

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з графічної частини і пояснювальної записки.

Об'єм графічної (ілюстративної) частини кваліфікаційної роботи становить 22 слайди.

Об'єм пояснювальної записки складає 70 друкованих сторінки формату А4 (210×297).

В кваліфікаційній роботі нараховується 8 рисунків та 5 таблиць з даними. Використано 18 літературних джерела.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки автоматизованої системи контролю нелінійності вольт-амперних характеристик резисторів в процесі їх виготовлення. Метою даної роботи є підвищення якості готової продукції за рахунок контролю нелінійності вольт-амперних характеристик, тобто за параметром, тісно пов'язаним з показниками надійності резисторів. Розроблено сучасну систему керування технологічним обладнанням, та інтерфейс зв'язку системи керування і технологічного обладнання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1. Огляд існуючих технічних рішень, пов'язаних з автоматизацією процесу контролю нелінійності вольт-амперних характеристик резисторів.....	11
1.2. Порівняльний аналіз методів оцінки малих нелінійностей вольт-амперних характеристик	14
1.3. Обґрунтування актуальності проєктованого напрямку розробки	19
2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	21
2.1. Технологія виготовлення металоплівкових резисторів	21
2.2. Обґрунтування вибору контрольованого параметра та місце контролю в технологічному процесі.....	28
2.3. Вибір методу і типу апаратури для вимірювання нелінійності	29
2.4. Вибір міри нелінійності і методика встановлення границь розбраковки	31
2.5. Конструкція пристрою для автоматизованого контролю нелінійності ВАХ резисторів.....	33
2.6. Опис функціональної схеми блоку вимірювання нелінійності	39
2.7. Електрична схема і конструкція вимірювача нелінійності	40
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	45
3.1. Вибір типу завантажувача та його розрахунок.....	45
3.2. Захист тиристорних перетворювачів	53

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	56
4.1. Техніка безпеки при проведенні електричних вимірювань і випробувань установки, що проєктується.....	56
4.2. Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для обладнання, що проєктується	58
4.3. Організація цивільної оборони на об'єктах народного господарства....	62
4.4. Сили цивільної оборони	66
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69

ВСТУП

Сучасний етап розвитку науки і техніки характеризується стрімким зростанням ролі електроніки як фундаментальної основи більшості технологічних процесів. Електронні пристрої, системи вимірювання, автоматизації та обчислювальної техніки широко застосовуються практично в усіх галузях промисловості, що зумовлює підвищення вимог до їх функціональних характеристик, точності та надійності. Особливо актуальним є забезпечення стабільності параметрів електронних компонентів у процесі їх масового виробництва та експлуатації.

Значний вплив на розвиток електронної техніки справило впровадження інтегральних технологій, які дозволили перейти від дискретних елементів до високорівневої інтеграції функціональних вузлів. Сучасні інтегральні схеми реалізуються у вигляді напівпровідникових структур, що містять велику кількість електронних компонентів, з'єднаних відповідно до заданої схемотехнічної конфігурації. Використання групових автоматизованих технологічних процесів забезпечує високу повторюваність параметрів виробів, зниження їх собівартості та підвищення якості.

Промисловість випускає широкий спектр інтегральних функціональних вузлів, які використовуються для побудови складних електронних систем, включаючи вимірювальні комплекси та автоматизовані системи керування. Розвиток великих і надвеликих інтегральних схем привів до створення мікропроцесорів і мікропроцесорних систем, що дозволяють автоматизувати процеси контролю і діагностики електронних компонентів.

Важливою складовою будь-якого електронного пристрою є резистори, які виконують функції обмеження струму, формування сигналів та встановлення робочих режимів електронних схем. Незважаючи на відносну простоту конструкції, резистори істотно впливають на загальну надійність і точність роботи електронних систем. Одним із критичних параметрів резисторів є

лінійність їх вольт-амперної характеристики, відхилення від якої можуть призводити до спотворення сигналів та порушення режимів роботи пристроїв.

У процесі виготовлення резисторів виникають технологічні фактори, що можуть спричиняти появу нелінійностей їх вольт-амперних характеристик. До таких факторів належать неоднорідність матеріалів, відхилення геометричних параметрів, вплив температури та унікальність процесів нанесення та обробки резистивних шарів. Виявлення та оцінювання цих нелінійностей є важливим завданням контролю якості, оскільки навіть незначні відхилення можуть суттєво впливати на роботу високоточних електронних пристроїв.

Існуючі способи перевірки характеристик резисторів не дозволяють забезпечити необхідну точність та оперативність, особливо в умовах масового виробництва. Це обумовлює необхідність розроблення автоматизованих засобів контролю, які дозволяють здійснювати швидке, точне та об'єктивне вимірювання параметрів, зокрема нелінійності вольт-амперних характеристик, безпосередньо в процесі виготовлення виробів.

Автоматизація контролю відкриває можливості для інтеграції вимірювальних систем у виробничі лінії, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг якості продукції, своєчасно виявляти дефекти та мінімізувати відсоток браку. Використання мікропроцесорних засобів обробки даних, сучасних вимірювальних перетворювачів та програмного забезпечення забезпечує підвищення точності вимірювань.

Таким чином, метою даної кваліфікаційної роботи є необхідність підвищення якості та надійності резисторів шляхом удосконалення методів контролю їх параметрів. Особливу увагу приділено контролю нелінійності вольт-амперних характеристик як одному з ключових характеристик якості.

Для досягнення поставленої мети потрібно розробити автоматизований комплекс для контролю нелінійності вольт-амперних характеристик резисторів у процесі їх виготовлення та вирішити такі важливі завдання:

- дослідити фактори, що впливають на нелінійність вольт-амперних характеристик;
- розробити структурну схему автоматизованого комплексу;
- обґрунтувати вибір елементної бази та засобів вимірювання;
- розробити алгоритм функціонування системи контролю;
- оцінити технічні характеристики та ефективність запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є процес контролю параметрів резисторів у виробничих умовах.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд існуючих технічних рішень, пов'язаних з автоматизацією процесу контролю нелінійності вольт-амперних характеристик резисторів

На сучасному етапі розвитку електронної промисловості виробництво резисторів характеризується високим рівнем автоматизації технологічних процесів. Використовуються автоматизовані виробничі лінії, які забезпечують виконання основних операцій, зокрема: формування конструкції резисторів, імпульсне тренування, нанесення захисних покриттів (лак, емаль), сортування за класами точності, маркування, термічну обробку (сушіння) та пакування готової продукції.

Незважаючи на високий рівень автоматизації, технологія виготовлення металоплівкових резисторів має низку суттєвих недоліків. До основних з них належать:

- складність отримання однорідних тонкоплівкових покриттів;
- труднощі реалізації безперервного процесу металізації;
- підвищені вимоги до якості поверхні ізоляційної основи;
- вплив технологічних факторів на стабільність електричних параметрів.

Особливо критичним є забезпечення однорідності тонких плівок, оскільки саме структура провідного шару визначає електричні характеристики резистора. Нерівномірність товщини плівки або її складу може призводити до відхилень номінального опору, підвищення температурного коефіцієнта опору (ТКО) та виникнення нелінійностей вольт-амперної характеристики.

Розвиток матеріалознавства та технологій тонкоплівкового осадження дозволив значно розширити функціональні можливості металоплівкових резисторів. Зокрема, стало можливим створення прецизійних резисторів із високою стабільністю параметрів, підвищеною термостійкістю та низьким значенням ТКО. Також розширено діапазон номінальних опорів — від часток ома до значень порядку тераомів.

У виробництві високочастотних низькоомних резисторів виникає проблема вибору матеріалів для провідного шару. Традиційні матеріали не завжди забезпечують необхідні електрофізичні характеристики, тому ведуться пошуки нових сплавів і композицій. Як основи для таких резисторів найчастіше застосовують термостійкі керамічні та склокерамічні матеріали, які здатні витримувати термічне тренування при температурах 600–700 К, що сприяє стабілізації параметрів виробів.

Водночас використання деяких матеріалів, наприклад карбонільних сполук хрому та нікелю, супроводжується технологічними труднощами, пов'язаними з їх токсичністю. Застосування благородних металів (золото, платина, срібло) дозволяє отримувати високоякісні плівки, однак такі матеріали характеризуються нестабільністю параметрів і високим температурним коефіцієнтом опору, що обмежує їх використання.

Для досягнення високої точності номінального опору застосовуються різні методи юстування резисторів. Найбільш поширеними є:

- спіральне нарізання провідного шару;
- формування поздовжніх ізолюючих прорізів;
- лазерне підгонювання параметрів.

Однак для високочастотних резисторів ці методи мають обмеження, оскільки можуть порушувати цілісність провідного шару та погіршувати високочастотні характеристики. Метод механічного полірування використовується рідко через ризик пошкодження плівки та погіршення її адгезійних властивостей.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка ефективних методів контролю якості резисторів безпосередньо в процесі їх виготовлення. Сучасні тенденції розвитку виробництва передбачають створення інтегрованих автоматизованих ліній, які об'єднують технологічні операції та контроль параметрів у єдину систему. Це дозволяє реалізувати концепцію безперервного виробництва з мінімальним втручанням оператора.

Сучасне виробництво резисторів характеризується високим рівнем автоматизації, що обумовлено необхідністю забезпечення стабільності параметрів, підвищення продуктивності та зниження впливу людського фактора. Автоматизовані лінії включають комплекс взаємопов'язаних технологічних операцій: підготовку підкладки, нанесення резистивного шару, формування геометрії провідного елемента, термічну обробку, юстування, контроль параметрів, маркування та пакування.

Основною технологією виготовлення металоплівкових резисторів є вакуумне осадження провідного шару на ізоляційну підкладку. Фізичні процеси, що відбуваються при цьому, включають адсорбцію атомів, дифузію та формування кристалічної структури. Нерівномірність цих процесів призводить до виникнення мікродефектів, які безпосередньо впливають на електричні характеристики. Недоліки технології металоплівкових резисторів показані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Недоліки технології металоплівкових резисторів

Недолік	Фізична причина	Вплив на параметри
Неоднорідність плівки	Нестабільність осадження	Нелінійність ВАХ
Дефекти структури	Домішки, пористість	Шум, дрейф
Високі вимоги до підкладки	Шорсткість, адгезія	Нестабільність

Важливим аспектом є мікромініатюризація, що вимагає зменшення геометричних розмірів елементів при одночасному забезпеченні їх стабільності.

Це ускладнює контроль параметрів, оскільки зменшується допустимий рівень відхилень.

1.2. Порівняльний аналіз методів оцінки малих нелінійностей вольт-амперних характеристик

Оцінювання нелінійності вольт-амперних характеристик (ВАХ) резисторів є важливою задачею при розробці та експлуатації високоточних електронних пристроїв. Особливо це актуально для вхідних каскадів підсилювачів, операційних підсилювачів, вимірювальних мостових схем та систем зв'язку, де навіть незначні нелінійності можуть призводити до суттєвих спотворень сигналу.

Нелінійність ВАХ резисторів проявляється у вигляді відхилення залежності струму від напруги від лінійного закону. Це може спричиняти:

- появу гармонічних та інтермодуляційних спотворень;
- підвищення рівня шумів;
- виникнення паразитних електрорушійних сил (ЕРС).

Для аналітичного опису нелінійної ВАХ зручно використовувати апроксимацію у вигляді степеневого полінома:

$$i(E) = a_1 E + a_2 E^2 + a_3 E^3 + \dots + a_q E^q$$

де коефіцієнти a_n характеризують ступінь нелінійності.

При подачі на резистор багаточастотного сигналу в спектрі струму виникають комбінаційні складові, які можуть бути використані для оцінки нелінійності. На цьому принципі базуються основні методи вимірювання:

1. Метод третьої гармоніки

Передбачає вимірювання складової сигналу на потрійній частоті. Метод є відносно простим, але вимагає високої якості фільтрації сигналів.

2. Метод постійної складової

Базується на вимірюванні постійної складової струму, що виникає при дії змінного сигналу. Основним недоліком є складність вимірювання малих постійних сигналів.

3. Метод інтермодуляційних частот

Використовує подачу двох гармонічних сигналів і вимірювання різницевої та сумарних частот. Забезпечує високу чутливість, але вимагає складної апаратури.

4. Метод різницевої частоти

Є одним із найбільш ефективних методів, оскільки дозволяє отримати високу чутливість навіть при низьких рівнях сигналу. Він базується на аналізі компонентів різницевої частоти, які виникають у спектрі струму нелінійного елемента.

Порівняльний аналіз показує, що амплітуда вимірюваного сигналу зростає зі збільшенням амплітуди тестового впливу. Однак при малих рівнях сигналу найбільш ефективним є саме метод різницевої частоти, оскільки він дозволяє виявляти слабкі нелінійності завдяки високій чутливості.

Доцільно мати дані про нелінійність ВАХ при підборі резисторів для вхідних каскадів високочутливих підсилювачів, лінійних каскадів операційних підсилювачів і лінійних каналів провідниками і радіозв'язком, високоомних мостових схем підвищеної точності.

Необхідність в таких відомостях обумовлена тим, що резистори з нелінійністю ВАХ можуть служити причиною нелінійних спотворень, підвищеного рівня шумів в електричних касах і джерелами ЕРС, що не враховують при розрахунку кіл (наприклад, термо-ЕРС).

Однак основною причиною, що спонукає інтерес до питань вимірювання параметрів, які характеризують нелінійність ВАХ, є виявлення взаємозв'язків між цими параметрами і характеристиками дефектів недротяних резисторів.

Відомі методи вимірювання малих не лінійностей володіють, з точки зору задач контролю якості, деяким недоліками, основні з яких—відносно слабкі взаємозв'язки між параметрами, що вимірюються по цих методах, і параметрами, що характеризують якість резисторів, а також висока вартість вимірювальної апаратури. Тому існує необхідність в пошуку методів і створенні апаратури для вимірювання параметрів не лінійності і несиметричності ВАХ, що забезпечують більш ефективне рішення задач контролю якості недротяжних резисторів.

Нелінійність ВАХ недротяжних резисторів вимірюється звичайно при подачі на резистор одно- або двох частотної напруги. Розглянемо випадок впливу на нелінійний резистор суми змінних напруг з частотами ω_1 і ω_2 , амплітудами u_1 і u_2 і постійної напруги зміщення u_0 :

$$E(t) = U_0 + U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos(\omega_2 t + \varphi) = U_0 + U(t)$$

де u —результуюча амплітуда змінної випробувальної напруги.

