значення, ΔU_d, %	2,0
- коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, k_p	0,05

- номінальне значення струму навантаження, I_d, А 30

- значення уставки спрацьовування захисту від перевантаження струмом, I_{POL}, А $1{,}1 \times I_d$

Для виконання завдання необхідно:

- розробити й описати структурну, функціональну та електричну схеми пристрою;

- провести моделювання електромагнітних процесів у схемі керованого однофазного випрямляча;

- провести розрахунок основних вузлів схеми;

- зробити вибір електронних компонентів пристрою;

- виконати креслення структурної, функціональної та принципової схем виробу;

- розглянути питання техніки безпеки в лабораторії при випробуванні джерела живлення установки гальванопластики;

- провести розрахунок вартості джерела живлення у промисловому виконанні.

2 ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВКИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ ПОТУЖНІСТЮ 1 КВТ

Джерело живлення установки гальванопластики призначене для роботи у складі комплектного технологічного обладнання з формоутворення, у ванні з електролітом, під впливом електричного струму, на матриці, виробів з кольорового металу. Джерело живлення являє собою керований реверсивний випрямляч, який, у свою чергу, є джерелом електроживлення електролітичної ванни. Діапазон регулювання струму навантаження знаходиться в межах від 1,0 до 30,0 А, при максимальному значенні вихідної напруги - 35 В.

2.1 Опис електричної структурної схеми установки гальванопластики

До складу установки гальванопластики входять нижчеперелічені функціональні блоки та вузли:

К – комутатор;

СТ – силовий трансформатор;

КВ1 - керований випрямляч прямої полярності струму;

КВ2 - керований випрямляч зворотної полярності струму;

ЕВ – електролітична ванна;

СУВ - система управління випрямлячами;

ПК – пульт керування.

Електрична структурна схема установки гальванопластики наведена на рисунку 2.1 та відповідає ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Е1.

Електропостачання установки гальванопластики здійснюється від однофазної мережі змінного струму напругою 220 В частотою 50 Гц потужністю не менше 2,0 кВА (з урахуванням потужності, що споживається системами вентиляції, охолодження, освітлення тощо). Допустимі відхилення напруги мережі живлення від номінального значення – +10…-15 %.

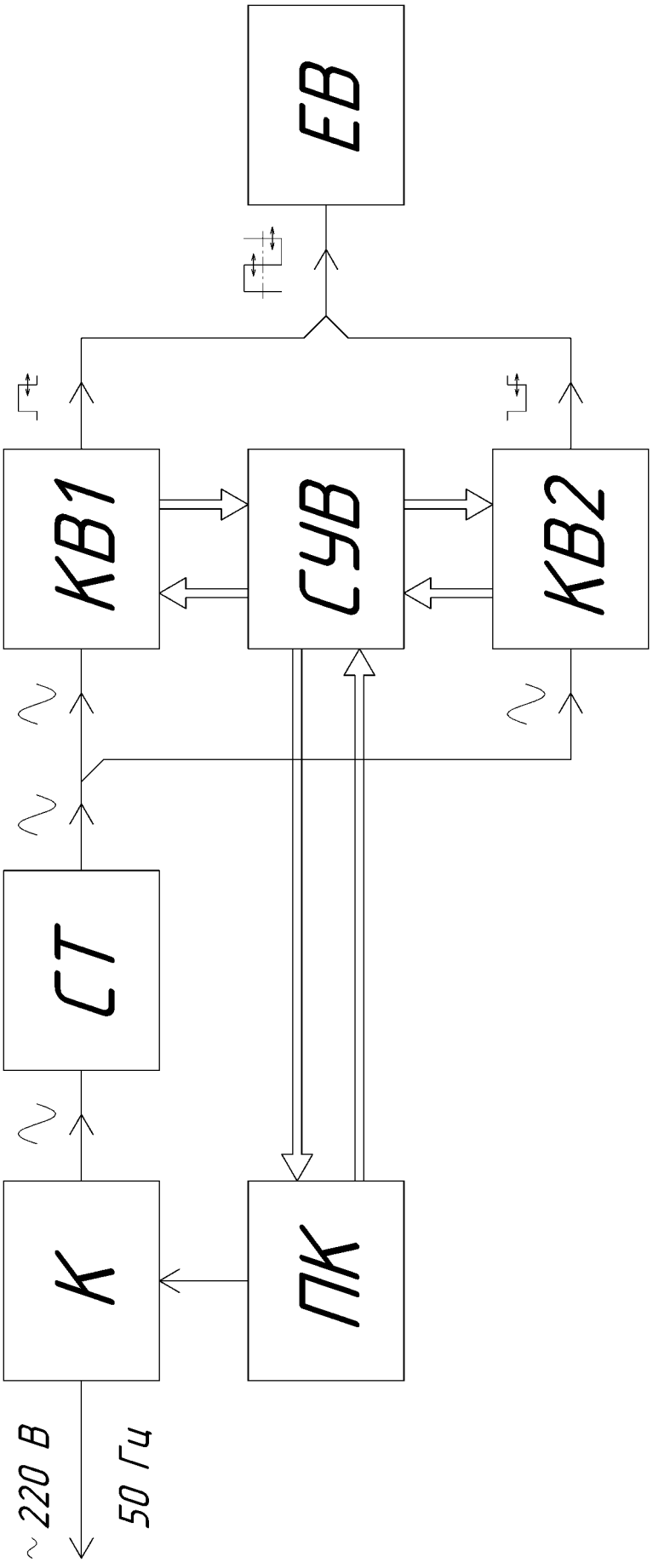


Рисунок 2.1 – Електрична структурна схема установки гальванопластики

На вході установки гальванопластики (УГ) встановлено комутатор (К). З його допомогою здійснюється оперативне підключення УГ до мережі живлення. Управління комутатором (К) провадиться за допомогою пульта управління (ПК).

Силовий трансформатор (СТ) призначений для гальванічної розв'язки вихідних ланцюгів установки гальванопластики (УГ) від ланцюгів її електропостачання та узгодження електричних параметрів мережі живлення з параметрами навантаження.

Керовані випрямлячі прямої (УВ1) і зворотної (КВ2) полярності призначені для перетворення змінної напруги вторинної обмотки силового трансформатора (СТ) в постійну регульовану напругу полярності, що змінюється. Випрямлячі КВ1 та КВ2, включені зустрічно-паралельно, утворюють реверсивний керований випрямляч.

Вихідна напруга реверсивного випрямляча надходить на силові електроди електролітичної ванни (ЕВ). Полярність напруги живлення ЕВ визначається параметрами технологічного процесу та задається з пульта управління.

Управління групами силових ключів випрямлячів (КВ1, КВ2) здійснюється за допомогою системи управління випрямлячами (СУВ) відповідно до сигналів завдання величин напруги живлення та струму ЕВ та сигналами зворотного зв'язку. Сигнали завдання та зворотного зв'язку надходять на відповідні входи СУВ з пульта управління (ПУ) та датчиків струму та напруги, встановлених у ланцюгах електроживлення електролітичної ванни, відповідно.

Пульт управління призначений для оперативного керування установкою гальванопластики (включення/вимкнення), завдання струму навантаження та максимальної напруги на силових клемах ЕВ, тривалості протікання струму навантаження у прямому та зворотному напрямку, тривалості технологічного процесу нанесення металевого покриття, індикації режимів роботи функціональних блоків УГ та поточних параметрів технологічного процесу.

2.2 Аналіз управляючих та інформаційних сигналів системи управління

ДЖ УГ є реверсивним керованим випрямлячем, який призначений для перетворення змінної напруги однофазної мережі в постійну напругу, стабілізації струму навантаження на рівні завдання та зміни напряму протікання струму в ЕВ протягом часових інтервалів, визначуваних технологічним процесом.

Аналіз структурної схеми електролізної установки показує, що для ефективної роботи керованого реверсивного випрямляча необхідний наступний набір інформаційних та управляючих сигналів, які можна розбити на три групи:

1. Основні вхідні сигнали;
2. Допоміжні вхідні сигнали;
3. Вихідні сигнали.

На рисунку 2.2 наведена схема сигналів системи управління.

До основних вхідних сигналів відносяться сигнали завдання режимів роботи, сигнали зворотного зв'язку і сигнали оперативного включення / виключення.

Для завдання величини струму навантаження ДЖ і його стабілізації необхідні сигнали завдання величини струму навантаження «Із» і сигнал зворотного зв'язку по струму «Іос». Для захисту ДЖ від перевантажень по струму і аварійних режимів при короткому замиканні в навантаженні необхідні сигнали Із max і Іос (сигнал завдання величини максимального струму навантаження і сигнал зворотного зв'язку по струму). Сигнал спрацьовування захисту при аварійних режимах визначається як функція сигналу завдання величини максимального струму навантаження:

$$Ісз = (1{,}1…1{,}2)\ Із\ max.$$

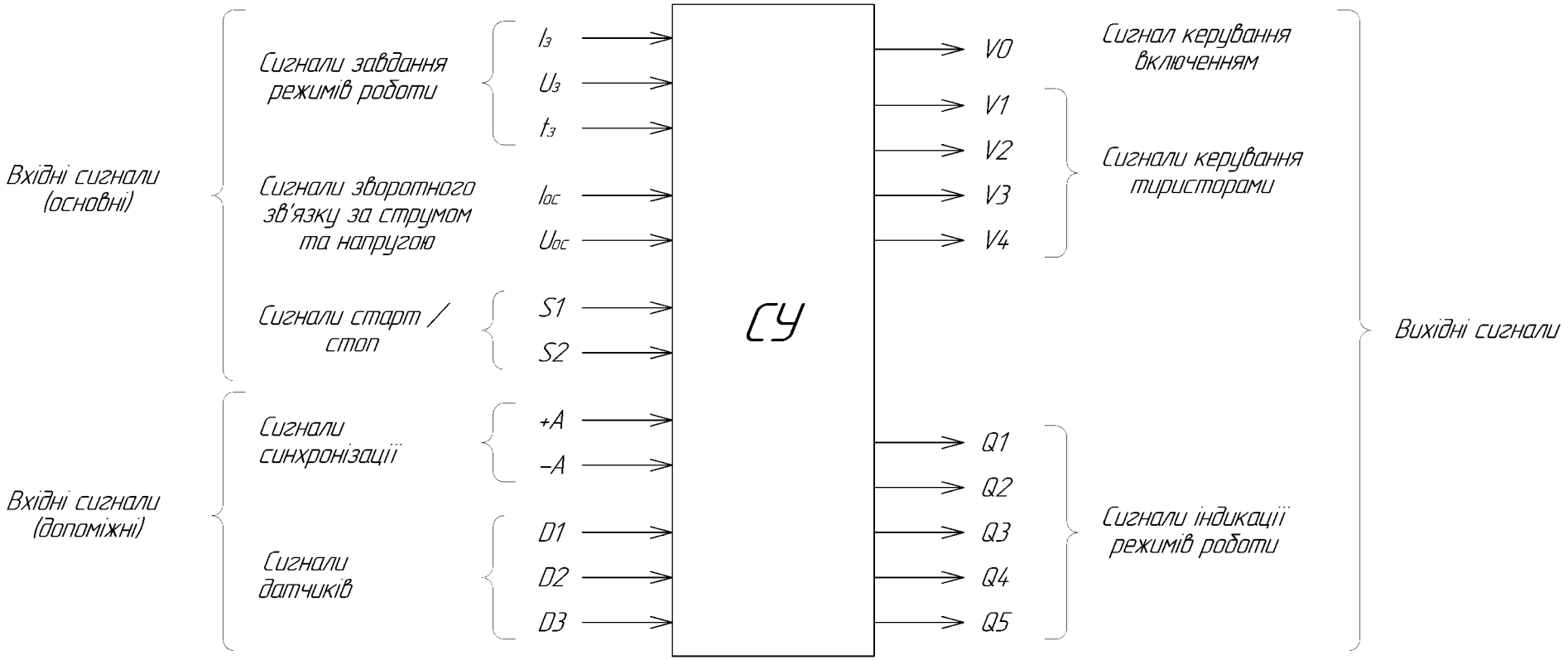


Рисунок 2.2 – Сигнали системи управління

Досвід експлуатації ЕУ показує, що для високоякісного нанесення покриття доцільно робити реверс струму протягом 5…30 секунд, залежно від хімічного складу матеріалу і розміру заготівки. Тому необхідний сигнал завдання часової функції tз – час прямого і зворотного протікання струму.

Включення / виключення ДЖ проходить при наявності сигналів дозволу включення (пуск / стоп). Сигнал S1 – оперативний – поступає на вхід системи управління з пульта оператора за умови нормального функціонування всіх функціональних блоків і вузлів ДЖ. Сигнал S2 поступає на вхід системи управління випрямляча з виходу технологічного таймера після завдання на ньому тривалості нанесення металевого покриття, тривалості зворотного протікання струму і тривалості всього технологічного процесу.

До допоміжних вхідних сигналів відносяться сигнали синхронізації та сигнали датчиків.

Сигнали синхронізації +А, –А призначені для синхронізації імпульсів управління тиристорами КВ1 і КВ2 з живлячою мережею.

Сигнали датчиків (D1… D3) використовуються для контролю робочої температури основних енергетичних блоків ДЖ – силового трансформатора СТ (сигнал D2) і тиристорів реверсивного випрямляча (сигнал D3), а також контролю включеного стану системи примусового охолоджування (сигнал D1).

До вихідних сигналів відносяться сигнал управління включенням, сигнали управління тиристорами і сигнали індикації режимів роботи.

Сигнал управління включенням V0 призначений для пуску технологічного таймера після надходження команди з пульта оператора про початок технологічного процесу.

Сигнали управління тиристорами V1…V4 формуються відповідно до повного набору вхідних сигналів.

Сигнали індикації режимів роботи призначені для надання операторові оперативної інформації про роботу ДЖ.

До них відносяться сигнали:

Q1 – сигнал індикації «Пуск»;

Q2 – сигнал індикації «Стоп»;

Q3 – сигнал індикації «Перевантаження»;

Q4 – сигнал індикації «Перегрів»;

Q5 – сигнал індикації «Аварія».

Сигнал Q3 відповідає досягненню струмом навантаження значення Із max. Сигнал Q5 відповідає досягненню струмом навантаження значення Ісз, що відповідає виникненню аварійного режиму, тобто неможливістю зниження струму навантаження до струму завдання шляхом збільшення кутів управління до значення α_{max}. При цьому знімаються імпульси управління з тиристорів КВ1 і КВ2 (V1…V4) і сигнал управління включенням V0.

2.3 Опис електричної функціональної схеми джерела живлення

Джерело живлення установки гальванопластики є однофазним регульованим реверсивним випрямлячем, що працює в режимі джерела стабілізованого струму і обмеження величини вихідної напруги на рівні завдання.

Електрична функціональна схема джерела живлення (ДЖ) установки гальванопластики наведена на рисунку 2.3 та відповідає ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Е2.

Джерело живлення, умовно, складається з двох частин – силової частини та системи управління.

