

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

бакалавра

(рівень вищої освіти)

на тему розробка одноканального джерела мивалентів
для нанесення електролітичного покриття

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1719-д-с
спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Тришина Антон Русланович
(ініціали та прізвище)

Керівник доц. Шмадлій С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 «Електроніка»

(код і назва)

Освітня програма Електроніка

(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ 17 ” січня 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Тришук Антон Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Розробка одноканального змерження тивлення для нанесення електричного покриття

керівник роботи Шмацій С.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “ 17 ” січня 2022 року № 90-С

2 Строк подання студентом роботи _____

3 Вихідні дані до роботи Вхідна напруга - 220 В, струм - 80 А,
Вихідна напруга 20 В

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологія нанесення електричного покриття

2. Розробка структури змерження тивлення 3. Розрахункова частота
4. Конструкторська технологія частоти 5. Економічне обґрунтування
6. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 Схема електрична структурна (А1), схема електрична конструктивна (А1),
 монтажна схема (А1), план друкувача (А1), економічні показники (А1), охорона праці (А1)

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н. доц. Шмагій	<i>Шмагій</i>	<i>[підпис]</i>
2	к.т.н. доц. Шмагій	<i>Шмагій</i>	<i>[підпис]</i>
3	к.т.н. доц. Шмагій	<i>Шмагій</i>	<i>[підпис]</i>
4	к.т.н. доц. Шмагій	<i>Шмагій</i>	<i>[підпис]</i>
5	к.т.н. доц. Шмагій	<i>Шмагій</i>	<i>[підпис]</i>
6	к.т.н. доц. Шмагій	<i>Шмагій</i>	<i>[підпис]</i>

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділ 1	23.05.22	
	Розділ 2	26.05.22	
	Розділ 3	30.05.22	
	Розділ 4	2.06.22	
	Розділ 5	6.06.22	
	Розділ 6	9.06.22	
	Графічна частина	13.06.22	

Студент *[підпис]* _____ Прізвище *А.Р.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) *[підпис]* _____ *Шмагій С.А.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[підпис]* _____ *Трунєв К.О.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 73 стор., 18 рис., 13 табл., 44 джерел літератури.

СТРУМ, НАПРУГА, ТИРИСТОР, ЕЛЕКТРОЛІТИЧНЕ ПОКРИТТЯ,
ВОДНИЙ РОЗЧИН, ТРАНСФОРМАТОР, ГАЛЬВАНІЗАЦІЯ.

У дипломному проекті проаналізовані питання розробки однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття. Розглянуті структурні схеми та основні конструкційні особливості джерел живлення для нанесення електролітичного покриття на сучасній елементній базі.

В рамках розробки пристрою були проаналізовані технологічні питання та обрано сучасну елементну базу по критеріям завдання.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Технології нанесення електролітичного покриття	8
1.1 Технологія нанесення	8
1.2 Електролітичне осадження покриттів при постійному струмі	10
1.3 Імпульсне електролітичне осадження покриттів	16
1.4 Електроліти для осадження золота та його сплавів	20
2 Розробка структури джерела живлення	25
2.1 Аналіз існуючих рішень для живлення гальваніки	25
2.1.1 Вибір ДЖ з вихідного струму	25
2.1.2 Вибір ПП з вихідної напруги	25
2.1.3 ДЖ зі зміною полярності (реверсом) струму та/або з пульсуючим струмом	26
2.1.4 Вибір ДЖ за ступенем захисту корпусу	26
2.1.5 Вибір ДЖ із схемотехніки	27
2.1.6 Вибір ДЖ по типу охолодження	28
2.2 Загальні відомості про випрямлячі	28
3 Розрахункова частина	31
3.1 Розрахунок ланцюга управління тиристорами	31
3.2 Розрахунок вихідного каскаду СІФУ	32
3.3 Розрахунок вхідного каскаду СІФУ	34
3.4 Розрахунок генератора трикутних імпульсів	35
3.5 Розрахунок розділового ланцюга	37
3.6 Розрахунок схеми порівняння	38
3.7 Моделювання СІФУ	40
4 Конструкторсько-технологічна частина	42
4.1 Програмне забезпечення для систем автоматизованого проектування	42
4.2 Технологія виготовлення плати друкованої	43

5 Економічне обґрунтування	46
5.1 Суми витрат по статтям кошторису	46
5.1.1 Зарплата розробників по етапам	46
5.1.2 Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка	47
5.1.3 Накладні витрати	48
5.1.4 Матеріальні витрати на зразок	48
5.1.5 Собівартість дослідного зразка	49
5.1.6 Розрахунок кошторису витрат	50
5.1.7 Розрахунок заробітної плати	50
5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці	50
5.2 Розрахунок терміну окупності розробки	51
6 Охорона праці та техногенна безпека	53
6.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	53
6.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	56
6.3 Виробнича санітарія	57
6.4 Електробезпека	59
6.5 Пожежна та техногенна безпека	61
6.6. Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини	62
Висновки	66
Перелік використаних джерел	67
Додаток А	71
Додаток Б	72

ВСТУП

Нанесення на деталі захисних, зміцнювальних, антифрикційних покриттів є основним способом підвищення ефективності експлуатації та довговічності конструкцій та механізмів, що використовуються в авіакосмічній, суднобудівній, обробній промисловості, електро- та теплоенергетиці тощо.

Гальванізація – це електрохімічний процес, де бере участь електроліт, електричний струм, два електроди та оброблювана деталь. При цьому металевий шар не просто наноситься на поверхню, а проникає на молекулярному рівні в основу деталі.

Для гальванізації необхідно, щоб оброблений виріб був ідеально чистим. Для очищення та знежирення поверхонь можна використовувати спеціальні органічні розчинники, які не призведуть до утворення корозії. Товщина готового гальванічного покриття може змінюватись від 6 до 20 мікрон. Вона залежить від особливостей матеріалів, що беруть участь у процесі нанесення. Адгезія металевого покриття із основою деталі визначається за допомогою спеціальних тестів.

Для проведення гальванізації важливо пам'ятати про сумісність матеріалів. Усі метали у з'єднаннях корродують. У деяких випадках цей процес протікає із низькою швидкістю. Але є матеріали, які не можна з'єднувати разом. Наприклад, при роботі з алюмінієм та його сплавами досить складно працювати, так як їх поверхня покрита окисною плівкою, що ускладнює нанесення гальванічного покриття.

Гальванічні покриття поділяються на захисні, захисно-декоративні та спеціальні. Перші служать захисту металевих деталей від впливу агресивних середовищ. Другі додатково надають виробам естетичного вигляду. Спеціальні наділяють поверхні новими покращеними властивостями: електроізоляційними, магнітними, збільшують твердість та зносостійкість.

У деяких випадках гальванічні покриття наносяться з метою відновлення

початкового виду деталей після тривалої експлуатації. Вони також можуть використовуватися для створення точних копій виробів, навіть тих, які мають дуже високу складність рельєфу поверхні. Цю операцію називають гальванопластикою. Такі покриття є досить простим та ефективним способом забезпечити зносостійкість та міцність металевих виробів, запобігти їх корозії та руйнуванню під впливом зовнішніх агресивних факторів.

Для нанесення гальванічних покриттів не обов'язково звертатися до спеціалізованих фірм. Їх можна отримати і в домашніх умовах, але за наявності знань процесу електролізу, наявності необхідних матеріалів та обладнання.

Джерелом живлення в даному випадку може бути випрямляч електричного струму, оснащений регулятором вихідної напруги. Як гальванічна ванна можна використовувати будь-яку пластикову або скляну ємність. Але до неї є кілька вимог: вона повинна бути міцною, витримувати температури до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, вміщувати деталь, що обробляється, і необхідну кількість електроліту.

В даний час за кордоном активно проводяться науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи зі створення нових, а також удосконалення раніше розвинених технологічних методик та обладнання для нанесення покриттів. При використанні захисних покриттів велике значення має правильний і обґрунтований вибір як матеріалу покриття, а й способу його нанесення. Вибір останнього визначається, насамперед, вимогами до формування внутрішньої мікроструктури покриттів, яка, своєю чергою, визначає їх експлуатаційні характеристики. Крім того, важливе значення мають точний контроль за параметрами осадження, відтворюваністю характеристик покриттів, гнучкістю процесу осадження, тобто. можливістю змінювати параметри при зміні вимог до покриття, а також економічна ефективність процесу нанесення покриттів. У наступних розділах розглянемо технології нанесення захисних покриттів на поверхню металевих виробів шляхом їх оксидування та електролітичного осадження, описано їх переваги та недоліки.

1 ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ПОКРИТТЯ

1.1 Технологія нанесення

Електрохімічне (гальванічне) осадження (англ. Electroplating) - це метод нанесення металевих покриттів на поверхню виробу за рахунок розвитку окисно-відновлювальних процесів, що відбуваються на електродах під час пропускання постійного або змінного струму. При цьому на катоді відбувається відновлення іонів металу ($M^{z+} + ze^{-} \rightarrow M^0$), тоді як аноді протікає окислення металу у разі розчинного анода ($M^0 - ze^{-} \rightarrow M^{z+}$), або окислюються компоненти електроліту у разі нерозчинного анода.

Тип металу визначається функціональним призначенням гальванічного покриття. Наприклад, збільшення твердості і зносостійкості виробів використовуються нікель, хром, залізо та інших., підвищення корозійної стійкості - нікель, цинк, свинець, олово та інших., збільшення електропровідності - мідь, золото, срібло, і навіть їх сплави.

Металеві електроди у водному розчині електроліту утворюють наступний електрохімічний ряд напруг: Li, K, Rb, Ba, Sr, Ca, Na, Ce, Mg, Be, Al, Ti, Mn, V, Zn, Cr, Ga, Fe, Cd, In, Tl, Co, Ni, Sn, Pb, H₂, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au. Відповідно характер відновлення металевих іонів на катоді в процесі електрохімічного осадження визначається положенням металу в ряду напруг. Так, іони металів, що стоять у ряді напруги до Al (включно), не відновлюються. Металеві іони, розташовані у ряді напруг між Al та H₂, відновлюються з утворенням водню. Нарешті, іони металів, що у ряді напруг після водню, відновлюються на катоді без виділення водню.

Склад електроліту залежить не тільки від матеріалу покриття та його товщини, а й матеріалу деталі, на яку передбачається нанести покриття. Залежно від площі та складу електроліту величина щільності струму варіюється в межах от 0,5 до 6 А/дм². Сила струму розраховується виходячи з умов проведення

електролізу та підтримується постійною протягом усього електрохімічного процесу.

Процес гальванічного осадження покриттів заснований на явищі електролізу, а саме окиснювально-відновлювальному розкладанні речовини при пропусканні через нього електричного струму. Процес електролізу підпорядковується двом законам, встановленим М. Фарадеєм 1833-1834 р.р. Згідно з першим законом Фарадея, маса речовини, обложеного на електроді при електрохімічній реакції, прямо пропорційна кількості електричного струму, що пройшов через електроліт. Відповідно до другого закону Фарадея, для даної кількості електрики (електричного заряду) маса речовини, осадженої на електроді або віддаленої внаслідок її розчинення при пропусканні постійного електричного струму, прямо пропорційна хімічному еквіваленту цієї речовини.

У таблиці 1.1 наведено значення електрохімічного еквівалента для основних металів, що наносяться гальванічним методом.

Таблиця 1.1 - Величина електрохімічного еквівалента для металів, що наносяться гальванічним методом

Метал	Електроліт	Електрохімічний еквівалент кг/Кл
Кадмій	Ціаністий	2,096
Хром	Хромово кислота	0,323
Нікель	Кислий	1,95
Мідь	Ціаністий	2,372
Мідь	Кислий	1,186
Цинк	Ціаністий	1,219
Цинк	Кислий	1,219
Срібло	Ціаністий	4,022
Золото	Ціаністий	7,357
Золото	Залізонеродистий	2,452

Використовуючи закони Фарадея, можна визначити масу речовини (m), осадженої в процесі електролізу за час (t) при пропусканні постійного струму (I):

$$m = (M/(n \cdot F)) \cdot It, \quad (1.1)$$

де M - молярна маса речовини, що виділяється, n - кількість електронів, що переносяться в електродному процесі, F - число Фарадея ($F=96485,33(83)$ Кл/моль). Величина $M/(n \cdot F)$ — називається електрохімічним еквівалентом речовини.

1.2 Електролітичне осадження покриттів при постійному струмі

У процесі електролітичного осадження деталь занурюється у ванну з електролітом, який, як правило, є водним розчином солей осаджуваного металу (рис. 1.1).

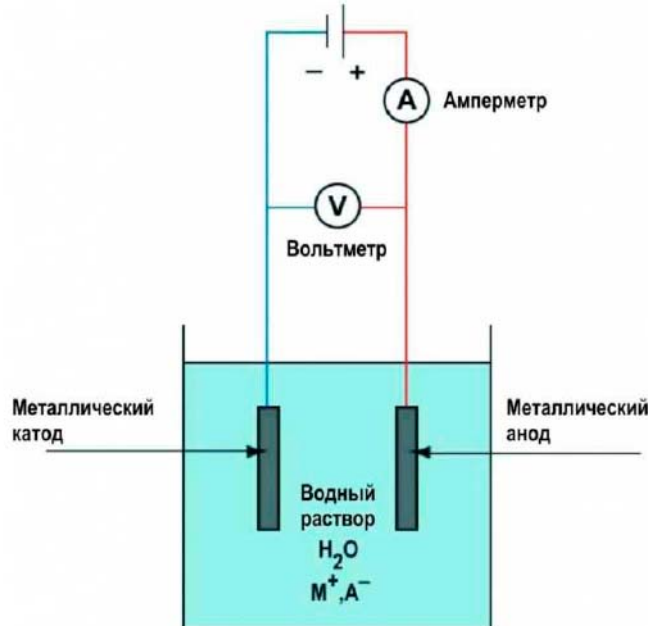


Рисунок 1.1. Схема установки для гальванічного осадження [1]

Деталь, яку необхідно нанести гальванічне покриття, підключається до негативного виходу джерела живлення, вона є катодом. Анодом, як правило, є

пластини з металу, з якого буде сформовано покриття. При подачі постійної напруги на аноді починається окислювально-відновна реакція, що призводить до безперервного окиснення анода та його розчинення в електроліті. При електролізі з розчинним анодом при подачі напруги металевий анод розчиняється і його іони переходять в розчин, а потім переміщуються до катода в напрямку силових ліній. Досягши катода, металеві іони розряджаються у ньому, формуючи тонкий металевий шар.

У процесі гальванічного осадження може застосовуватися анод з вуглецю або свинцю, нерозчинний в електроліті. В цьому випадку формування гальванічного покриття на катоді відбувається виключно за рахунок металевих іонів, розчинених в електроліті. При цьому на нерозчинному аноді відбувається виділення кисню та утворення оксидного покриття.