Вольт—амперну характеристику нелінійного і несиметричного резистора зручно апроксимувати степеневим поліномом типу :

$$i(E) = a_0 + a_1(U_0)U + a_2(U_0)U^2 + \dots + a_q(U_0)U^q = \sum_{p=0}^q a_p(U_0)u^p$$

де $i(E)$ —струм, що протікає через резистор.

В результаті підстановки виразу (1-1) в поліном (1-2) отримуємо подвійний поліном :

$$i(E) = \sum_{p=0}^q a_p(U_0) [U_1 \cos \omega_1 t + U_2 \cos(\omega_2 t + \varphi)]^p$$

який можна переписати у вигляді

$$i(E) = \frac{1}{2} \sum_{r=0}^q \sum_{s=0}^q A_{rs}(U_0) \cos[r\omega_1 t \pm s(\omega_2 t + \varphi)]$$

де $Ars(u_0) = ar(u_0)u_1ru_2s$ – амплітуда комбінаційного коливання, порядок якого дорівнює $p = r + s$;

r, s —цілі позитивні числа $0, 1, 2, 3, 4, \dots$;

q —найвищий порядок поліномів.

Останній вираз описує спектр комбінаційних коливань струму, що виникають в нелінійному резисторі під час дії на нього напруги типу (1-1).

Кожний з членів полінома (1-3а) несе інформацію про нелінійність ВАХ резистора. Вимірювання напруг, що відповідають окремим числам полінома (1-3а) або їх сукупності, і покладено в основу відомих методів вимірювання малих не лінійностей ВАХ.

Однією з задач вибору ефективного методу вимірювання не лінійності є задача максимальної чутливості. Практично ця задача заключається у виборі методу, що забезпечує найвищий рівень величини, що вимірюється при заданому рівні напруги.

На основі відомих характеристик методів вимірювання малих не лінійностей [2] можна спів ставити значення величин, що вимірюються при оцінці не лінійності ВАХ різними методами. Для цього в поліном (1-3а) необхідно підставити значення величин u_0, u_1, u_2, r, s , визначених як режими дії на дослідний резистор в конкретних методах вимірювання, так і частоти, амплітуди і фази складових струмів (напруг), які вимірюються по цих методах, і виділити члени, які відповідають вимірюваним складовим.

Складова напруги постійної частоти, що вимірюється по методу третьої гармоніки, визначається шляхом помноження величини опору резистора R на величину складової струму потрібної частоти i_{m2} , що визначається виразом (1-3а) при підстановці в останнє значення $u_0=0, u_1=0, u_2=0$,

$$U_{m2} = Ri_{m2} = R \left[\frac{1}{4} a_3 U^3 + \frac{5}{16} a_5 U^5 + \dots \right] \cos 3\omega t$$

Аналогічно отримаємо вираз для складової напруги нульової частоти, що вимірюється по методу постійної складової

$$u_1 = u_2 = u_0$$

$$U_{nc} = R(a_2 U^2 + \frac{3}{4} a_3 U^3 \cos 2\varphi + \frac{9}{4} a_4 U^4 + \frac{25}{8} a_5 U^5 \cos 2\varphi + \dots) \approx \frac{3}{4} R a_3 U^3 \cos 2\varphi$$

і для напруги різницевої частоти третього порядку, що вимірюється по методу інтермодуляційних частот $u_1 = u_2 = u$; $u_0 = 0$; :

$$U_{pu}^{(2)}(t) = U_{pu}(t) = R \left[a_2 t^2 + \frac{6}{4} a_4 t^4 + \dots \right] \cos(\omega_1 - \omega_2)t \approx R a_2 t^2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t$$

Член та наступні з парними степенями u в виразі не рівні 0 лише в тому випадку, коли ВАХ несиметрична.

Аналіз виразів показує, що амплітуди вимірювальних складових напруг збільшуються із зростанням амплітуди u змінних випробувальних напруг.

При однакових амплітудах змінних випробувальних напруг максимальне значення буде мати величина, що вимірюється по методу інтермодуляційних частот, а також по методу постійної складової при (при високих рівнях змінних випробувальних напруг). При низьких рівнях змінних випробувальних напруг і при оптимальних значеннях напруги зміщення більш високий рівень вимірювальної величини забезпечує метод різницевої частоти. Це викликано тим, що у визначеному діапазоні значень напруги зміщення u_0 коефіцієнт a_2 полінома може на один—два порядки перевищувати по чисельному значенню коефіцієнт a_3 .

Більш висока в порівнянні з іншими методами чутливість при відносно низьких рівнях випробувальних напруг забезпечує методу різницевої частоти перевагу при вимірюванні нелінійності малих ділянок ВАХ.

1.3 Обґрунтування актуальності проєктованого напрямку розробки

Аналіз існуючих методів вимірювання нелінійності ВАХ показує, що кожен із них має як переваги, так і суттєві обмеження. Основними критеріями оцінки методів є:

- чутливість;
- точність;
- швидкодія;
- складність апаратної реалізації;
- придатність до автоматизації.

Метод інтермодуляційних частот потребує складного узгодження параметрів вимірювального тракту, що ускладнює його використання у виробничих умовах. Метод постійної складової вимагає високочутливих підсилювачів постійного струму, що підвищує вартість системи. Метод третьої гармоніки потребує використання складних фільтрів для розділення сигналів.

На цьому фоні метод різницевої частоти має ряд суттєвих переваг:

- висока чутливість при малих рівнях сигналу;
- відносно проста реалізація;
- можливість автоматизації;
- універсальність застосування.

У зв'язку з цим доцільним є використання саме методу різницевої частоти як основи для побудови автоматизованого комплексу контролю нелінійності ВАХ резисторів.

Автоматизація процесу контролю дозволяє:

- підвищити продуктивність виробництва;
- забезпечити стабільність результатів вимірювання;

- мінімізувати вплив людського фактора;
- інтегрувати контроль у технологічний процес.

Таким чином, вибраний напрямок розробки автоматизованого комплексу є обґрунтованим як з технічної, так і з економічної точки зору, та відповідає сучасним тенденціям розвитку електронної промисловості.

2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Технологія виготовлення металоплівкових резисторів

Технологічний процес виробництва металоплівкових резисторів розподілений на три етапи:

1. Виготовлення ізоляційних основ та підготування їх поверхні;
2. Створення струмопровідних елементів;
3. Конструктивне оформлення резисторів та вимірювання параметрів.

В ролі основи в конструкціях постійних металоплівкових резисторів великого використання набули керамічні матеріали. Це обумовлено їх високою нагрівостійкістю та механічною міцністю, хорошою стабільністю якостей при температурних впливах, змінах вологості та тиску, а також завдяки низькому температурному коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) та незначним діелектричним втратам при високій частоті.

Керамічні основи більшості постійних металоплівкових резисторів мають форму циліндричної трубки з наскрізним отвором, який необхідний в зв'язку з конструктивними характеристиками використання провідникової плівки.

Якість резисторів в значній мірі визначається складом керамічної основи.

В кераміці, що містить велику кількість окисів лужних металів, можуть інтенсивно розвиватись електрохімічні процеси. Наявність окисів лужних металів в керамічній основі при тривалій експлуатації призводить до необоротної зміни опору резистора. При навантаженні резисторів постійним струмом проходить процес дифузії іонів лужних металів.

На рис. 2.1. приведена схема технологічного процесу виготовлення резисторів.

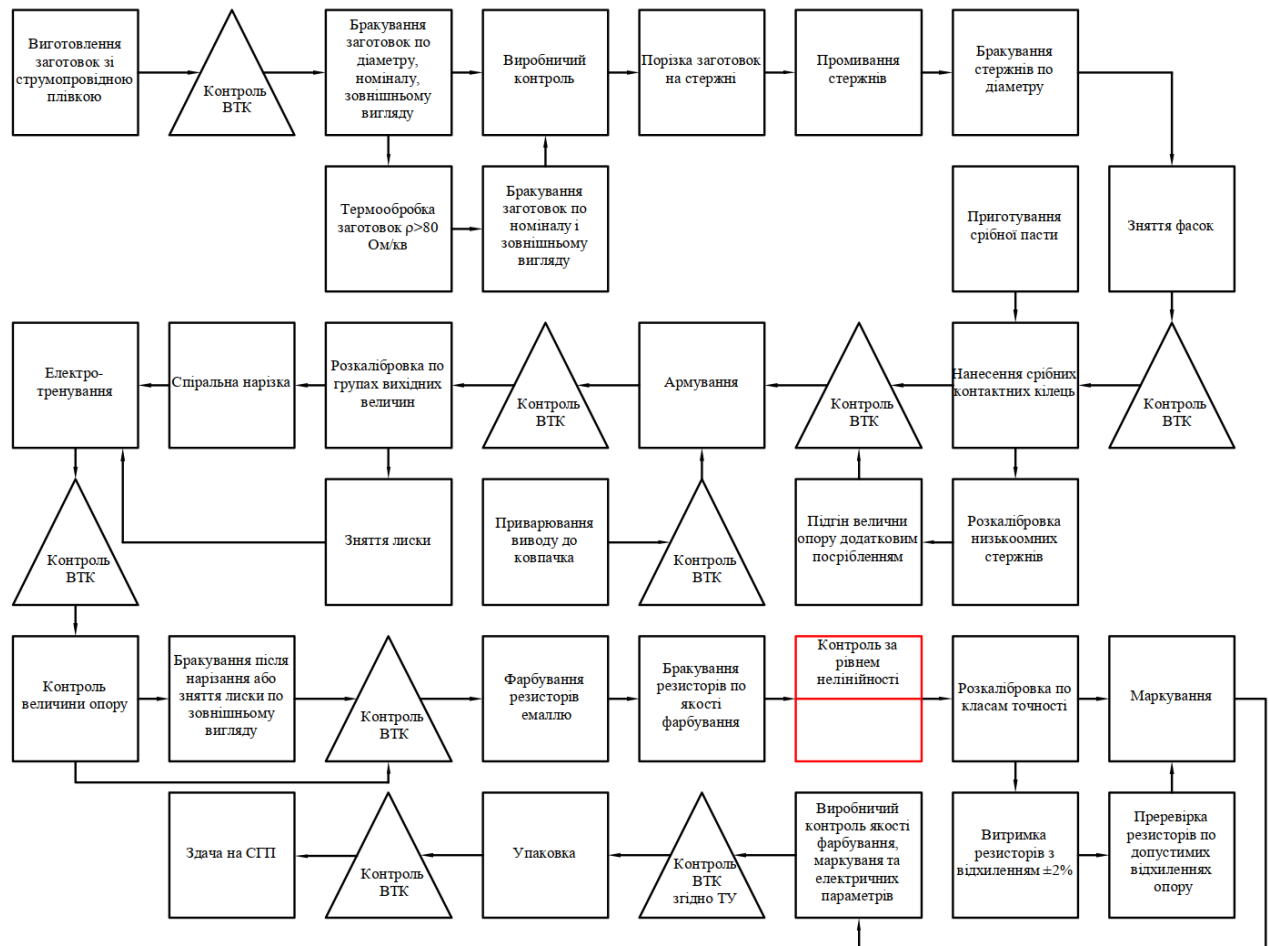


Рис. 2.1. Схема технологічного процесу виготовлення резисторів

Процес накопичення лужних металів супроводжується їх окисленням; об'єм продуктів електролізу під провідною плівкою збільшується, що може призвести до руйнування їх окремих ділянок.

Старіння резисторів, викликане наявністю в керамічній основі окисів лужних металів, можна значно зменшити, якщо на основу нанести шар окису в декілька мікрон.

Сучасна технологія виробництва забезпечує отримання керамічних основ з високою механічною міцністю та хорошими ізоляційними якостями; значно знижений процент окисів лужних металів. Вихідні компоненти кераміки піддають перемелюванню протязі 20—25 годин. Отриману масу зливають в басейн при постійному перемішуванні, потім фільтрують та піддають двохкратному вакуумуванню. Для отримання керамічних заготовок служать

спеціальні заготовки, на яких здійснюється калібровка та нарізка керамічних основ необхідних розмірів.

При низькій якості обробки керамічної основи можливі мікроскопічні неоднорідності, що суттєво впливають на властивості тонких провідникових плівок, а також розриви в провідниковому шарі, що призводить до збільшення його опору, зниження стабільності та підвищення ТКО. Надмірна пористість основи в результаті неправильного режиму термічної і хімічної обробки може призвести до повної втрати електропровідності.

Шліфовку керамічних основ здійснюють на безцентрово-шліфувальних верстатах. Подача основ на верстат здійснюється з допомогою напівавтоматичних завантажувальників; продуктивність обробки досягає 7000—8000 основ за годину.

Керамічні основи занурюють в фарфорові барабани з абразивним порошком та водою в визначеному процентному відношенні.

Наступна промивка заготовок проводиться в травильномиючій машині. Після промивки холодною проточною водою заготовки піддаються кип'ятінню в дистильованій воді в електрокотлах. Подача заготовок в травильномиючу машину, а також дотримання тривалості певних операцій та технологічних режимів проводиться автоматично. Після промивання вода з поверхні заготовок видаляється в центрифугі.

Для згладжуванні поверхні основ та видалення тонких тріщин проводиться оплавлення при високій температурі.

Крім складу керамічної основи важливе значення має стан її поверхні, який змінюється в залежності від умов оплавлення. Керамічні основи, що використовуються для металоплівочних резисторів, з метою отримання заданого мікрорельєфу перед нанесенням провідного шару піддають „вогняному поліруванню”. Ця операція проводиться в каналних пічках з автоматичним регулюванням температури та часу подачі типів з керамічними заготовками. В результаті оплавлення поверхня основи отримує склоподібний характер, що дозволяє отримати високоякісний провідний шар без розривів.

Електрохімічні властивості ізоляційних основ визначають шляхом вимірювання іонних струмів, що протікають при заданій напрузі та температурі.

Перед металізацією для деяких типів резисторів проводиться розкалібровка заготовок основ по діаметру на високопродуктивних одноваликових автоматах.