Силова частина (СЧ) джерела живлення включає в себе:

QF1 – автоматичний вимикач;

ЕП – електромагнітний пускач;

ВПЗ - вузол пригнічення завад;

СТ – силовий трансформатор;

РВ – реверсивний випрямляч;

L1 – згладжуючий дросель;

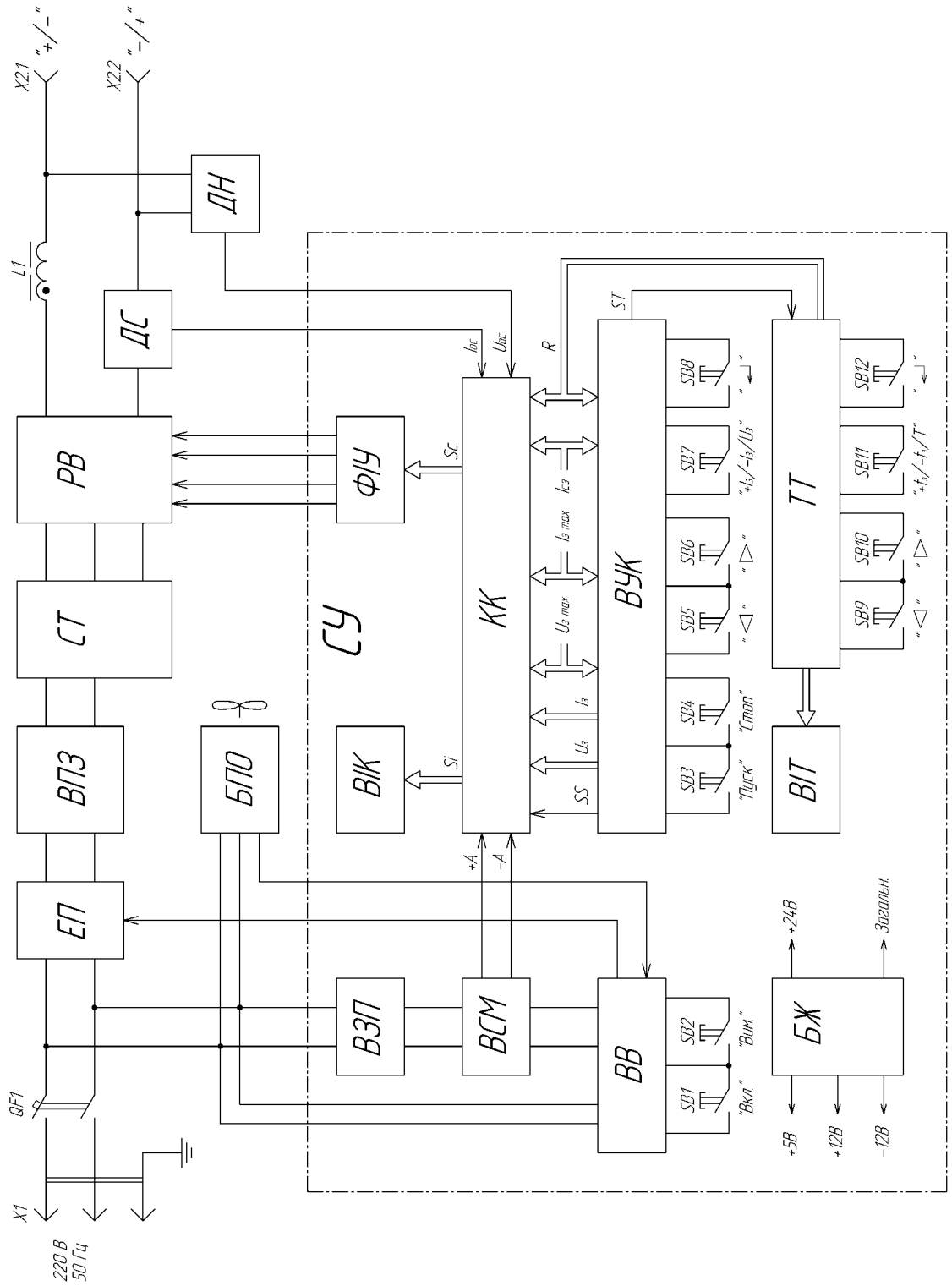


Рисунок 2.3 – Електрична функціональна схема джерела живлення

ДС – датчик струму;

ДН – датчик напруги;

БПО – блок примусового охолодження.

Система управління (СУ) джерела живлення включає в себе:

ВЗП - вузол захисту від перенапруг;

ВСМ - вузол синхронізації з мережею;

ВВ – вузол включення;

БЖ – блок живлення;

КК - керуючий контролер;

ФІУ – формувач імпульсів управління;

ВУК - вузол управління контролером;

ТТ – технологічний таймер;

ВІК – вузол індикації контролера;

ВІТ – вузол індикації таймера.

Підключення ДЖ до однофазної мережі змінного струму і захист елементів силової частини здійснюється за допомогою автоматичного вимикача QF1.

Оперативне підключення / відключення силової частини джерела живлення установки гальванопластики (ДЖ УГ) до / від мережі живлення здійснюється за допомогою електромагнітного пускача (ЕП). Управління магнітним пускачем, у свою чергу, здійснюється за допомогою вузла включення (ВВ), що входить до складу системи управління (СУ), кнопками SB1 («Вкл») і SB2 («Вим»).

Блок примусового охолодження (БПО) призначений для охолодження функціональних блоків та вузлів ДЖ потоком повітря. До складу БПО входить вітрове реле (на схемі не показано), що є датчиком вітрового потоку. У виробі передбачено блокування включення або відключення ЕП у разі відсутності потоку повітря, що охолоджує (відсутності дозволяючого сигналу вітрового реле).

При включенні ЕП мережна напруга надходить на вхід вузла

пригнічення завад (ВПЗ). Вихідна напруга ВПЗ надходить на первинну обмотку силового трансформатора (СТ).

Вузол пригнічення завад призначений для згладжування завад вхідної напруги і пригнічення високочастотних завад, обумовлених комутаційними процесами в схемі ДЖ.

Силовий трансформатор (СТ) призначений для гальванічної розв'язки електричних ланцюгів навантаження від ланцюгів мережі живлення та узгодження напруги мережі живлення з напругою живлення електролітичної ванни. В якості СТ застосований однофазний мережевий трансформатор з двома вторинними обмотками, включеними послідовно-згідно з виведенням середньої точки (точки з'єднання кінця першої вторинної та початку другої вторинної обмоток).

Силова напруга вторинних обмоток СТ надходить на відповідні вхідні клеми реверсивного випрямляча (РВ). Реверсивний випрямляч призначений для випрямлення змінної напруги та зміни її полярності відповідно до вимог технологічного процесу нанесення металевого покриття на матрицю (заготовку).

З метою забезпечення однорідного осадження металевого покриття, на виході РВ, встановлений згладжуючий дросель L1. Дросель призначений для згладжування пульсацій струму навантаження (струму електролітичної ванни).

Вимірювання величин поточних значень струму навантаження та вихідної напруги ДЖ здійснюється за допомогою датчиків струму (ДС) та напруги (ДН). Вихідні сигнали датчиків (ДС та ДН) є сигналами зворотного зв'язку по струму та напрузі ДЖ, відповідно. Вони надходять на відповідні входи керуючого контролера (КК).

Живлення системи управління (СУ) здійснюються від однофазної мережі змінного струму. Подача напруги живлення у СУ проводиться при включенні автоматичного вимикача QF1. Для захисту елементів схеми СУ від мережевих перенапруг, на її вході електропостачання, встановлений вузол

захисту від перенапруг (ВЗП).

Вихідна напруга ВЗП надходить на відповідні входи вузла синхронізації з мережею (ВСМ) та блоку живлення (БЖ).

Вузол синхронізації з мережею (ВСМ) призначений для формування двофазної послідовності однополярних імпульсів, тривалість і фаза яких відповідають позитивної та негативної напівхвилям напруги мережі живлення.

Блок живлення (БЖ) призначений для гальванічної розв'язки ланцюгів електроживлення функціональних блоків СУ і датчиків, що входять до складу ДЖ від мережі живлення та перетворення мережної змінної напруги в стабілізовані постійні напруги +5 В, ±12 В і нестабілізовану напругу +24 В.

Керуючий контролер (КК) призначений для формування сигналів управління тиристорами реверсивного випрямляча (РВ) відповідно до сигналів завдання та сигналів зворотного зв'язку, що надходять на його інформаційні входи. Керуючий контролер є дискретною системою імпульсно-фазового управління.

Вихідними сигналами КК є:

- сигнали керування тиристорами реверсивного випрямляча – «Sc»;
- інформаційні сигнали – «Si».

Сигнали управління тиристорами (Sc) надходять на входи формувача імпульсів управління (ФІУ). Формувач імпульсів управління призначений для гальванічної розв'язки ланцюгів сигналів управління тиристорами реверсивного випрямляча (Sc) від ланцюгів силової частини ДЖ УГ та формування імпульсів управління тиристорами необхідної тривалості та потужності.

Інформаційні сигнали (Si) надходять на входи вузла індикації контролера (ВІК). Вузол індикації контролера (ВІК) призначений для візуального відображення інформації про задані та поточні значення вихідних електричних параметрів ДЖ (значення напруги та струму навантаження), а також про режим роботи та працездатності функціональних блоків ДЖ.

Вхідними сигналами КК є:

- сигнали зворотного зв'язку з напруги та струму навантаження – «Uос» та «Iос»;

- сигнали синхронізації з мережею – «+А» та «-А»;

- сигнал оперативного управління «Пуск – Стоп» – «SS»;

- сигнал завдання величини вихідної напруги ДЖ – «Uз»;

- сигнал завдання величини струму навантаження ДЖ – «Iз»;

- сигнал завдання величини максимальної вихідної напруги – «Uз max»;

- сигнал завдання величини максимально струму навантаження – «Iз max»;

- сигнал завдання величини уставки спрацьовування захисту від перевантаження струмом – «Iсз»;

- сигнали початку / закінчення технологічного процесу, синхронізації та зміни полярності вихідної напруги – «R».

Сигнали завдання максимальних значень вихідної напруги «Uз max», струму навантаження «Iз max» та величини уставки спрацьовування захисту від перевантаження по струму «Iсз» задаються виробником виробу апаратно, відповідно до встановленої потужності обладнання і не можуть бути змінені користувачем. Сигнали "Uз max", "Iз max", "Iсз" і "R", крім входів КК, надходять на інформаційні входи вузла управління контролером (ВУК). Дані сигнали використовуються для завдання діапазонів регулювання величини струму навантаження, обмеження величини вихідної напруги ДЖ та зміни полярності вихідної напруги.

Вузол управління контролером (ВУК) призначений для завдання величини струму навантаження прямої та зворотної полярності, завдання величини вихідної напруги та оперативного управління роботою керуючого контролера (КК). Вихідними сигналами ВУК є:

- сигнал оперативного управління – «SS»;

- сигнал завдання величини вихідної напруги ДЖ – "Uз";

- сигнал завдання величини струму навантаження ДЖ – «Iз»;

- сигнал синхронізації керуючого контролера та технологічного таймера – «ST».

Сигнал оперативного управління «SS» формується ВУК, за сигналом оператора, шляхом натискання кнопок SB3 «Пуск» або SB4 «Стоп». При натисканні оператором кнопки «Стоп» відбувається блокування подачі сигналів управління тиристорами (Sc) і технологічний процес нанесення металевого покриття переривається без відключення установки гальванопластики від мережі живлення. При натисканні оператором кнопки «Пуск» знімається блокування подачі сигналів керування тиристорами (Sc) і технологічний процес відновлюється.

Завдання величин струму навантаження прямої «+Iз» і зворотної «-Iз» полярності та величини обмеження вихідної напруги «Uз» проводиться оператором за допомогою кнопок SB5 « < », SB6 « > » і SB7 « +Iз / -Iз / Uз ».

Введення даних в оперативну пам'ять ВУК проводиться натисканням кнопки SB8 «Enter».

Під час технологічного процесу сигнал завдання значення струму навантаження «Iз», що надходить на відповідний інформаційний вхід КК, залежно від сигналів початку / закінчення технологічного процесу та зміни полярності вихідної напруги «R», змінюється з «+Iз» на «-Iз» і навпаки.

Сигнал синхронізації «ST» призначений для пуску / зупинки технологічного таймера відповідно до сигналу оперативного керування – «SS».

Управління технологічним процесом нанесення металевого покриття здійснюється технологічним таймером (ТТ). Тривалості протікання струму прямої та зворотної полярності відповідають сигналу завдання часової функції – «tз».

Значення тривалості протікання струму прямої та зворотної полярності («+tз» «-tз») та тривалість технологічного процесу «Т» задаються за допомогою кнопок SB9 « < », SB10 « > » та SB11 «+tз / –tз / Т».

Введення даних часової функції в оперативну пам'ять ТТ проводиться натисканням кнопки SB12 «Enter».

Вузол індикації таймера (ВІТ) призначений для відображення заданих та поточних параметрів технологічного процесу.

2.4 Опис електричної принципової схеми джерела живлення

Електрична принципова схема джерела живлення (ДЖ) установки гальванопластики наведена на рисунку 2.4 та відповідає ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Е3.

Для підключення джерела живлення установки гальванопластики до мережі живлення із заземлюючим провідником, на його вході, встановлений триполюсний силовий роз'єм Х1. Як силовий роз'єм використана стаціонарна вилка типу ССІ-513 виробництва компанії ІЕК. Підключення здійснюється за допомогою трипровідного гнучкого шнура живлення з мідними жилами перетином – не менше 2 мм. кв., оснащеним переносною розеткою ССІ-213.

Для підключення джерела живлення до електролізної ванни із заземлюючим провідником, на його виході, встановлений триполюсний силовий роз'єм Х2. В якості силового роз'єму використана стаціонарна розетка ССІ-423 виробництва компанії ІЕК. Підключення здійснюється за допомогою трипровідного гнучкого шнура живлення з мідними жилами перетином – не менше 6 мм. кв. оснащений переносною вилкою ССІ-023.

Для захисту елементів силової частини джерела живлення від аварійних процесів у схемі, на його вході, встановлено двополюсний автоматичний вимикач QF1 типу ВА47-29-2Р-10А х-ка С виробництва компанії ІЕК.

При включенні автоматичного вимикача QF1 мережна напруга надходить на відповідні входи блоку примусового охолодження (БПО), вузла включення (ВВ), вузла захисту від перенапруг (ВЗП) та вхідні клеми електромагнітного пускача (ЕП). Індикація наявності напруги здійснюється за допомогою комутаторної лампи HL1.