У процесі електролітичного осадження відбувається безперервне зниження концентрації іонів металу в розчині поблизу катода та збільшення поблизу анода. В результаті поблизу обох електродів виникає зворотна електрорушійна сила, спрямована протилежно прикладеному між анодом і катодом напруги. Дане явище зветься концентраційної поляризації. У випадку надходження нових металевих іонів в збіднену область електроліту з його обсягу обумовлено:

- дрейфом позитивно заряджених іонів у напрямку негативно зарядженого катода під дією прикладеного електричного поля;
- дифузійною, пов'язаною з наявністю градієнта концентрації іонів (поблизу катода концентрація іонів завжди буде меншою, ніж в обсязі електроліту);
- Протіканням в електроліті конвекційних струмів, обумовлених спрямованим рухом металевих заряджених частинок [2].

Зі збільшенням напруги, прикладеного між катодом і анодом, ефект концентраційної поляризації посилюється, оскільки дифузійне вирівнювання концентрацій іонів, що осаджуються, в розчині є більш повільним порівняно з електрохімічними процесами на електродах. В результаті для стабільного

електролізу при високій щільності струму потрібна більша катодна перенапруга, величина якого визначається рівнянням Тафеля [3]:

$$\Delta V = a + b \log I, \quad (1.2)$$

де ΔV - перенапруга, a и b - постійні, I - щільність струму.

Зростання концентраційного перенапруги на катоді, своєю чергою, обумовлює зменшення енергії активації та збільшення швидкості зародку освіти. Утворення великої кількості нових зародків у процесі осадження покриттів пригнічує зростання кристаллів, що вже сформувалися, що викликає зменшення середнього розміру зерна в зростаючій металевій плівці.

Поряд із щільністю електричного струму, температура електроліту, що контролює розвиток окисно-відновних реакцій у ванні з електролітом, істотно впливає на мікроструктуру гальванічного покриття, що формується, і його товщину. Крім того, температура електроліту впливає на стійкість комплексних сполук у розчинах електролітів, їх склад, а також концентрацію добавок в електроліті (у разі їх використання).

При використанні високих щільностей струму зниження концентраційного перенапруги в процесі гальванічного осадження і, відповідно, поліпшення якості металевого покриття часто використовується механічне перемішування електроліту за допомогою мішалок або шляхом продування стисненого повітря. Також використовується проточноциркуляційні системи, які забезпечують безперервну циркуляцію електроліту з одночасною його очищенням від механічних забруднень шляхом використання аерофільтра.

Одним із найважливіших параметрів процесу електролітичного осадження є електропровідність електроліту. Основною характеристикою електроліту є його питома електропровідність, яка залежить від природи електроліту, концентрації розчину, температури та ін. Збільшити питому електропровідність

електроліту можна за рахунок додавання до його складу кислоти, лугу або відповідної солі, які мають високу іонізуючу здатність. При цьому, однак, може суттєво змінюватись кислотність електроліту, величина якої впливає на процес гальванічного осадження. Так, зі збільшенням кислотності електроліту підвищується його електропровідність, що, безсумнівно, є економічно вигідним, проте за досить високих рН електропровідність електроліту знову знижується. Крім того, при досить низьких рН у прикатодному шарі відбувається підлужування електроліту та утворення гідроокисних сполук. Бульбашки газоподібного водню та частинки гідрооксидів адсорбуються на поверхні зростаючого покриття, обумовлюючи подрібнення мікроструктури гальванічних покриттів та збільшення кількості дефектів упаковки.

Як було показано вище, виділення водню має місце в процесі електролітичного осадження покриттів металів, розташованих в електрохімічному ряду напруг між Al і H_2 . При цьому зі збільшенням щільності струму інтенсивність протікання окисно-відновної реакції і, відповідно, швидкість виділення водню істотно зростають. Одним із способів зниження негативного впливу водню на процес електролітичного осадження є додавання в електроліт поверхнево-активних речовин, які збільшують змочування поверхні катода електролітом, запобігаючи утворенню бульбашок газу.

Розташування анода і катода відносно один одного і країв ванни впливає на однорідність товщини шару, що наноситься. Крім того, рівномірність гальванічних покриттів залежить від складу електроліту, сили струму, а також розмірів та геометричної форми анода та катода. Як правило, відношення площі анода до площі катода для більшості процесів становить 2:1, оскільки при меншому співвідношенні можуть виникати проблеми отримання однорідних по товщині покриттів.

Поруч із питомою електропровідністю, важливою характеристикою електроліту є його розсіююча здатність, тобто. здатність електроліту змінювати первинний розподіл струму U випадку, коли гальванічне покриття наноситься

на деталь зі складним профілем, що має порожнини, поглиблення і т.д., можуть виникати труднощі, пов'язані з рівномірністю розподілу струму по її поверхні і, відповідно, рівномірністю металевого покриття, що утворюється. Наприклад, у деяких електролітах, що характеризуються низькою здатністю, що розсіює, внутрішні поверхні взагалі можуть не покритися. У загальному випадку, розподіл струму і, відповідно, геометрична форма електроосадів, що утворюються на поверхні деталі, визначається її формою, а також відносним розташуванням електродів у електролітичній ванні. Навіть у випадку, коли електроди, виконані у вигляді пластин, розташовані паралельно один одному, але не повністю перетинають електроліт, силові лінії електричного струму концентруватимуться на краях електродів, огинаючи їх, обумовлюючи потовщення покриття по краях деталі (рис. 1.2). Траєкторія силових ліній електричного поля залежить від відстані між електродами та бічними стінками ванни, а також від величини зазору між нижніми краями електродів та дном ванни, та зазором між верхніми краями електродів та рівнем електроліту. Відповідно товщина електроосадів визначатиметься положенням паралельних електродів щодо дна та бічних стінок ванни, а також рівнем електроліту [4].

Для електролітичного осадження покриття, рівномірного по товщині, деталі неправильної геометричної форми використовують фігурні аноди, які повторюють форму деталі. У цьому випадку відстань між анодом та катодом у будь-якому місці завжди залишається однаковою, що забезпечить максимальну рівномірність покриття. У разі обробки дрібних деталей відстань між анодом та катодом має бути не менше 3 сантиметрів [1]. Іноді для нанесення однорідного по товщині покриття використовують відразу два анода, розташовані по обидва боки від оброблюваної деталі.

Для поліпшення якості гальванічних покриттів застосовується режим з реверсуванням постійного струму в гальванічній ванні, при якому має місце періодичне перемикання полюсів. Як було показано вище, в процесі електролітичного осадження щільність катодного струму визначає швидкість осадження

гальванічного покриття і, відповідно, його мікроструктуру, у той час як щільність анодного струму - інтенсивність розчинення анода, або, у разі використання нерозчинного анода, інтенсивність перебігу побічних реакцій, насамперед всього виділення кисню.

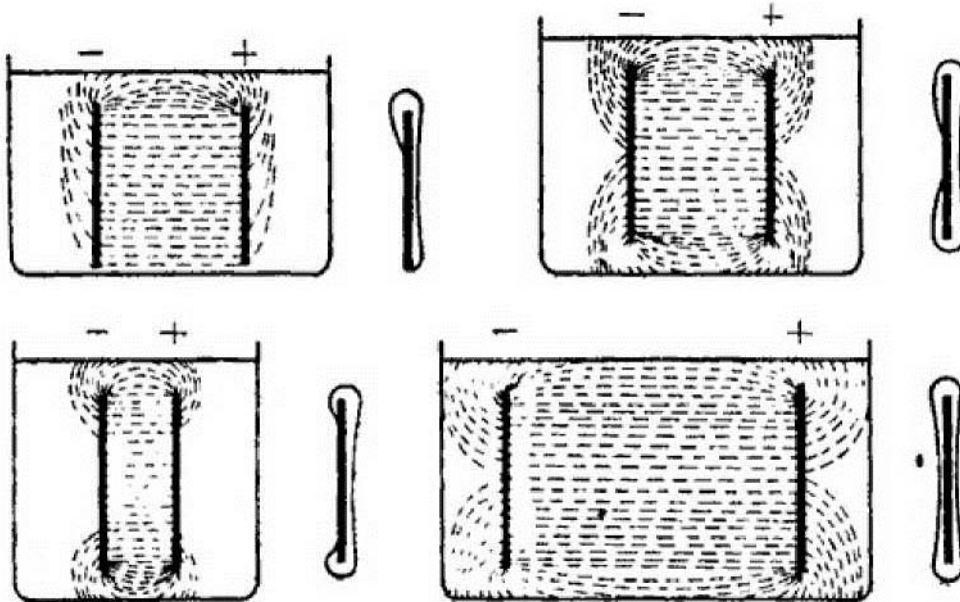


Рисунок 1.2. Розподіл силових ліній електричного поля в електроліті та відповідна неоднорідна геометрична форма опадів при різному положенні електродів у електролітичній ванні [4]

У режимі з реверсуванням можна змінювати не тільки напрямок протікання струму, але і його амплітуду, а також тривалість дії анодних та катодних струмів. Наприклад, співвідношення катодних та анодних періодів обробки деталей в електроліті зазвичай вибирають рівним від 10:1 до 15:1. В цьому випадку процес осадження металу триває 10 с, а процес анодного розчинення одержаного покриття - 1 с.

При нанесенні гальванічного покриття в режимі з реверсування струму на поверхні деталей відбуваються такі процеси:

- під час анодного періоду відбувається часткове розчинення металевого покриття, насамперед, на виступах шорсткого покриття, в результаті чого поверхня металевого шару періодично згладжується;

- під дією кисню, що виділяється на деталях при анодному перемиканні, частково знижується насичення покриття воднем, що зумовлює водневе хрупіння деталей;

- при перемиканні полюсів усувається пасивування розчинних анодів, внаслідок чого вдається в 2-3 рази збільшити щільність струму за збереження високої якості покриттів. У той же час, реверсування струму на 10-15% знижує фактичний вихід струму, а, отже, і швидкість зростання гальванічних покриттів.

На закінчення відзначимо основні переваги електролітичного осадження:

- гальванічне осадження металевого покриття не супроводжується зміною мікроструктури та фазового складу деталі (підкладки);
- цей метод дозволяє отримувати рівномірні по товщині покриття на деталях великої площі, при цьому можна точно регулювати товщину покриття;
- Можна одночасно відновлювати велику кількість деталей;
- можна наносити різні метали та сплави, твердість яких варіюється в межах від 1000 до 12000 МПа;
- Можна багаторазово використовувати електроліти;
- Технологічний процес може бути легко автоматизований.

Недоліками електролітичного осадження є відносно низька продуктивність процесу, великий цикл підготовчих операцій, постійна зміна складу електроліту в ході гальванічного процесу, а також висока токсичність багатьох електролітів, що потребує очищення стічних вод.

1.3 Імпульсне електролітичне осадження покриттів

Основними перевагами імпульсного режиму осадження гальванічних покриттів в порівнянні з осадженням при постійному струмі є можливість використання високої щільності струму пікової і міжфазна релаксація, що протікає під час паузи між імпульсами. При цьому на катоді досягається потенціал, при якому метал починає брати в облогу і на пасивні ділянки поверхні. Крім то-

го, різке збільшення кількості осаджуваних іонів, а, отже, і сили відштовхування між ними забезпечують більш рівномірне розподілення матеріалу по поверхні підкладки і гладку поверхню покриттів [5].

З іншого боку, збільшення потенціалу електрода може призводити до виникнення додаткових електрохімічних процесів, зокрема до розрядження іонів водню і впровадження водню в покриття, що осаджується. Згідно [6], при високих значеннях катодного потенціалу адсорбція водню викликає формування бульбашок газу на поверхні гальванічних покриттів, яке пригнічує утворення нових зародків у покритті, що росте. Крім того, інтенсивне виділення водню при електролітичному осадженні покриття забезпечує зростання пористості покриттів [7]. Остання сприяє значному зниженню електричних властивостей гальванічних покриттів [8, 9].

Перевагою застосування імпульсного режиму порівняно з традиційним нанесенням гальванопокриттів на постійному струмі є можливість гнучкого управління різними незалежними параметрами, що контролюють процес осадження. У режимі постійного струму, сутнісно, є лише одне незалежний параметр - щільність струму. Основні параметри імпульсного осадження гальванічних покриттів включають тривалість імпульсу (t_{on}), інтервал між імпульсами (t_{off}), пікову щільність струму (I_p), середню щільність струму (I_a), частоту імпульсів (F) та робочий цикл (η), які пов'язані між собою такими співвідношеннями:

$$I_a = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} * I_p$$

$$F = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

$$\eta = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} * 100\%$$

Таким чином, в імпульсному режимі одна і та ж середня щільність струму може відповідати необмеженому набору параметрів осадження, що розширює можливості керування процесами зародка утворення та зростання зерен

з метою отримання покриттів з певною мікроструктурою та необхідними властивостями, а саме отримувати покриття з високими механічними властивостями та низькою пористістю, знизити в них рівень внутрішньої напруги, а також зменшити вміст небажаних домішок [10-13]. У той же час діапазон змін параметрів осадження, в якому можна отримати покриття з необхідними характеристиками, є досить вузьким. Межі цього діапазону зазвичай визначаються шляхом експериментальних досліджень. Крім того, фактором, що обмежує можливість впровадження технології нанесення металевих покриттів методом імпульсного електролітичного осадження, є обмежений набір металів, які можуть бути використані для отримання гальванічних покриттів.

Як правило, при імпульсному електроосадженні використовують дуже короткі імпульси (0,1-10 мс), тривалість яких виявляється у кілька разів меншою за тривалість інтервалу між імпульсами [14, 15]. При цьому частота імпульсів F однаково залежить як від тривалості імпульсу t_{on} , так і від інтервалу між імпульсами t_{off} . Тому при фіксованому η варіювання F призводить до пропорційної зміни обох цих параметрів. Як наслідок, при високій частоті імпульсного струму (порядку 100 Гц) інтервал між імпульсами суттєво знижується і становить лише 2-8 мс. У поєднанні з високою піковою щільністю струму ($I_p=20$ мА/см²) це призводить до того, що електродний потенціал під час паузи не встигає спадати нижче за потенціал виділення металу. Крім того, малі значення t_{off} не дозволяють забезпечити необхідний дифузійний приплив іонів в область поблизу катода, яка збіднюється ними під час імпульсу. Тому кількість іонів, що осаджуються, є недостатнім для того, щоб сили відштовхування між ними забезпечували їх рівномірний розподіл по поверхні. Таким чином, при високих частотах імпульсів, по-перше, менша швидкість осадження покриттів, що, у свою чергу, обумовлює меншу швидкість зародка утворення і зростання більших кристалічних опадів. По-друге, нерівномірний розподіл опадів на поверхні катода призводить до формування великих агломератів зерен і зумовлює зростання шорсткості гальванічних покриттів.

Навпаки, зменшення частоти імпульсів призводить до збільшення t_{off} , в результаті чого інтервал між імпульсами стає достатнім як для припинення процесу осадження, так і для відновлення концентрації іонів, що осаджуються, в прикатодному дифузійному шарі.

Це пригнічує зростання зерен та формування їх агломератів. Як наслідок відбувається зменшення середнього розміру зерна в гальванічних покриттях і відповідне збільшення їх твердості, а також зниження шорсткості поверхні.