Для створення провідного шару в основному використовують спеціальні сплави, що складаються з декількох компонентів (Fe, Si, Ni, Cr) в різних процентних відношеннях.

Використання нових матеріалів з високим питомим опором дозволяє отримати високоомні провідні елементи без значного зменшення товщини провідної плівки.

Збільшення питомого опору металокремнієвих сплавів отримують введенням в їх склад до 20% лантанодів. Вихідні матеріали у вигляді порошка ретельно змішують і наносять на випаровувач.

При випаровуванні суміші між окисом лантаноду і кремнієм проходить реакція, в результаті якої отримують силіцид лантаноду (LaSi_2) і моноокис кремнію, що випаровуються одночасно з металосіліцієм. Провідні плівки, отримані таким чином, володіють високим питомим опором і досить малим ТКО.

Провідні плівки з високим питомим опором можна отримувати також при використанні в якості вихідного матеріалу порошкоподібної суміші сплаву та окисів (двоокиси титану, кремнію, окиси заліза, алюмінію, хрому, кадмію, кобальту, нікелю), що володіють значним питомим опором. Питомий опір плівки та її ТКО визначається в цьому випадку відношенням між сплавами та окисами, що знаходяться в суміші.

Для створення провідних плівок широко застосовується метод термічного випаровування різноманітних сплавів у вакуумі. Всередині каркасу установки знаходиться система живлення випаровувачів, мотор з редуктором, що обертає шпиді з керамічними основами при проведенні процесу випаровування. Нанесення провідного шару здійснюється в робочих камерах у вигляді скляних ковпаків.

Для отримання високоомних провідникових шарів з високою ступінню чистоти розроблені установки, в яких камера, що призначена для випаровування,

розділена на робочу камеру і камеру попереднього ітерування. В камері ітерування здійснюється холосте випаровування сплавів, тобто поглинання надлишкових газів, які активні до сплаву, що випаровується. Це сприяє підвищенню якості провідникових плівок, що отримуються при випаровуванні сплаву в робочій камері.

В центрі робочої камери розміщується випаровувач у вигляді спіралі, на яку наноситься склад, приготований зі сплаву, що підлягає випаровуванню. Навколо випаровувача на шпичках розміщені трубчасті основи.

Конструкція і матеріал випаровувача повинні забезпечувати багатократне проведення процесу. Найбільш переважаючим матеріалом для спіралі є вольфрам у зв'язку з його високою тугоплавкістю і чистотою. Необхідне також рівномірне розподілення сплаву по всій поверхні випаровувача. Якщо кількість випаровуваного сплаву невелика, то він утримується в розплавленому стані на випаровувачі завдяки змочуванню. Утворення краплин на випаровувачі в результаті нерівномірного покриття викликає завчасне зношування випаровувача. При використанні випаровувача у вигляді джгута з вольфрамових дротів сплав рівномірно розтікається по його поверхні.

Випаровування сплаву починається при температурі нижче температури плавлення, коли тиск випарів сплаву перевищує тиск в робочій камері. Матеріал випаровування повинен володіти значно меншим тиском випарів, ніж випаровуваний матеріал або сплав.

Щоб густина потоку була достатньою для інтенсивного осаду, частинки сплаву не повинні стикатися з частинками газу, що залишився в камері. З цією метою в робочих камерах створюється з допомогою форвакуумного та дифузійного насосів розрідження порядку 10^{-2} — 10^{-3} н/м².

Перед початком металізації для зменшення основ досягається шляхом обертання шпич з основами перед початком осі. Передача обертового руху в робочу камеру випаровувача проводиться з допомогою спеціального механізму.

Для отримання високоякісних провідних плівок вибирають оптимальний час випаровування. Тривалий час випаровування сприяє більш повному газо поглинанню провідниковим шаром, що призводить до збільшення його питомого

опору, зменшенню густини структури шару і погіршенню електричних характеристик. Крім того, деякі компоненти сплавів в розплавленому вигляді взаємодіють з вольфрамом, утворюючи хімічні сполучення, а окремі компоненти сплаву мають різну пружність пару, тому склад осівшої плівки може сильно відрізнятися від складу вихідного сплаву.

При підвищеній швидкості випаровування отримують однорідні по складу провідникові шари і над поверхнею сплаву область підвищеної пружності пари, в якій проходять зіткнення частинок, що випаровуються, що призводить до само розсіювання потоку і усередненню густини потоків на різних ділянках випаровувача.

Результат процесу при прискореному випаровуванні в значній степені залежить від періоду підігріву та охолодження випаровувача. Кращих результатів досягають, якщо швидкість підвищення і зниження температури постійна, а також при окрапуванні поверхні керамічних основ в період встановлення температури випаровувача. Для отримання рівномірного потоку випаровуваних частинок важливо мати однакову на всій довжині температуру випаровувача.

Для проведення процесу металізації визначають питомий опір і ТКО отриманих металізованих основ та в залежності від їх значень підбирають режим наступної термообробки.

З метою стабілізації властивостей провідної плівки та покращення її зчеплення з керамічною основою проводять термічну обробку металізованих основ в каналних печах з автоматичним регулюванням та реєстрацією температурного режиму.

Армування (пристрій виводів) резисторів проводиться на спеціальних автоматах.

Після армування здійснюється автоматичне бракування виробів на групи по величині опору.

Для збільшення опору та підгонки до потрібного мінімального значення на металізованих основах створюється спіральна кановна з допомогою спеціально устаткованих нарізних верстатів. Верстати обладнані приладами для контролю

опору в процесі нарізання. Коли опір резистора досягає розрахункового значення, каретка з резистором автоматично відводиться від автоматичного диску. Існують таблиці, в яких для кожного типу резистора приводиться потрібна та вихідна величини опору резистора у відношенні з кроком нарізання.

Для зменшення нерівномірності розподілу густини струму по провідному шару в деяких випадках застосовується подвійна та потрійна нарізка провідного шару.

Контактні вузли метало плівкових резисторів виконують з томпака (латуні) або титану. З метою покращення електричного контакту між провідним шаром та металічним ковпачком на кінці провідного шару або на внутрішню поверхню ковпака наносяться метали: нікель, кадмій та інші.

При виготовленні резисторів, призначених для роботи в імпульсному режимі, застосовують заготовки з максимально допустимим числом витків.

З метою стабілізації провідної плівки та контактного опору проводиться електричне тренування резисторів в імпульсному режимі на стендах або автоматах імпульсного тренування.

Для захисту провідного елемента від впливу зовнішнього середовища використовують теплостійкі кремнійорганічні емалі. Якість захисного покриття в значній степені залежить від режиму сушіння; для кожного типу захисного покриття визначені оптимальні температурні режими сушіння. Вологозахисні властивості покриття погіршуються при наявності в захисній плівці різних дефектів.

При роботі резисторів в умовах підвищеної вологості відбувається незворотня зміна опору внаслідок механічного руйнування провідного шару, яка обумовлена переміщенням і розповсюдженням провідних частинок захисної плівки, що набухає у вологому середовищі і за рахунок виникнення процесів електролізу у вологості, що проникла до провідного шару. Інтенсивність руйнування провідного шару залежить не тільки від вологості оточуючого середовища, але і від температури нагріву резистора.

Нанесення захисного покриття і терморадіаційна сушка здійснюються на спеціальних агрегатах. Резистори з допомогою транспортера занурюються у

ванну з лаком, потім сохнуть при русі транспортера в печі з трубчастими нагрівними елементами. Температура в печі регулюється автоматично потенціометром. Після висихання лаку резистори занурюються у ванночку з емаллю і потім в терморадіаційну піч, температура в якій підтримується постійною в кожній з трьох температурних зонах за допомогою автоматичних потенціометрів. Захисне покриття можна покращити шляхом послідовного нанесення декількох шарів. Найбільшого ефекту досягають при покритті від 4 до 6 шарів.

Провідний шар може бути захищений плівкою із неорганічної скло емалі, що отримана шляхом перегонки у вакуумі легкоплавких скло емалей або відповідних сумішей вихідних окисів.

Після конструктивного оформлення резисторів проводиться вимірювання опору та визначення допуску. Розсортування резисторів по величині допустимого відхилення опору від номінального значення виконують на автоматах.

Маркування резисторів здійснюють на напівавтоматах, сушіння маркувальних написів—в інфрачервоних конвеєрних печах.

2.2 Обґрунтування вибору контрольованого параметра та місце контролю в технологічному процесі

Вимоги, що витікають з основних задач контролю якості недротяних резисторів і умов їх масового виробництва, можна сформулювати наступним чином:

1. Метод та апаратура повинні забезпечити контроль якості найбільш застосовуваних типів резисторів. До найбільш застосовуваних можна віднести плівкові резистори з нарізною непровідною канавкою, діапазони номінальних значень опору та потужності розсіювання яких складають $10^2 \dots 10^7$ Ом і 0.125 .. 2.0 Вт відповідно.

2. Контроль повинен здійснюватись по параметрах, пов'язаних з основними показниками якості резисторів—показниками їх надійності.

3. Контроль повинен бути неруйнівним, тобто здійснення операції контролю не повинно призводити до зниження показників якості резисторів.

4. Впровадження нового методу не повинно тягти за собою значної перебудови існуючих технологічних процесів, введення додаткової технологічної позиції та зниження продуктивності лінії по виготовленню резисторів.

5. З врахуванням того, що одним з напрямків роботи по вдосконаленню методів контролю якості недротяних резисторів є роботи по створенню автоматичних систем керування якістьми, повинна бути передбачена можливість використання пристрою, що здійснює контроль, в ролі складової частини АСУТП.

Огляд техпроцесу контролю резисторів показав, що найбільш підходящим для контролю резисторів за параметрами, пов'язаними з надійністю, є позиція в технологічному процесі, на якій вже виконані всі операції, що впливають на надійність резистора. Найбільш зручною на наш погляд позицією для контролю за рівнем нелінійності є одна з позицій технологічного процесу після нарізки непровідної канавки, а саме перед розкалібровкою за класами точності.

При цьому відбраковані за рівнем нелінійності резистори вже не поступають на подальші операції(виключаються з технологічного процесу).

2.3 Вибір методу і типу апаратури для вимірювання нелінійності

З порівняльного аналізу методів і апаратури для вимірювання малих нелінійностей ВАХ випливає, що за критеріями чутливості перешкодостійкості, простоти оперативної реалізації та інформативності (в зв'язку вимірювального параметра з надійністю резистора) оптимальним є застосування резисторів в процесі їх виробництва є метод різницевої частоти і відповідна апаратура.

Однією з найважливіших задач при розробці методики вимірювання нелінійності ВАХ резисторів є задача вибору рівнів випробувальних напруг.

В зв'язку з тим, що вимірювання нелінійності ВАХ резисторів застосовуються для неруйнівного контролю якості, оптимальним є такий вибір рівнів змінної та постійної випробувальних напруг, при якому сигнал відгуку випробувального резистора несе максимальну інформацію про його технічний стан, а також виконуються наступні вимоги :

- 1) Рівень сигналу відгука забезпечує потрібну точність вимірювань;
- 2) Вплив на резистор в процесі вимірювання не призводить до погіршення його технічних характеристик.

Теоретичне передбачення залежності рівнів напруг різничевої частоти U_{pu} та третьої гармоніки $U_{тг}$ від рівнів змінної U і постійної U_0 напруг з великими похибками, що обумовлено багатифакторністю процесів, що визначають нелінійність ВАХ недротяних резисторів, та недоліками апроксимації ВАХ степеневим номінантом.

Підтвердженням цього є складна форма кривих залежностей $U_{pu}=f_1(u_0)$ і $U_{тг}=f_2(u_0)$ при різних значеннях u .

Тому вибір рівнів випробувальних напруг доцільно здійснювати з врахуванням результатів експериментального дослідження залежностей вимірювальних напруг від рівнів випробувальних напруг.

Дослідження, проведені з цією метою, показали, що для вимірювань по методу третьої гармоніки оптимальним являється вибір випробувальних напруг, що задовільняє вимоги:

$$U \leq U_{пр} \quad (2.1)$$

і

$$U_0 = 0 \quad (2.2)$$

де $U_{пр}$ —напруга, відповідна номінальній потужності розсіювання або гранично допустимого для досліджуваного типу та номіналу резисторів.

При виконанні цих умов здійснюється вимірювання інтегральної нелінійності ВАХ. Вимірювання нелінійності по методу третьої гармоніки при $U_0 \neq 0$ недоцільно, оскільки при цьому ускладнюється інтерпретація результатів вимірювання внаслідок неоднозначності залежності між $U_{тг}$ і U_0 .

Для вимірювання нелінійності ділянок ВАХ по методу різницевої частоти близьким до оптимальних є вибір випробувальних напруг, які задовільняють умовам :

$$\sqrt{(U_{ef})^2 + U_0^2} \leq U_{zp} \quad (2.3)$$

$$U_0 = 2U \quad (2.4)$$

Межі досліджуваної ділянки ВАХ визначаються амплітудою змінної випробувальної напруги; положення ділянки на ВАХ задається значенням постійної напруги зміщення U_0 .

При виконанні умов (2.1), (2.3) навантаження, що подається на резистор в процесі вимірювання, не призводить до руйнування резистора. Виконання умови (2.4), як показали дослідження, забезпечує близький до оптимального режим вимірювання нелінійності по методу різницевої частоти.

При такому виборі величини U_0 напруга різницевої частоти (при заданому значенні u) має рівень, близький до максимального; забезпечується однозначність результатів вимірювання і лінійна кореляція між результатами вимірювання по методах різницевої частоти і третьої гармоніки. При цьому слід враховувати, що для $U_0 < 0.5U_{ef}$ із зменшенням U_0 кореляція між значеннями $U_{pч}$ і $U_{тг}$ погіршується і, зокрема, при $U_0 = 0$ і симетричній ВАХ взагалі відсутня, так як в цьому випадку $a_2(u_0) = 0$ і $U_{pч} = 0$.

2.4 Вибір міри нелінійності і методика встановлення границь розбракровки

Для цілей контролю якості та діагностики недротяних резисторів обмежуються, як правило, оцінкою нелінійності їх ВАХ по абсолютних значеннях рівнів напруги третьої гармоніки, різницевої частоти і т.п., а також по рівнях цих напруг відносно рівня випробувальної напруги.