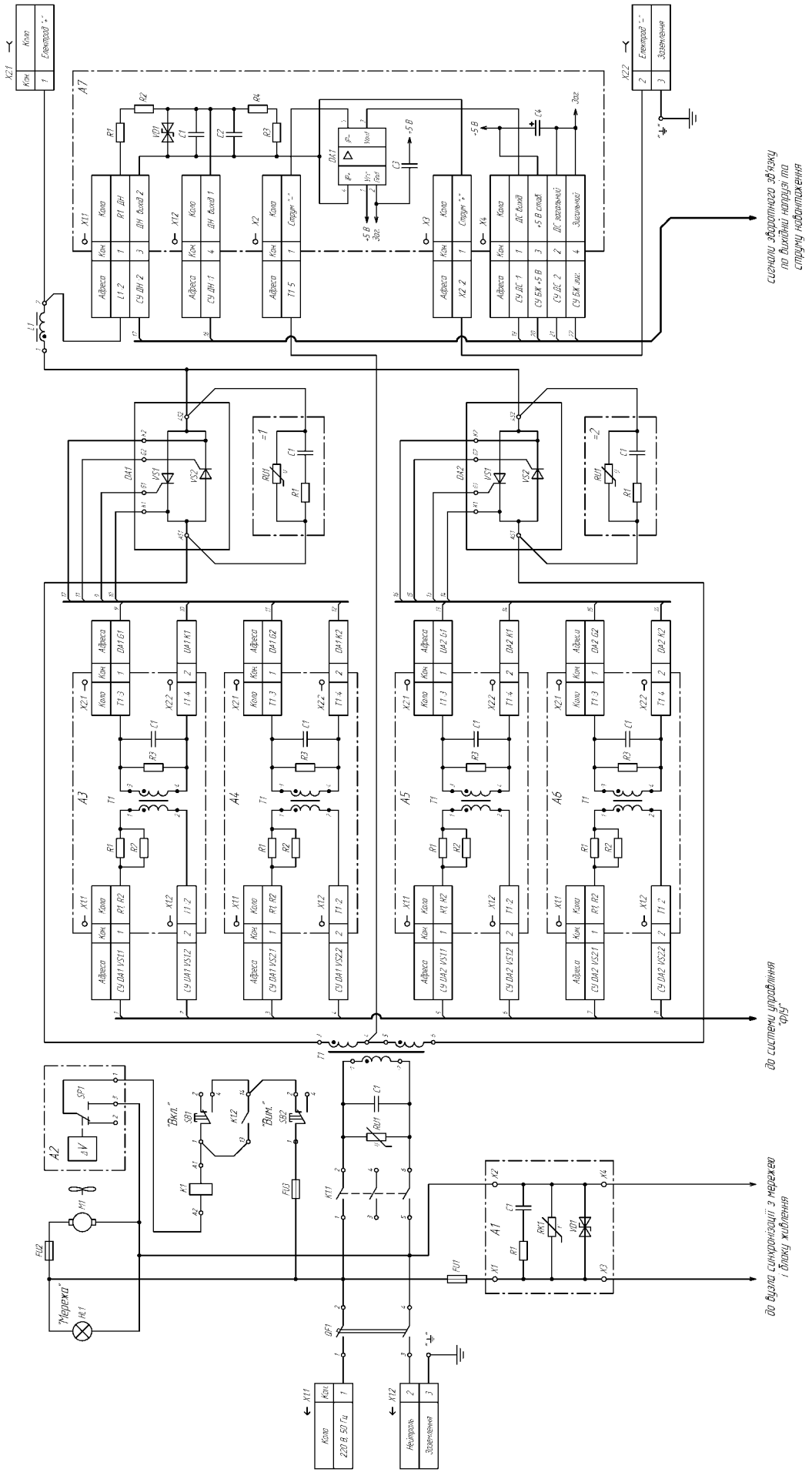


Рисунок 2.4 – Електрична принципова схема джерела живлення

В якості електромагнітного пускача, у виробі, застосований малогабаритний контактор КМІ-11210 12А 230В/АС3 1НО виробництва компанії ІЕК (К1).

Блок примусового охолодження (БПО) включає: вентилятор М1 і реле потоку повітря А2.

До складу вузла включення входять: нормально-розімкнутий контакт контактора К1 - К1.2 і дві кнопки з контактами, що перемикаються - SA1 «Вкл» і SA2 «Вим».

Вузол захисту від перенапруг виконаний у вигляді окремого пристрою – А1. До складу вузла захисту входять: демпфуючий RC-ланцюжок (R1, C1), варистор RU1, супресор VD1 і чотири монтажні клеми X1…X4. Вихідна напруга вузла захисту від перенапруг надходить на відповідні входи вузла синхронізації з мережею та блоку живлення власних потреб (на схемі не показано).

Відповідно до вимог ПУЕ-2017, у ланцюгах живлення вузла захисту від перенапруг, блоку примусового охолодження та вузла включення встановлено плавкі запобіжники FU1…FU3 відповідно.

Вузол пригнічення завад (ВПЗ) складається з неполярного перешкододавлюючого конденсатора С1 і варистора RU1. Елементи включені між собою паралельно і підключені паралельно первинній обмотці силового трансформатора Т1.

Подача силової напруги на первинну обмотку Т1 трансформатора відбувається при включенні контактора К1.

Трансформатор Т1 представляє збій однофазний трансформатор із двома вторинними силовими обмотками. Вторинні обмотки включені послідовно-згідно.

Реверсивний випрямляч складається з двох керованих випрямлячів (DA1, DA2) та двох формувачів траєкторії перемикання тиристорів (=1, =2). Формувачі траєкторії перемикання конструктивно виконані у вигляді окремих модулів.

Керовані випрямлячі виконані за схемою Миткевича – схемою однофазного двонапівперіодного випрямляча з виведенням середньої точки. В якості тиристорів випрямлячів використані два інтегральні тиристорні модулі M50-50-4-2-V CST виробництва фірми Crydom (DA1, DA2). Тиристори, кожного модуля, з'єднані зустрічно-паралельно.

Формувач траєкторії перемикання (=1, =2) включає варистор RU1 і захисний RC-ланцюжок (R1, C1).

Згладжування пульсацій струму навантаження здійснюється дроселем L1.

Імпульси управління тиристорами (DA1, DA2) надходять на управляючі електроди тиристорних модулів з виходів формувача імпульсів управління.

Формувач імпульсів управління (ФІУ) включає чотири, конструктивно відокремлених, модуля гальванічної розв'язки A3 ... A6.

Кожен модуль гальванічної розв'язки (A3…A6), у свою чергу, складається з конденсатора C1, трьох резисторів (R1…R3), імпульсного трансформатора T1 та двох роз'ємів (X1, X2). Сигнали керування тиристорами надходять на входи ФІУ з відповідних виходів системи управління.

Датчики напруги та струму навантаження ДЖ (ДН та ДТ), конструктивно об'єднані в один блок A7 – блок датчиків струму та напруги. Підключення блоку до схеми ДЖ здійснюється за допомогою двох клемників X1, X4 та двох силових клем X2, X3.

Клемник X1 призначений для підключення датчика A1 напруги до вихідних контактів БЖ.

Підключення датчика струму до схеми силової частини ДЖ здійснюється за допомогою силових клем X2 та X3.

Клемник X4 призначений для підключення A7 до джерела живлення власних потреб. Живлення блоку A7 здійснюється постійною стабілізованою напругою +5, щодо загального проводу.

Датчик напруги є резистивним дільником напруги з обмеженням величини вихідного сигналу на рівні ±5 В. До складу датчика напруги входять:

два керамічні конденсатори (С1, С2), чотири металопленочні резистори (R1…R4) та двоанодний стабілітрон (VD1).

Датчик струму виконаний на базі інтегрального датчика струму Холла (DA1). В якості DA1 застосована мікросхема ACS754LCB-050-PSF виробництва компанії Allegro. До складу датчика струму входять мікросхема DA1 та керамічний конденсатор С3.

Вихідні сигнали блоку А7 надходять на відповідні входи системи управління.

3 РОЗРАХУНОК ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВКИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ ПОТУЖНІСТЮ 1 КВТ

Установки гальванопластики призначена для формоутворення на матриці, під впливом електричного струму, у ванні з електролітом, виробів з кольорових металів. Джерело живлення установки гальванопластики являє собою керований реверсивний випрямляч, який, у свою чергу, є джерелом електроживлення електролітичної ванни.

Вихідні дані для розрахунків:

- мережа живлення обладнання	однофазна
- номінальна напруга живлення, В	220
- відхилення напруги живлення від номінального значення, ΔU1, %	+ 10 ... - 15
- частота мережі живлення, *fc*, Гц	50
- сумарна встановлена потужність обладнання, не більше, S, кВА	2,0
- номінальне значення струму навантаження, I_d, А	30
- діапазон регулювання струму навантаження, А	1...30
- максимальне значення вихідної напруги, U_d, В	35
- площа поверхні, що покривається, S_d, дм^2	10
- вид покриття	будь-яке металеве

3.1 Визначення основних характеристик установки гальванопластики

Відповідно до завдання, необхідно передбачити можливість нанесення будь-якого металевого покриття. Робоча напруга у ванні визначається опором електроліту, який для різних матеріалів різний. Найвищий питомий опір має електроліт для хромування, а найнижчий – для сріблення. Розрахунок енергетичних характеристик джерела живлення буде проведений для двох електролітів.

Розрахунок робиться стосовно каналу електроліту перетином 1дм^2.

Опір електроліту R, Ом, визначається із співвідношення [2]:

$$\mathrm{R} = \frac{1}{\mathrm{S} \cdot \chi}\ , \tag{3.1}$$

де: l – відстань катод – анод, l = 3дм = 30 см;

S – одинична площа каналу електроліту перетином S = 1 дм^2 = 100 см^2;

χ – питома електропровідність електроліту.

Питомі електропровідності електролітів для хромування та сріблення, відповідно, дорівнюють [2] χ_{Cr} = 0,6 Ом$^{-1}$·см$^{-1}$, χ_{Ag} = 0,05 Ом$^{-1}$·см$^{-1}$/

$$R_{Cr} = \frac{l}{S \cdot \chi_{Cr}} = \frac{30}{100 \cdot 0{,}6} = 0{,}5 \text{ Ом}\ ; \tag{3.2}$$

$$R_{Ag} = \frac{l}{S \cdot \chi_{Ag}} = \frac{30}{100 \cdot 0{,}05} = 6{,}0 \text{ Ом}\ , \tag{3.3}$$

де: R_{Cr} – опір електроліту для нанесення хрому;

R_{Ag} – опір електроліту для нанесення срібла.

Сила струму каналу електроліту у ванні встановлюється з урахуванням середньої щільності струму $D_{ср}$ по формулі [2]:

8, 9

$$I = k_d \cdot D_{\text{ср}} \cdot S_d = 1{,}1 \cdot D_{\text{ср}} \cdot S_d\ , \tag{3.4}$$

де: S_d – поверхня деталей, що покриваються, Sd = 10 дм^2;

k_d – коефіцієнт запасу;

$D_{ср}$ – середня щільність струму.

Коефіцієнт запасу (k_d) враховує наявність поверхонь пристосувань підвіски деталей і становить 5…10% від сумарної поверхні деталей.

Середня щільність струму $D_{ср}$ дорівнює середньоквадратичному

значенню анодної і катодної щільності струму (дивись таблицю 1.4):

$$D_{ср} = \sqrt{D_A \cdot D_K}\,, \tag{3.5}$$

$$D_{ср\ Cr} = \sqrt{D_{A\ Cr} \cdot D_{K\ Cr}} = \sqrt{2{,}7 \cdot 1{,}0} = 1{,}64\ \frac{A}{\text{мм}^2}\ ; \tag{3.6}$$

$$D_{срAg} = \sqrt{D_{A\ Ag} \cdot D_{K\ Ag}} = \sqrt{0{,}5 \cdot 0{,}5} = 0{,}5\ \frac{A}{\text{мм}^2}\,, \tag{3.7}$$

де: $D_{ср\ Cr}$ – середня щільність струму при нанесенні хрому;

$D_{ср\ Ag}$ – середня щільність струму при нанесенні срібла.

Сила струму каналу електроліту у ванні, при нанесенні покрить з хрому або срібла на поверхню площею S_d = 10 дм^2 дорівнює, відповідно [2]:

$$I_{Cr} = 1{,}1 \cdot D_{\text{ср}\ Cr} \cdot S_d = 1{,}1 \cdot 1{,}64 \cdot 10 = 18{,}04\ A\,, \tag{3.8}$$

$$I_{Ag} = 1{,}1 \cdot D_{\text{ср}\ Ag} \cdot S_d = 1{,}1 \cdot 0{,}5 \cdot 10 = 5{,}5\ A\,, \tag{3.9}$$

Напруга живлення електролітичної ванни визначається з метою правильного вибору джерела електроживлення [2]:

$$U = (1 + \beta) \cdot [\varphi_a - \varphi_k + (1 + \alpha) \cdot I \cdot R]\,, \tag{3.10}$$

де: β – коефіцієнт, що враховує втрати напруги на контактах деталей, що покриваються, з урахуванням пристосування підвіски: β_{Cr} = 0,1; β_{Ag} = 0,02;

φ_a, $\varphi_к$ – потенціали анода і катода, відповідно, $\varphi_{a\ Cr}$ = + 1,8 В, $\varphi_{к\ Cr}$ = – 0,8 В, $\varphi_{a\ Ag}$ = + 0,1 В, $\varphi_{к\ Ag}$ = – 0,7 В;

α – коефіцієнт, що враховує втрати напруги в електроліті за рахунок газонаповнення α_{Cr} = 0,2; α_{Ag} = 0,01;

I – сила струму ванни, А;

R – опір електроліту у ванні, Ом.

$$U_{Cr} = (1 + \beta_{Cr}) \cdot [\varphi_{a\,Cr} - \varphi_{k\,Cr} + (1 + \alpha_{Cr}) \cdot I_{Cr} \cdot R_{Cr}] =$$

$$= (1 + 0{,}1) \cdot [1{,}8 + 0{,}8 + (1 + 0{,}2) \cdot 18{,}04 \cdot 0{,}5] = 14{,}77\ B\ , \qquad (3.11)$$

$$U_{Ag} = (1 + \beta_{Ag}) \cdot [\varphi_{a\,Ag} - \varphi_{k\,Ag} + (1 + \alpha_{Ag}) \cdot I_{Ag} \cdot R_{Ag}] =$$

$$= (1 + 0{,}02) \cdot [0{,}1 + 0{,}7 + (1 + 0{,}01) \cdot 5{,}5 \cdot 6{,}0] = 34{,}82\ B\ , \qquad (3.12)$$

На підставі отриманих результатів розрахунків можливо зробити наступні висновки:

- вихідна напруга джерела живлення для нанесення срібла повинна складати не менше 35,0 В;

- при струмі навантаження, згідно завдання (30 А), площа покриття сріблом становитиме 60 дм^2;

- при струмі навантаження, згідно завдання (30 А), можливе хромування виробів площею до 18 дм^2.

3.2 Розрахунок параметрів елементів силової схеми випрямляча

Керовані випрямлячі джерела живлення установки гальванопластики, як зазначалося вище, виконані за однофазною двонапівперіодною схемою випрямлення з виведенням нульової точки.