Однак зменшення частоти імпульсів нижче за певне значення (10 Гц) і, відповідно, зростання t_{off} вже не істотно впливають на характер зростання покриттів. З іншого боку, при зниженні F зростає не тільки інтервал між імпульсами, але і їх тривалість, внаслідок чого товщина дифузійного шару прикатодного стає занадто великий для того, щоб забезпечити високу швидкість осадження покриттів протягом всього імпульсу. В результаті знову падає швидкість зародка освіти і збільшується середній розмір зерен в осадах.

У свою чергу зміна робочого циклу не дозволяє ефективно впливати на мікроструктуру гальванічних покриттів. З виразу для робочого циклу слід, що зменшення величини η супроводжується зниженням t_{on} і зростанням t_{off} . Оскільки при постійній частоті імпульсів зниження t_{on} призводить до зменшення середнього розміру зерна в гальванічних покриттях, тоді як підвищення t_{off} викликає зростання розмірів зерен [5], то одночасна зміна t_{on} і t_{off} призводить до того, що розмір зерен практично не змінюється.

У той же час робочий цикл істотно впливає на формування агломератів зерен, що найбільш наочно проявляється при низьких частотах імпульсів струму (нижче 20 Гц). Наприклад, у процесі гальванічного осадження покриттів Au-Ni агломерати зерен на їхній поверхні спостерігаються при робочих циклах 80 та 50 %, проте повністю зникають при $\eta=20$ %. Причиною виникнення агломератів при великих робочих циклах є занадто тривалі імпульси, внаслідок чого товщина прикатодного дифузійного шару стає надмірно великою для забезпечення рівномірного осадження протягом всього імпульсу.

Інтервал між імпульсами (параметр t_{off}) визначає умови повернення дифузійного шару до початкового рівноважного стану і, відповідно, істотно впливає на зміну хімічного складу гальванічних покриттів у процесі їх формування. Оскільки під час імпульсу прикатодна область швидко збіднюється іонами, то подальший процес осадження покриття контролюється дифузією із сусідніх областей. Зокрема, при електролітичному осадженні покриттів Au-Ni при занадто малих інтервалах між імпульсами (2-8 мс) дифузійний прикатодний шар не встигає відновлюватися. При цьому відновлення Ni відбувається повільніше, так як його концентрація в електроліті значно менша, ніж концентрація Au. Зі збільшенням інтервалу між імпульсами дедалі більша частка іонів Ni, необхідних підтримки заданої щільності струму, встигає відновлюватися, у результаті зміст нікелю у покритті зростає. Однак після того, як t_{off} перевищить значення, що відповідає повному відновленню концентрації Ni у дифузійному шарі, подальше збільшення даного параметра не повинно впливати на хімічний склад покриттів.

Таким чином, електролітичне осадження в імпульсному режимі дозволяє отримувати металеві покриття з більш високими фізико-механічними властивостями порівняно з покриттями, що обложені при постійному струмі. Покриття, осаджені на імпульсному струмі, характеризуються більш високою твердістю і адгезійною міцністю, меншою залишковою напругою, нижчою пористістю і меншим вмістом водню, що позитивно впливає на їх зносостійкість.

1.4 Електроліти для осадження золота та його сплавів

Електролітичне осадження є основним способом отримання покриттів на основі золота. Безперечними перевагами сплавів на основі золота є їх високі тепло- і електропровідність, зносостійкість і корозійна стійкість, хороша паяність та ін. Тому гальванічні покриття із чистого золота та його сплавів широко ви-

користуються в телекомунікаційній, радіоелектронній та приладобудівній промисловості.

Найкращі властивості мають гальванічні золоті покриття, нанесені з використанням лужних, нейтральних або кислих ціанідних електролітів. Однак оскільки дані електроліти містять у своєму складі вільні ціаніди, це істотно ускладнює їх промислове застосування. Найбільш високотоксичним є електроліт на основі диціаноаурату калію $\text{KAu}(\text{CN})_2$ - комплексної солі лужних металів калію та золота, а також синильної кислоти [16, 17]. Основними компонентами лужних електролітів є $\text{KAu}(\text{CN})_2$, вільний ціаністий калій, електропровідні та буферні добавки (карбонати, двозаміщені фосфати). Як правило, у лужних електролітах золото знаходиться в основному у вигляді одновалентного комплексу $[\text{Au}(\text{CN})_2]$, проте в процесі приготування електроліту може утворитися невелика кількість тривалентного комплексу $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ [10, 18, 19]. Оскільки розчинність комплексів золота істотно зменшується у присутності вільного ціаніду та електропровідних добавок, застосування концентрованих електролітів викликає необхідність використання калієвих солей навіть при роботі з нерозчинними анодами.

Вміст золота в лужних ціанідних електролітах варіюється в межах 8-12 г/л. Крім того, до складу лужного електроліту входять вільний калій або натрій 20-802 г/л, а також сіль лужного металу, що забезпечує електропровідність розчину, 70-100 г/л. Температура лужного електроліту становить 60-80 °С.

Одним з важливих параметрів, що характеризують процес осадження покриттів, є вихід струмом - виражене у відсотках відношення маси речовини, що фактично виділилася на електроді, до теоретично її значення. У робочому діапазоні щільностей струму 0,1-1 А/дм² вихід струму (іншими словами, частка струму, яка витрачається на осадження покриття) в лужних розчинах становить 70-80%. Вихід струму сильно залежить від концентрації золота, рН і температури електроліту, типу та концентрації домішок (у тому числі карбонатів, які накопичуються в процесі експлуатації лужних ціанідних

електролітів). Крім того, лужні електроліти дуже чутливі до наявності неорганічних та органічних забруднюючих речовин, тому для підтримки електроліту в робочому стані його безперервно пропускають через фільтр, а також періодично пропускають через картридж з активованим вугіллям. Нарешті, вихід струму може істотно змінюватися в результаті збільшення концентрації тривалентного комплексу Au (III), який повільно накопичується в результаті анодного окислення ціанідного одновалентного комплексу Au (I) [20].

Використання лужних електролітів із високою концентрацією вільного ціаністого калію дозволяє отримувати золоті покриття високого ступеня чистоти. Відповідно, лужні ціанідні електроліти застосовуються в електронній промисловості для нанесення як тонких (0,05-0,1 мкм), так і товстих (0,5-10 мкм) покриттів із чистого золота та сплавів на їх основі [10, 18].

Нейтральні ціанідні електроліти також застосовуються для отримання золотих покриттів високої частоти завтовшки 0,5-5 мкм [18]. Нейтральні ціанідні електроліти, як і лужні, містять диціаноауратний комплекс золота в кількості 8-20 г/л і невеликий вміст вільного ціаніду CN^- (в межах 1-2 г/л). До складу електроліту також входять однозаміщені фосфат або цитрат калію в кількості 70-80 г/л. Нейтральні електроліти працюють при температурі 60-70 °C та рН 6,0-8,0 [21]. Відповідно, вихід струму при катодній щільності струму 0,1-0,3 А/дм² складає біля 90%.

Основним недоліком нейтральних ціанідних електролітів є нестабільність їхнього складу. Крім того, покриття, отримані з нейтральних ціанідних електролітів, характеризуються високою схильністю до схоплювання поверхонь, що труться, в процесі експлуатації контактних пристроїв. Цей недолік позбавлені золоті покриття, отримані з кислих електролітів [17].

Найбільш поширеними є кислі електроліти золочення, які містять вільних ціанідів, отже, відрізняються нешкідливістю і стабільністю. Кислі електроліти (рН = 3-6) дозволяють проводити процес золочення при кімнатній температурі 20-25°C і досить великі щільності струму, до 1,5 А/дм², що є їхньою основною

перевагою. При цьому, однак, вихід струму більшості кислих ціанідних електролітів знаходиться в діапазоні 30-40%.

Перевагою кислих електролітів є можливість проводити осадження золота разом із легуючими елементами, що дозволяє змінювати властивості електролітичних покриттів, зокрема, їх твердість і зносостійкість. Зміст легуючих елементів (нікель, кобальт, срібло, мідь, кадмій та ін.) у золотих покриттях складним чином залежить від щільності, кислотності та температури електроліту [22]. Значний вплив на процес осадження золотих покриттів надає швидкість перемішування електроліту в процесі осадження. При цьому температура електроліту істотно впливає на вміст легуючих елементів у золотих покриттях. Наприклад, зі збільшенням температури осадження знижується вміст Co та Ni у гальванічних покриттях на основі золота [23]. У свою чергу вміст Co в електролітичному покритті Au-Co, отриманому при високій щільності струму і повільному перебігу електроліту, становить 0,1%, і досягає 0,5% при низькій щільності струму і при сильному перемішуванні електроліту.

Нарешті, значний вплив на процес електроосадження металів надає кислотність рН електроліту. Так, зі збільшенням кислотності (при рН більше 5,0) співосадження кобальту або нікелю в покриттях Au-Co и Au-Ni практично повністю пригнічується [24, 25].

У зв'язку з високою токсичністю ціаністих електролітів, що містять вільний ціаністий калій, серйозною проблемою очищення стічних вод і утилізації відпрацьованих розчинів, а також вимогами безпеки умов праці, що постійно підвищуються, в останні роки активно розробляються неціанідні електроліти золочення [26-28]. Наприклад, широко застосовується слабокислий цитратний електроліт, який можна умовно вважати безціанідним, оскільки він не містить у своєму складі вільний ціанід-іон CN^- , золото в електроліті знаходиться у вигляді його ціанідного комплексу - $[Au(CN)_2]^-$. Як правило, подібні електроліти працюють при рН 3,0-5,0, а кислотність регулюється шляхом додавання гідроксиду калію та лимонної чи фосфорної кислоти [21, 29]. Ци-

тратні електроліти менш небезпечні порівняно з лужними ціанідними електролітами. Проте, основним недоліком цитратних електролітів є накопичення у ньому продуктів анодного окиснення органічної кислоти. Як наслідок, у процесі утилізації відпрацьованих електролітів та промивних вод в атмосферу може виділятися ціаністий водень.

Умовно безціанідним також можна вважати електроліт на основі хлорного золота HAuCl_4 і гексаціаноферату (II) калію (залізистосинеродистого калію) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. У цьому електроліті іони золота знаходяться в ціанідному комплексі, проте при експлуатації в розчині може накопичуватися ціаністий калій.

Найбільш екологічними є безціанідні сульфатні електроліти, в яких золото присутнє у вигляді дисульфатаурату натрію. - $\text{Na}_3(\text{Au}(\text{SO}_3)_2)$. Перевагою сульфатного електроліту також є його висока здатність, що розсіює, тобто. здатність електроліту змінювати первинний розподіл струму по поверхні деталі, що дозволяє отримувати рівномірні покриття по товщині на різних ділянках деталі. Нарешті, варіюючи рН даного електроліту можна у межах змінювати мікроструктуру, отже, механічні і трибологічні властивості золотих покриттів.

У той же час сульфатні покриття мають цілу низку недоліків, які обмежують їх застосування в промисловості внаслідок малої ефективності та труднощів в експлуатації. Внаслідок контакту електроліту з повітрям відбувається окислення сульфату до сульфату. Крім того, в процесі електролізу іони дисульфатаурату натрію відновлюються на катоді. $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$, які, своєю чергою, відновлюють іони Au (I) до металу. Як наслідок, потрібна періодична фільтрація електроліту з метою видалення дисперсних частинок металевого золота.

Таким чином, проаналізувавши особливості технологічних процесів можна переходити до розробки структурної та електричної схеми випрямляча.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

2.1 Аналіз існуючих рішень для живлення гальваніки.

Одним із найбільш широко застосовуваних методів захисту металевих деталей у машино- та приладобудуванні є гальванічні та інші покриття, що здійснюються завдяки застосуванню електрохімічних процесів.

Ключовим компонентом, що забезпечує роботу такого процесу, є джерело живлення постійного струму (випрямляч), далі ДЖ, і від правильного вибору такого ДЖ залежить належна якість обробки, безаварійність роботи всієї лінії, а в деяких випадках можливість нанесення покриття.

2.1.1 Вибір ДЖ з вихідного струму

Ключовим параметром гальванічного процесу та, відповідно ДЖ, є номінальний струм. Залежно від площі поверхні деталі та виду обробки необхідний для забезпечення процесу струм може перебувати в діапазоні від одиниць до десятків тисяч ампер. ДЖ повинен забезпечувати стабільний струм відносно широкому діапазоні опорів навантаження, тобто зі схемотехнічної точки зору бути джерелом струму, а не джерелом напруги.

Джерела живлення слід вибирати з деяким запасом за значенням номінального струму для забезпечення полегшеного режиму роботи джерела та швидкої можливості наростити потужність виробництва у невеликому діапазоні. Слід також враховувати, що з роботи будь-якого джерела максимальна точність вимірювання і стабілізації вихідного струму досягається в діапазоні 50...100% від номінального значення.

2.1.2 Вибір ПП з вихідної напруги

Найбільш поширені значення напруги в гальванічних процесах лежать у межах 6-12 вольт, хоча зустрічаються процеси і з великими напругами (в основному процеси анодування). При виборі значення вихідної напруги ДЖ в

першу чергу слід вивчити технологію нанесення покриття та забезпечити запас для компенсації втрат на струмоведучих шинах (проводах), особливо при протяжній лінії та контактних з'єднаннях, особливо це важливо для сильноточних процесів.

2.1.3 ДЖ зі зміною полярності (реверсом) струму та/або з пульсуючим струмом

Для деяких гальванічних та суміжних процесів для забезпечення високої якості покриття потрібна зміна полярності (реверс) струму (напруги) або використання однополярного пульсуючого струму. У цьому випадку слід вибирати ДЖ з такими функціями з урахуванням необхідного діапазону значень тривалості імпульсів.

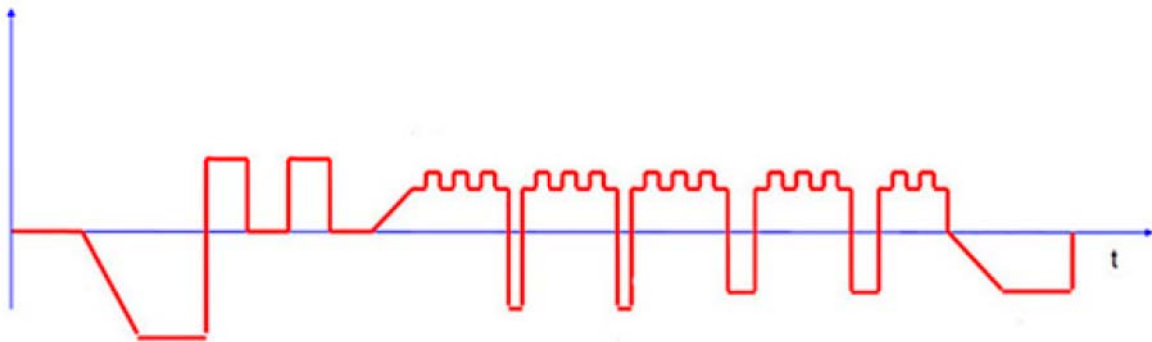


Рисунок 2.1 - ДЖ зі зміною полярності

2.1.4 Вибір ДЖ за ступенем захисту корпусу

При виборі ступеня захисту корпусу ДЖ слід враховувати його розташування. При розміщенні безпосередньо в цеху біля гальванічної лінії ступінь захисту слід вибирати не менше IP54 через наявність агресивних речовин у повітрі та можливість попадання бризок реактивів на корпус ДЖ.