Рівні напруг, що вимірюються при оцінці нелінійності, залежать від фізико-хімічних характеристик СПЕ номінала, потужності розсіювання резистора і

рівнів випробувальних напруг. Тому зіставлення резисторів по рівню нелінійності, вираженому в одиницях напруги різницевої частоти або третьої гармоніки, доцільно тільки для резисторів одного типу, номінала, потужності та в однакових режимах вимірювання.

Теоретично більш зручними мірами нелінійності являються величини виду:

$$K_n = 20 \lg \frac{U_n}{U^k} \quad (2.5)$$

де U_n —напруга складової спектра викривлень n -го порядку.

Так, наприклад, коефіцієнт третьої гармоніки, що широко застосовується в практиці вимірювання нелінійності ВАХ резисторів, визначається так:

$$K_{m3} = 20 \lg \frac{U_{m3}}{U^3} \quad (2.6)$$

Аналогічно можна визначити коефіцієнт різницевої частоти:

$$K_{pc} = 20 \lg \frac{U_{pc}}{U^2} \quad (2.7)$$

При підстановці значення амплітуди напруги різницевої частоти, що отримуємо на основі виразу (2.7), у вираз для коефіцієнта різницевої частоти (2.7) знаходимо, що коефіцієнт різницевої частоти не повинен залежати від рівня випробувальної напруги:

$$K_{pc} = 20 \lg a_2 * R \quad (2.8)$$

Для прийнятого в даному проекті за основу методу різницевої частоти найбільш зручною мірою нелінійності для партії резисторів одного типу номіналу потужності є рівень вимірювальних напруг різницевої частоти.

Установка порогів розбраковки здійснюється на підставі резисторів попереднього статистичного аналізу резисторів контролю за рівнем нелінійності великих партій резисторів того ж типу номіналу. Наприклад, при розбраковці резисторів на три групи подачі розбраковки доцільно встановити так, щоб в

бункер браку першого типу і в бункер браку другого типу попадало приблизно по одному відсотку генеральної сукупності резисторів, а решта—в бункер справних резисторів.

В разі потреби резистори з числа справних можуть бути розбраковані ще на кілька груп, що може бути необхідним для оперативного контролю за технологічним процесом та його удосконаленням.

2.5 Конструкція пристрою для автоматизованого контролю нелінійності ВАХ резисторів

Основні технічні вимоги до проєктованого автоматизованого комплексу визначаються тим, що пристрій повинен „вписуватися” в технологічний процес виготовлення резисторів. Це означає, що:

1. Продуктивність до 7500 операцій контролю за годину.
2. Число груп розбраковки—6 .
3. Діапазон номіналів резисторів 1000 Ом...10 Мом
4. Живлення від мережі змінного струму частотою 50 ± 1 Гц, напругою $380/220 \pm 10\%$
5. Споживана потужність до 1.5 кВт.
6. Габаритні розміри до 2000/800/2000 мм.
7. Загальна похибка вимірювання напруги різницевої частоти при вимірюванні напруги живлячої мережі в межах $\pm 5\%$ і при температурі навколишнього середовища 10-30 °С не перевищує $\pm 5\%$.

Розроблений пристрій складається з таких основних вузлів і блоків:

- віробункера
- механізму передачі руху

- блоків формування випробувальної напруги і вимірювання нелінійності
- компаратора
- командоапарата
- блоку пам'яті.

Принцип дії пристрою побудований на визначенні процентного відношення вимірювального резистора від значення, прийнятого за номінал, зберігання інформації про результати заміру та передача її на виконуючі пристрої.

Завантажені у вібробункер автоматичного живлення резистори транспортером подаються на механізм передачі руху та підключаються до контактів вимірювальної схеми.

Інформація про рівень нелінійності резистора поступає на компаратор, який порівнює її з заданими граничними значеннями і відповідно до технічних норм визначає придатність резистора відповідній класифікаційній групі. Потім ця інформація поступає на блок пам'яті, який передає її синхронно пересуванню резистора, що контролюється від позиції заміру до відповідної позиції вивантаження.

Розглянемо пристрій і принцип дії основних механізмів автоматизованої системи. Функціональна схема автоматизованої системи показана на рис. 2.2.

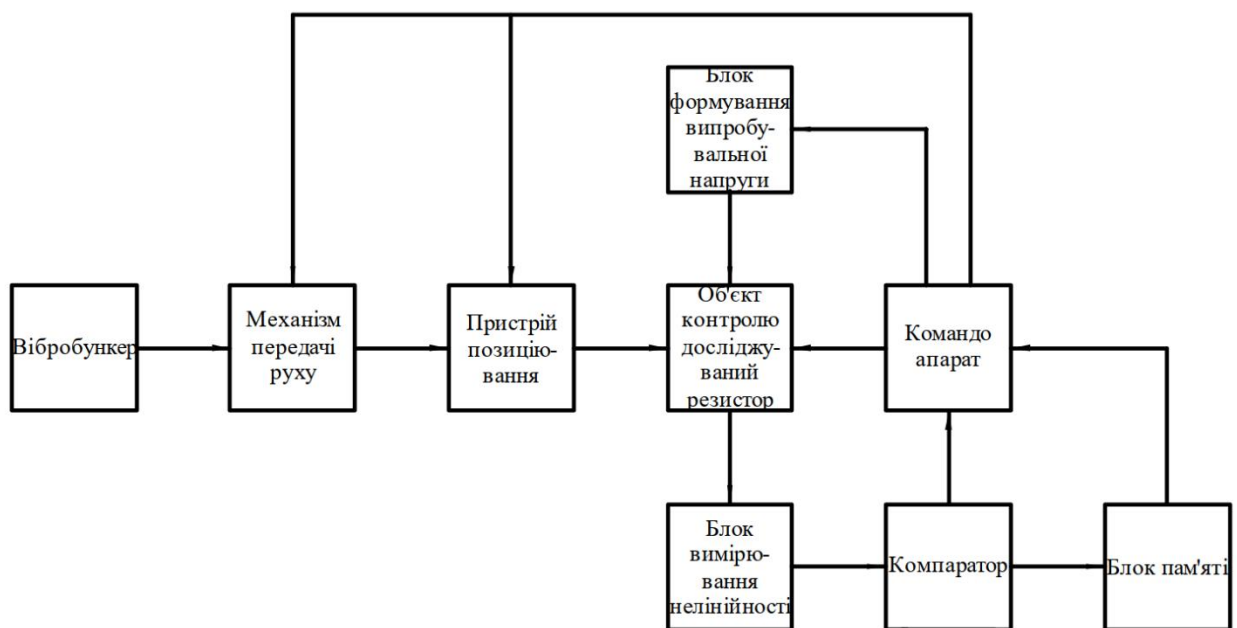


Рисунок 2.2. Функціональна схема автоматизованої системи

Механізм передачі руху (рис. 2.3) призначений для транспортування резисторів та підключення їх до контактів струмознімника, що змонтований на плиті. Транспортуючий ланцюг (конвеєр) з призмами 12 приводиться в рух від ведучої зірочки 14. Зірочки 11 і 2—направляючі, а зірочка 3—натяжна для зняття резисторів 10 з конвеєра, підключення їх до контактів 9 струмозьомника та встановлення знову на конвеєр служить зьомник 7. Підпружинна нитка 8 захищає резистори від випадання із зьомника, а направляючі 1, 4, 13—з конвеєра при транспортуванні. Лопатки 6, прикріплені до якорів електромагніту, скидають резистори в залежності від результатів вимірювань у відповідні ящики 5.

Привід призначений для передачі руху конвеєра автомата і складається з силового ланцюга та тиристорного перетворювача, що з'єднує його вал з вхідним валом черв'ячного однозаходного редуктора, що має верхнє розміщення черв'яка. Вхідний і вихідний вали редуктора встановлені в підшипниках кочення; на вихідному валі закріплена зірочка, з допомогою якої через ланцюгову передачу обертання передається на командоапарат та механізм передачі руху.

Кінематична схема пристрою приведена на рис. 2.4. Обертання від електродвигуна 3 через пружну муфту 2, черв'ячний редуктор 1, ланцюгову передачу 4, кулькову запобіжну муфту 5 передається на вал 6, на якому встановлені переривачі 7, що керують роботою схеми 8. З шестерні 10 через зубчасте колесо 11, що закріплене на валу 12, постійне обертання передається зірочці 13, а з неї—через конвеєрний ланцюг 24, що закріплені на валу 20 зірочкам 21, 22, які приводять в рух конвеєрний ланцюг 26.

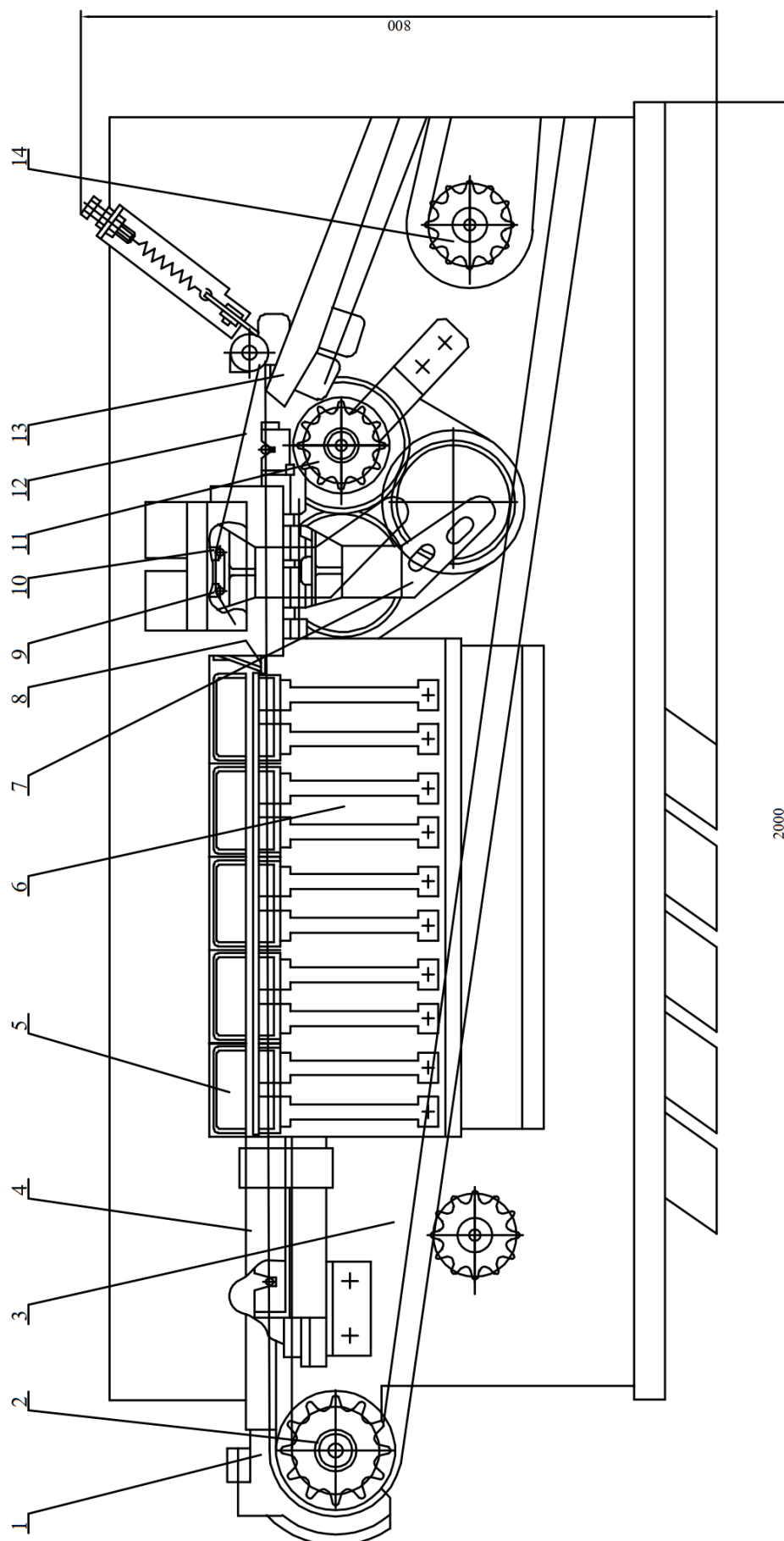


Рисунок 2.3. Механізм передачі руху пристрою для контролю резисторів за рівнем нелінійності