Вихідні дані для розрахунку:

- схема випрямляча — двонапівперіодна
- напруга мережі живлення, U_1, В — 220
- кількість фаз мережі живлення — 1
- відхилення напруги мережі живлення від номінального значення, ΔU_1, % — +10...-15

- частота мережі живлення, f_C, Гц 50
- номінальне значення вихідної напруги, U_d, В 35
- діапазон регулювання вихідної напруги, В 12…35
- відхилення вихідної напруги від номінального значення, ΔU_d, % 2,0
- коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, k_p 0,05
- номінальне значення струму навантаження, I_d, А 30
- значення уставки спрацьовування захисту від перевантаження струмом, I_{POL}, А $1{,}1 \times I_d$

Електрична схема керованих випрямлячів наведена на рисунку 3.1. Нумерація компонентів схеми відповідає ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Е3

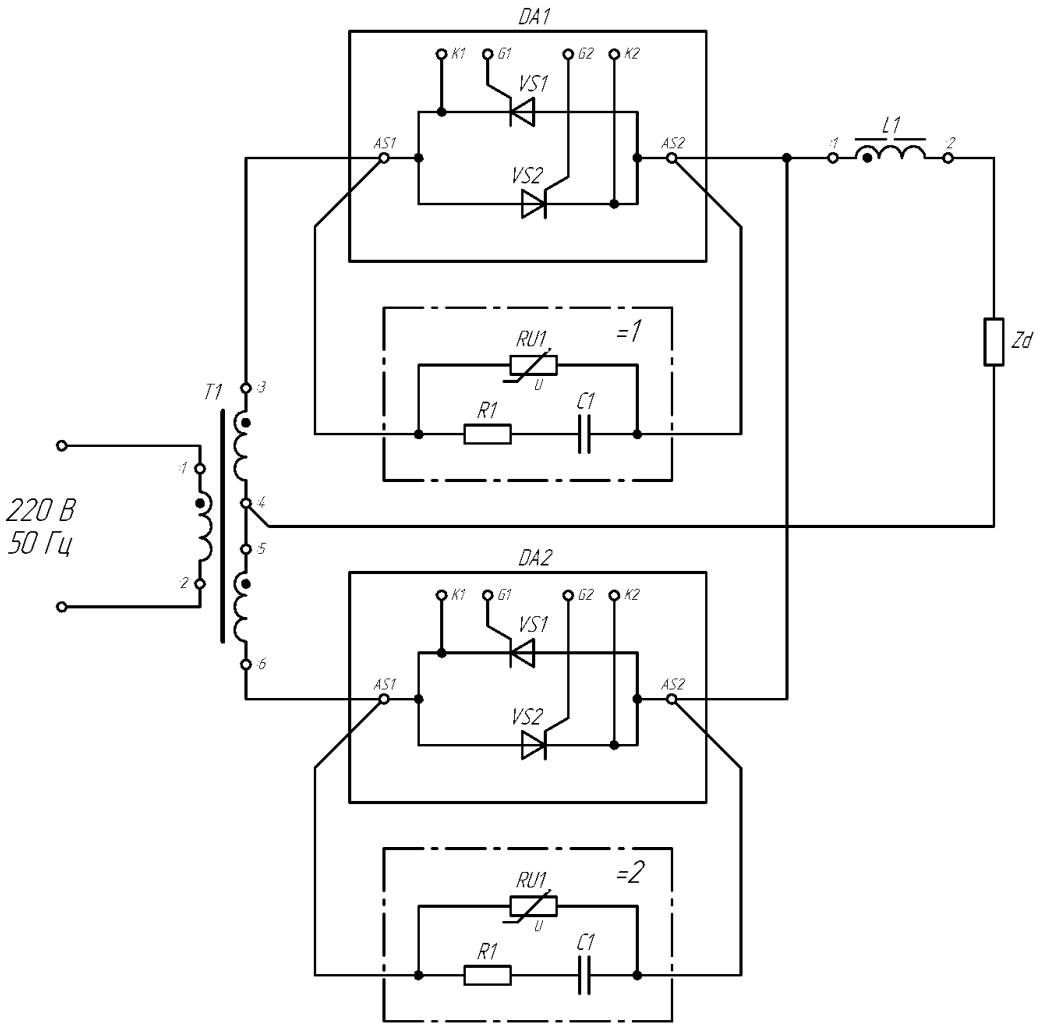


Рисунок 3.1 – Електрична схема керованих випрямлячів

3.2.1 Розрахунок напруги вторинної обмотки трансформатора

Мінімальне, номінальне та максимальне значення напруги мережі живлення, відповідно, рівні:

$$U_{1_min} = 0{,}85 \cdot U_1 = 0{,}85 \cdot 220 = 187\ B \tag{3.13}$$

$$U_{1_nom} = U_1 = 220\ B \tag{3.14}$$

$$U_{1_max} = 1{,}1 \cdot U_1 = 242\ B \tag{3.15}$$

Мінімальне, номінальне та максимальне теоретичні (розрахункові) значення напруги вторинної обмотки трансформатора, що відповідає мінімальному, номінальному та максимальному напругам мережі живлення, будуть, відповідно, рівні:

$$U_{2_min} = \frac{U_d}{0{,}9} = 1{,}11 \cdot U_d = 1{,}11 \cdot 35 = 38{,}85\ B \tag{3.16}$$

$$U_{2_nom} = \frac{U_{2_min}}{0{,}85} = \frac{38{,}85}{0.85} = 45{,}71\ B \tag{3.17}$$

$$U_{2_min} = 1{,}1 \cdot U_{2_{nom}} = 1{,}1 \cdot 45{,}71 = 50{,}27\ B \tag{3.18}$$

На підставі результату розрахунку (3.17) приймаємо номінальне значення робочої напруги вторинної обмотки $U_{2p_nom} = 47{,}0\ B$.

Мінімальне та максимальне значення робочої напруги вторинної обмотки, відповідно до (3.16) та (3.18), дорівнюватимуть:

$$U_{2p_min} = 0{,}85 \cdot U_{2p_{nom}} = 0{,}85 \cdot 47{,}0 = 39{,}95\ B \tag{3.19}$$

$$U_{2p_max} = 1{,}1 \cdot U_{2p_{nom}} = 1{,}1 \cdot 47{,}0 = 51{,}7\ B \qquad (3.20)$$

3.2.2 Визначення напруги холостого ходу керованого випрямляча

Рівняння зовнішньої характеристики керованого випрямляча [8…11]

$$U_d = E_{d0} \cdot cos\alpha - \Delta U_X - \Delta U_a - \Delta U_R - \Delta U_F\ , \qquad (3.21)$$

де: E_{d0} – ЕРС холостого ходу випрямляча, *В*;

U_d – номінальна вихідна напруга випрямляча, *В*;

ΔU_X – комутаційне зниження вихідної напруги, *В*;

ΔU_a – падіння напруги на вентилях, *В*;

ΔU_R – падіння напруги на активному опорі обмоток трансформатора або струмообмежувального реактора, *В*;

ΔU_F – падіння напруги на активному опорі дроселя фільтра, що згладжує, *В*;

α – кут регулювання, електричних градусів (*ел. град.*).

На початковій стадії розрахунків параметри елементів схеми невідомі, тому падінням напруги у схемі доводиться задаватися, використовуючи метод експертних оцінок (досвід розробок подібного обладнання). Після вибору всіх елементів схеми необхідно виконати уточнюючий розрахунок та зробити відповідне коригування параметрів.

Комутаційне зниження (падіння) напруги може бути визначене за формулою

$$\Delta U_X = A \cdot \frac{U_K\%}{100} \cdot U_d = 0{,}35 \cdot \frac{10}{100} \cdot 35 = 1{,}23\ B\ , \qquad (3.22)$$

де: A – коефіцієнт нахилу зовнішньої характеристики (для однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом А = 0,35);

$\Delta U_K\%$ – напруга короткого замикання силового трансформатора, %, $\Delta U_K\% = 5…10\%$.

Для подальших розрахунків, на підставі експертної оцінки, приймаємо $\Delta U_K\% = 10\%$;

Інші складові падіння напруги на виході випрямляча для режиму номінального струму навантаження можуть бути визначені, на підставі експертних оцінок, із співвідношень:

$$\Delta U_R = (0{,}015 \dots 0{,}025) \cdot U_d = 0{,}02 \cdot 35 = 0{,}7\ B \tag{3.23}$$

$$\Delta U_a = n \cdot (1{,}1 \dots 1{,}2) = 2 \cdot 1{,}2 = 2{,}4\ B \tag{3.24}$$

$$\Delta U_F = (0{,}005 \dots 0{,}015) \cdot U_d = 0{,}01 \cdot 35 = 0{,}35 \tag{3.25}$$

де: n – кількість вентилів у контурі струму, включених послідовно, $n = 2$.

Величина ЕРС холостого ходу випрямляча, при заданому значенні $U_d = 35\ B$ і $\alpha = 0$ *ел. град*., складе

$$E_{d0} = \frac{U_d + \Delta U_X + \Delta U_a + \Delta U_R + \Delta U_F}{cos\alpha} =$$

$$\frac{35 + 1{,}23 + 0{,}7 + 2{,}4 + 0{,}35}{1} = 39{,}68\ B \tag{3.26}$$

Виходячи з рівняння зовнішньої характеристики

$$U_d = E_{d0} \cdot cos\alpha - \Delta U_X - \Delta U_a - \Delta U_R - \Delta U_F \tag{3.27}$$

$$E_{d0} \cdot cos\alpha = 0{,}9 \cdot U_2 + \Delta U_X + \Delta U_a + \Delta U_R + \Delta U_F = 0{,}9 \cdot U_2 + \Delta U_\Sigma \tag{3.28}$$

$$E_{d0} = \frac{0{,}9 \cdot U_2 + \Delta U_X + \Delta U_a + \Delta U_R + \Delta U_F}{cos\alpha} = \frac{0{,}9 \cdot U_2 + \Delta U_\Sigma}{cos\alpha} \tag{3.29}$$

де: ΔU_{Σ} – сумарне падіння напруги на виході випрямляча.

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_X + \Delta U_a + \Delta U_R + \Delta U_F = 1{,}23 + 0{,}7 + 2{,}4 + 0{,}35 = 4{,}68\ B \quad (3.30)$$

ЕРС холостого ходу випрямляча, при U_{2p_min}, $U_{2p_ном}$, U_{2p_max} та $\alpha = 0$ *ел. град.*, будуть, відповідно, рівні

$$E_{d0_min} = \frac{0{,}9 \cdot U_{2p_min} + \Delta U_{\Sigma}}{cos\alpha} = \frac{0{,}9 \cdot 39.95 + 4{,}68}{1} = 40{,}64\ \text{В} \quad (3.31)$$

$$E_{d0_nom} = \frac{0{,}9 \cdot U_{2p_nom} + \Delta U_{\Sigma}}{cos\alpha} = \frac{0{,}9 \cdot 47 + 4{,}68}{1} = 46{,}98\ \text{В} \quad (3.32)$$

$$E_{d0_max} = \frac{0{,}9 \cdot U_{2p_max} + \Delta U_{\Sigma}}{cos\alpha} = \frac{0{,}9 \cdot 51.7 + 4{,}68}{1} = 51{,}21\ \text{В} \quad (3.33)$$

де: E_{d0_min} - ЕРС холостого ходу випрямляча, що відповідає мінімальному значенню напруги мережі живлення, *B*;

E_{d0_nom} - ЕРС холостого ходу випрямляча, що відповідає номінальному значенню напруги мережі живлення, *B*;

E_{d0_max} – ЕРС холостого ходу випрямляча, що відповідає максимальному значенню напруги мережі живлення, *B*;

Виходячи з лінійності зовнішніх характеристик, визначимо значення кутів регулювання α, що забезпечують стабілізацію вихідної напруги U_d на рівні завдання при зміні вхідної напруги мережі живлення в діапазоні $(0{,}85...1{,}1)\cdot U_1$

$$\alpha_{min} = arccos\left(\frac{E_{d0}}{E_{d0_min}}\right) = arccos\left(\frac{39{,}68}{40{,}64}\right) = 12{,}48\ \text{ел. град.} \quad (3.34)$$

$$\alpha_{nom} = arccos\left(\frac{E_{d0}}{E_{d0_nom}}\right) arccos\left(\frac{39{,}68}{46{,}98}\right) = 32{,}37 \text{ ел. град.} \qquad (3.35)$$

$$\alpha_{max} = arccos\left(\frac{E_{d0}}{E_{d0_max}}\right) arccos\left(\frac{39{,}68}{51{,}21}\right) = 39{,}21 \text{ ел. град.} \qquad (3.36)$$

Згідно з результатами розрахунків (3.34…3.36), нанесення срібних покриттів, в діапазоні напруги мережі живлення $U_1 = 187...242$ (3.13…3.15), при струмі навантаження $I_d = 30$ і напрузі живлення електролізної ванни $U_{Ag} = 34{,}82\ B$ ($U_{Ag} \approx 35{,}0\ B$), проводиться в діапазоні кутів регулювання $\alpha_{Ag} \approx 12{,}0…39{,}5$ *ел. град.* ($\alpha_{min} = 12{,}48$ *ел. град.*, $\alpha_{nom} = 32{,}37$ *ел. град.*, $\alpha_{max} = 39{,}21$ *ел. град.*).

Напруга живлення електролізної ванни при нанесенні хрому становить $U_{Ag} = 14{,}77\ B$ ($U_{Ag} \approx 14{,}0\ B$). Теоретична величина ЕРС холостого ходу випрямляча, при значенні $U_{d_Cr} = 14\ B$ і $\alpha = 0$ *ел. град.*, складе (3.27, 3.30)

$$E_{d0_Cr} = \frac{U_{d_Cr} + \Delta U_{\Sigma}}{cos\alpha} = \frac{14 + 4{,}68}{1} = 18{,}64\ B\ , \qquad (3.37)$$

Виходячи з лінійності зовнішніх характеристик, визначимо значення кутів регулювання α_{Cr}, що забезпечують стабілізацію вихідної напруги $U_{d_Cr} = 14\ B$ при зміні вхідної напруги мережі живлення в діапазоні $(0{,}85...1{,}1)\cdot U_1$

$$\alpha_{Cr_\min} = arccos\left(\frac{E_{d0_Cr}}{E_{d0_min}}\right) = arccos\left(\frac{18{,}64}{40{,}64}\right) = 62{,}70 \text{ ел. град.} \qquad (3.38)$$

$$\alpha_{Cr_nom} = arccos\left(\frac{E_{d0_Cr}}{E_{d0_nom}}\right) arccos\left(\frac{18{,}64}{46{,}98}\right) = 66{,}62 \text{ ел. град.} \qquad (3.39)$$

$$\alpha_{Cr_max} = arccos\left(\frac{E_{d0_Cr}}{E_{d0_max}}\right) arccos\left(\frac{18{,}64}{51{,}21}\right) = 68{,}66 \text{ ел. град.} \qquad (3.40)$$

Діапазоні кутів регулювання, при нанесенні покрить з хрому (процес хромування), складає $\alpha_{Cr} \approx 62{,}0\ldots69{,}0$ *ел. град.* ($\alpha_{Cr_min} = 62{,}70$ *ел. град.*, $\alpha_{Cr_nom} = 66{,}62$ *ел. град.*, $\alpha_{Cr_max} = 68{,}66$ *ел. град.*).

3.2.3 Розрахунок основних параметрів силової частини випрямляча

Чинне значення струму вторинних обмоток трансформатора [8…11]

$$I_2 = 0{,}707 \cdot I_d = 0{,}707 \cdot 30 = 21{,}21\ A \qquad (3.37)$$

де: I_d – номінальне значення струму навантаження, $I_d = 30\ A$.

Середнє значення струму вентилів

$$I_a = 0{,}5 \cdot I_d = 0{,}5 \cdot 30 = 15\ A \qquad (3.38)$$

Чинне значення струму вентилів

$$I_{VS} = 0{,}707 \cdot I_d = 0{,}707 \cdot 30 = 21{,}21\ A \qquad (3.39)$$

Діюча напруга вторинних обмоток трансформатора визначена раніше (1.5), округлена у велику сторону, до найближчого цілого значення, і становить $U_{2p_nom} = 47{,}0\ B$.