При низькому ступені захисту це може призвести до окислення електронних компонентів ДЖ та виходу його з ладу. Запорукою надійної та безаварійної роботи ДЖ за такого розташування є своєчасне обслуговування, очищення

вузлів охолодження (радіаторів, вентиляційних ґрат та вентиляторів) від забруднень.

Також безпосередньо в цеху можливий монтаж ДЖ зі ступенем захисту корпусу нижче IP54, але тільки за умови встановлення ДЖ в окремому коробі з припливно-витяжною вентиляцією, параметри якого за продуктивністю вищі за продуктивність системи охолодження ДЖ. Цей спосіб монтажу ускладнює обслуговування ДЖ та при помилках проектування системи вентиляції може призвести до виходу ДЖ з ладу.

Найкращим, але в той же час дорогим способом є установка ДЖ в окремому приміщенні. При цьому способі розташування забезпечується чисте повітря в приміщенні без агресивних компонентів, легкий доступ для обслуговування та збільшується міжсервісний інтервал. Але також збільшуються витрати на встановлення та експлуатацію [30].

2.1.5 Вибір ДЖ із схемотехніки

Багато років для гальванічних процесів випускаються і застосовуються в промисловості тиристорні ДЖ, в яких є силовий понижувальний трансформатор, що працює на частоті 50 Гц, що випрямляє тиристорний міст із блоком управління, дросель для зниження пульсацій вихідного струму. Недоліками таких ДЖ є великі габарити, низький ККД, великі пульсації вихідного струму, низький коефіцієнт потужності і, як правило, відсутність модульності (при нарощуванні виробництва неможлива модернізація — лише повна заміна більш потужний).

Останні роки для гальванічних процесів дедалі більше почали виготовляти транзисторні ДЖ з високочастотним перетворенням, які позбавлені перелічених вище недоліків тиристорних ДЖ і забезпечують ширший діапазон регулювання вихідних параметрів.

2.1.6 Вибір ДЖ по типу охолодження

ДЖ для гальваніки випускаються з примусовим охолодженням - як повітряним, і рідинним. Рідкісне охолодження дає перевагу ДЖ зі струмами 10 кА і вище, але воно складніше, дорожче і вимагає додаткову систему підготовки та охолодження рідини.

2.2 Загальні відомості про випрямлячі.

Випрямляч - це пристрій, який призначений для перетворення змінної напруги в постійну. Головними елементами випрямляча є трансформатор TV, який змінює величину напруги та здійснює електричну розв'язку навантаження та мережі живлення, а також вентилі VS, за допомогою яких забезпечується одностороннє протікання струму у колі навантаження. Внаслідок цього змінна напруга мережі u_m перетворюється на пульсуючу напругу u_d . Для згладжування пульсацій випрямленої напруги на виході випрямляча встановлюють згладжувальний фільтр. Для регулювання або стабілізації випрямленої напруги чи току на виході випрямляча встановлюють регулятор або стабілізатор. У деяких випрямлячах регулятор (стабілізатор) може стояти на стороні змінної напруги. Структурна схема системи управління показано на рис. 2.2.

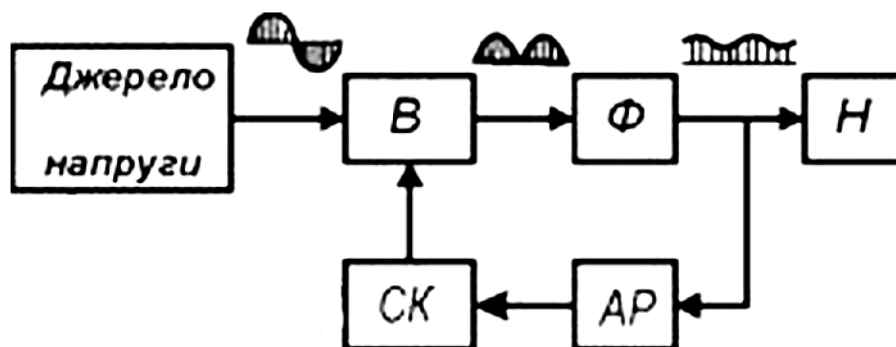


Рисунок 2.2 — Структура система імпульсно-фазового управління.

Структурна схема містить випрямляч (В), систему керування (СК) електричний згладжувальний фільтр (Ф), автоматичний регулятор (АР) [30].

На рис. 2.3, а наведено еквівалентну схему однофазного випрямляча з нульовим виводом, а на рис. 2.3, б - часові діаграми струмів і напруг у цьому випрямлячі.

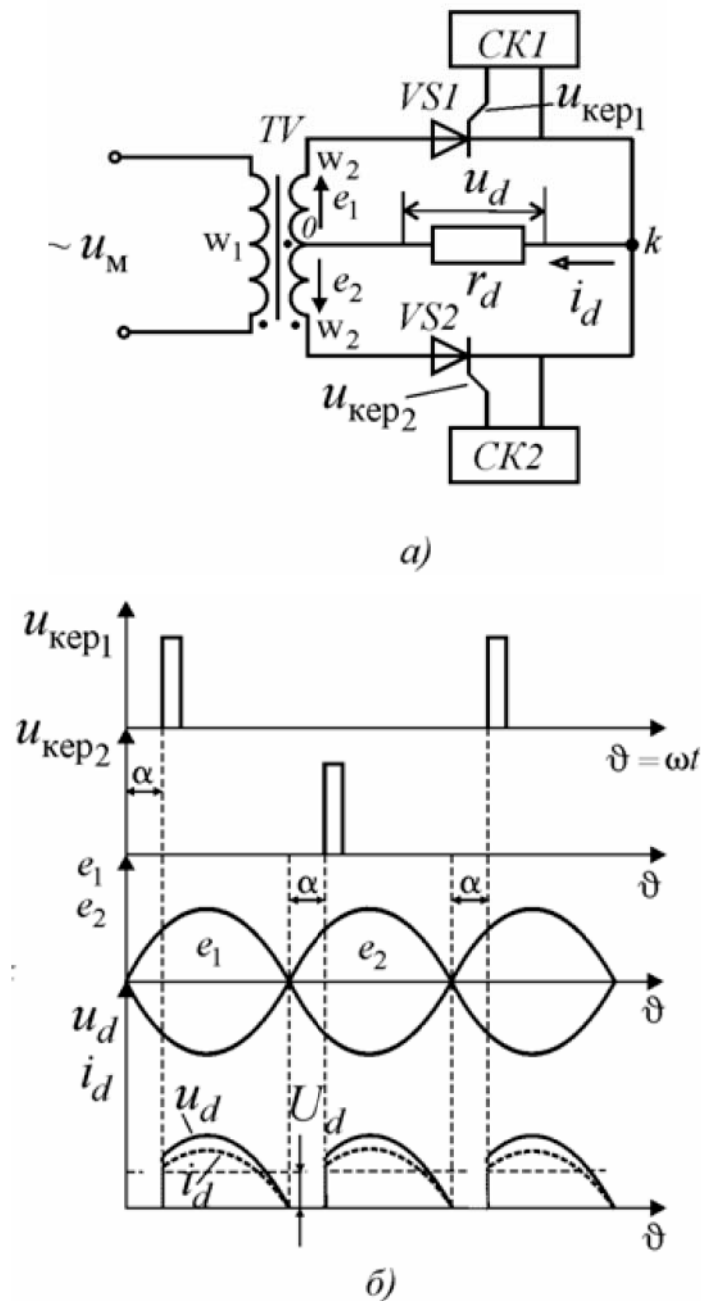


Рисунок 2.3 - Еквівалентна схема однофазного випрямляча з нульовим виводом, а) та часові діаграми, б)

На рисунку прийнято такі позначення: $u_M = U_m \sin \omega t$ - напруга мережі живлення; $e_1 = -e_2 = E_{2m} \sin \omega t$ - ЕРС вторинних обмоток трансформатора; w_1 - кількість витків первинної обмотки трансформатора; w_2 - кількість витків кожної вторинної обмотки трансформатора; r_d - опір навантаження; VS1 і VS2 - тиристори; СК1 та СК2 - системи керування тиристорами; $u_{кер1}$ та $u_{кер2}$ вихідні напруги системи керування (імпульси керування); α - кут керування фази керуючих імпульсів; i_d, u_d - миттєві значення випрямленого струму і напруги. Кут керування α можна змінювати за допомогою системи керування у межах від 0 до 180 електричних градусів. Внаслідок цього середнє значення випрямленої напруги U_d буде змінюватися від максимального значення до нуля.

Таким чином, U_d обчислюється по формулі:

$$U_d = \sqrt{2} U_2 \sin \alpha.$$

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Для регулювання напруги на виході випрямляча треба згідно завдання провести розрахунки системи імпульсно-фазового управління з заданими технічними параметрами.

3.1 Розрахунок ланцюга управління тиристорами

Згідно технічному завданню у випрямлячі використовується тиристор Т242-80-8 та типовий охолоджувач О241.

Для тиристорів Т242-80-8 визначаємо струми та напруги управління:

$$I_{y.сп.} = 60 \text{ (мА)}, U_y = 3 \text{ (В)} \Rightarrow I_y = I_{y.сп.} \cdot \frac{T}{t_{u.y.}} = 60 \cdot \frac{20}{4,480} = 0,667 \text{ (А)}$$

Ланцюги управління тиристорами живляться від імпульсного підсилювача через оптрон і опір, що обмежує струм [31]:

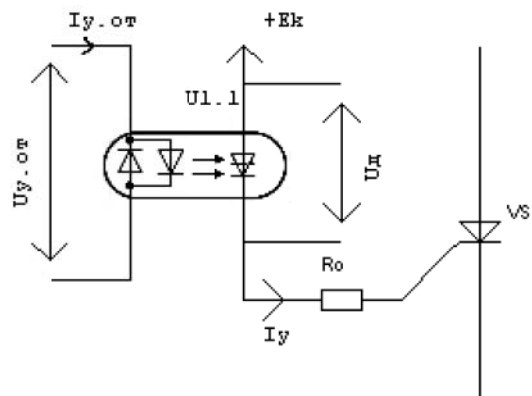


Рисунок 3.1 — Ланцюг управління тиристором

За значенням I_y вибираємо оптрон МОС3023 з параметрами:

$$U_{y.om} = 2,5(B); I_{y.om} = 60(mA); U_{\partial} = 1,4(B)$$

Визначаємо параметри елементів, що входять до ланцюга управління:

$$R_o = \frac{E_k - U_{\partial} - U_y}{I_y} = \frac{15 - 1,4 - 3}{0,67} = 15,8(OM); P_{R0} = 0,1 \cdot I_y^2 \cdot R_{ods} = 0,1 \cdot 0,67^2 \cdot 15,8 = 0,7(Bm);$$

За значеннями R_o и P_{R0} вибираємо резистор типу С5-1-20 Ом±5%.

Внутрішній опір керуючого переходу тиристора

$$R'_y = \frac{U_y}{I_y} = \frac{3}{0,67} = 4,4(OM).$$

3.2 Розрахунок вихідного каскаду СІФУ

Навантаженням вихідного каскаду на транзисторі VT1 є струм управління I_y оптопари (рис. 3.2). Отже, в режимі насичення через транзистор VT1 повинен протікати струм колектора $I_{к1}$ не менше струму управління I_y оптопари.

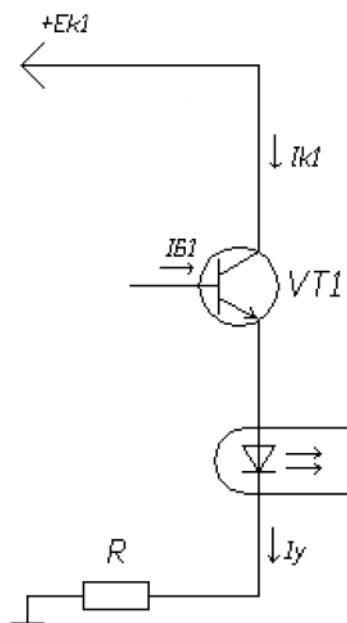


Рисунок 3.2 — Вихідний каскад СІФУ

У зв'язку з цим приймаємо $I_{к1}=I_y=0,015(A)$. Оскільки СІФУ живиться двополярною напругою, то вихідний каскад підключений до напруги

$$E_{п}=E_{к1}=15 B.$$

За напругою $E_{п}$ та струму $I_{к1}$ вибираємо транзистор VT1 типу 2N387 з параметрами $I_{кmax}=0,1(A)$, $U_{кэmax}=50(B)$, $\beta_{min}=h_{21эmin}=50$, $P_{max}=0,3(Bm)$.

Визначаємо величину обмежуючого опору резистора R:

$$R = \frac{(E_n - U_{кэ} - U_y)}{I_{к2}} = \frac{30 - 1,5 - 2,5}{0,015} = 1733(Ом),$$

де $U_{кэ}=1,5(B)$ - падіння напруги на відкритому транзисторі,

$U_y=2,5(B)$. - падіння напруги на світлодіоді оптодиністора.

Визначаємо потужність розсіювання на резисторі R:

$$P_{pacR} = I_{к1}^2 \cdot R = (0,015)^2 \cdot 1733 = 0,38(Bm).$$

Приймаємо резистор R типу С5-0.5-1800 Ом \pm 10%.

Визначимо струм бази транзистора VT1:

$$I_{б1} = \frac{I_{к1}}{\beta_{min}} = \frac{0,015}{50} = 0,3(mA).$$

Обчислюємо потужність розсіювання на транзисторі VT1:

$$P_{pacVT1} = I_{к1} \cdot E_n = 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 15 = 0,01(Bm).$$

3.3 Розрахунок вхідного каскаду СІФУ

Вхідний каскад СІФУ виконує дві функції: функцію синхронізації та функцію генератора прямокутних імпульсів. Функція синхронізації імпульсів управління та анодної напруги тиристора в керованому випрямлячі здійснюється шляхом підключення вхідного трансформатора TV1 і силового трансформатора до однієї і тієї ж фази напруги мережі. У вихідній схемі прямокутні двополярні імпульси утворюються на стабілітронах VD1, VD2 (рис. 3.3) [32].