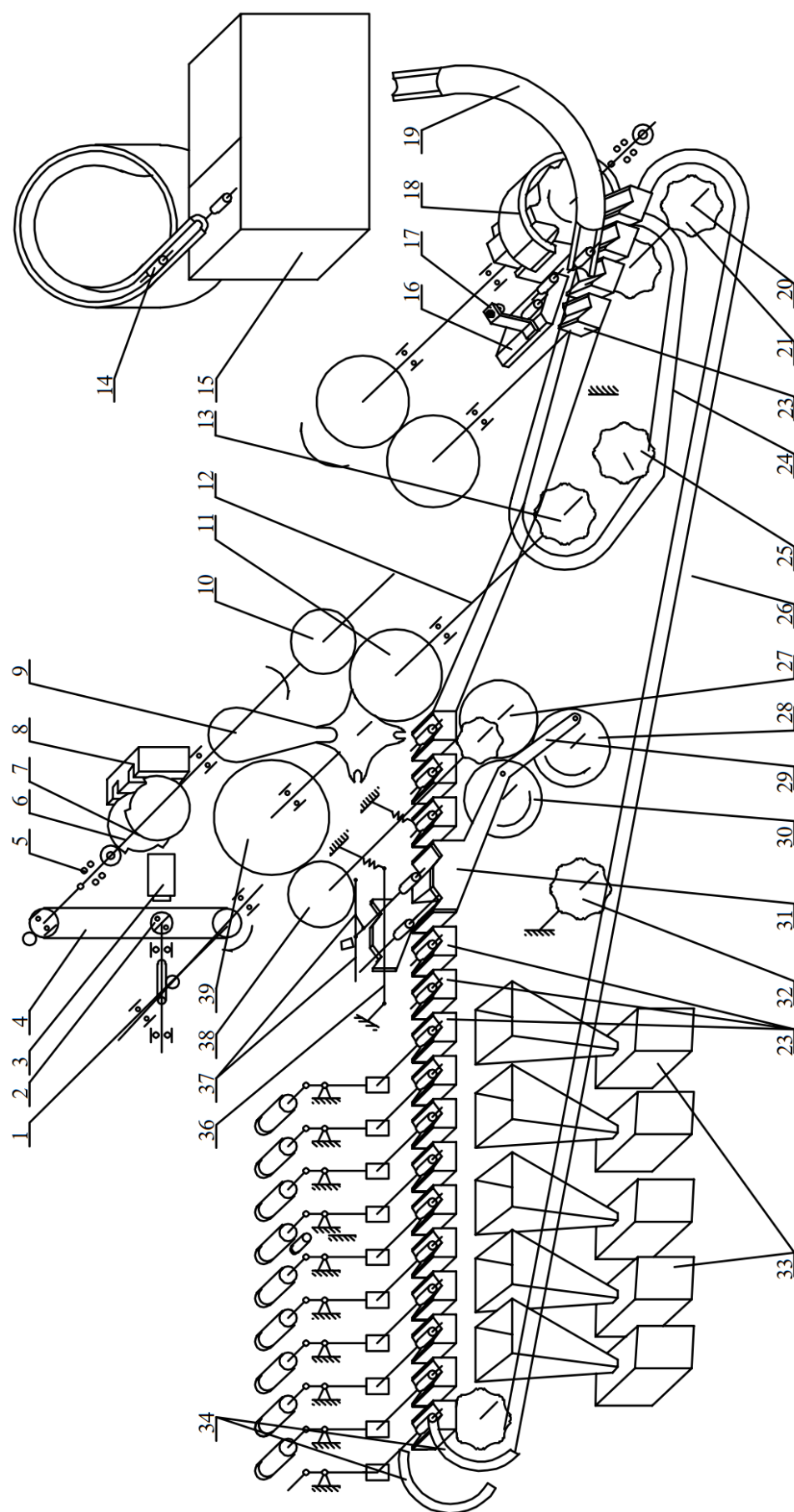


Рис. 2.4. Кінематична схема пристрою для контролю резисторів за рівнем нелінійності

Для регулювання натягу ланцюгів 24 і 26 служать відповідно зірочки 25 і 32. Поводок мальтійського механізму 9, мальтійський хрест та зубчасті колеса 39 і 38 передають періодичні оберти зубчастому колесу 27, що знаходиться в зачіпленні з зубчастими колесами 28 і 30, які зв'язані між собою шарнірно закріпленою на них тягою 29 знімника 31, що несе пару двомісних призм 23 для захоплення резисторів.

Резистори 14 з живильника 15 поступають по змійці 19 на приймальну площадку конвеєрного ланцюга 26. Коли площадка переповнена, світловий потік лампочки 17 перкривається і фотоелемент 16 видає сигнал закінчення подачі резисторів з живильника. Резистори, що знаходяться на приймальній площадці, захоплюються пазами постійно рухомого барабана 18 та перевантажуються в закріплені на транспортуючому конвеєрі призми 23, звідки два з них одночасно знімаються знімником 31 та їх виводи підключаються до підпружинених контактів 37 струмознімника. При цьому резистори зверху утримуються двома підпружинними нитками 36 з ізоляційного матеріалу. Опір резисторів вимірюється при зупинці мальтійського хреста, по часу рівній $\frac{3}{4}$ робочого циклу.

Виміряні резистори повертаються знімником 31 в свої призми 23 і цикл повторюється. По результатах контролю видаються команди на блок електромагнітів 35, які при спрацюванні скидають резистори номіналу, що контролюються, в один з ящиків 33, а резистори інших номіналів залишаються на призмах і транспортуються конвеєром до направляючих 34, з яких поступають на наступне сортування.

Конвеєр, призначений для транспортування резисторів в призмах від живильника на позицію заміру опору та далі—до сортувальних скриньок, приводяться в рух від зірочок 21 і 22. Резистори з автоматичного живильника поступають на приймальну площадку, де розміщений фотоелемент 16, що освітлюється лампочкою 17, а з нього—на призми 23 конвеєра.

Блок пам'яті призначений для зберігання інформації про види браку резисторів, що контролюються при русі їх від позиції заміру до відповідних сортувальних ящиків.

2.6. Опис функціональної схеми блоку вимірювання нелінійності

Функціональна схема вимірювання нелінійності представлена на рис. 2.5. Напруга з частотою 25 Гц, що генерується генератором Г1 і напруга з частотою 10 Гц від генератора Г2, подаються на балансний модулятор (БМ). На виході БМ отримується сума рівних по амплітуді напруг по бокових частотах $f_1=24.99$ кГц і $f_2=25.01$ кГц. Ця двохчастотна напруга підсилюється підсилювачем потужності (ПП) до рівня 300 В (діюче значення). Амплітуда двохчастотної напруги регулюється зміною амплітуди напруги частоти 25 кГц.

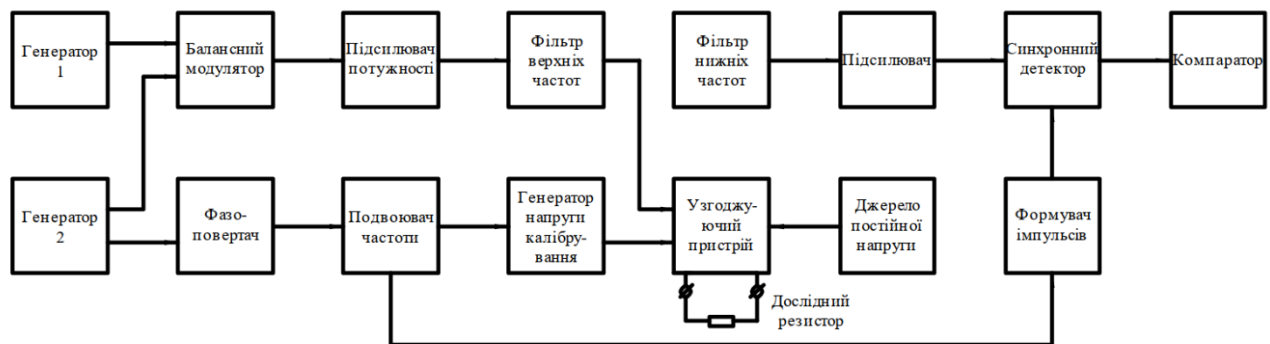


Рисунок 2.5. Функціональна схема вимірювання нелінійності

ПП двохчастотна напруга подається на фільтр верхніх частот (ФВЧ), призначений для знешкодження коливань різницевої частоти і гармонік живлячої мережі. З ФВЧ двохчастотна випробувальна напруга подається через узгоджувачий пристрій (УП) на випробувальний резистор (ВР). Крім того через випробувальний резистор через УП подається також напруга зміщення від джерела постійної напруги (ДПН). УП служить для погодження опору випробувального резистора ФВЧ і ДПН із входним опором фільтра входних частот ФВЧ.

ФВЧ призначений для подавлення коливань з частотою випробувальної напруги. Напруга коливань різницевої частоти, що виникають внаслідок нелінійності ВАХ випробувального резистора, поступає через ФВЧ на підсилювач П.

З виходу П сигнал подається на вхід синхронного детектора (СД). Нормальну роботу СД забезпечує фотообертач ФО, подвоювач частоти ПЧ і формувач імпульсів ФІ, які керуються генератором Г2. До виходу СД під'єднаний вимірювальний прилад ВП. Для калібрування приладу служить генератор напруги калібрування ГНК, що керується подавлювачем частоти. Кожен конструктивно прилад виконаний в вигляді двох блоків: блока формування випробувальних напруг, в який входить Г1, Г2, БМ, ПП, та мережеві випрямлячі з фільтрами і блоку вимірювання напруги різницевої частоти, в яких входять решта елементів.

Окремі вузли приладу (УП, ФВЧ, ФНЧ і П) поміщені в глухі латунні екрани і з'єднані екранованими провідниками. Блоки поміщені в сталеві кожухи і поєднуються кабелями.

2.7. Електрична схема і конструкція вимірювача нелінійності

Електрична схема блоку формування випробувальних напруг показана на рис. 2.6.

Напруга від генератора Γ_1 частотою $f_1=25$ кГц і генератора Γ_2 частотою $f_2=10$ Гц поступають на балансний модулятор БМ. Схеми генератора Γ_1 , Γ_2 ідентичні, вони зібрані на мікросхемах M_1 M_2 . В якості частотозадаючих елементів використовують режекторні фільтри F_1 і F_2 з розподіленими параметрами RC, що представляють аналог двійного Т-подібного моста. На виході генератора Γ_2 поставлений емітерний повторювач на транзисторі T_1 , який виключає вплив навантаження на роботу генератора. Частота генератора Γ_2 вибрана з врахуванням теплової постійної часу, струмопровідних елементів, плівкових та мікродротенних резисторів, яка може досягти 1-100 МС.

В якості джерела керуючої напруги U_k доцільно використовувати вихідну напругу генератора Γ_2 , подвоївши його частоту та забезпечивши потрібний фазовий струм.

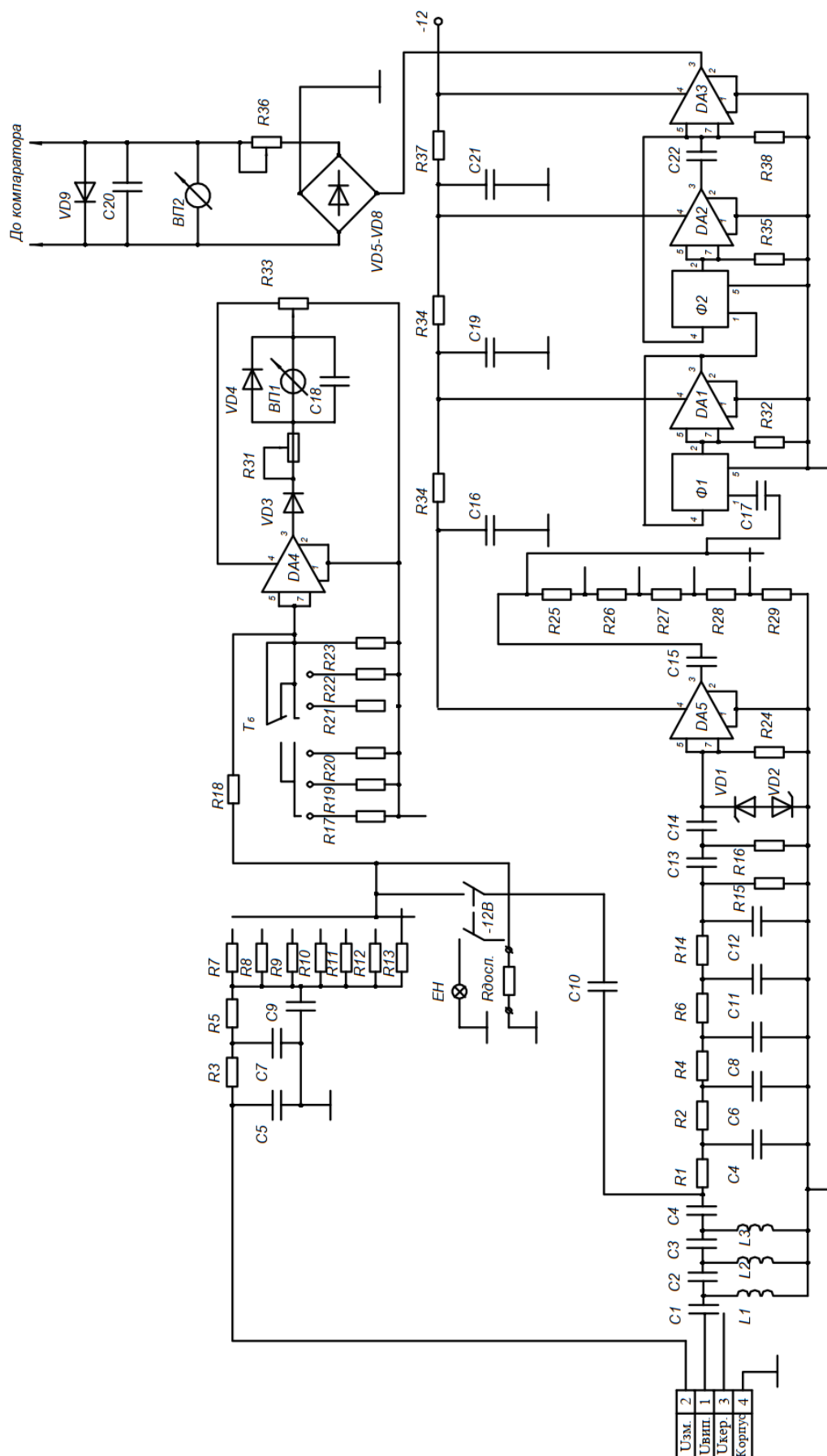


Рисунок 2.6. Електрична схема блоку формування випробувальних напруг

Балансний модулятор виконаний на мікросхемі МЗ, що складає пару польових резисторів. В ланцюзі резисторів під'єднана первинна обмотка трансформатора ГР1 на сердечнику. Первинна обмотка складає $2 \cdot 1000$ витків проводу ПЕЛ-008, а вторинна-1000 витків його проводу.

Балансна модуляція здійснюється шляхом подачі на затвори польових резисторів напруг частотою f_2 , що знімається з фазоінверсного каскаду натрвнзисторі T_2 . З вторинної обмотки трансформатора ГР1 двохчастотна напруга частотою f_1 і f_2 поступає на підсилювач потужності. Ліва половина лампи Л1 підсилювача використовується для попереднього підсилення сигналу, права—в якості фазоінвертора, а лампа Л2 працює в двохтактному вихідному каскаді.

До анодів лампи Л2 під'єднана первинна обмотка трансформатора Тр2, що має дві секції, що має по 150 витків проводу ПЕЛШО-015. Вторинна обмотка з 300 витків обмотана тим проводом. Підсилювач потужності забезпечує подачу на клему двохчастотної випробувальної напруги $U_v=500$ В.

Також показана схема джерела постійної напруги ДПН, яка живиться від анодного випрямляча і складає гасячий резистор та ланцюг стабілітронів, вимикач меж напруги зміщення, негативний регулятор напруги та RC-фільтр. Вихідна напруга U джерела може регулювати ступінчато і плавно в межах від 0 до 250.