Коефіцієнт трансформації силового трансформатора

$$K_T = \frac{U_{1_{nom}}}{U_{2p_nom}} = \frac{220}{47} = 4{,}68 \qquad (3.40)$$

Чинне значення струму первинної обмотки трансформатора

$$I_1 = 1.0 \cdot \frac{I_d}{K_T} = \frac{30}{4{,}68} = 6{,}41\ A \qquad (3.41)$$

Амплітудне значення зворотної напруги, що прикладається до вентилів

$$U_{B_max} = 3{,}14 \cdot U_d = 3{,}14 \cdot 47 = 147{,}58\ B \qquad (3.42)$$

При виборі параметрів вентилів береться до увазі, що робочий струм вентиля (середнє значення – I_a) повинен складати 50...70% гранично допустимого струму, а робоча зворотна напруга – U_{BP} вибирається по формулі:

$$U_{BP,} \geq \frac{U_{B_\max\ _1} \cdot K_{KO} \cdot K_{RES}}{K_P} = \frac{147{,}58 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}1}{0{,}8} = 284{,}1\ B\ , \qquad (3.43)$$

де: $U_{B_max_1}$ – розрахункова зворотна напруга, рівна амплітуді лінійної ЕРС трансформатора при максимальній напрузі живлячої мережі, *В*

K_{KO} – коефіцієнт, що враховує наявність комутаційних перенапружень: $K_{KO} = 1{,}4$;

K_{RES} – коефіцієнт запасу: $K_{RES} = 1{,}1$;

K_P – коефіцієнт співвідношення, що рекомендується, між робочою і допустимою напругою, що повторюється, на вентилі: $К_р = 0{,}8$.

$$U_{B_\max\ _1} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2p_max} = 2{,}83 \cdot 51{,}7 = 146{,}23\ B \qquad (3.44)$$

Значення зворотної напруги, що прикладається до тиристорів – U_{B_max} *і* $U_{B_max_1}$, визначені за двома різними формулами, близькі за величиною. Обираємо більшу за величиною $U_{B_max_1} = U_{B_max} = 147{,}58\ B$.

На підставі результатів розрахунку (I_a, I_{VS}, U_{B_max} *і* U_{BP}), в якості вентилів

силової частини керованого випрямляча, вибираємо два тиристорних модуля виробництва ЗАТ «Кремній-маркетинг» для панельного монтажу типу М50-50-4-2-V CST Crydom 3-го класу [12]. Технічні параметри модулів наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні параметри тиристорного модуля М50-50-4-2-V

Позначення	Параметр	Значення	Розмірність
$U_{ак}$	Зворотна напруга анод-катод	300	В
$I_а$	Середній струм анода	40	А
$I_д$	Діючий струм анода	63	А
$R_т$	Тепловий опір	0,6	С/Вт
U_o	Порогова напруга	0,85	В
r_q	Динамічний опір	$9{,}5 \cdot 10^{-3}$	Ом

Обоє тиристорних випрямляча – прямий і реверсний змонтовані на одному охолоджувачі. Працюють вони по черзі. Час роботи кожного задається системою автоматичного управління. У кожному модулі знаходиться один тиристор прямого випрямляча і один – реверсного.

Номінальна вихідна потужність джерела живлення, що проектується

$$P_d = U_d \cdot I_d = 35 \cdot 30 = 1050 \text{ Вт} \qquad (3.45)$$

Еквівалентний опір навантаження

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{35}{30} = 1{,}167 \text{ А} \qquad (3.46)$$

Встановлена потужність вторинних обмоток трансформатора

$$S_2 = 1{,}57 \cdot P_d = 1{,}57 \cdot 1050 = 1648{,}5 \text{ Вт} \qquad (3.47)$$

Встановлена потужність первинних обмоток трансформатора

$$S_1 = 1{,}11 \cdot P_d = 1{,}11 \cdot 1050 = 1165{,}5 \text{ Вт} \quad (3.48)$$

Встановлена типова потужність трансформатора

$$S_T = 1{,}34 \cdot P_d = 1{,}34 \cdot 1050 = 1407 \text{ Вт} \quad (3.49)$$

3.2.4 Розрахунок коефіцієнтів пульсації випрямленої напруги

Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги при куті регулювання *α = 0 ел. град.*, для однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом, становить $k_{p0} = 0{,}667$ [11].

Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги при кутах *α > 0 ел. град.* визначається за формулою

$$k_p = k_{p0} \cdot \sqrt{1 + (qm)^2 \cdot tg^2\alpha}\,, \quad (3.50)$$

де: *qm* – пульсність схеми, *qm = 2*:

q – кількість імпульсів напруги (струму) в одній фазі мережі живлення;

m – кількість фаз мережі живлення.

З метою забезпечення заданого коефіцієнта пульсацій напруги в навантаженні, визначаються значення мінімального, номінального та максимального коефіцієнтів пульсацій на вході фільтра (виході вентильного блоку) $k_{p\,min}$, $k_{p\,nom}$ і $k_{p\,max}$ при кутах регулювання α_{min}, α_{nom} і α_{max}, відповідно.

У разі перевищення заданого коефіцієнта пульсацій, до складу схеми випрямляча додається згладжуючий дросель.

Коефіцієнти пульсацій вихідної напруги випрямляча (на вході згладжуючого фільтра *L1*) при $\alpha_{min} = 12{,}48$ *ел. град.*, $\alpha_{nom} = 32{,}37$ *ел. град.*, $\alpha_{max} = 39{,}21$ *ел. град.*, і $k_{p0} = 0{,}667$, відповідно, дорівнюють

$$k_{p\,min} = k_{p0} \cdot \sqrt{1 + (qm)^2 \cdot tg^2\alpha_{min}} =$$

$$= 0{,}667 \cdot \sqrt{1 + 2^2 \cdot (tg12{,}48)^2} = 0{,}73 \qquad (3.51)$$

$$k_{p\,nom} = k_{p0} \cdot \sqrt{1 + (qm)^2 \cdot tg^2\alpha_{nom}} =$$

$$= 0{,}667 \cdot \sqrt{1 + 2^2 \cdot (tg32{,}37)^2} = 1{,}08 \qquad (3.51)$$

$$k_{p\,max} = k_{p0} \cdot \sqrt{1 + (qm)^2 \cdot tg^2\alpha_{max}} =$$

$$= 0{,}667 \cdot \sqrt{1 + 2^2 \cdot (tg39{,}21)^2} = 1{,}28 \qquad (3.52)$$

При значенні заданого коефіцієнта пульсацій вихідної напруги $k_П = 0{,}05$ необхідний згладжуючий дросель.

Коефіцієнти пульсацій вихідної напруги випрямляча (на вході згладжуючого фільтра *L1*) при $\alpha_{Cr_max} = 68{,}66$ *ел. град.*

$$k_{p\,\max_Cr} = k_{p0} \cdot \sqrt{1 + (qm)^2 \cdot tg^2\alpha_{Cr_max}} =$$

$$= 0{,}667 \cdot \sqrt{1 + 2^2 \cdot (tg68{,}66)^2} = 3{,}48 \qquad (3.53)$$

3.2.5 Розрахунок індуктивності згладжуючого дроселя

Амплітуда першої гармоніки пульсацій випрямленої напруги визначається співвідношенням [8…11]

$$U_{m(1)} = \frac{2 \cdot E_{d0_max} \cdot cos\alpha_{max}}{(qm)^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + (qm)^2 \cdot tg^2\alpha_{max}} \qquad (3.54)$$

Амплітуда першої гармоніки пульсацій в режимі нанесення хромового

покриття, при $\alpha_{Cr_max} = 68{,}66$ *ел. град.* (3.40), складе

$$U_{m(1)_Cr} = \frac{2 \cdot E_{d0_max} \cdot cos\alpha_{Cr_max}}{(qm)^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + (qm)^2 \cdot tg^2\alpha_{Cr_max}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 51{,}21 \cdot \cos 68{,}66}{2^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + 2^2 \cdot (tg\ 68{,}66)^2} = 64{,}80 \text{ В} \qquad (3.55)$$

Індуктивність згладжуючого дроселя визначається за формулою

$$L_F = \frac{U_{m(1)}}{qm \cdot \omega \cdot k_p \cdot I_d} - L_d\,, \qquad (3.56)$$

де: *Ld* – індуктивність навантаження;

k_p - коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, $k_p = 0{,}05$ (згідно з завданням)

ω – кругова частота;

$$\omega = 2\pi \cdot f_C = 2\pi \cdot 50 = 314{,}16, \qquad (3.57)$$

де: f_C – частота мережі живлення, $f_C = 50$ *Гц*.

Згідно з завданням, індуктивність навантаження $Ld = 0$ *Гн*. Індуктивність згладжуючого дроселя *L1* дорівнює

$$L_F = \frac{U_{m(1)_{Cr}}}{qm \cdot \omega \cdot k_p \cdot I_d} = \frac{64{,}80}{2 \cdot 314{,}16 \cdot 0{,}05 \cdot 30} = 0{,}069 \text{ Гн} \qquad (3.58)$$

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Одним з важливих етапів розробки електричної схеми джерела живлення установки гальванопластики є моделювання електромагнітних процесів у силової частині керованого тиристорного випрямляча.

4.1 Моделювання електромагнітних процесів у схемі однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом

На підставі розрахунків, у програмному пакеті MathLab, зібрана спрощена електрична схему керованого тиристорного однофазного двонапівперіодного випрямляча з нульовим виводом. Схема наведена на рисунку 4.1.

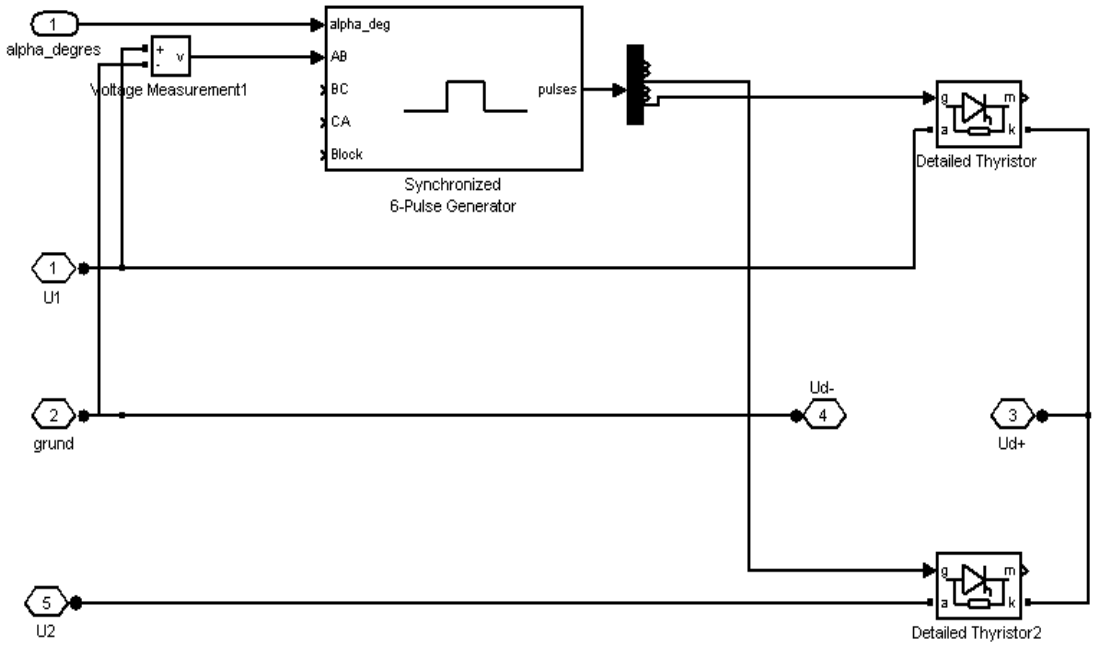


Рисунок 4.1 – Схема однофазного двонапівперіодного випрямляча

Схема включає до себе систему керування, що синхронізована з мережею, та два тиристора. Живлення випрямляча здійснюється від

двофазного джерела змінної напруги, підключеного до однофазної мережи.

На рисунку 4.2 наведено часова діаграма синусоїдальної форми першої фази двофазного джерела живлення. Часова діаграма другої фази відрізняється від першої наявністю фазового зсуву на 180 електричних градусів (ел. град.)

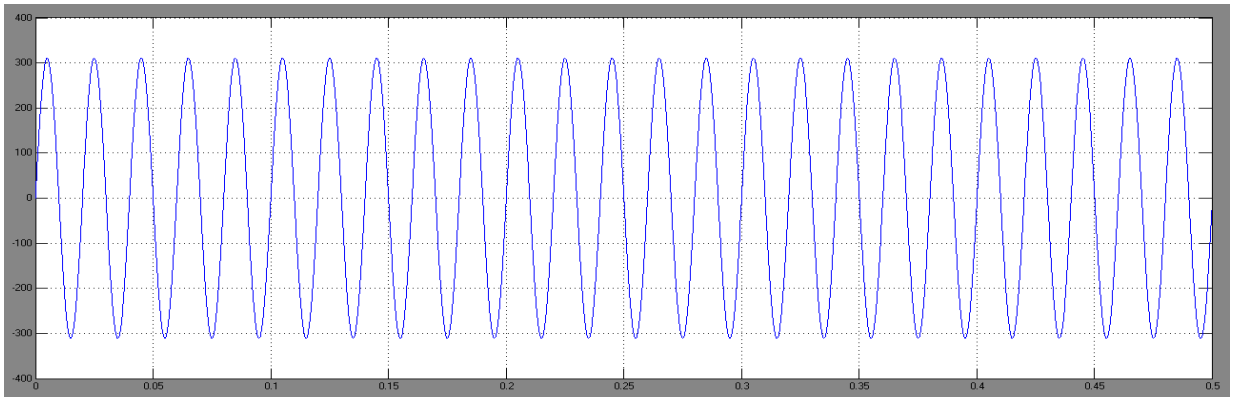


Рисунок 4.2 – Часова діаграма напруги першої фази двофазного джерела живлення

На рисунку 4.3 наведено часова діаграма процесу зміни вихідної напруги випрямляча від нульового значення до номінального прі куту регулювання $\alpha = 0$ *ел. град.* і індуктивності навантаження $Ld = \infty$ після вмикання випрямляча.

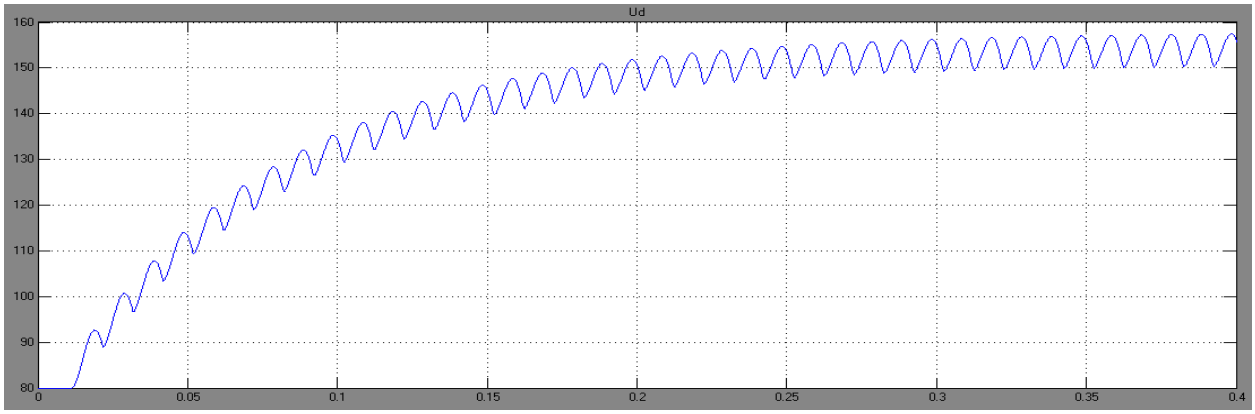


Рисунок 4.3 – Часова діаграма зміни вихідної напруги однофазного двонапівперіодного випрямляча

На рисунку 4.4 наведено часова діаграма процесу наростання вхідного струму двофазного джерела живлення випрямляча, підключеного до однофазної мережи, від нульового до номінального значення, прі α = 0 ел. град. і Ld = ∞, після вмикання випрямляча. Даний процес відповідає процесу наростання вихідної напруги випрямляча та струму навантаження.