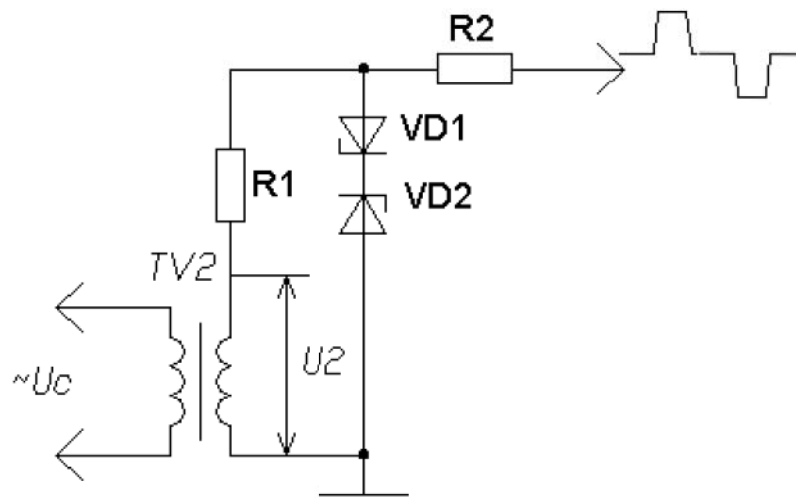


Рисунок 3.3 — Схема утворення прямокутних двополярних імпульсів.

Для отримання імпульсів, близьких до прямокутних, на стабілітронах VD1 та VD2 має виконуватись умова: $U_{cm} \ll U_2$.

Приймаємо: $U_{cm} = 3,3(B), U_2 = 9(B)$.

Вибираємо із довідника стабілітрони VD1, VD2 типу BZX46C3V3 з параметрами: $U_{cm} = 3,3(B); I_{cm.min} = 3(mA); I_{cm.max} = 81(mA); R_d = 65(Ohm)$, а також приймаємо до встановлення трансформатор з наступними параметрами:

$$U_c = 220(B); U_2 = 9(B); I_2 = 50(mA)$$

Визначаємо величину опору обмежувального резистора R1:

$$R1 = \frac{(U_2 - U_{cm})}{I_2} - R_d = \frac{(9 - 3,3)}{0,05} - 65 = 49 \text{ Ом}$$

Знаходимо потужність розсіювання на резисторі R1:

$$P_{\text{рас. R1}} = I_2^2 \cdot R1 = (0,05)^2 \cdot 49 = 0,12 \text{ (Вт)}.$$

Приймаємо резистор R1 типу С5-0,25-51 Ом $\pm 5\%$.

3.4 Розрахунок генератора трикутних імпульсів

Генератори трикутних імпульсів (рисунок 3.4) реалізуються з урахуванням генератора прямокутних імпульсів та інтегратора.

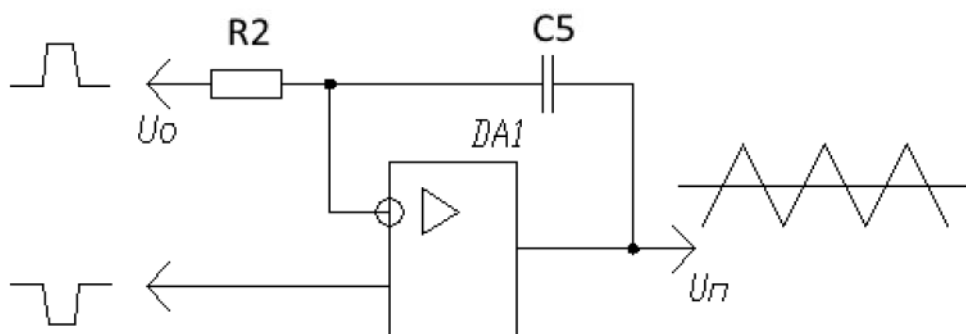


Рисунок 3.4 – Генератор трикутних імпульсів

Параметри імпульсів:

амплітуда: $U_{cr} = 3,3 \text{ (В)}$,

частота: $f_u = f_c = 50 \text{ (Гц)}$.

Визначимо тривалість вхідних імпульсів:

$$t_{u.вх} = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f_c} = \frac{1}{2 \cdot 50} = 0,01(c)$$

Визначимо струм навантаження вхідного каскаду та вхідний струм інтегратора з тієї умови, що:

$$I_n^i = 0,1 I_{cm.ср} = \frac{0,1(I_{cm.min} + I_{cm.max})}{2} = \frac{0,1(3+81)}{2} = 4,2(мА).$$

По довіднику вибираємо операційний підсилювач DA1 типу LM358 з параметрами:

$$I_{вх} = 125(нА); U_{вх.max} = 15(В); R_{вх} = 1(МОм);$$

$$U_{ввых.max} = 13,5(В); R_{ввых} = 150(Ом); U_{нум} = 15(В); K_U = 125 \cdot 10^3$$

При подачі на вхід інтегратора постійної напруги на його виході отримуємо напругу, що лінійно змінюється:

$$U_{ввых} = U_n = \left(\frac{U_{вх}}{R_2} \right) \cdot t_n$$

де $R_2 C_5 = \tau$

Приймаємо: $\tau = t_u = 0,01(c)$, $C_5 = 0,1(мкФ)$, тоді:

$$R_2 = \frac{\tau}{C_5} = \frac{0,01}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 10^5(Ом) = 100(кОм)$$

Виходячи з того, що значення $P_{рас.R4} = I_{вх.оп}^2 \cdot R_2$ дуже мало, приймаємо: резистор R_2 типу С5-0,125-100кОм $\pm 10\%$, конденсатор C_5 типу К73-5-0,1мкФ $\pm 5\%$. Величина вихідної напруги на виході інтегратора становитиме:

$$U_n = -\left(\frac{U_{\text{вх}}}{R_2 C_5}\right) \cdot t_u = -\frac{3,3 \cdot 0,01}{10^5 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = -3,3 (B)$$

де $U_{\text{вх}} = U_{\text{ст}} = 3,3 (B)$ - вхідна напруга обмежувача.

3.5 Розрахунок розділового ланцюга

Ланцюг розділу C6, R5 (рис. 3.5) виконує дві функції: поділяє постійні складові напруги та зменшує дрейф операційних підсилювачів.

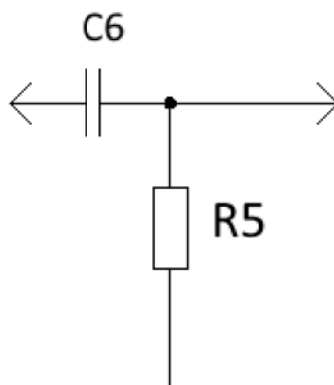


Рисунок 3.5 - Ланцюг розділу

Постійна часу розділового ланцюга дорівнює:

$$T_{\text{ц}} = C6 \cdot R5$$

та вибирається виходячи з умови мінімального спотворення вихідного сигналу:

$$T_{\text{ц}} > t_{\text{н.вх}} = \tau$$

Величина опору резистора R5 за умовами розряду конденсатора не повинна бути меншою за величину опору резистора R6 [32].

Приймаємо: постійний час розділового ланцюга $T_{ц} = 10\tau$, а величину опору резистора $R5=R6=100$ (кОм). Тоді величина ємності конденсатора C6 складе:

$$C6 = \frac{10\tau}{R5} = \frac{10 \cdot 0,01}{1 \cdot 10^5} = 1 \cdot 10^{-6} (\Phi) = 1 (\text{мк}\Phi)$$

Вибираємо конденсатор C6 типу К73-5-1мкФ±10%.

Резистори R5 типу С5-0,25-100 кОм±10%.

3.6 Розрахунок схеми порівняння

Як схема порівняння напруги живлення $U_{п}$ та напруги регулювання $U_{р}$ (воно ж напруга управління $U_{у}$) використовуємо нелінійний режим роботи операційного підсилювача. Передавальна характеристика операційного підсилювача містить ділянку позитивного та негативного насичення залежно від величин вхідної напруги на входах: $U_{вх1}$, $U_{вх2}$. Оскільки коефіцієнт посилення $K_{U_{оу}}$ дуже великий, то напруга перемикавання ($U_{вх1} - U_{вх2}$) дуже мало. Вихідна напруга операційного підсилювача при $|U_{вх1} - U_{вх2}| > U_{пер}$ залежить від цього, яке з вхідних напруг більше, тобто. операційний підсилювач є схемою порівняння напруг (рис. 3.6).

Враховуючи що:

- напруга регулювання $U_{р} = U_{вх1} = \pm 3,3(\text{В})$,
- амплітуда трикутної напруги $U_{п} = U_{вх2} = \pm 3,3(\text{В})$,
- максимальний струм навантаження $I_{н} = I_{Б1} = 0,0008(\text{А})$,

- мінімальна вихідна напруга $U_{н\ min} = U_{БЭ1} = 3(V)$,

приймаємо як схему порівняння операційний підсилювач DA2 типу LM358 у якого параметри однакові з DA1, оскільки вони знаходяться в одному корпусі.

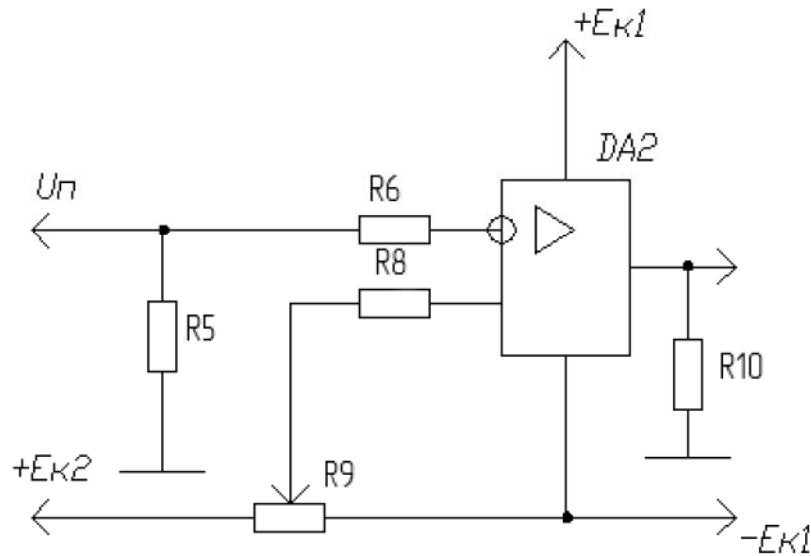


Рисунок 3.6 — Схема порівняння в блоку СІФУ

Визначимо напругу перемикання операційного підсилювача:

$$U_{пер} = \frac{U_{вих.мах}}{K_{оп}} = \frac{10}{125 \cdot 10^3} = 0,08 (мВ).$$

Величина опору резистора R10 визначається із співвідношень:

$$R10 > R_{вих.оп} = 150 (Ом);$$

$$R10 = \frac{U_{вих.мах}}{I_{вих.оп} - I_{Б1}} = \frac{10}{5 \cdot 10^{-3} - 0,8 \cdot 10^{-3}} = 2380 (Ом).$$

Приймаємо резистор R10 типу С5-0,125-2,4кОм±10%.

Величини опорів резисторів $R_6=R_8$ визначимо з наступних умов:

$$R_6 = R_8$$

Приймаємо резистори R_8 типу С5-0,25-100 кОм \pm 10%. Резистор R_7 знижує напругу порівняння до 3.3В, $R_7 = 30$ кОм, С5-0,25-100 кОм \pm 10%.

Величину опору резистора R_9 (дільника напруги) визначимо, якщо прийmemo, що струм дільника напруги $I_d=(5\dots 10)I_{\text{вх.оп.}}$.

Виходячи з цього, приймаємо резистор R_9 типу СП-1-100 кОм \pm 20%.

3.7 Моделювання СІФУ

Моделювання схеми електричної принципової проводилось у програмі Micro-Cap 12 [33].

Математична модель представлена на рис. 3.7, а результати моделювання на рис. 3.8 та 3.10.

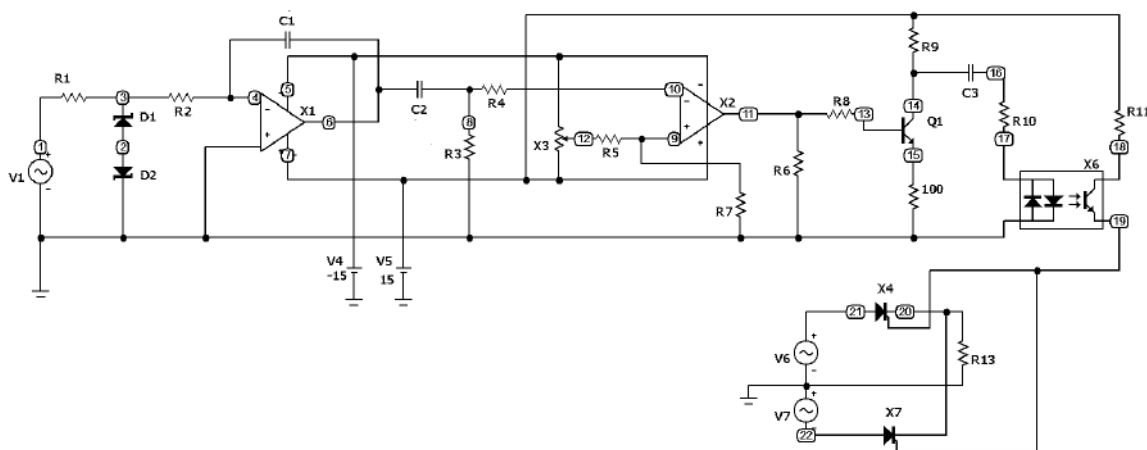


Рисунок 3.7 — Схема електрична принципова для моделювання

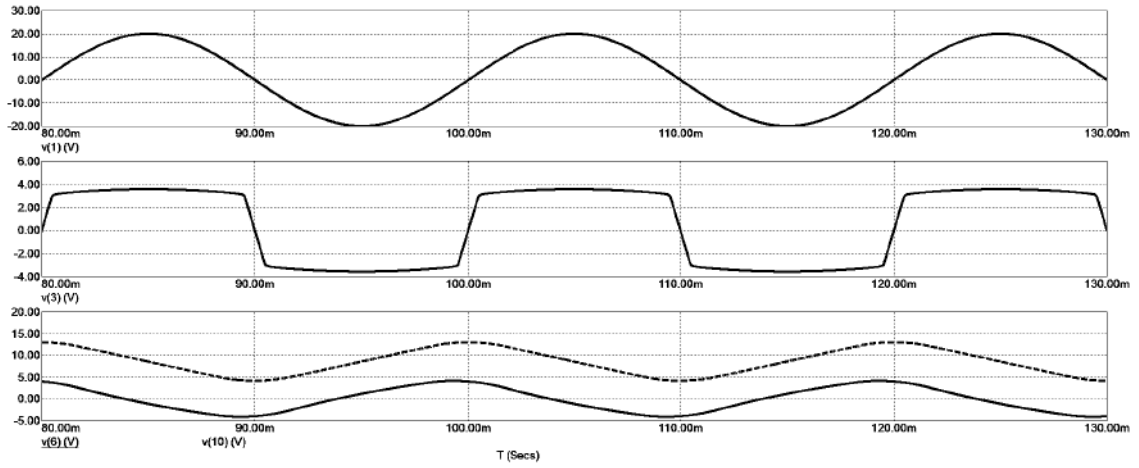


Рисунок 3.8 — Напряга в точках схеми 1, 3, 6.