На рисунку приведена схема вимірювання напруги різницевої частоти. Для зменшення коливань низької частоти та гармонік живлячої мережі, які містяться у випробувальній напрузі $U_{\text{випр}}$, служить трьохланковий фільтр верхніх частот ФВЧ. Для підвищення лінійності його характеристики котушки індуктивності $L_1—L_3$ намотані на фторопластових каскадах діаметром 30 мм і мають 1000 витків проводу ПЕЛШО-0.15; конденсатори, що використовуються в ФВЧ, також фторопластові. Підбором їх ємностей фільтр настроєний на частоту 25 кГц.

В ФВЧ через погоджуючий пристрій ПП випробувальна напруга подається на випробувальний елемент з комплексним опором $Z_{\text{випр}}$ ПП служить для узгодження $Z_{\text{исп}}$ з вихідними опорами ФВЧ, ДПН і з вхідним опором фільтра

низьких частот ФНЧ. Щоб забезпечити мінімальну нелінійність, ПП виконано на складових мікродротяних резисторах і фторопластових конденсаторах, що утворюють фільтр постійного струму.

Кожний складовий резистор складає 4 або 9 включених паралельно— послідовно по схемі 2х2 або 3х3 однотипних резисторів потрібного номіналу, що дозволяє знизити загальну нелінійність такої збірки на один—два порядки в порівнянні з нелінійністю окремих резисторів при тому ж навантаженні.

Вольтметр випробувальної напруги В складає резисторний подільник, підсилювач на мікросхемі М8, випрямляч на діоді Д7 та вимірювальний прилад ВП1. Границі вимірювання вольтметра переключаються за допомогою перемикача П1, а рід вимірювань—тумблером Тб. Діод Д8 служить для покращення лінійності характеристики вольтметра.

Фільтр низьких частот ФНЧ служить для подавлення коливань з частотою випробувальної напруги та його гармонік, що виникають внаслідок нелінійності ВАХ. Він складається з п'ятиланкового RC—фільтра. До перших каскадів ФНЧ пред'являються жорсткі вимоги відносно лінійності ВАХ елементів, тому вони виконані наборними з мікродротяних резисторів і фторопластових конденсаторів.

Вихід ФНЧ під'єднаний до малошумного попереднього підсилювача на мікросхемі М4. вхід підсилювача захищений від проникання постійної напруги RC фільтром постійного струму, від випадкових перевантажень—діодами Д5, Д6. З виходу попереднього підсилювача сигнал поступає на режекторний фільтр Ф3, який подавляє коливання.

Для компенсації послаблень, що вносяться режекторним фільтром, призначений підсилювач на мікросхемі М5. Далі сигнал подається на вибіркового підсилювач, зібраний на мікросхемі М6; частото задаючим елементом в ньому служить режекторний фільтр Ф4, включений в ланцюг негативного зворотнього зв'язку.

Мікросхемою М7 корисний сигнал підсилюється до рівня, необхідного для роботи вимірювального приладу П2, який зв'язаний з виходом підсилювача через

двохпівперіодний випрямляч Д9—Д12. Змінний резистор включений послідовно з вимірювальним приладом.

Калібрування здійснюється шляхом подачі на клеми " $Z_{\text{исп}}$ " через випробувальний елемент від зовнішнього генератора з частотою $2f_2$ каліброваного по діючому значенню напруги, що відповідає границі вимірювання $u_{\text{рч}}$, яка встановлюється за допомогою перемикача П2.

Чутливість вимірювального тракту приладу з в врахуванням власної нелінійності і внутрішніх завад при відношенні сигнал—шум, рівному 1, складає 5 мкВ. Чутливість може бути підвищена при використанні синхронного детектування.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір типу завантажувача та його розрахунок

Щілинні завантажувальні пристрої характеризуються плавністю роботи і вони можуть бути використані для транспортування заготовок різної довжини та діаметру, але краще їх використати для середніх заготовок. Ці завантажувальні пристрої можуть бути використані для завантаження дрібних деталей. Продуктивність щілинних завантажувальних пристроїв становить до 125 штук за хвилину.

Шиберні завантажувальні пристрої прості, широко розповсюджені. Вони рекомендуються для транспортування заготовок і характеризуються рівномірністю видачі заготовок і високою продуктивністю ($q \leq 80$ штук за хвилину).

Барабанні завантажувальні пристрої є більш складними по конструкції і рекомендуються для транспортування коротких заготовок. Їх продуктивність складає приблизно $q \leq 100$ штук за хвилину. Заготовки переміщуються плавно, але при перервному трясінні заготовок утворюються великі щілини.

3.1.1 Розрахунок вібраційного живильника

Продуктивність віброживильника:

$$Q = 125 \text{ шт/хв}$$

Потрібна продуктивність верстату при коефіцієнті перетворення $K_{\text{п}} = 1.15$ буде :

$$Q_{\text{ст}} = Q / K_{\text{п}} = 125 / 1.15 = 108 \text{ шт/хв.}$$

Заготовка відноситься до деталі норм тіла обертання другого класу і потребує двоступеневої орієнтації [5, табл.6]. Коефіцієнт заповнення тіла повної орієнтації заготовок визначається за формулою $K = K_1 * K_2 = 0.9 * 1 = 0.9$.

Потрібна швидкість руху заготовок визначається за формулою

$$v_3 = \frac{Q \cdot l_3}{60 \cdot k} = \frac{125 \cdot 10.5}{60 \cdot 0.9} = 24.3 \text{ мм/хв}$$

Визначення оптимального режиму роботи живильника

Приймаємо частоту коливань живильника рівною $\nu = 50$ Гц. Кут підйому спірального лотка вибираємо мінімальний $\alpha = 1.5^\circ$. Матеріал—сталь. Коефіцієнт тертя заготовки по лотку $f = 0.4$.

Згідно даних, приведених в [5], гранична швидкість для сталених заготовок по сталюму лотку буде рівна:

$$|v_{yz}|_{\text{гран}} = 75 \text{ мм/с}$$

За графіком рисунка 10 [4] для $v_{yz} = 75$ мм/с і $\nu = 50$ Гц визначаємо параметр режиму $\xi = 1.6$. Визначаємо коефіцієнт режиму Π з поправкою на удар $K_y = 1.2$:

$$\Pi = \frac{v_3 \cdot 2\pi\nu K_y}{\xi \cdot g \cos \alpha \cdot f} = \frac{4.8 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 1.2}{1.6 \cdot 9.8 \cdot 1 \cdot 0.4} = 0.2$$

За графіком для $\Pi = 0.2$ і $K_y = 0.065$ знаходимо значення $K_\beta = 1$ за формулою:

$$\operatorname{tg}(\beta - \alpha) = \frac{1}{K_\beta \cdot f} = \frac{1}{1 \cdot 0.4} = 0.3$$

де $\beta - \alpha = 17^\circ$, кут $\beta = 17^\circ + \alpha = 17^\circ + 1.5^\circ = 18.5^\circ$.

3.1.2 Визначення конструктивних параметрів живильника

Приймаємо конструкцію живильника з центральним вібратором і підвісною чашею на циліндричних стержнях (рис. 3.1).

Визначаємо розміри чаші, крок спірального лотка чаші при формі робочої канавки виконаний на внутрішній поверхні труби шляхом токарної обробки, конструктивно є рівним $t = 20$ мм. Ширину канавки приймаємо $B = d + 1 = 7 + 1 = 8$ мм. Виходячи з кута підйому $\alpha = 1.5^\circ$ внутрішній діаметр чаші рівний $D = 12t + B = 12 \cdot 20 + 8 = 148$ мм.

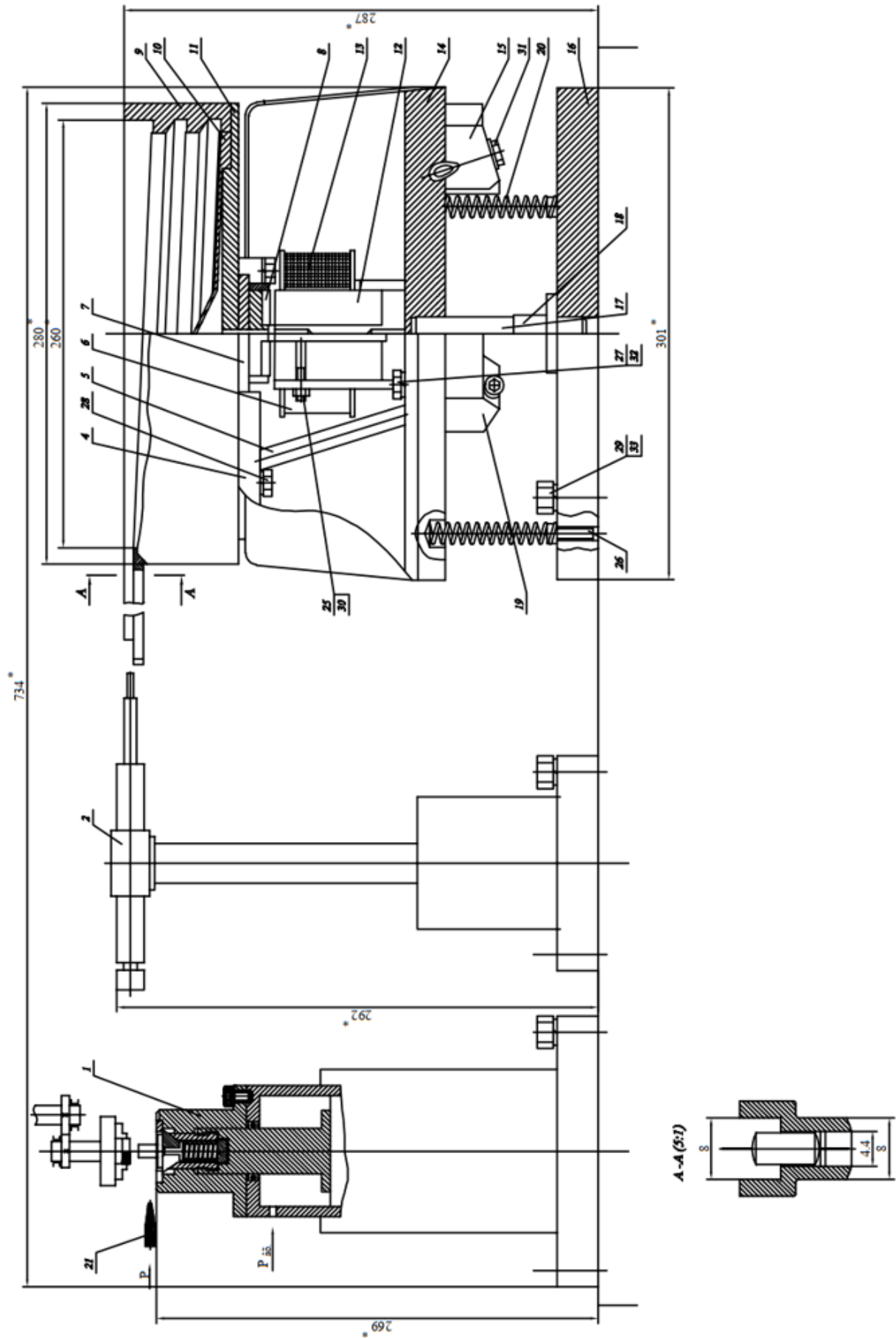


Рис. 3.1. Вібраційний бункер

Чашу зручно виробляти із стандартної труби. Найбільш близько до розрахункового розміру підходить 10 дюймова труба, тому приймаємо розмір чаші :

$$D_{\text{зовн}}=280 \text{ мм}, D_{\text{внутр}}=260 \text{ мм}.$$

Визначимо маси і моменти інерції рухомих частин живильника.

Деталь 9. Вага $G_9=3060$ г, маса $m_9= G_9/ g=3060/9.8=3.2$ г·с²/см,

$$\text{Момент інерції } J_9 = \frac{1}{2} mg(R^2 - r^2) = 43.2 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см},$$

Де R,r—зовнішній і внутрішній радіуси чаші.

Деталь 10. $G_{10}=3500$ г, маса $m_{10}=3.57$ г·с²/см,

$$J_{10} = \frac{m_{10}R^2}{2} = 350 \text{ г} \cdot \text{с}^2/\text{см}.$$

Деталь 11. $G_{11}=1700$ г, $m_{11}=1.73$ г·с²/см,

$$J_{11}=135 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

Деталь 4. $G_4=1350$ г, $m_4= 1.4$ г·с²/см,

$$J_4=20 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

Деталь 5. $G_5=1380$ г, $3m_5= 1.4$ г·с²/см,

$$3J_5=116 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

Сумарна маса деталей чаші живильника :

$$m_6 = \sum m_i = 3.2 + 3.57 + 1.73 + 1.4 + 1.4 = 11.3 \text{ г} \cdot \text{с}^2/\text{см}.$$

Сумарний момент інерції

$$J_6 = \sum J_i = 43.2 + 350 + 135 + 20 + 116 = 664.2 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

Маси і моменти інерції нижньої частини живильника :

Деталь 14: $G_{14}=20000$ г, $m_{14}=20.3$ г·с²/см,

$$J_{14} = \frac{mr^2}{2} = 1715 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

Деталь 16: $G_{16}=4900$ г, $m_{16}=5$ г·с²/см,

$$J_{16} = \frac{mr^2}{2} = 80 \text{ г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

Деталь 18: $G_{18}=1770$ Г, $3m_{18}=1.8$ Г·с²/см,

$$3J_{18} = 240 \text{ Г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

$$m_H = \sum m_i = 20.3 + 5 + 1.8 = 27.1 \text{ Г} \cdot \text{с}^2/\text{см},$$

$$J_H = \sum J_i = 1715 + 80 + 240 = 2035 \text{ Г} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}.$$