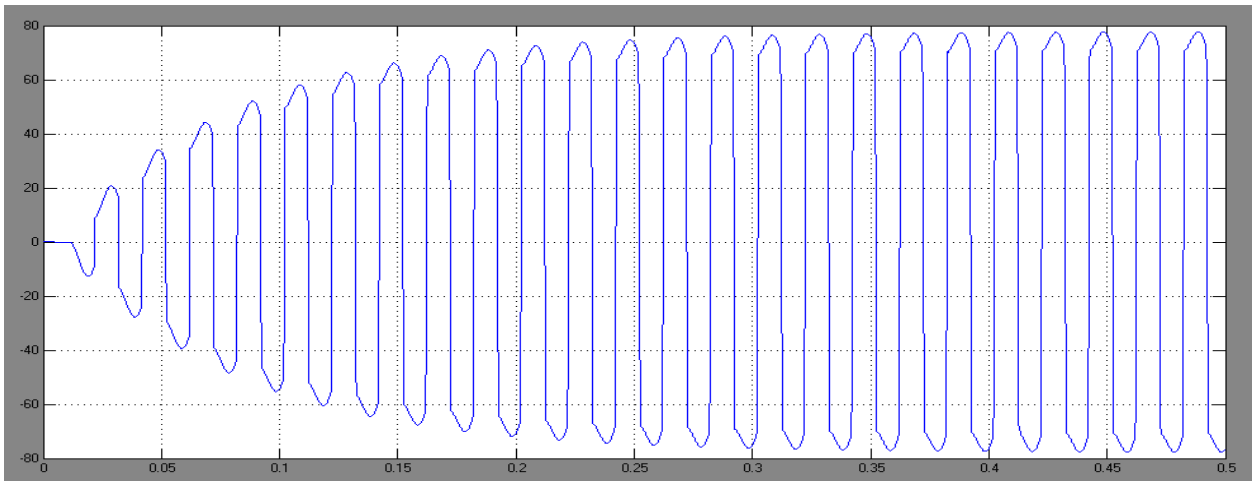


Рисунок 4.4 – Часова діаграма вхідного струму однофазного двонапівперіодного випрямляча

На рисунку 4.5 наведено часова діаграма напруги, що прикладається до тиристора першої фази напруги живлення випрямляча при α = 30 ел. град.

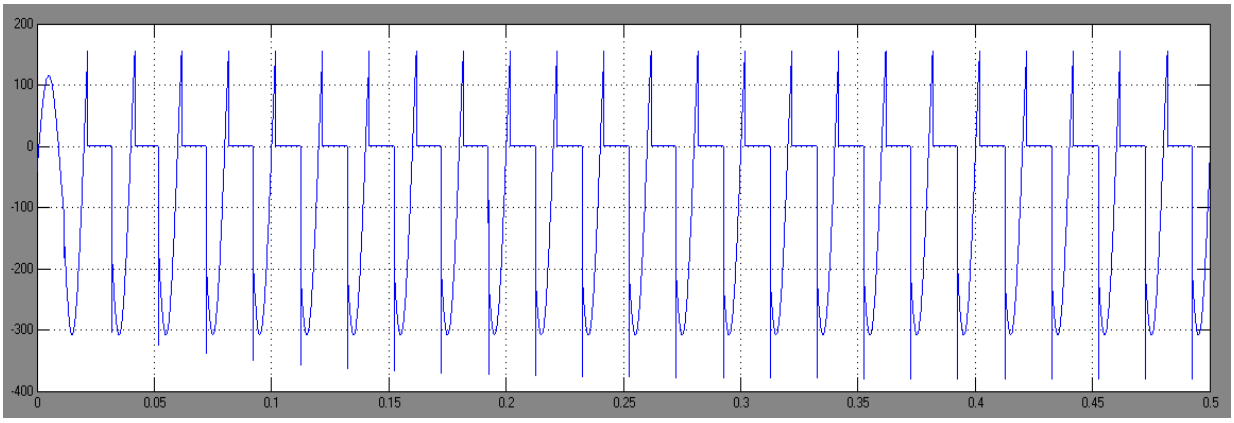


Рисунок 4.5 – Часова діаграма напруги, що прикладається до тиристора першої фази двонапівперіодного випрямляча

Імпульсні короткі викиди напруги на діаграмі є комутаційними перенапругами у схемі, які обумовлені процесами перемикання тиристорів.

На рисунку 4.6 и рисунку 4.7 наведено часові діаграмі вхідного струму однофазного двонапівперіодного випрямляча з виводом нульової точки та напруги, що прикладається до тиристорів в режимі, що встановився. відповідно

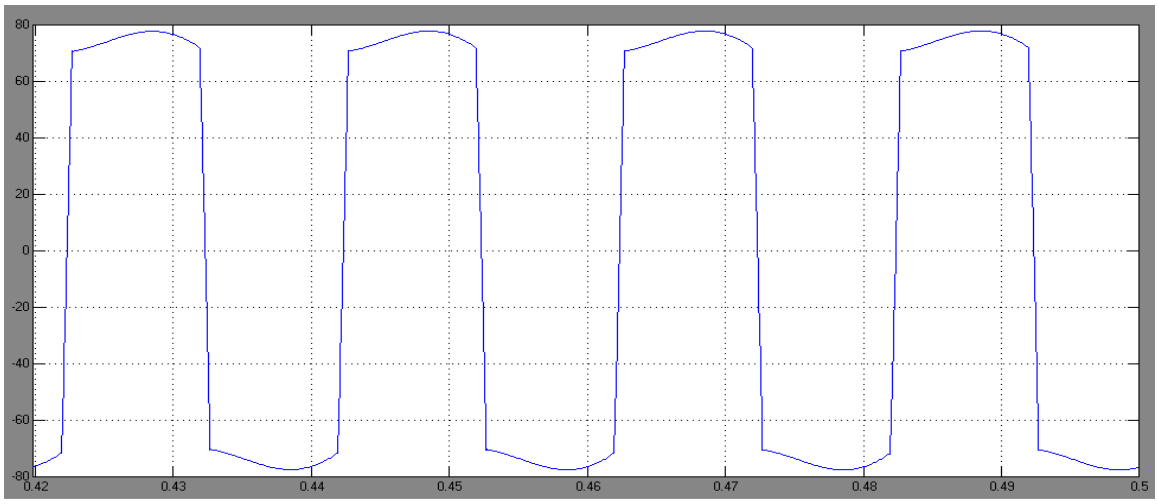


Рисунок 4.6 – Діаграма вхідного струму, що встановився, однофазного двонапівперіодного випрямляча при α = 0 ел. град. і Ld = ∞

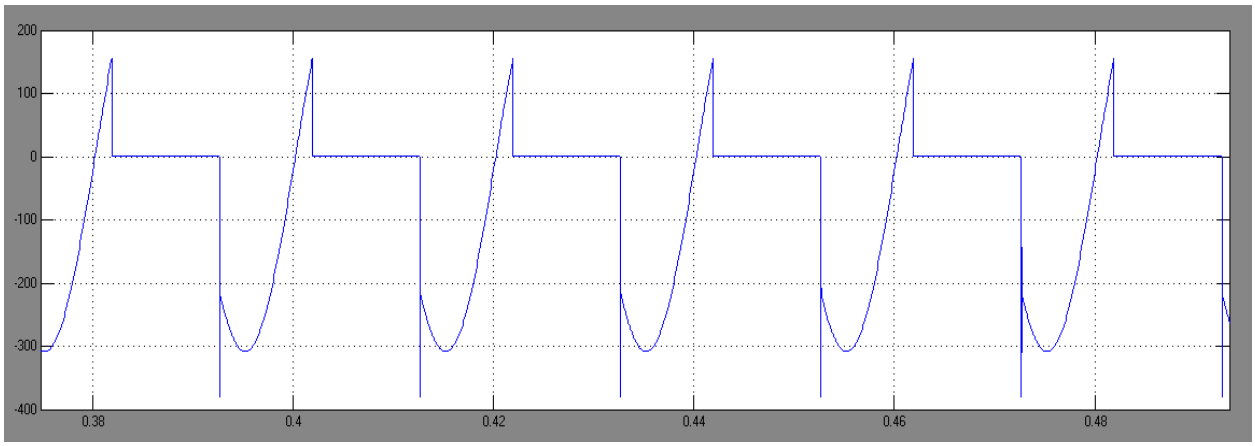


Рисунок 4.7 – Діаграма напруги, що прикладається до тиристорів двонапівперіодного випрямляча при α = 30 ел. град.

4.2 Опис шкідливих факторів і заходів з охорони праці при виготовленні виробу

4.2.1 Охорона праці при пайці і випалюванні ізоляції [13, 14]

Нині майже усі електромонтажні з'єднання РЕА здійснюються пайкою. Технологічний процес пайки включає в себе випалювання ізоляції і лудіння.

При виконанні пайки на працюючих можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники: запиленість і загазованість повітря робочої зони; наявність інфрачервоного випромінювання від розплавленого припою у ванні або від паяльника; наявність електромагнітного випромінювання високої частоти; дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій; дія електростатичного заряду; незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; дія бризок і крапель розплавленого припою; поразка електричним струмом; а також група психофізіологічних шкідливих виробничих чинників: фізичні перевантаження (статичні і динамічні) і нервовопсихічні (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Операції пайки, лудіння і випалення ізоляції супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами свинцю, олова, сурми і інших елементів, що входять до складу припою;

- парами каніфолі і різних рідин, вживаних для флюсу, змиву і розчинення різних лаків, які застосовуються для покриття друкованих плат;
- парами соляної кислоти; газами(окисел вуглецю, вуглеводня) і т. д.

Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються на аерозоль такої конденсації, частки якої по своїй дисперсності наближаються до димів.

Знаходячись в запиленій атмосфері, робітники піддаються дії пилу і пари; шкідливі речовини осідають на поверхні шкірного покриву, потрапляють на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних

шляхів, із слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються у легені. Разом із забрудненням повітряного середовища забруднюються робочі поверхні, одяг і шкірні покриви працюючих.

Особливо шкідливі при пайці олов'яно-свинцевими припоями пари свинцю. Свинець і його з'єднання отруйні. Частина свинцю, що поступила в організм, виводиться через кишечник і нирки, а частина затримується в кістковій речовині, м'язах, мозку, печінці. За несприятливих умов свинець починає циркулювати в крові, викликаючи явища свинцевого отруєння. Свинець викликає зміни у складі крові, вражає нервову систему, нирки і печінку. Властивість свинцю накопичуватися в організмі призводить до хронічного отруєння при систематичному надходженні в організм навіть малих його кількостей. Для запобігання гострим і професійним захворюванням вміст свинцю в повітряному середовищі не повинен перевищувати гранично допустимої концентрації – 0,01 мг / м^3.

У виробництві радіоелектронної апаратури окрім олов'яно-свинцевих припоїв знаходять застосування припої, до складу яких входять мідь, літій, срібло, кадмій і інші метали. В деяких випадках пайка здійснюється шляхом занурення в розплавлені хлористі солі кадмію, натрію, бору, літію з додаванням активних присадок – фтористих солей. Пари більшості з перерахованих речовин, що утворюються при пайці, можуть чинити шкідливу дію на організм працюючих. Найбільш небезпечні пари окислу кадмію, міді і фтористі сполуки. Не байдужі для організму також літій і хлористий цинк, що чинять подразливу дію на шкіру і дихальні шляхи.

Пайка в атмосфері звичайними припоями робиться із застосуванням флюсів. Біологічна дія флюсів на організм людини залежить від компонентів, що входять до складу паяльних флюсів. Одні компоненти – (каніфоль соснова, етилацетат, олеїнова кислота та ін.) мають подразливу дію. Другі – (спирт етиловий) – наркотичну. Треті – (семікарбазид гідрохлорид, етилгліколь) – високо токсичну. Дія четвертих – (кремнійорганічна рідина) на організм ще не вивчена достатньо.

Деякі марки флюсів (ФГСп, ФДФс, ФСкСп та ін.) через високу токсичність рекомендується не застосовувати або обмежувати їх застосування. У усіх флюсах слідує етилгліколь замінювати гліцерином, оскільки він здатний проникати в організм навіть через неушкоджену шкіру.

Для видалення залишків флюсів після пайки залежно від марки флюсу застосовуються різні миючі середовища, які мають токсичні властивості.

Кожному різновиду процесів пайки і лудіння притаманні певні шкідливі і небезпечні фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні фактори, що відрізняються як кількісними, так і якісними характеристиками. При цьому деякі види паяння і лудіння утворюють одночасно кілька таких виробничих факторів, які можуть призвести до травмування та профзахворювань або виникнення пожеж і вибухів.

Такими потенційно небезпечними і шкідливими виробничими факторами можуть бути:

- запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- наявність інфрачервоного випромінювання від розплавленого припою у ванні або паяльника;
- наявність електромагнітного випромінювання високої частоти;
- дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій;
- вплив електростатичного заряду;
- незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість;
- незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;
- впливу бризок і крапель розплавленого припою;
- ураження електричним струмом;
- група психофізіологічних шкідливих виробничих факторів: фізичні перевантаження (статичні і динамічні), нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Всі різновиди процесів пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища аерозолем припою і флюсу, парами різних рідин,

застосовуваних для флюсу, змивки і розчинення лаків, парами соляної кислоти, газами (окис вуглецю, вуглеводні) тощо.

Операції пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами оксиду свинцю, олова, сурми та інших елементів, що входять до складу припою, а також парами каніфолі. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються в аерозоль конденсації.

Більшість елементів, що входять до складу застосовуваних припоїв, є небезпечним для здоров'я та життя людини.

Питоме утворення аерозолю свинцю при лудінні і паянні олов'яно-свинцевими припоями наступне [13, 14]:

- при пайці електропаяльником потужністю 20 – 60 Вт – 0.02 … 0,04 мг на 100 пайок;
- при лудінні зануренням у припій (відносно до поверхні ванни) – 300 … 500 мг / ($м^2$ · год.);
- при лудінні та / або пайці хвилею (відносно до поверхні хвилі) – 3000 … 5000 мг / ($м^2$ · год.).

Залишки паяльного флюсу після операції лудіння і паяння містять свинець, який може надходити в повітря приміщення. Залишки флюсу від 1000 пайок, проведених електропаяльником, містять 0,4 мг свинцю.

Враховуючи шкідливість початкових компонентів, що входять до складу припоїв, флюсів, миючих середовищ, і забруднення атмосфери виробничих приміщень пилом, парами і газами, для досягнення сприятливих умов праці необхідно провести комплекс нижчеперелічених заходів.

1. Ділянки, на яких зосереджені операції пайки, виділяють в окремі приміщення. Якщо пайка проводиться на потоковій лінії при чергуванні з іншими технологічними операціями, виробничі приміщення в цьому випадку розглядають як приміщення, призначені для пайки.

2. Стіни, віконні рами, опалювальні прилади, повітропроводи мають бути гладкими і покриваються масляною фарбою світлих тонів (панелі на рівні

1,5...2 м від підлоги краще облицьовувати плиткою). Підлоги мають бути водонепроникними, мати підвищену міцність і опір стиранню і займанню, без щілин і мати ухили до трапів каналізації. На ділянках пайки їх миють після кожної зміни. Не рідше за один раз в тиждень роблять вологе прибирання усього приміщення.