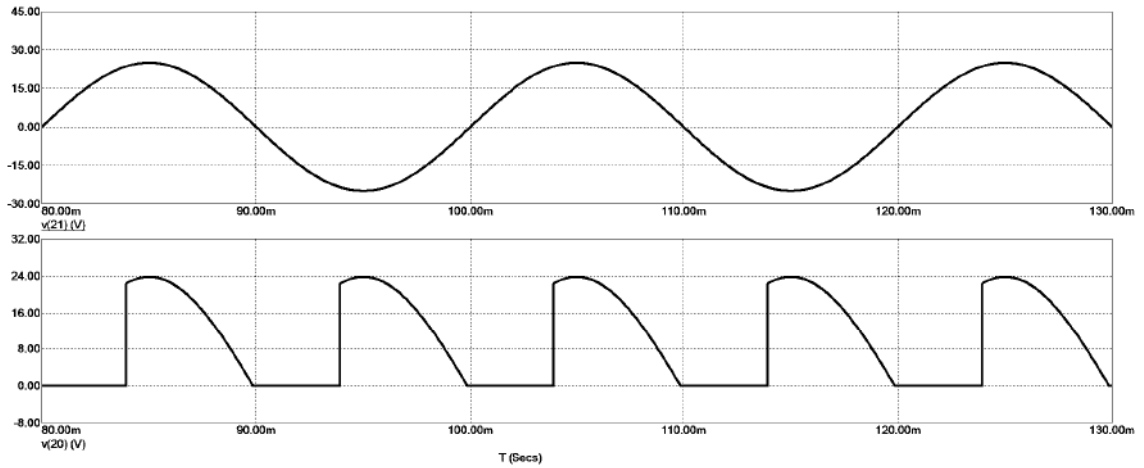


Рисунок 3.9 — Напряга на трансформаторі та виході випрямляча

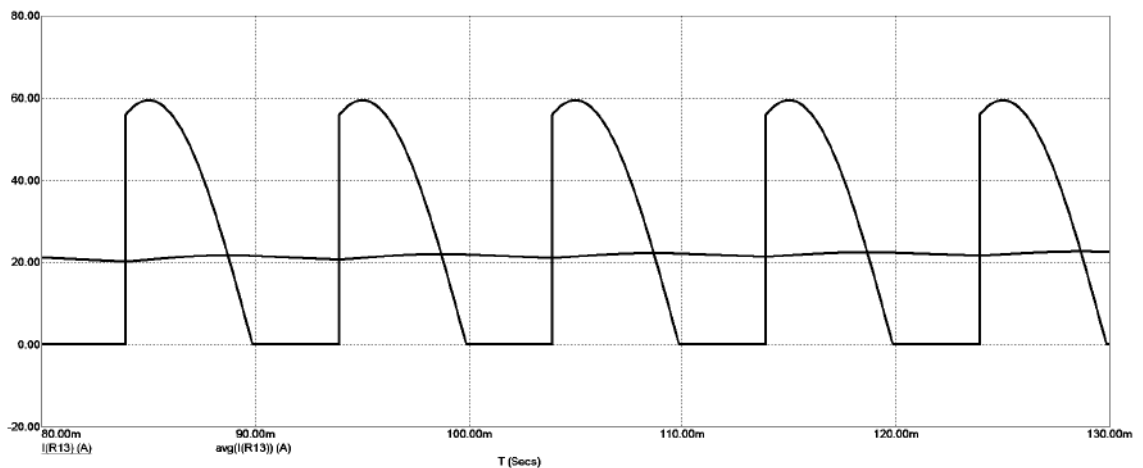


Рисунок 3.10 — Струм навантаження.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Програмне забезпечення для систем автоматизованого проектування

На сьогодні багато фірм пропонують програмне забезпечення для потреб САПР, воно відрізняється ціною та можливостями. Програма DipTrace пропонує безкоштовну ліцензію для проектування плат у два шари. Завдяки характеристикам програми DipTrace проводилось проектування принципових схем і друкованих плат. DipTrace включає в себе чотири основні програми:

- Schematic - розробка принципових схем;
- PCB Layout - розводка плат, ручна і автоматичне трасування;
- ComEdit - редактор корпусів;
- SchemEdit - редактор компонентів;

Основні функції:

- Редактор плат - проектування плат за допомогою потужного авто-трасувальника, зручною ручного трасування і системи позиціонування компонентів.

- Редактор схем - проектування схем з підтримкою ієрархії і необмеженої кількості аркушів. Експорт в редактор плат, список мереж (netlist) або симулятор.

- Редактори компонентів і корпусів - дозволяють створювати свої бібліотеки.

- Стандартні бібліотеки - містять більше 100 000 компонентів.

- 3D попередній - дозволяє переглядати тривимірну модель плати. З програмою поставляються більш 2.5 тис. 3D-моделей корпусів.

- Імпорт / Експорт - система може імпортувати схеми, плати і бібліотеки з P-CAD, PADS і інших популярних програм. Експорт в P-CAD, Gerber і інші формати дозволить підготувати плати для будь-якого виробництва.

- Російський інтерфейс, довідка, підручник і форматки - дозволять швидко вивчити й ефективно користуватися програмою.

4.2 Технологія виготовлення плати друкованої

Збірка друкарських плат з електрорадіоелементами (ЕРЕ) і інтегральними мікросхемами характеризується тим, що ЕРЕ і інтегральні мікросхеми геометрично розташовуються на друкарській платі відповідно до його конструкції і монтажної схеми. Між збіркою друкарських плат з ЕРЕ або інтегральними мікросхемами немає істотної відмінності, тому для спрощення прийнято говорити про збірку вузлів з компонентами РЕА як узагальнювальне поняття для ЕРЕ і інтегральних мікросхем.

Розрізняють два види збірки залежно від конструкції виводів компонентів і контактних майданчиків на друкарській платі. Якщо виводи вставляються в отвори друкарських плат, то говорять про процес установки компонентів з штирковими виводами, якщо вони накладаються на плоскі контактні майданчики друкарської плати, то це визначається як процес установки компонентів з планарними виводами.

Проте незалежно від вибраного виду збірки можна сформулювати основний принцип збірки друкарських плат таким чином.

При збірці друкарських плат з компонентами РЕА друкарські плати і компоненти повинні так переміщатися щодо один одного, щоб в результаті цього переміщення всі виводи компонентів зайняли свої місця, обумовлені електричною схемою вузла і необхідним контактом з друкарською платою.

Для збільшення продуктивності праці компоненти і друкарські плати завантажуються в спеціальні магазини, які розташовуються навколо складального місця. Застосування знаходять також касети, розташовані на диску, що обертається, або транспортері.

На складальних столах обслуговуючому персоналу за допомогою відповідної програми видається інформація про те, які компоненти, на яке місце друкарської плати повинні бути встановлені. Окремі конструкції складальних столів розрізняються тільки типом індикації для позиціонування збірки і видом підготовки або маркування вказаних компонентів. Основні методи індикації

місця збірки дають проекцію відповідних символів на друкарську плату, причому інформація, одночасно з цим символом, може містити дані про напрям встановлюваного компоненту.

Відомі також пристрої, в яких складальні позиції указуються за допомогою світлового покажчика, що переміщається (проектора). Робочий переміщає ручку пантографа в послідовності, записаній рядами. У такій же послідовності повинні маркіруватися місця компонентів і касети з компонентами. Щоб уникнути повторної установки елемента на одне і теж місце, повинне здійснюватися блокування.

Підготовка компонентів полягає в доданні виводам форми, необхідної для збірки і контакту. Найчастіше це процес різки і гнучки, після чого виводи набувають форми, необхідної для фіксації на друкарській платі.

Розміри гнучки ЕРЕ нормалізовані у виробництві залежно від довжини корпусу з певним інтервалом, щоб не збільшувати число гибочних розмірів.

Для фіксації компонентів після установки застосовується пристрій, який дозволяє перевернути плату без випадання компонентів і провести фіксацію компонентів на стороні паяння. Для цього на настановній стороні плати є рама, яка прикріплюється до приймального пристрою друкарської плати і опускається на друкарську плату. У цій рамі знаходиться надувний повітряний амортизатор (або прокладка з пористої гуми), який притискує компоненти до друкарської плати і таким чином перешкоджає їх випаданню.

Положення компонентів, отримане при збірці, не повинне змінюватися до моменту контакту. Тому компоненти повинні бути зафіксовані на друкарській платі. Фіксація компонентів на друкарських платах може здійснюватися різними методами. Оптимальна фіксація повинна задовольняти наступним вимогам:

- не допускати застосування додаткових елементів на друкарській платі і компонентах;
- бути легко здійснимою;
- витримувати, щонайменше, власна вага компоненту.

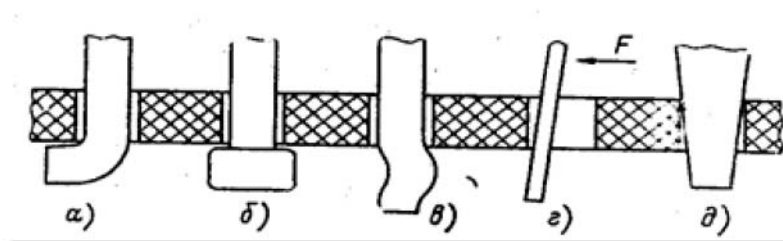


Рисунок 4.1 - Методи фіксації компонентів з штирьовими виводами:

- а) загинання; б) розплющення; в) деформація виводів;
г) пружинячі виводи; д) тертя

Фіксація компонентів, виводи яких поєднуються з контактними майданчиками, особливо в плоскому корпусі, утруднена із-за неможливості закріплення виводів в отворі. Тому для інтегральних мікросхем в плоских корпусах застосовується фіксація приклеюванням.

Контакт проводиться паянням. Паяння повинне проводитися короткочасно (2 - 4 сек) припоєм ПОС- 61 [34].

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень [35].

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

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.

5.1 Суми витрат по статтям кошторису

5.1.1 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 визначається 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 (8,0 годин) [36].

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

В таблиці 5.1 приведений розрахунок заробітної плати розробників технічної документації однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття.

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапу розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю нормо-годин	Трудомісткість етапу люд-годин	Число виконавців	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата за етап, грн.
1	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	5,5	5,5	1	0,688	318,2	218,8
2	Схема електрична структурна	Схема ф.А1	1	0,4	0,4	1	0,05	295,5	14,8
3	Складальне креслення	ф.А1	1	17,2	17,2	1	2,150	295,5	635,2
4	Креслення друкованої плати	ф.А1	1	2,3	2,3	1	0,288	331,8	95,4
5	Специфікація	ф.А4	3	0,5	1,5	1	0,188	318,2	59,7
6	Розрахунки	ф.А4	10	1,3	13	1	1,675	295,5	480,1
7	Пояснювальна записка	ф.А4	60	0,2	12	1	1,50	295,5	443,2
Разом									1947,1

5.1.2 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 заробітної плати на розробку технічної 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 на виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо-годин	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн.
1	Складальні	5	10	36,9	369
2	Монтажні	6	2	40,5	81
3	Регулювальні	5	1	45,7	45,8
Всього:					495,8

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

5.1.3 Накладні витрати беруться у розмірі 40...120% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5.1.4 Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктовану апаратуру. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість матеріалів та комплектуючих збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Стеклотекстоліт FR4	м ²	0,023	2005,45	46,1
2	ПОС-61	кг	0,1	327,50	32,75
3	Лак	л	0,02	490,30	9,8
4	Флюс	л	0,08	145,00	11,6
Разом:					100,25

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	Трансформатор 220В	1	295	295
2	Конденсатор	11	4,50	49,5
3	Мікросхема LM358	1	10	10
4	Тиристор 80А	2	195	390
5	Резистор	14	2,50	5
6	Резистор змінний	1	75	75
7	Стабілітрон	2	5	10
8	Діодний міст	2	14	28
9	Оптопара	1	8	8
10	Роз'єм	1	15	15
11	Автомат. вим. ВА47-100 1Р 80А	2	235	470
12	Трансформатор 220/20 80А	1	3980	3980
13	Автомат. вим. ВА47-29 2Р 10А	1	160	160
Разом:				5495,5

5.1.5 Собівартість дослідного зразка визначається за формою табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проєктований виріб, грн.
1	Матеріали	100,25
2	Куповані комплектуючі вироби	5495,5
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	279,8
4	Заробітна платня виробничих робочих	495,8
5	Додаткова заробітна плата (10%п.4)	49,58
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	201,8
7	ФЗП	
8	Накладні витрати (120% п.4)	594,96
Всього собівартість:		7217,69

5.1.6 В таблиці 5.6 приведено розрахунок кошторису витрат на конструкторську підготовку виробництва.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Зарплата розробників по всім етапам розробки	1947,1
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (15% п.1)	292
3	Разом:	2239,1
4	Нарахування на зарплату (37% п.3)	828,46
5	Накладні витрати (120% п.3)	2686,92
6	Собівартість дослідного зразка	7217,69
7	Інші витрати	146
Всього вартість розробки:		15357,27

5.1.7 В таблиці 5.7 приведено розрахунок заробітної плати робочих в разі серійного виготовлення виробу.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	2	36,9	73,8
2	Монтажні	5	1	40,5	40,5
3	Регулювальні	5	0,5	45,7	22,85
Всього:					137,15

5.1.8 Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, враховуючи що комплектуючі та матеріали знижені на 30% по відношенню до таблиць 5.3 та 5.4, зведених в таблицю 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн.
1	Матеріали	100,25
2	Куповані комплектуючі вироби	5495,5
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	279,8
4	Основна заробітна плата виробничих робочих	137,15
5	Додаткова заробітна плата (10% п.4)	13,715
6	Нарахування на зарплату (37%(п.4+п.5))	55,82
7	Загальновиробничі витрати (100% п.4)	137,15
8	Разом собівартість	6219,38
9	Прибуток (30% п.8)	1865,8
Ціна виробника		8085,2

5.2 Розрахунок терміну окупності розробки

Річний економічний ефект $\mathcal{E}_Г$ від впровадження нових виробів розраховується по формулі [36]:

$$\mathcal{E}_Г = (\Pi - E_H \cdot K_v) \cdot A_Г, \quad (5.1)$$

де Π – прибуток на одиницю продукції (з табл. 5.8, $\Pi=1865,8$ грн.);

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_H=0,15$);

K_v – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції;

$A_Г$ – річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві.

Визначаємо питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції:

$$K_v = \frac{K}{A_Г}, \quad (5.2)$$

де K – капіталовкладення в розробку виробу (з табл. 5.6, $K = 15357,27$ грн.).

Враховуючи, що річний об'єм випуску продукції при серійному виробництві складає 100 шт/рік:

$$K_v = \frac{15357,27}{100} = 153,57.$$

Тоді передбачуваний річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_r = (1865,8 - 0,15 \cdot 153,57) \cdot 100 = 184276 \text{ грн.}$$

Ефективність E розробки визначається згідно:

$$E = \frac{\mathcal{E}_r}{K}, \quad (5.3)$$

$$E = \frac{184276}{15357,27} = 12.$$

Термін окупності продукції T рівний зворотній величині ефективності:

$$T = \frac{1}{E}, \quad (5.4)$$

$$T = \frac{1}{12} = 0,1 \text{ року}$$

В таблиці 5.9 приводяться загальні економічні показники розробленого пристрою.