Визначаємо кут нахилу підвісок :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1 + \frac{m_g}{m_H}}{1 + \frac{J_g}{J_H}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta \cdot R \cdot K_4}{r} = \frac{1 + \frac{11.3}{27.1}}{1 + \frac{664.2}{2035}} \cdot \frac{0.32 \cdot 130 \cdot 0.7}{30} = 0.346$$

$$\varphi = 19^\circ$$

Кінематичний кут нахилу

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \operatorname{tg} \varphi / K_4 = 0.346 / 0.7 = 0.494;$$

$$\varphi_k = 26^\circ$$

Приведена маса живильника

$$m_{np.1} = 11.3 \cdot \sin^2 26^\circ + \frac{664.2}{92} \cos^2 26^\circ = 8.8 \text{ Г} \cdot \text{с}^2/\text{см};$$

$$m_{np.2} = 27.1 \cdot \sin^2 26^\circ + \frac{2035}{10^2} \cos^2 26^\circ = 21.65 \text{ Г} \cdot \text{с}^2/\text{см}.$$

Приведена маса системи :

$$M_{np} = \frac{M_{np.1}}{1 + \frac{M_{np.1}}{M_{np.2}}} = \frac{8.8}{1 + \frac{8.8}{21.65}} = 6.3 \text{ Г} \cdot \text{с}^2/\text{см}.$$

Розмах коливань пружини :

$$A_o = \frac{\xi \cdot g}{2\pi^2 D^2 \cdot \sin \varphi} \cdot \left(1 + \frac{m_{np.1}}{m_{np.2}}\right) = \frac{1.6 \cdot 9.8 \cdot 10}{2 \cdot 3.14^2 \cdot 50^2 \sin 26^\circ} \left(1 + \frac{8.8}{21.6}\right) = 1.02 \text{ мм}.$$

Мінімальна довжина пружинного стержня Г·с²/см [3, с. 194] :

$$l = 15 \text{ мм}, l_{\min} = 250 \sqrt[5]{6.3 \cdot 10^{-3} \cdot 0.014} = 2.27 \text{ см}.$$

Діаметр пружних стержнів [1, с. 186]:

$$d = 2 \sqrt[4]{\frac{4\pi \cdot D_{cm}^2 \cdot l^3 M_{np}}{g \cdot E}} = 2 \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 3.14 \cdot 1.5^3 \cdot 53^2 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 2 \cdot 10^6}} = 0.61 \text{ см}$$

$$\nu_{cm} = \nu \cdot 1.06 = 50 \cdot 1.06 = 53 \text{ Гц}$$

Визначаємо розміри амортизаційних пружин. Задається максимальним зміщенням живильника $\delta = 2 \text{ мм}$ при повному завантаженні чаші ($G_3 = 14 \text{ кг}$). Жорсткість амортизаторів :

$$C \geq 14/0.12 = 70 \text{ кг/см}^2$$

$$\frac{G_3}{\delta} \leq C \leq 0.16 \cdot \pi^2 \cdot \nu^2$$

$$\text{Приймаємо } c = 90 \text{ кг/см}^2 : \quad 70 \text{ кг/см}^2 \leq C \leq 106 \text{ кг/см}^2$$

Прийнявши діаметр пружин $D = 15 \text{ мм}$ і діаметр дроту $d = 1.5 \text{ мм}$, число витків:

$$i = \frac{d^4 G_n}{8c \cdot D^3} = \frac{1.5^4 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 3}{8 \cdot 1.5^3 \cdot 90} = 5, \text{ де } n=3 \text{—кількість пружин.}$$

Крок витків :

$$t = \frac{G_n + G_3}{C} + 2d = \frac{42 + 14}{90} + 2 \cdot 1.5 = 3.6 \text{ мм.}$$

Приймаємо $t = 8 \text{ мм}$.

3.1.3 Розрахунок електромагнітного вібратора

Вібратор живиться від мережі з напругою 220 В . Можливе коливання напруги складає $\pm 10\%$, тобто зміна напруги :

$$U_{\min} = 198 \text{ В}, \quad U_{\max} = 242 \text{ В.}$$

Максимальне збуджуюче зусилля вібратора по [4] формула 209, прийнявши

$$\frac{m_3}{m} = 1 \text{ і } \frac{\omega}{\omega_0} = 0.95 \text{ значення } \frac{n}{n_0} = 0.07; \quad \xi = 53^0.$$

Коефіцієнт затухання

$$n = 0.07 \omega_0 = 0.07 \cdot 2\pi \cdot 50 / 0.95 = 23;$$

Максимальне збуджуюче зусилля

$$F = \frac{2\pi \nu A_0 M_{np} n \cdot 10^{-4}}{\sin \xi} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 1.02 \cdot 6.3 \cdot 13 \cdot 10^{-4}}{0.8} = 5.8 \text{ кг};$$

Зусилля в напрямі руху якоря:

$$F_b = \frac{F}{\sin \varphi} = \frac{5.8}{\sin 19^\circ} = 18 \text{ кг};$$

Розрахункове зусилля вібратора

$$F_b' = \frac{F_b}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ кг};$$

Потрібна потужність вібратора

$$N = 9.8 \cdot A_0^2 \pi^2 \nu^2 M_{np} \cdot n \cdot 10^{-7} = 9.8 \cdot 1.02^2 \cdot 3.14 \cdot 50^2 \cdot 6.3 \cdot 23 \cdot 10^{-7} = 3.65 \text{ Вт};$$

Площа перерізу :

$$Q_3 = \frac{F_b' \cdot 5000^2}{1.1 \cdot B^2} = \frac{9 \cdot 5000^2}{1.1 \cdot 7000^2} = 4.2 \text{ мм}^2;$$

Хід якоря вібратора :

$$S = 1.2 \sin 36^\circ = 1.2 \cdot 0.43 = 0.52 \text{ мм};$$

Середня величина повітряного зазору

$$\sigma_0 = 0.85S = 0.85 \cdot 0.52 = 0.41 \text{ мм};$$

Приведений зазор $\gamma = 0.36$;

$$\sigma_0' = \sigma_0 \sqrt{(\gamma \sin \xi)^2 + (1 - r \cos \xi)^2 + \left(\frac{r}{2}\right)^2} = 0.35 \text{ мм}.$$

Амплітудне значення магніторушійної сили :

$$AW_0 = 1.6B\sigma_0 = 1.6 \cdot 7000 \cdot 0.035 = 392 \text{ А витків}.$$

Ефективне значення магніторушійної сили:

$$(AW)_c = \frac{AW_0}{\sqrt{2}} \sqrt{3(\gamma \sin \xi)^2 + (1 - \gamma \cos \xi)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2} = 414 \text{ А витків}.$$

Мінімальний розмір вінка сердечника, прийнявши $\Delta I = 2 \text{ А}$, $K_3 = 0.3$:

$$Q_0 = \frac{(AW)_c}{2 \cdot 0.3} = \frac{414}{2 \cdot 0.3} = 6.9 \text{ см}^2.$$

По точці січення заміра Q_3 з врахуванням Q_0 визначаємо тип Ш-подібного сердечника:

$$a = 0.7\sqrt{Q_8} = 0.7\sqrt{4.2} = 1.43 \text{ см. Приймаємо } a = 1.9 \text{ см (тип Ш-15)}$$

Товщина набору пластин $C=2a=3.8$ мм.

По січенню Q_0 вибираємо пластину типу Ш-193 ближчим вікном $Q_0=7.82$ і розмірами :

$$B=1.75 \text{ см} ; \quad b_1=4.6 \text{ см}.$$

Число витків котушки вібратора :

$$a_k = Q C = 1.9 \cdot 3.8 = 7.2 \text{ см}^2,$$

$$B_9 = 5000 \sqrt{\frac{F}{1.1 Q_k}} = 5000 \sqrt{\frac{q}{1.1 \cdot 7.2}} = 5330$$

$$l_3 = 2(a+b+h) = 2(1.9+1.7+4.6) = 16.4 \text{ см}.$$

Приймаємо $\mu = 3000$.

Граничні кількості витків, виходячи з коливань зміни напруги мережі :

$$\omega_{\max} = 2.16 \cdot 10^5 \frac{242}{7.2 \cdot 5330} \left(\frac{16.4}{3000 \cdot 0.035} - 2 \right) = 2937 \text{ витків}.$$

Приймаємо $\omega_{\max} = 2935$ витків:

$$\omega_{\min} = \omega_{\max} \frac{U_{\min}}{U_{\max}} = 2935 \frac{198}{242} = 2400 \text{ витків}.$$

Регулювання величини змушуючої сили в прийнятому діапазоні здійснюється п'ятиступінчатим перемикачем. Число витків на один ступінь регулювання :

$$\Delta \omega = \frac{2935 - 2400}{5} = 107 \text{ витків}.$$

Ефективний струм :

$$I_e = \frac{(AW)_e B_m}{WB} \cdot a = 0.13 \text{ А};$$

Діаметр проводу :

$$d = 0.8 \sqrt{0.13} = 0.3 \text{ мм}.$$

3.1.4 Вибір та опис конструкції лотка

Для даної деталі використовується лоток Ш-2. Рейковий лоток служить для переміщення деталі з буром. Дворейковий лоток-скид здійснює підбирання по формі деталі, по якому вона буде транспортуватись до приймаючого лотка. На цьому лотку проходить орієнтація деталі за рахунок її центру ваги, деталь повертається на 90^0 важчою частиною вниз і так далі поступає у приймальний лоток, звідки із допомогою захвату руки робота подається у зону обробки верстата. Розмір лотка приймається конструктивно, виходячи із розмірів деталі.

3.2 Захист тиристорних перетворювачів

В процесі експлуатації тиристорних перетворювачів можливе виникнення ненормальних режимів, порушеннями в роботі системи керування і іншими внутрішніми і зовнішніми причинами. Аварійні режими виводять з ладу вентиля і інше обладнання і по своєму характеру впливу на апаратуру перетворювачів поділяється на надструми і перенапруги. Ці два види аварійних режимів взаємопов'язані і зумовлені один одним.

Найбільш чутливі до надструмів і перенапруг в перетворювачі є тиристори, так як їх напівпровідникова структура володіє низькою теплоємністю, в результаті чого тиристори при перевантаженні дуже легко виходять з ладу. Тому тиристори повинні бути захищені від впливу цих двох факторів, для чого перетворювачі використовують захист від надструмів і перенапруг.

В сучасних тиристорних перетворювачах для двох видів захисту використовують різні заходи і способи керування перетворювачами. Однак в цих вказівках основна увага приділяється найпростішим і найбільш розповсюдженим засобам захисту.

3.2.1 Захист від надструмів

Для захисту від надструмів можна використовувати швидкодіючі запобіжники і автоматичні вимикачі, що скорочують час дії надструмів шляхом відключення перетворювача чи його пошкоджених ділянок. До елементів другої

групи відносяться внутрішні опори джерела живлення, анодного трансформатора, струмообмежуючих реакторів в ланцюзі змінного струму, а також катодного дроселя. Обидві групи обмежують кількість енергії, що виділяється в захисній апаратурі(і в першу чергу в теристорах) під дією надструмів і використовується спільно. Запобіжники захищають вентиль від струмів короткого замикання і не захищають від перенавантаження. На відміну від них автоматичні вимикачі є апаратами багатократної дії і можуть виконувати обидва види захисту, оскільки мають максимальний і тепловий розмикачі, що реагують на струм к.з. і струм перевантаження.

Основними захисними показниками запобіжників є номінальна напруга $U_{\text{прн}}$ і струм $I_{\text{прн}}$ плавної ставки, гранично вимикаючий струм $I_{\text{пред}}$, тепловий інтеграл плавлення ω і інтеграл підключення $\omega_{\text{откл}}$. Теплові інтеграли плавлення і відключення характеризують відповідну кількість тепла, що необхідно для розплавлення плавкої вставки, починаючи від моменту початку аварії, і кількість тепла, що виділяється в запобіжнику від початку аварії до повного погашення дуги в запобіжнику.

Автоматичні вимикачі характеризуються номінальною напругою $U_{\text{ан}}$ і номінальним струмом $I_{\text{ан}}$, струмами становлення максимального і теплового вимикачів. Часом відключенням і умовним інтегралом відключення. Вони попередньо вибираються за напругою і діючим значенням струму ланцюга, що захищається, за величиною струмів встановлення вимикачів, а потім перевіряється за умовами захищеності вентилів селективності з іншими засобами захисту. По своїй швидкодії автоматичні вимикачі поступаються швидкодіючим запобіжникам і в сучасних системах їх використовують разом із запобіжниками

ПК-2-6-5.0/3.2-31; БУЗ

ПК-2-20-2.0/1.8-12; БУЗ.

3.2.2 Захист від перенапруг

Більшість перехідних процесів в тиристорних перетворювачах пов'язана з виникненням перенапруг, які зумовлені змінами струму в індуктивностях ланцюгів.

Виникнення напруг в тиристорних перетворювачах пов'язані із перехідними процесами, перенапруги можуть бути внутрішні і зовнішні. Найбільш розповсюджені засоби від перенапруги є R-C.

Захист здійснюється ланцюгами R₁-C₁.

$$C_1 \approx \frac{10I_a}{U_{в.дон.}} = \frac{10 \cdot 1.6}{1000} = 0.016 \text{ мкФ}$$

$$R_1 = \frac{U_{в.дон.}}{I_{обр.т}} \text{ або } R_1 = \frac{10U_{в.дон.}}{I_{ан}} = \frac{10 \cdot 1000}{5} = 2000 \text{ Ом}$$

де $I_{ан}$ -номінальний струм тиристора. Вибираємо резистори типу С5-3ТВ, конденсатори типу К73-17 з ємністю 0.1 мкФ.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки при проведенні електричних вимірювань і випробувань установки, що проєктується

Випробування проводяться бригадами у складі не менше 2 чоловік, із яких виконавець робіт повинен мати кваліфікаційну групу не нижче IV , а інші—не нижче III.

Проведення випробувань може доручатись лише персоналу, що пройшов спеціальну підготовку і перевірку знань схем випробувань і правил та має практичний досвід проведення випробувань в умовах діючих електроустановок.

Вказана перевірка проводиться одночасно із загальною перевіркою знань техніки безпеки в ті ж терміни і тією ж комісією Зараховано включеним у її склад спеціалістом по випробовуваннях обладнання, який має кваліфікаційну групу V.

При проведенні випробувань на одній з ділянок на інших повинно бути заземлення. Перед початком випробувань необхідно перевірити наявність стаціонарного заземлення кожухів випробувального устаткування. Кожух випробувального устаткування і каркас управління повинні бути заземлені бригадою, що проводить випробування.

Місце випробувань, а також з'єднувальні провідники, які при випробуваннях знаходяться під напругою, повинні бути обгороджені, або біля місця випробування повинен бути виставлений наглядч.