3. При ручній пайці і випалюванні ізоляції в цілях захисту від поразки електричним струмом електропаяльник та електровипалювалка мають працювати від електромережі напругою не вище 42 В.

4. Прибирання устаткування робиться із застосуванням пневмоприбиральної системи. Робочі поверхні столів, ящиків для зберігання інструментів і тара у кінці зміни очищаються і обмиваються гарячим мильним розчином.

5. Використані серветки і ганчір'я після зміни повинні спалюватися, повторне їх використання не допускається.

6. Шафи для зберігання робочого одягу і особистих речей щотижня усередині і зовні обмиваються гарячою водою з милом.

7. Експлуатація ділянок пайки, не обладнаних витяжною вентиляцією, забороняється. Вентиляційні установки повинні вмикатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення.

8. Приміщення, в яких розміщуються ділянки пайки, обладнуються відособленою приточно-витяжною вентиляцією. Приплив повітря повинен складати 95% об'єму витягу. Бракуючі 5% приточного повітря поступають з суміжних, чистіших приміщень.

9. Особи, що не досягли 18-літнього віку, до постійної роботи з припоями, що містять свинець і кадмій, не допускаються.

10. Жінки, зайняті пайкою, в період вагітності і годування дітей перекладаються на роботу, не пов'язану з пайкою.

11. Усі, хто поступають на роботу мають бути проінструктовані про запобіжні заходи при поводженні з припоями і флюсами. Особлива увага при інструктажі слід приділяти питанням особистої гігієни.

Місця, відведені для паління, а також кімнати для прийому їжі і виробничі ділянки обладнуються умивальниками, до яких безперебійно повинна подаватися гаряча і холодна вода. У умивальників передбачаються банки з 1% -им розчином оцтової кислоти або змивочної пасти на основі ОП-7 для попереднього обмивання рук з подальшим миттям їх теплою водою з милом. Перед їдою і палінням обов'язково необхідно мити руки і полоскати порожнину рота. Для обтирання рук застосовуються разові серветки. Застосування рушників загального користування не дозволяється.

Для захисту шкіри рук від дії сенсибілізуючих речовин, що входять до складу флюсів, застосовують захисні мазі і пасти типу «Миколан», пасти ІЕР - 1, ХІОТ - 14, казеїнову пасту і біологічні рукавички, які наносять на шкіру перед початком роботи і після обідньої перерви. Після роботи для шкіри рук необхідно застосовувати жирні поживні креми [13, 14].

Питну воду, для працюючих на ділянках пайки, слід подавати через фонтанчики, які встановлюються за межами паяльних ділянок, але поблизу них.

Паяльні роботи повинні виконуватися робітниками в передбаченому для цього спецодязі, який забороняється відносити додому.

У приміщеннях, де виконується пайка, забороняється зберігати спецодяг, особисті речі, приймати і зберігати їжу, питну воду, а також палити. Знаходитися в приміщеннях для їди, їдальнях і буфетах в робочому одязі забороняється.

Після закінчення роботи необхідно прийняти теплий душ, почистити зуби зубним порошком і прополоскати порожнину рота водою.

Цій категорії працівників не рекомендується видавати молоко, оскільки воно містить легко засвоюваний кальцій, підвищене введення якого в організм викликає негативний вплив на течію свинцевої інтоксикації. Тому при роботі зі свинцем і його з'єднаннями замість молока робітникам необхідно видавати 8...10 г пектину у вигляді мармеладу або концентрату пектину з чаєм.

Деякі з речовин і матеріалів, вживаних на ділянках пайки,

пожежовибухонебезпечні. Пожежа може виникнути на операціях приготування флюсів (етиловий спирт, етилацетат), припоїв, при видаленні залишків флюсів після пайки (спиртобензинова суміш, ацетон) і при проведенні робіт по захисту дзеркала розплавленого припою в агрегатах пайки (займання олії) [13, 14].

4.2.2 Розрахунок заземлюючого пристрою [15]

У лабораторії де збирають і випробують джерело живлення всі електроприлади відносяться до 1-го класу: мають робочу ізоляцію і елементи для заземлення. Використовуване електроустаткування – паяльники, осцилографи, світильники, пускова апаратура, кабелі відносяться до електроустановок напругою до 1000В. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) встановлюють найбільші допустимі значення опору заземлювача розтіканню струму не більше *4 Ом* [16].

Захисне заземлення будівлі, де розташована лабораторія, знаходиться в одношаровому ґрунті, Опір природного заземлювача складає $R_e = 10$ *Ом* [15], допустимий опір заземлювача $R_o = 4$ *Ом* [16], питомий опір ґрунту $\rho = 87$ *Ом · м* [16]. Коефіцієнт сезонності $\psi = 1{,}3$ [15]. Глибина залягання електроду $h = 0{,}5$ *м*.

Контур заземлення виконаний із сталевих стержнів. У траншеї завглибшки до *0,7 м* вертикально забиті стержні, а виступаючі з землі верхні кінці з'єднані зваркою внакладку сталевим прутком.

Як вертикальні електроди використані прутки діаметром $d = 0{,}02$ м і завдовжки $l = 3{,}5$ *м*.

Знаходимо допустимий опір штучного заземлювача:

$$R_{\text{и}} = \frac{R_e \cdot R_{\text{д}}}{R_e - R_{\text{д}}} = \frac{10 \cdot 4}{10 - 4} = 6{,}67 \text{ Ом} \qquad (4.1)$$

Відстань від поверхні землі до середини вертикального електроду:

$$t = h + \frac{l_в}{2} = 0{,}5 + 1{,}75 = 2{,}25 \text{ м.} \quad (4.2)$$

Приймаємо відстань між вертикальними електродами *а = 3,5 м*. Опір одиночного вертикального заземлювача [15]:

$$R_в = \frac{\rho \cdot \psi}{2 \cdot \pi \cdot l_в}\left(ln\frac{2 \cdot l_в}{d} + \frac{1}{2} \cdot ln\frac{4 \cdot t + l_в}{4 \cdot t - l_в}\right); \quad (4.3)$$

$$R_в = \frac{87 \cdot 1{,}3}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}5}\left(ln\frac{2 \cdot 3{,}5}{0{,}02} + \frac{1}{2} \cdot ln\frac{4 \cdot 2{,}25 + 3{,}5}{4 \cdot 2{,}25 - 3{,}5}\right) = 31 \text{ Ом.}$$

Знаходимо орієнтовне число вертикальних заземлювачів:

$$n^{\text{орієнт}} = \frac{R_в}{R_и} = \frac{31}{6{,}67} = 4{,}6 \text{ шт.} \quad (4.4)$$

Знаходимо по [15] орієнтовний коефіцієнт використання вертикальних електродів:

$$\eta^{\text{орієнт}} = 0{,}7.$$

Знаходимо число вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{R_в}{R_и \cdot \eta_в} = \frac{31}{6{,}67 \cdot 0{,}7} = 6{,}63. \quad (4.5)$$

Округлюємо число електродів до 7 і знаходимо коефіцієнт використання вертикальних електродів:

$$\eta_в = 0{,}73.$$

Знаходимо довжину горизонтального електроду. При розташуванні електродів в ряд довжина горизонтального електроду:

$$l_{\text{г}} = a \cdot (n-1) = (7-1) = 21 \text{ м.} \quad (4.6)$$

Приймаємо товщину горизонтального електроду b = 0,005 м.

Знаходимо опір горизонтального електроду:

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho \cdot \psi}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{г}}} \cdot ln \frac{2 \cdot l_{\text{г}}^2}{b \cdot h}; \quad (4.7)$$

$$R_{\text{г}} = \frac{87 \cdot 1{,}3}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 21} \cdot ln \frac{2 \cdot 21^2}{0{,}005 \cdot 0{,}5} = 11{,}0 \text{ Ом}$$

Знаходимо по [15] коефіцієнт використання горизонтального електроду:

$$\eta_{\text{г}} = 0{,}65.$$

Знаходимо опір штучного заземлювача:

$$R_{\text{и}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{г}} + n_{\text{в}} \cdot R_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{г}}} = \frac{31 \cdot 11}{31 \cdot 0{,}73 + 7 \cdot 11 \cdot 0{,}65} = 4{,}69 \text{ Ом.} \quad (4.8)$$

Знаходимо загальний опір заземлювача:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_e \cdot R_u}{R_e + R_u} = \frac{10 \cdot 4{,}59}{10 + 4{,}69} = 3{,}19 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

Оскільки опір заземлювача менш $R_д = 4$ *Ом*, захисне заземлення виконано вірно. На рисунку 4.8 показана схема розташування заземлюючого пристрою.

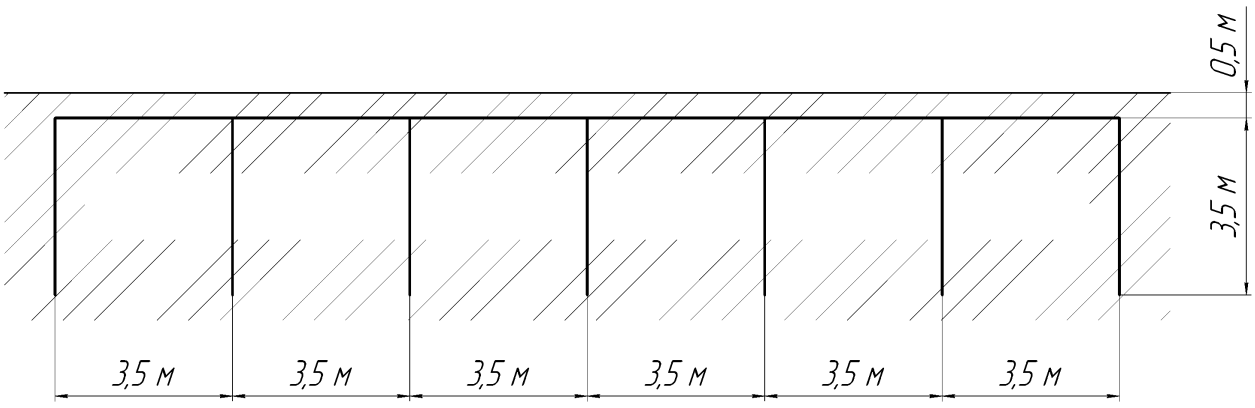


Рисунок 4.8 – Розташування електродів заземлюючого пристрою

Заземленою нейтраллю називається нейтраль електроустаткування, приєднана до заземлюючого пристрою безпосередньо або через малий опір.

Опір заземлення нейтралі джерела струму r_o такий, щоб у разі замикання якої-небудь фази на землю через опір $r_{зм}$ напруга, під якою опиниться людина, що доторкнулася до зануленого корпусу або до нульового захисного дроту безпосередньо, не перевищувала деякої допустимої напруги дотику $U_{пр.доп.}$, $В$.

$$r_0 \leq r_{\text{зм}} \frac{U_{\text{пр. доп.}}}{U_{\text{ф}} - U_{\text{пр. доп.}}} = 4 \frac{42}{220 - 42} = 0{,}94 \text{ Ом.} \qquad (4.7)$$

За умовами безпеки дотику до занулених корпусів в період існування замикання фази на землю $r_{зм}$ і $U_{пр.доп}$ повинні бути можливо меншого значення. Тому приймається $r_{зм} = 4$ $Ом$. Для виключення випадків замикання фази на металеві конструкції з малим опором розтіканню, ці конструкції сполучені з нульовим захисним провідником, тобто занулені [17].

Приміщення лабораторії відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки. Основні ізолюючі захисні засоби для електроустановок і засоби захисту персоналу: діелектричні рукавички, слюсарний-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги, захисні окуляри, щитки і т.п [17].

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ УСТАНОВКИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень. До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків [18...20].

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

Розшифровка суми витрат по статтям кошторису:

І. Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів базового підприємства на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добутків тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначаємося як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8 годин).

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

Розрахунок зарплати розробників технічної документації на розробку джерела живлення для гальванопластики приведений в табл. 5.1 [20].

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапів розробки	Одиниця виміру	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю, нормо - година	Трудомісткість етапу, люд.- година	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата на етап, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Схема електрична функціональна	схема ф.А1	2	8	16	1	2	480,00	560,00
2	Схема електрична принципова	ф.А1	1	8	8	1	1	480,00	480,00
3	Складальне креслення	ф.А1	1	8	8	1	1	480,00	480,00
4	Креслення деталей	ф.А4	8	1	8	1	1	400,00	480,00
5	Монтажна схема	схема	1	8	8	1	1	480,00	480,00
6	Специфікація	ф.А4	2	2	4	1	0,5	400,00	200,00
7	Відомість куп. виробів.	ф.А4	2	2	4	1	0,5	400,00	200,00
8	Таблиці	ф.А1	2	4	8	1	1	480,00	480,00
9	Розрахунки	ф.А4	24	1	24	1	3	480,00	1440,00
10	Записка пояснення	ф.А4	64	1	64	1	8	480,00	3840,00
11	Технічні умови	ф.А4	4	2	8	1	1	480,00	480,00
12	Документи інші	ф.А4	8	1	8	1	1	400,00	400,00
	Разом								9520,00

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15…20% цієї трудомісткості.

2. Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробовується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку зарплати на розробку документації (див. табл. 5.1).

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і підвищені розряди роботи на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата за виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн.
1	Монтажні	6	80	60,00	4800,00
2	Складальні	6	55	50,00	2750,20
3	Регулювальні	6	15	65,00	975,00
	Разом				8520,00

3. Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проектований виріб. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів і комплектуючих збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Ізоляційні матеріали	кг	0,5	30,00	15,00
2	Провід, кабель	м	50	5,00	250,00
3	ПОС-60	кг	0,3	150,00	50,00
4	Метизи	кг	1,00	20,00	20,00
	Разом				335,00

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючи вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Керуючий контролер	1	1100,00	1100,00
2	Формувач імпульсів	2	120,00	240,00
3	Вузол синхронізації	1	120,00	120,00
4	Блок живлення	1	250,00	250,00
5	Блок датчиків	1	150,00	150,00
6	Формувач траєкторії	2	30,00	60,00
7	Індикатор	2	170,00	340,00
8	Реле	1	100,00	100,00
9	Тиристорний модуль	2	120,00	160,00
10	Світлодіодна лампа	1	30,00	30,00
11	Дросель	1	400,00	400,00
12	Вентилятор	1	200,00	200,00
13	Трансформатор	1	1600,00	1600,00
14	Клемний затискач	2	10,00	20,00
15	Контактор	1	25,00	25,00
16	Конденсатор	1	30,00	30,00
17	Вставка плавка	3	1,00	3,00
18	Вилка	6	1,00	6,00
19	Автоматичний вимикач	1	25,00	25,00
20	Наконечник	2	1,50	3,00
21	Кнопка	2	5,00	10,00
22	Розетка	19	3,60	70,00
23	Технологічний таймер	1	300,00	300,00
	Разом			5242,00

4. Накладні витрати беруться у розмірі 20…140% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5. Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проектований виріб, грн.
1	Матеріали	335,00
2	Куповані комплектуючи вироби	5242,00
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	278,85
4	Заробітна плата виробничих робочих	8520,00
5	Нарахування на зарплату (36,9%)	3143,88
6	Накладні витрати(120% п.4)	10224
	Разом собівартість	27743,73

Інші витрати включають невраховані витрати на виготовлення або придбання спеціальної апаратури, необхідної для випробування макету і дослідного зразка

Виходячи з вищенаведених розрахунків, складається кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва виробу (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	9520,00
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (20% п.1)	1904,00
3	Разом ФЗП	11424,00
4	Нарахування на зарплату (36,9%)	4215,46
5	Накладні витрати (120% ФЗП)	13708,80
6	Собівартість дослідного зразка	27743,73
7	Інші витрати	3000,00
	Всього вартість розробки (капітальні вкладення на розробку виробу)	60091,99

Для складання калькуляції собівартості і визначення ціни виробу необхідно розрахувати зарплату робочих, безпосередньо зайнятих у

виробництві розробленого блоку.