Таблиця 5.9 – Економічні показники

№	Показники	Один. виміру	По проєктованому виробу
1	Витрати на КПП	грн.	15357,27
2	Собівартість розробки	грн.	6219,38
3	Ціна підприємства	грн.	8085,2
4	Річний обсяг випуску	шт.	100
5	Річний економічний ефект	грн.	184276
6	Ефективність розробки		12
7	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	0,1

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття для серійного виробництва.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Лабораторія по збірці і настройці джерела живлення для нанесення електролітичного покриття є прямокутним приміщенням довжиною 5,7 м і шириною 4,3 м, висота стелі 3м. До заготівельних операцій відносять виготовлення друкованої плати, розрізку матеріалу, виконання базових отворів і виготовлення шарів на платах.

Робота в лабораторії пов'язана з шкідливою дією цілою ряду чинників. До таких чинників можна віднести:

- не комфортні метеорологічні умови (підвищена температура при роботі з паяльником);
- погана освітленість робочої зони;
- небезпека ураження електричним струмом; причиною якого може бути незнання правил поводження з електронебезпечними об'єктами та умов їх експлуатації.
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин, які утворюються під час пайки;
- пари етилового спирту, які виникає в повітрі під час промивання друкованої плати;
- пил, та мікрочастки скло текстоліту, які з'являються під час механічної обробки друкованої плати;

вплив шкідливих факторів впливу моніторів ПК.

Висока температура впливає на людину і сприяє розширенню кровоносних судин. Відповідно має місце підвищений приплив крові до поверхні тіла і тепловіддача в навколишнє середовище значно підвищується.

Однак, коли температура навколишнього середовища і поверхні досягає 30—35 °С, віддача тепла конвекцією і випромінюванням в основному припиняється. Більш висока температура повітря сприяє тому, що більша частина тепла віддається за рахунок випаровування його з поверхні шкіри. В таких умовах організм губить відповідну кількість вологи, а разом з нею і солі, які відіграють важливу роль в життєдіяльності організму [37].

Відповідно до складального креслення в якості припою використовується олов'яно-свинцевий припій, а як флюс використовується безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1). ГДК у повітрі робочої зони 0,01 мг/м³. Олово є речовиною помірковано небезпечним (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м³. Спирт етиловий є мало-небезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/ м³ [38].

При перевищенні допустимої концентрації парів свинцю під час проведення паяльних робіт на організм людини приводить до зміни репродуктивної, нервової, серцево-судинної, імунної та ендокринної систем. Сполуки свинцю можуть викликати легке отруєння, отруєння середньої важкості та важке отруєння. При тривалому впливі виникає отруєння свинцем (сатурнізму). Для легкого отруєння характерними є розвиток анемії, для середньої важкості – токсичний гепатит, свинцева коліка, астеновегетативний синдром, для важкого – енцефалопатія, порушення координації рухів, розлади мови, периферичні нейропатії. Характерними симптомами свинцевої інтоксикації є свинцева кайма по краю ясен, а також «свинцевий колорит» - землісто-сіре забарвлення шкіри. Виникає енцефалопатія, яка характеризується головними болями, розладами сну, епілептичними паралічами, коматозними станами, депресією. Рухові розлади характеризуються поліневритом з переважним ураженням розгиначів кисті та стопи. Розвивається тремор витягнутих рук, посмикування очних яблук, болі в руках і ногах, болючість при пальпації по ходу нервів, погіршення зору. Для жі-

нок свинець представляє особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту і накопичуватися в грудному молоці.

В лабораторії підвищений шум на робочому місці створюється при роботі ПК, вентиляторної установки, стендів для випробувань друкованої плати, електродвигуни для свердління плат. Шум може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси в організмі людини. Він не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 1—15%, але нерідко призводить до професійних захворювань. Інтенсивний щоденний, він повільно й незворотно впливає на незахищений орган слуху і призводить до розвитку нейросенсорної приглухуватості.

Таблиця 6.1 – Оцінка умов праці робочого місця інженера-електроніка

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1	2	3	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : – пари спирту – свинець та його неорганічні з'єднання	0,1...10 0,01	0,2 0,0105	X 1,0 5р			10 17
2	Неіонізуюче випромінювання: – радіочастотний діапазон. В/м – діапазон промислової частоти, кВ/м	25 2,5	20 1,0–1,5				100
3	Мікроклімату приміщени (теплий період року): – швидкість руху повітря, м/с – температура повітря, °С – відносна вологість, % – інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	0,1 20–24 40–60 140	0,1–0,3 21–25 45–60 120	<4° С			100 100
4	Атмосферний тиск, мм.рт. ст.	760	750				100
5	Дрібні стереотипні рухи кистями та пальцями рук, кіл. за зміну	5000	5000–6000				50
6	Напруженість праці увага (тривалість концентрації, %)		80	>7 5			80–100
7	Напруженість аналізаторних функцій			точна			80

Робота за комп'ютером, супроводжується підвищеним напруженням зору, інтенсивністю і монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням та інш. Внаслідок цього трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та інш. Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати граничнодопустимих значень, встановлених у санітарних нормах, правилах і нормативно-технічній документації.

Найбільш близькими до природного освітлення є люмінесцентні джерела або лампи денного світла, але для них характерна пульсація світла з частотою електричного струму - 50 Гц. Це викликає перенапруження м'язової системи ока, кришталика, нервової системи, що сприяє швидкій стомлюваності, захворюваності [39].

Згідно таблиці 6.1 робота розробника виконується згідно з нормами умов праці робочого місця інженера-електроніка.

6.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В лабораторії зниження шуму є застосування звукоізоляції: кожухи, екрани, стіни, перетинки виготовляють із щільних твердих матеріалів, здатних запобігати розповсюдженню звукових хвиль (метал, пластмаса, бетон, цегла). Постійне перебування у місцях біля електродвигуна можливе тільки із застосуванням засобів індивідуального захисту, використовуються навушників, що забезпечують зниження рівнів звукового тиску в зоні високих частот 30-35 дБ. Шум ПК визначається, у першу чергу, їхніми силовими установками, тому для його зниження необхідне створення нових малошумних двигунів або модифікація існуючих.

Збільшення освітленості з 10 до 100 лк при напруженій зоровій роботі підвищує продуктивність праці на 10-20%, зменшує кількість браку на 20% та знижує число нещасних випадків на 30%. Тому штучне освітлення у приміщеннях з ЕОМ здійснюється у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовують у рівномірному порядку над робочими місцями. Відношення яскравості екрана ЕОМ до яскравості оточуючих його поверхонь не повинно перевищувати у робочій зоні 3:1 [39].

Заходи захисту від ураження електричним струмом: забезпечення наявності надійної ізоляції на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою, усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах електроустаткування з допомогою заземлення, занулення, захисного відключення. Важливим є застосування малих напруг та захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухів, огорожень.

Медичні профілактичні заходи: медичні огляди (попередні та періодичні); раціональне і профілактичне харчування; застосування змінного ритму і темпу роботи; виконання профілактичних та психологічних вправ [37].

6.3 Виробнича санітарія

Роботи, що проводяться в лабораторній, відносяться до розряду робіт дуже високої точності, 1 розряду, з найменшими розмірами об'єкту розрізнення 0.15 - 0,3 мм. Підрозряд зорових робіт при середньому контрасті об'єкту розрізнення з фоном і при середньому фоні - «В».

Освітленість від світильників загального штучного освітлення в системі комбінованого при газорозрядних лампах 400лк. В таблиці 6.2 показано розподіл природного та штучного освітлення [37].

В лабораторіях із зоровими роботами I-III розрядів слід застосовувати поєднане освітлення. При цьому нормовані значення КПО застосовуються 10, 7,5%.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10% нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення [37].

Таблиця 6.2 - Розподіл природного та штучного освітлення

Характеристика зорової роботи		Дуже високою точності
Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм		Менш 0,15
Підрозряд зорової роботи		В
Характеристика фону		Середній
Контраст об'єкта розрізнення з фоном		Середній
Штучне освітлення, лк	При комбінованому освітленні	2500
	При загальному освітленні	750
Природне освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	10
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	2,8
Суміщене освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	6
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	1,7

Мікроклімат в лабораторії відноситься до категорії робіт: легка Іб. Оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологи та швидкості руху повітря повинні відповідати значенням, зазначених у таблиці 6.3. Коливень температури повітря по горизонталі в робочій зоні, а також протягом зміни допускаються до 4 °С - при легких роботах [40].

Таблиця 6.3

Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні

Період року	Температура, °С		Відносна вологість		Швидкість руху, м / с	
	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодний	21-23	24-17	40-60	75	0,1	<0,2
Теплий	22-24	28-19	40-60	55	0,2	0,1-0,3

В лабораторії виділяються пари етилового спирту з густиною, що перевищує густину повітря, то загальнообмінна вентиляція повинна забезпечити видалення 60% повітря з нижньої зони приміщення та 40 % - з верхньої. Забезпечення вловлювання шкідливих виділень (газів, парів, пилу) безпосередньо в місцях їх виділення, застосовують місцеві відсмоктувачі, так як джерело шкідливостей не можна ізолювати, витяжний зонт або всмоктувальну панель.

В лабораторії повне кондиціонування повітря, передбачає регулювання температури, вологості, швидкості руху повітря, а також можливість його додаткового оброблення (очищення від пилу, дезінфекції) [40].

6.4 Електробезпека

Живлення електроприладів усередині лабораторії здійснюється від однофазної мережі напругою 220 В і частотою 50Гц із використанням автоматів захисту по струму.

В приміщенні сухо, без підвищеної температури і відповідно до [41] вона відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більш 35 °С, відсутні хімічно агресивні середовища. У лабораторії електропроводка схована, проведена в прорізах під штукатуркою на висоті 2м. Силові провідники, які з'єднують між собою ПК із системним блоком і принтером мають подвійну ізоляцію. Штепсельні розетки встановлені

на висоті одного метра від підлоги. Вимикачі на стінах розташовані на висоті 1,75м від підлоги з боку ручки для відкривання двері.

При виконанні розробки джерела живлення для нанесення електролітичного покриття в лабораторії проводять операції, які повинні строго дотримуватися правила техніки безпеки, зокрема правила електробезпеки:

- всі доступні для дотику струмоведучі частини електроустаткування повинні бути захищені;
- рубильники і коробчаті вимикачі повинні бути миттєвої дії;
- щитки і рубильники повинні бути встановлені в глухих металевих кожухах, що закриваються на замок, і мати написи про вживану напругу;
- ручки і рукоятки, маховики повинні бути зроблені з ізолюючих матеріалів;
- все електроустаткування, а також устаткування і механізми, які можуть опинитися під напругою повинні бути заземлені;
- металеві частини електрифікованих інструментів при напрузі зверху 36В повинні бути заземлені, електропроводка і арматура освітлювальної мережі повинні бути надійно ізольовані і захищені від впливу високої температури, механічних пошкоджень і хімічних дій;
- роботи по ремонту устаткування і механізмів повинні проводитися тільки після повного відключення від мережі електроживлення; на місці робіт обов'язково вивішуються попереджувальні плакати;
- контактні дроти, що підлягають ремонту, повинні бути заздалегідь відключені і заземлені;
- у місцях роботи поблизу відкритих струмоведучих частин повинні бути встановлені дерев'яні щити і ґрати, покриті гумовими килимками

6.5 Пожежна та техногенна безпека

Згідно з [41] будинок, де знаходиться лабораторія відноситься до категорії Д за пожежною небезпекою. Приміщення, в яких у системах машин охолодження та гідроприводу наявні ГР в кількостях не більше 60 кг в одиниці устаткування при тиску не вище 0,2 мПа, а також у яких є кабелі електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів. Можливий на клас пожежі за стандартом [44] – Е.

Споруда, де знаходиться лабораторія відноситься до 3-го ступеню - будови, які мають основні несучі конструкції негорючі, а не несучі (міжповерхові й перекриття на горищі) - важкогорючі (0,25-2 год) [44].

Ймовірні причини пожеж в лабораторії:

1. Коротке замикання проводки;
2. Користування побутовими, електро-, радіо- приладами;
3. Недотримання умов протипожежної безпеки.

У зв'язку з цим необхідно передбачити наступні заходи щодо пожежної безпеки:

- улаштуванням протипожежних перепон у будівлях, системах вентиляції, опалювальних та кабельних комунікаціях;
- спорудженням протидимного захисту;
- ретельна ізоляція всіх струмоведучих провідників до робочих місць; періодичний огляд і перевірка ізоляції;
- суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочому місці;
- встановлення автоматичної сигналізація (датчик, монтується в стіну лабораторії і служить для подачі сигналу при появі диму).

Приміщення обладнане двома пожежними датчиками типу ДТЛ, (площа, що захищається, 24,5м²). Така кількість датчиків відповідає нормам розміщення згідно ДБН, тому що площа, що захищається датчиком ДТЛ складає 15 м², два датчика захищають площу приміщення 30м², а площа приміщення лабораторії складає 24,5 м².

Рекомендується улаштування в відділі збірки порошкового вогнегасника ОП-3(з), який призначений для гасіння загорання твердих, рідких речовин, а також для гасіння електрообладнання, яке знаходиться під напругою до 1000 В.

Відстань від найвіддаленішого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу з приміщення безпосередньо назовні або на сходову клітку не має перевищувати значень, регламентованих [44]. Кількість евакуаційних виходів з будівель, з кожного поверху та приміщень має бути відповідною до СНиП [44], але не менше двох.

В лабораторії евакуація відбувається по плану на випадок виникнення пожежі. Інструкція про заходи пожежної безпеки (план евакуації людей), включає в себе загальну інструкцію для будинку та інструкція для окремої лабораторії, згідно з [44].

6.6. Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини, для різних режимів роботи електричної мережі

Лабораторія має напругу 220В, мережа змінна. При виконанні розробки джерела живлення для нанесення електролітичного покриття в лабораторії проводять операції, які можуть бути небезпечно дослідникам у випадку несправності електроустановок. Тому необхідно забезпечити безпечну мережу.

За напругою [42] ПУЕ розрізняють електроустановки (мережі) напругою до 1 кВ та електроустановки напругою вище 1 кВ. За режимом нейтралі бувають електроустановки (мережі) з ізолюваною нейтраллю джерела живлення (генератора або трансформатора) і глухозаземленою нейтраллю джерела живлення.

Лабораторія має напругу до 1 кВ.

–Розглянемо дотик до однієї фази в мережі з ізолюваною нейтраллю (рис. 6.1). Для спрощення розрахунків вважаємо, що мережа симетрична, а саме: си-

метричні й однаково активні опори ізоляції фаз, а також ємності та ємнісні опори, тобто для такої мережі є справедливими наступні рівняння:

$$R_1=R_2=R_3=R, C_1=C_2=C_3=C, Z_1=Z_2=Z_3=Z, \quad (6.1)$$

де C -ємність дротів відносно землі; Z - комплекс повного опору відносно землі, Ом; R - активний опір ізоляції фаз відносно землі, Ом.