Заробітна плата виробничих робочих визначається на підставі трудомісткості виготовлення виробу, розрядів і відповідних тарифних ставок по видах робіт.

Розрахунок заробітної плати виробничих робочих представлений в таблиці 5.7. Основними видами виконуваних робіт є складальні, монтажні і регулювальні роботи.

Таблиця 5.7 – Заробітна плата виробничих робочих

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість, нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Монтажні	5	40	60,00	2400,00
2	Складальні	5	28	55,00	1540,00
3	Регулювальні	5	8	65,00	520,00
	Разом				4460,00

Розрахунок собівартості серійного виробу проводиться на основі калькуляційних статей витрат.

Загальновиробничі витрати прийняті у розмірі 120% від суми основної заробітної плати виробничих робочих.

Адміністративні витрати – 30% від виробничої собівартості.

Таким чином, калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу має вигляд, представлений в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Величина на проектований виріб, грн.	Примітка
1	Матеріали	335,00	Табл. 5.3
2	Куповані комплектуючі вироби	5242,00	Табл. 5.4
3	Транспортні витрати	278,85	5% (п.1+п.2)
4	Основна зарплата робочих	4460,00	Табл. 5.7

5	Додаткова зарплата робочих	892,00	20% п.4
6	Відрахування на соціальні заходи	1974,89	36,9% (п.4+п.5)
7	Загальновиробничі витрати	5352,00	120% п.4
8	Разом виробнича собівартість	18534,74	
9	Прибуток	5560,42	30% п.8
10	Ціна підприємства	24095,16	

У сучасних умовах при проектуванні будь-якого виробу необхідно обґрунтувати доцільність його серійного випуску за допомогою розрахунку основних економічних показників.

Економічне обґрунтування технічних рішень включає визначення економічного ефекту, ефективності і терміну окупності інженерної розробки.

Річний економічний ефект розраховується по формулі:

$$Э = П \cdot В - е \cdot К, \tag{5.1}$$

де: $П$ – очікуваний прибуток від реалізації одиниці продукції, П = 5560,42 грн;

$В$ – об'єм випуску продукції в рік, В = 10 шт.;

$е$ – нормативна величина ефективності, $е$ = 0,15;

$К$ – капітальні вкладення на розробку виробу К = 60091,99 грн.

Підставимо у формулу (5.1) очікуваний прибуток від реалізації одиниці продукції і капітальні вкладення на розробку виробу і розрахуємо величину річного економічного ефекту:

$$Э = 5560{,}42 \cdot 10 - 0{,}15 \cdot 60091{,}99 = 46590{,}40 \; грн.$$

Економічна ефективність визначається по формулі:

$$E = \frac{П \cdot В}{К} \tag{5.2}$$

Тобто, економічна ефективність інженерної розробки буде дорівнювати:

$$E = \frac{5560{,}42 \cdot 10}{60091{,}99} = 0{,}925 \text{ грн./грн.}$$

Термін окупності є величиною, зворотною економічній ефективності і розраховується по формулі:

$$T = \frac{1}{E} \tag{5.3}$$

Термін окупності проектованого виробу складе:

$$T = \frac{1}{0{,}925} = 1{,}08 \text{ року.}$$

Таблиця 5.9 – Основні економічні показники

Найменування показника	Одиниці виміру	Величина показника
Вартість капітальних вкладень	грн.	60092,00
Ціна виробника	грн.	24095,16
Випуск за рік (орієнтований)	шт.	10
Річний економічний ефект	грн.	46590,40
Економічна ефективність	грн./грн.	0,925
Термін окупності	рік	1,08

Економічні розрахунки підтвердили доцільність виготовлення розробленого джерела живлення установки гальванопластики.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті розглянуто технологічний процес нанесення гальванічних покриттів кольорових металів під впливом електричного струму на матриці з метою формоутворення та технічні параметри сучасних джерел живлення гальванічних ванн, що виробляються в Україні. На підставі розглянутих матеріалів сформульовано завдання на розробку джерела живлення установки гальванопластики, призначеного для нанесення металевих покриттів на матриці площею до 10 дм^2. Відповідно до завдання на проектування, електропостачання джерела живлення здійснюється від однофазної мережі напругою 220 В частотою 50 Гц. Номінальний струм навантаження становить 30,0 А при вихідній напрузі 35,0 В. Діапазон зміни величини вихідної напруги при струмі навантаження, що змінюється в діапазоні $I_d = 1{,}0 \ldots 30\ A$, становить $U_d = 1.0 \ldots 35.0\ B$. Виріб дозволяє, при струмі навантаження 30 А, виконувати хромування поверхонь площею до 18 дм^2 (напруга осадження $U_{Cr} \approx 35$ В) або сріблення поверхонь площею до 60 дм^2 (напруга осадження $U_{Ag} \approx 15$ В).

У процесі виконання дипломного проекту розроблено структурну, функціональну та принципову електричні схеми установки гальванопластики, виконано розрахунки необхідних вихідних параметрів джерела живлення для нанесення металевих покриттів та розрахунки параметрів елементів силової частини реверсивного випрямляча.

Виконано моделювання електромагнітних процесів у схемі однофазного керованого випрямляча.

Описано шкідливі фактори та заходи з охорони праці при виготовленні виробу. Виконано розрахунок заземлюючого пристрою.

Надано економічний розрахунок вартості виготовлення джерела живлення установки гальванопластики. Економічні розрахунки підтвердили доцільність виготовлення проектованого виробу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Конспект лекцій з навчальної дисципліни “Гальванопластика і декоративна обробка металів” для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія”, освітньої програми «Технічна електрохімія та хімічні технології рідкісних розсіяних елементів» / уклад. С. А. Лещенко. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2025.– 112 с.

2. Ямпільський А.М., Ільїн В.А. Короткий довідник гальванотехніка. - 3-е вид., перероб. та дод. - Л.: Машинобудування, Ленінгр. відд-ня. - 1981, - 269 с.

3. Джерело живлення для гальванічних ван : веб-сайт. URL: https://bvp.com.ua/ua/ (дата звернення: 05.05.2026).

4. Джерело живлення для гальванічних ван : веб-сайт. URL: https://bvp.com.ua/ua/Art_TFT.php/ (дата звернення: 05.05.2026).

5. Джерело живлення для гальваніки ЕТАЛОН-ПРИЛАД : веб-сайт. URL: https://etalonpribor.com.ua/ (дата звернення: 05.05.2026).

6. Джерело живлення для гальваніки ЕП3.2040Г.1.3-1011000 : веб-сайт. URL: https://etalonpribor.com.ua/iep3-2040g-1-3-1011000-ictochnik-pitaniya.html/ (дата звернення: 05.05.2026).

7. Джерело живлення для гальваніки ЕП3.15100Г.1.3-1010110 : веб-сайт. URL: https://etalonpribor.com.ua/iep3-15100g-1-3-0100000-ictochnik-pitaniya.html / (дата звернення: 05.05.2026).

8. Шавьолкін О.О. Енергетична електроніка: навчальний посібник / О.О. Шавьолкін. – К. : КНУТД, 2017. – 396 с.

9. Енергетична електроніка: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Я. Ромашко, Л. М. Батрак – Електронні текстові дані (1 файл: 5,11 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 117 с.

10. Чиженко І.М., Руденко В.С., Сенько В.І. Основи перетворювальної техніки. – М.: Вища школа, 1974.

11. Чиженко І.М., Андрієнко П.Д., Баран А.А., Видолб Ю.Ф., Денисов А.І., Курило І.А., Остренко В.С., Приходько Н.Г., Руденко В.С., Рябокрис І.Ф., Сенько В.І., Татарин В.П., Трифонюк В.В., Шипілло В.П. Довідник з перетворювальної техніки / За ред. І.М. Чиженка. – К.: Техніка, 1978. – 447 с.

12. m50 : веб-сайт. URL: www.crydom.com (дата звернення: 05.05.2026).

13. С.С. Козлов. Методичні вказівки до виконання розділу – Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в дипломних проектах для підготовки студентів факультету електроніки за освітньо-кваліфікаційним рівнем – спеціаліст та магістр. – охорона праці при виготовленні та експлуатації радіоелектронної апаратури /- К.: НТУУ КПІ, 2013, - 44 с.

14. І.М. Івах, Я.І. Бедрій Б.О. Білінський, М.М. Козяр Основи охорони праці. Навчальний посібник 4-те видан. Перераб. і доповн.-К.: Кондор, -2010, -464с.

15. Теорія з розрахунку захисного заземлення. http: // www.mastercity.ua/vforum/attachment.php?s=d0aeaac68c0fd511e7430d2a5b22a6dd&attachmentid=13256&d=1166795840

16. ПУЕ-2017 - Правила улаштування електроустановок

17. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98). Україна, 1988.

18. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

19. Пляскін И.И. Методичні вказівки до виконання курсової роботи "Організація та планування конструкторської підготовки виробництва нових виробів ".-Запоріжжя: ЗІІ, -1989.

20. Підсумкова атестація здобувачів вищої освіти першого рівня «бакалавр». Методичні рекомендації до виконання дипломних проектів з напрямку підготовки 171 «Електроніка»/ Укл.: С.Л. Шмалій, О.Г. Алєксєєв – Запоріжжя: 2017. –25с.

Додаток А

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл	Примітка
				Документація		
A1			ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Е1	Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт		
				Схема електрична структурна		
A1			ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Е2	Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт		
				Схема електрична функціональна		
A1			ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Е3	Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт		
				Схема електрична принципова		
A4			ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.ПЕ3	Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт		
				Перелік елементів		
A1			ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Д1	Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт		
				Результати моделювання		
A1			ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.Д2	Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт		
				Заземлювальний пристрій		

Перед. застосув. | Довід. № | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. №

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Сухенко		10.06.26
Перевір.		Туришев		10.06.26
Н.контр.		Туришев		10.06.26
Затверд.		Коритська		10.06.26

ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00

Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт

Літ.	Аркуш	Аркушів
	1	2

ІННІ ім Ю.М. Потебні ЗНУ

6.1712

Копіював

Формат А4

продовження Додатку А

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
А1			ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.ДЗ	Джерело живлення установки		
				гальванопластики потужністю		
				1 кВт		
				Економічні показники		

Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підп. і дата | Інв. № подл.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00	Арк. 2

Копіював Формат А4

Додаток Б

Зона	Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	A1	Вузол захисту від перенапруг ЕІСПЗ ДП.22010.00.01.00.00	1	
	C1	Конденсатор МКР X2 0,1 мкФ 275 В TDK	1	
	R1	Резистор MF-200 51 Ом ± 5% muRata	1	
	RU1	Варістор S14K275 Epcos	1	
	VD1	Супресор 1,5KE400CA DC Components	1	
	A2	Реле потоку повітря WFS S+S Regeltechnik GmbH	1	
	A3..A6	Модуль гальванічної розв'язки ЕІСПЗ ДП.22010.00.02.00.00	4	
	C1	Конденсатор 2220 X7R 104 ± 10% 50 В muRata	1	
	R1	Резистор MF-1 510 Ом ± 5% muRata	1	
	R2, R3	Резистор MF-2 24 Ом ± 5% muRata	2	
	T1	Трансформатор ЕІСПЗ ДП.22010.00.02.01.00	1	
	X1, X2	Клемник DG301-02P 5,0 Degson	2	
	A7	Блок датчиків струму і напруги ЕІСПЗ ДП.22010.00.03.00.00	1	
	C1, C2	Конденсатор 1206 X7R 104 ± 10% 50 В muRata	2	
	C3	Конденсатор 1206 X7R 105 ± 10% 50 В muRata	1	
	C4	Конденсатор ECR 100 мкФ ± 20% 16 В (5×11) HITANO	1	
	DA1	Датчик струму ACS754LCB-050-PSF Allegro	1	MicroSystems, Inc
	R1	Резистор 4,91-0 1% 2,4 кОм muRata	1	
	R2	Резистор R-1206 1% 150 Ом muRata	1	
	R3	Резистор R-1206 1% 300 Ом muRata	1	
	R4	Резистор R-1206 1% 150 Ом muRata	1	

Перед. застосув. | Довід. № | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підп. і дата | Інв. № подл.

ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.ПЕЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Сухенко		12.04.26
Перевір.		Тиришев		10.04.26
Н.контр.		Тиришев		10.04.26
Затверд.		Критська		10.04.26

Джерело живлення установки гальванопластики потужністю 1 кВт
Перелік елементів

Літ.	Аркуш	Аркушів
	1	3

ІННІ ім Ю.М. Потебні ЗНУ
6.1712

Копіював

Формат А4

продовження Додатку Б

Зона	Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	VD1	Стабілітрон BZV55C4.V7 DC Component's	1	
	X1	Клемник DG300-04P 5,0 Degson	1	
	X2, X3	Клема силова DG125 – 40A Degson	2	
	X4	Клемник DG301-04P 5,0 Degson	1	
	=1, =2	Формувач траєкторії перемикання ЕІСПЗ ДП.22010.00.04.00.00	2	
	C1	Конденсатор МЕТ 0,24 мкФ ± 5% 250 В HITANO	1	
	R1	Резистор SQP-3 24 Ом ± 5 % YAGEO	1	
	RU1	Варістор S14K150 EPCOS	1	
	C1	Конденсатор К73-54В – 400 В~ – 10 мкФ ±10% РАЯЦ.673633.006 ТУ	1	
	DA1, DA2	Тиристорний модуль M50-50-4-2-V CST Crydom	1	
	FU1	Вставка плавка H-520-0,25A-250B muRata	1	
	FU2, FU3	Вставка плавка H-520-0,5A-250B muRata	2	
	HL1	Світлодіодна комутаторна лампа СКЛ-1-П-220-Б-К-ЕТ ПП "НВКФ "Екотех"	1	
	K1	Контактор малогабаритний КМИ-11210 12А 230В/АС3 1НО IEK ГОСТ Р 50030.4.1-2002	1	
	L1	Дросель 70 мГн ЕІСПЗ ДП.22010.00.05.00.00	1	
	M1	Вентилятор EE92251BX-A99 SUNON	1	
	QF1	Автоматичний вимикач ВА47-29-2P-10A х-ка С IEK	1	

Інв. № подл. | Підп. і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підп. і дата

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.ПЕЗ	Арк. 2

Копіював Формат А4

продовження Додатку Б

Зона	Поз. позна-чення	Найменування	Кіл.	Примітка
	RU1	Варістор S20K275 Epcos	1	
	SB1, SB2	Кнопка управління SB7 IEK	2	
	T1	Трансформатор ЕІСПЗ ДП.22010.00.06.00.00	1	
	X1	Вилка на панель пряма CCI-513 IEK	1	
	X2	Розетка на панель пряма CCI-423 IEK	1	

Інв. № подл. | Підп. і дата | Взам. інв. № | Інв. № дубл. | Підп. і дата

Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата

ЕІСПЗ ДП.22010.00.00.00.00.ПЕЗ

Арк. 3

Копіював Формат А4