Струм, що проходить крізь тіло людини при дотику до однієї з фаз у нормальному режимі, так як мережа з напругою до 1 кВ малої довжини ємність дротів відносно землі мала, $C = 0$, тоді $Z = R$, опір фази відносно землі дорівнює активному опору ізоляції і рівняння набуває вигляду:

$$I = \frac{U}{R_h + \frac{Z}{3}}, \quad (6.2)$$

$$I = \frac{220}{1000 + \frac{500000}{3}} = 0,001 \text{ A.}$$

де $U=220$ - фазна напруга мережі, В; $R_h = 1000$ [37] - опір тіла людини, Ом; де $Z=0,5$ [42] - активний опір ізоляції фаз відносно землі, МОм.

Аналіз рівняння 6.2 показує, що при симетричних опорах між фазними дротами і землею струм крізь людину тим менший, чим більші ці опори.

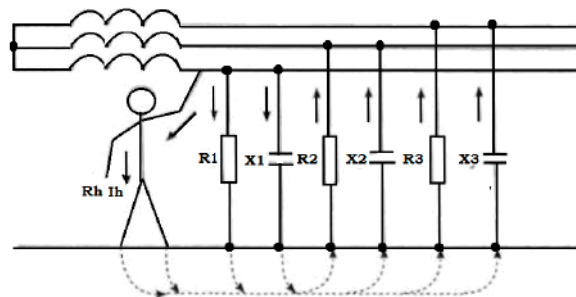


Рисунок 6.2- Дотик людини до фази в мережі з ізолюваною нейтраллю.

Також показує значення ізоляції як фактора безпеки: що вище опір ізоляції R , то меншим буде струм крізь людину. Тому короткі повітряні мережі з ізолюваною нейтраллю, малою ємністю, високим опором ізоляції не становлять значної небезпеки при дотику до фази.

2. Мережі з глухозаземленою нейтраллю (рис. 6.3). мають малий опір між нейтраллю і землею R_0 , тому при дотику людини до фази струм через неї практично не залежить від опору ізоляції та ємності мережі відносно землі. Відповідно до правил улаштування електроустановок (ПЕУ) на електричних установках напругою до 1000В допустимий опір заземлюючого пристрою не більше 4 Ом [42] .

У цьому випадку струм крізь людину:

$$I = \frac{U}{R_h + R_0}, \quad (6.3)$$

$$I = \frac{220}{1000 + 4} = 0,2 \text{ A},$$

де $R_0 = 4$ - робоче заземлення нейтралі, Ом.

Пороговий не відпускаючий струм 10-15мА [43]. Враховуючи все сказане, можна дійти висновку, що в нормальному режимі значно безпечнішою є мережа з ізолюваною нейтраллю, так як струм, що проходить крізь тіло людини при дотику до однієї з фаз рівний пороговому струму, що є надійною ізоляцією порівняно з мережею з глухозаземленою нейтраллю.

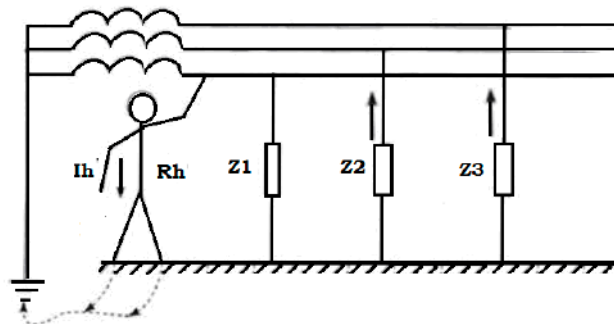


Рисунок 6.3 - Дотик людини в мережі із глухозаземленою нейтраллю.

Незалежно від якості ізоляційних робіт у процесі їх експлуатації з'являються помітні зміни в діелектричних характеристиках. Це виникає з часом зносу ізоляції, на яку впливають підвищені температури повітря, а також провідників. На ступінь зносу також впливають перенапруги комунікацій, а також підвищені

на вологість. Через це в ізоляції з часом починають виникати неполадки з електрикою.

Відповідно узгодженим нормативним і технічним документам, у кожного кабелю існують свої норми опору ізоляції. Низьковольтні силові кабелі менше 1000 (В) повинні володіти опором ізоляції не менше 0,5 (МОм), як уже було пораховано.

Для лабораторії безпечнішою є мережа з ізольованою нейтраллю, де $Z=1$ - активний опір ізоляції фаз лабораторії відносно землі, МОм.

Розрахуємо струм, що проходить крізь тіло людини в лабораторії.

$$I = \frac{220}{1000 + \frac{1000000}{3}} = 0,00066 \text{ А.}$$

Порівнюючи з пороговим не відпускаючим струмом, в лабораторії струм який проходить в мережі є безпечним для людини.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті проаналізовані питання розробки однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття. На основі розглянутих структурних схем та конструкційних особливостей джерел живлення для нанесення електролітичного покриття розроблено пристрій на сучасній елементній базі.

В рамках розробки пристрою були проаналізовані технологічні питання та детально розглянуто технологічний процес.

Проведено розрахунки основних схемотехнічних рішень та обрано відповідні силові тиристори та пасивні елементи.

В розрахунковій частині також було проведено математичне моделювання розробленої електричної схеми. Результати моделювання підтвердили розрахунки та прийняті схемотехнічні рішення

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття для серійного виробництва. Строк окупності склав 0,1 року.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Impgold». Технология. Введение. - Режим доступа: <https://imp-gold.ru/introduce/book/vvedenie/>
2. Чопра К.Л. Тонкопленочные солнечные элементы / К.Л. Чопра, С.Р. Дас; пер. с англ. - М. : Мир, 1986. - 246 с.
3. Костин Н.А. Импульсный электролиз / Н.А. Костин, В.С. Кублановский, А.В. Заблудовский. - Киев: Наукова думка, 1989. - 168 с.
4. Факторы, влияющие на макрорассеивающую способность электролитов. - Режим доступа:
<http://www.stroitelstvo-new.ru/metal/factory-vliyayuschie-na-makrorasseivayuschuyu-sposobnost.shtml>
5. Tao S. Tribological, mechanical and electrochemical properties of nanocrystalline copper deposits produced by pulse electrodeposition / S. Tao, D.Y. Li // *Nanotechnology*. - 2006. - V. 17. - P. 65-78.
6. Elias J. Electrodeposition of gold thin films with controlled morphologies and their applications in electrocatalysis and SERS / J. Elias, M. Gizowska, P. Brodard et al. // *Nanotechnology*. - 2012. - V. 23. - P. 255705.
7. Raub Ch.J. Hydrogen in electrodeposits / Ch.J. Raub // *Plating and Surface Finishing*. - 1993. - V. 80, № 9. - P 30-38.
8. Rehrig D.L. Effect of deposition method on porosity in gold films / D.L. Rehrig // *Plating*. - 1974. - V. 61. - P. 43-46.
9. Reid F.H. The influence of pulse current on the physical properties of electrodeposited gold cobalt coatings / F.H. Reid // *Metalloberflaeche Angew. Elektrochemie*. - 1976. - V. 30. - P. 453-459.
10. Theory and practice of pulse plating / Edited by J.C. Puipe, F. Leaman. - AESF Publication, Orlando, USA, 1986. - 247 p.
11. Chandrasekar M.S. Pulse and pulse reverse plating - conceptual, advantages and applications / M.S. Chandrasekar, M. Pushpavanam // *Electrochimica Acta*.

- 2008. - V.53. - P. 3313-3322.

12. Schwartz M. Deposition from aqueous solutions: an overview. In: Handbook of deposition technologies for films and coatings / M. Schwartz; Edited by R.F. Bunshun, 2nd ed. - Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, USA, 1994. - P.506-597.

13. Raub C.J. The electrodeposition of gold by pulse plating / C.J. Raub, A. Knodler // Gold Bulletin. - 1977. - V.10. - P. 38-44.

14. Gold: Science and applications / Edited by C. Corti, R. Holliday. - Boca Raton: CRC Press, 2010. - 369 p.

15. Mentone P.F. Pulse vs. DC plating: Knowing how and when to use each system is critical for producing plated metals / P.F. Mentone // Metal finishing. - 2005. - V. 103. - № 6. - P. 14-18.

16. Christie I.R. Gold electrodeposition within the electronics industry / I.R. Christie, P. Brian // Cameron. - 1994. - V. 27, № 1. - P. 12-20.

17. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников. - М.: Машиностроение, 1979. - 298 с.

18. Wan C.C. The application of pulsed plating techniques to metal deposition / C.C. Wan, H.Y. Cheh, H.B. Linford // Plating. - 1974. - V. 61, № 6. - P. 559-564.

19. Cheh H.Y. Electrodeposition of gold by pulsed current / H.Y. Cheh // Journal of The Electrochemical Society. - 1971. - V. 118. - P. 551-557.

20. Okinaka Y. Cyanoaurate (III) formation and its effect on current efficiency in gold plating / Y. Okinaka, C. Wolowodiuk // Journal of The Electrochemical Society. - 1981. - V. 128. - P. 288-294.

21. Москвичев А.Н. Изучение затруднений катодной стадии процесса химического золочения / А.Н. Москвичев, Г.А. Курноскин, В.В. Исаев // Электронная техника. -1981. - Т. 17. - С. 1058-1061.

22. Ямпольский А.М. Электролитическое осаждение благородных и редких металлов / А.М. Ямпольский. - Л.: Машиностроение, 1977. - 96 с.

23. Raub Ch.J. The properties of gold electrodeposits containing carbonaceous material / Raub Ch.J., Knodler A., Lendvay J. // *Plating and Surface Finishing*. - 1976. - V. 63. - P. 35-44.
24. Knodler A. The insertion of foreign substance into gold-cobalt and gold-nickel electrodeposits from acid baths / A. Knodler // *Metalloberfläche - Angewandte Elektrochemie*. - 1974. - V. 28. - P. 465-475.
25. Holt L. Gold plating from the acid cyanide system: some aspects of the effect of plating parameters on codeposition / L. Holt // *Trans. Inst. Met. Finish.* - 1973. - V. 51. - P. 134-139.
26. Gotz W. Hohe Zuverlässigkeit bei reduziertem Edelmetalleinsatz / W. Gotz, T. Heinisch // *Galvanotechnik*. - 2003. - V. 4, № 9. - P. 2139-2140.
27. Suss R. 18 carats yellow gold alloys with increased hardness / R. Suss, E. Lingen, L. Glaner // *Gold Bulletin*. - 2004. - V. 37, № 3-4. - P. 196-207.
28. Fisher J. Hardening of low-alloyed gold / J. Fisher, D. Thompsett, D. Thompson, R. Holliday // *Gold Bulletin*. - 2005. - V. 38, № 3. - P. 120-130.
29. Antler M. Gold plated contacts: effect of thermal aging on contact resistance / M. Antler // *Plating and Surface Finishing*. - 1998. - № 12. - P. 8590.
30. Керовані випрямлячі: Навчальний посібник/ М.М.Казачковський. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 229 с.
31. Тиристоры: справочник / Григорьев О.П., Замятин В.Я. — М.:Радио и связь, 1982. —272 с.
32. Приборы и устройства промышленной электроники / В.С.Руденко, В.И.Сенько, В.В.Трифонюк (Б-ка инженера). — К.:Техника, 1990. — 368 с.
33. Micro-Cap 12. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.spectrum-soft.com>
34. Технологии изготовления печатных плат. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.qrz.ru/schemes/contribute/technology/plata1.phtml>
35. Стуколов П.М. Организация, планирование и управление предприятиями электронной техники. –М.:Высш.шк., -1986.

36. Стуколов П.М. Экономика электронной промышленности.-М.:Высш.шк., - 1983
37. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с., ил.
38. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
39. СНИП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение
40. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
41. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
42. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.
43. Конов А. А. Электрооборудование жилых зданий. - М.: Додека 21, 2003. -256 с.
44. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документація		
A1			MEEIC Д2.19109.00.00.00.00.E1	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття		
				Схема електрична структурна		
A1			MEEIC Д2.19109.00.00.00.00.E3	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття		
				Схема електрична принципова		
A1			MEEIC Д2.19109.00.00.00.00.01	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття		
				Плата друкована		
A4			MEEIC Д2.19109.00.00.00.00.ПЗЗ	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття		
				Перелік елементів		
A1			MEEIC Д2.19109.00.00.00.00.Д1	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття		
				Моделювання СІФУ		
A1			MEEIC Д2.19109.00.00.00.00.Д2	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття		
				Економічні показники		
A1			MEEIC Д2.19109.00.00.00.00.ДЗ	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття		
				Охорона праці		

MEEIC Д2.19109.00.00.00.00

Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Розроб.	Причина		17.06.22
Проб.	Шмаліу		17.06.22
Нконтр.	Турішев		17.06.22
Утв.	Критська		17.06.22

Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття

Лист	Лист	Листов
		1
ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ		
Б.1719-с		

Копіював

Формат А4

Поз. обозна- чение	Наименование	Кол.	Примечание					
<u>Конденсатори</u>								
C1..C2	K73-5-0,1 мкФ ±5%	2						
C3..C4	KF - 1000 мкФ 25В	2	Сархон					
C5	K73-5-0,1 мкФ ±5%	1						
C6	K73-5-1 мкФ ±10%	1						
C7..C8	KF - 100 мкФ 25В	2	Сархон					
C9..C11	K73-5-0,1 мкФ ±5%	2						
DA1	Мікросхема LM7815	1	TI					
DA2	Мікросхема LM7915	1	TI					
DA3	Мікросхема LM358	1	TI					
QF1	Автоматичний вимикач ВА47-29 2P 10А	1	IEK					
QF2..QF3	Автоматичний вимикач ВА47-100 1P 80А	2	IEK					
<u>Резистори</u>								
R1	C5-0,25-51 Ом±10%	1						
R2	C5-0,125-100 кОм±10%	1						
R3..R4	C5-0,25-330 Ом±10%	2						
R5..R6	C5-0,25-100 кОм±10%	2						
R7	C5-0,25-30 кОм±10%	1						
R8	C5-0,25-100 кОм±10%	1						
R9	Резистор змінний СП-1-100 кОм ±20%	1						
R10	C5-0,25-2,4 кОм±10%	1						
R11..R13	C5-0,25-1 кОм±10%	3						
R14	C5-0,25-1,8 кОм±10%	1						
R15	C5-0,25-20 Ом±10%	1						
TV1	Трансформатор ТТП-220/2x15,1x9	1						
МЕЕІС Д2.19109.00.00.00.00.ПЗЗ								
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Розробка однофазного джерела живлення для нанесення електролітичного покриття Перелік елементів	Лист	Лист	Листов
Разрад.	Причина	Шмаліш	17.06.22				1	2
Проб.	Шмаліш	Шмаліш	17.06.22			ІННІ ім. Ю.М. Петедні ЗНУ		
Н.контр.	Турішев	Шмаліш	17.06.22			6.1719-с		
Утв.	Критська	Шмаліш	17.06.22		Формат А4			