При випробовуваннях кабеля, якщо протилежний його кінець розміщений в закритій камері або комірці розподільного пристрою, на дверях або огорожі повинен бути вивішаний плакат „Стій—висока напруга”, а на приладах підключення роз'єднувачів—плакати „Не включати—працюють люди”.

Приєднання випробуваної установки до мережі напругою 380/220 В повинно проводитися через двополюсний рубильник або інший комутаційний

апарат з видимим розривом, у т.ч. через штепсельну вилку, розміщену на місці управління установкою.

Провідник, з допомогою якого підвищена напруга від випробовуючої установки підводиться до випробуваної, повинен бути надійно закріплений з допомогою проміжних ізоляторів, ізолюючих підвісок та інших, щоб було виключене випадкове наближення цього провідника до струмоведучих частин електроустановок, що знаходяться під напругою.

При складанні випробувальної схеми перед приєднанням випробовуючої установки до мережі 380/220 В на високовольтний вивід установки повинно бути накладене заземлення з допомогою спеціальної заземлюючої штанги з ізоляційного матеріалу. Січення заземлюючого мідного провідника повинно бути не менше 4 мм².

Перед подачею випробовуючої напруги на випробовуючу установку необхідно :

- Перевірити, що всі члени бригади знаходяться на місцях, що сторонніх людей немає і на установку можна подати напругу;
- Зробити попередження бригаді словами „Подаю напругу”, після чого з виходу випробовуючої установки зняти заземлення і включенням рубильника подати напругу на випробувану установку.

З моменту зняття заземлюючої штанги вся випробувана установка, включаючи випробовуючі обладнання і з'єднувальні провідники, повинно вважатись під напругою, і проводити будь-які переприєднання в випробувальній схемі і на випробуваній установці забороняється.

По закінченню випробувань виконавець робіт понижує вихідну напругу установки до нуля, відключає рубильник, що подає напругу від мережі 380/220 В, заземлює вихід випробуваної установки і повідомляє про це робітників бригади словами „Напруга знята”. Тільки після цього можна проводити переприєднання провідників від випробовуючої установки або, у випадку закінчення випробувань їх від'єднання і зняття огорожі.

Вимірювання мегомметром напруги до 2.5 кВ дозволяється проводити людині із електротехнічного персоналу із кваліфікаційною групою не нижче III.

Вимірювання опору ізоляції будь-якої частини електроустановки можна проводити тільки тоді, коли ця частина відключена зі всіх сторін.

Особа, яка проводить вимірювання мегомметром, повинна сама впевнитись у виконанні цієї вимоги і підготовленості робочого місця.

Вимірювання переносними приладами і струмовимірювальними клещами повинні проводитися двома особами, одна з яких повинна мати кваліфікаційну групу не нижче IV, а друга—III.

Вимірювання потрібно проводити у діелектричних рукавицях і галошах(або стоячи на ізолюючій основі).

Приєднання і від'єднання переносних приладів, що потребує розриву електричних ланцюгів, які знаходяться під напругою до 1000 Вт і вище, повинні проводитись при повному знятті напруги.

4.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для обладнання, що проєктується

Захисне заземлення—це навмисне з'єднання із землею металевих частин електрообладнання, котрі не є під напругою, але можуть потрапити під неї внаслідок порушення ізоляції електроустановок.

Мета захисного заземлення—знизити до безпечних величин напруги дотику і кроку, зумовлені замиканням на корпус, інакше кажучи, знизити до безпечних величин напругу відносно землі, яка може з'явитися на металевих не струмопровідних частинах електрообладнання при пошкодженні ізоляції.

Вихідними даними для розрахунку заземлюючого пристрою є :

- Величина опору заземлюючого пристрою, що нормується правилами;
- Питомий опір ґрунту, одержаний вимірюванням або із таблиці;
- Тип, розміри і умови розміщення в ґрунті одиничних заземлювачів.

Нормативне значення опору заземлюючого пристрою (R_n), до якого приєднані нейтралі генераторів або трансформаторів, відводи джерел однофазного струму або металевих не струмопровідних частин електрообладнання, у будь-яку пору року має бути не більше 2.4 і 8 Ом

відповідно при лінійній напрузі 680, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму.

Приймаємо $R_n=4$ Ом.

Для орієнтовних розрахунків опору заземлюючого пристрою використовується наближене табличне значення питомого опору ґрунту, яке рівне $\rho = 20$ Ом·м (для чорнозему при 10-20%-му вмісті вологи до маси ґрунту).

Розрахункове значення питомого опору ґрунту визначається з формули :

$$\rho_{розр.} = \rho_{табл.} \cdot \psi_c$$

$$\psi_c = 1.3$$

(коефіцієнт сезонності для вертикального стержневого заземлювача довжиною 3 м при відстані від поверхні землі до заземлювача 0.8 м; для кліматичної зони III).

$$\rho_{розр.} = 20 \cdot 1.3 = 26 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір розтіканню одиничного вертикального стержневого заземлювача визначається з формули :

$$R_{ов} = \frac{\rho_{розр.}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right),$$

де $\rho_{розр.}$ - питомий опір ґрунту ;

$l=3$ м – довжина заземлювача ;

$d=0.014$ м – діаметр заземлювача ;

h' - відстань від поверхні землі до середини заземлювача.

$$h' = h + 0.5l,$$

де $h=0.8$ м – відстань від поверхні землі до середини заземлювача.

$$h' = 0.8 + 0.5 \cdot 3 = 2.3 \text{ м}.$$

Тоді $R_{ов}=8.83$ Ом.

Орієнтовна кількість одиничних заземлювачів визначається з формули :

$$n = \frac{R_{ов}}{R_n} = \frac{8.83}{4} = 2.2$$

Приймаємо $n=2$.

Значення опору розтікання одиничних заземлювачів, об'єднаних в один контур заземлення, без врахування впливу горизонтальної полоси, яка зв'язує їх, визначається з формули :

$$R_{\text{зп.в.}} = \frac{R_{\text{ов.}}}{\eta_{\text{в}} \cdot n} = \frac{8.83}{0.85 \cdot 2} = 5.19 \text{ Ом}$$

Довжина горизонтальної з'єднувальної полоси визначається з формули :

$$l_n = 1.05 \cdot a(n-1)$$

$$l_n = 3.15 \text{ м.}$$

Опір розтіканню горизонтальної з'єднувальної полоси без врахування ефекту екранування становить $R_n = 8.16 \text{ Ом}$.

Опір групового заземлювача $R_{\text{гр}}$, що складається із n вертикальних стержневих електродів, з'єднувальної полоси (горизонтального електрода) рівний :

$$R_{\text{зр}} = \frac{R_{\text{зп.в.}} \cdot R_n}{R_{\text{зп.в.}} + R_n} = \frac{5.19 \cdot 9.6}{5.19 + 9.6} = 3.37 \text{ Ом.}$$

розрахункове значення опору ґрунтового заземлювача не повинно перевищувати найбільшого опору, допустимого правилами встановлення ($R_n = 4 \text{ Ом}$) :

$$R_{\text{зр.}} \leq R_n = 4 \text{ Ом.}$$

Отже, розрахункове значення опору групового заземлюючого пристрою $R_{\text{гр.}} = 3.37 \text{ Ом}$, задовільняє поставленій умові.

Приймаємо $R_n = 4 \text{ Ом}$.

Для орієнтовних розрахунків опору заземлюючого пристрою використовується наближене табличне значення питомого опору ґрунту, яке рівне $\rho = 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (для чорнозему при 10-20%-му вмісті вологи до маси ґрунту).

Розрахункове значення питомого опору ґрунту визначається з формули :

$$\rho_{\text{розн.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot \psi_c$$

$$\psi_c = 1.3$$

(коефіцієнт сезонності для вертикального стержневого заземлювача довжиною 3 м при відстані від поверхні землі до заземлювача 0.8 м; для кліматичної зони IIІ).

$$\rho_{розр.} = 20 \cdot 1.3 = 26 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір розтіканню одиничного вертикального стержневого заземлювача визначається з формули :

$$R_{ов} = \frac{\rho_{розр.}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right),$$

де $\rho_{розр.}$ - питомий опір ґрунту ;

$l=3$ м – довжина заземлювача ;

$d=0.014$ м – діаметр заземлювача ;

h' - відстань від поверхні землі до середини заземлювача.

$$h' = h + 0.5l,$$

де $h=0.8$ м – відстань від поверхні землі до середини заземлювача.

$$h' = 0.8 + 0.5 \cdot 3 = 2.3 \text{ м}.$$

Тоді $R_{ов}=8.83$ Ом.

Орієнтовна кількість одиничних заземлювачів визначається з формули :

$$n = \frac{R_{ов}}{R_n} = \frac{8.83}{4} = 2.2$$

Приймаємо $n=2$.

Значення опору розтікання одиничних заземлювачів, об'єднаних в один контур заземлення, без врахування впливу горизонтальної полоси, яка зв'язує їх , визначається з формули :

$$R_{зр.в.} = \frac{R_{ов}}{\eta_{\epsilon} \cdot n} = \frac{8.83}{0.85 \cdot 2} = 5.19 \text{ Ом}$$

Довжина горизонтальної з'єднувальної полоси визначається з формули :

$$l_n = 1.05 \cdot a(n-1)$$

$$l_n = 3.15 \text{ м}.$$

Опір розтіканню горизонтальної з'єднувальної полоси без врахування ефекту екранування становить $R_n=8.16$ Ом.

Опір групового заземлювача $R_{гр}$, що складається із n вертикальних стержневих електродів, з'єднувальної полоси (горизонтального електрода) рівний :

$$R_{гр} = \frac{R_{сп.в.} \cdot R_n}{R_{сп.в.} + R_n} = \frac{5.19 \cdot 9.6}{5.19 + 9.6} = 3.37 \text{ Ом.}$$

розрахункове значення опору ґрунтового заземлювача не повинно перевищувати найбільшого опору, допустимого правилами встановлення ($R_n=4$ Ом) :

$$R_{сп.} \leq R_n = 4 \text{ Ом.}$$

Отже, розрахункове значення опору групового заземлюючого пристрою $R_{гр}=3.37$ Ом , задовільняє поставленій умові.

4.3 Організація цивільної оборони на об'єктах народного господарства

Об'єкт народного господарства – це виробничі підприємства, учбові заклади, приватні підприємства і інші. На всіх об'єктах народного господарства (ОНГ) цивільна оборона організовується з метою попередньої їх підготовки до захисту робітників, службовців і членів їх сімей в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу, створення умов, що підвищують стійкість роботи підприємств та своєчасне створення умов для проведення рятувальних і інших невідкладних робіт РіНР.

Основні завдання цивільної оборони підприємства

- оповіщення працівників та членів їх сімей при загрозі нападу, стихійного лиха і катастроф;
- забезпечення сховищами працюючої зміни, підтримка в стані постійної готовності захисних споруд і спеціальних споруд ЦО;
- проведення заходів, що забезпечують стійкість роботи об'єкту в мирний та воєнний час;

- створення, підготовка і підтримка в постійній готовності сил цивільної оборони об'єкту;

Начальником цивільної оборони об'єкту є його керівник. Він несе повну відповідальність за забезпечення захисту виробничого персоналу та населення, постійну готовність органів управління, сил і засобів проведення рятувальних та інших невідкладних робіт. Начальник цивільної оборони об'єкту підпорядковується відповідним посадовим особам відомств, у віданні яких знаходиться об'єкт, а в оперативному відношенні підпорядковується вищестоящому начальнику цивільної оборони за місцем розташування об'єкту.

Служби цивільної оборони об'єкту

Для підготовки та проведення РіНР на об'єктах, що мають відповідну базу, створюються служби: оповіщення і зв'язку, протипожежна, аварійно-технічна, охорони громадського порядку, медична, матеріально-технічного забезпечення, транспортну, протирадіаційного і хімічного захисту, сховищ.

В залежності від специфіки об'єкту і наявності бази можуть створюватись і інші служби цивільної оборони (захисту продовольства, води і т.д.).

Служба охорони громадського порядку створюється на базі підрозділів відомчої охорони. На неї покладається забезпечення надійної охорони об'єкту, громадського порядку при аваріях, катастрофах, стихійному лиху та при загрозі нападу противника і в час проведення рятувальних робіт, допомога при своєчасному укрітті працюючих за сигналами цивільної оборони, контролювання режиму світломаскування.

Медична служба організовується на базі медичних пунктів, санітарних частин, поліклінік. На неї покладається забезпечення постійної готовності медичних формувань, організація і проведення санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів; надання медичної допомоги потерпілим та евакуація їх у лікувальні установи, здійснення заходів санітарної обробки уражених; медичне забезпечення робітників та службовців і членів їх сімей в місцях розосередження.

Служба протирадіаційного і протихімічного захисту організовується на базі хімічних лабораторій та цехів. На неї покладаються розробка і здійснення заходів по захисту робітників і службовців, джерел водозабезпечення, харчувальних блоків, складів продовольства від радіоактивних та хімічних речовин, організація та підготовка протирадіаційних, протихімічних формувань та установ; контроль стану індивідуальних та колективних засобів захисту і спеціальної техніки; організація радіаційного і хімічного спостереження та здійснення дозиметричного контролю за опроміненням особистого складу. Проведення заходів по ліквідації наслідків радіоактивного і хімічного зараження.

Служба сховищ та укрить організовується на базі відділу капітального будівництва, житлово-комунального відділу, будівельного цеху. На неї покладається розробка розрахунків сховищ для робітників, службовців і їх сімей; забезпечення готовності сховищ та контролювання правильності їх експлуатації; організація будівництва сховищ найпростішого типу; забезпечення своєчасного наповнення сховищ по сигналах цивільної оборони; участь у рятувальних роботах при завалах сховищ.

Аварійно-технічна служба створюється на базі виробничо-технічного відділу головного механіка. Ця служба розробляє і здійснює попереджувальні заходи, що підвищують стійкість основних споруд, спеціальних інженерних мереж та комунікацій в надзвичайних ситуаціях, здійснює роботи по локалізації аварій в мережах та комунікаціях об'єкту, в спорудах, розбирає завали і рятує людей.

Служба матеріально-технічного забезпечення створюється на базі відділу матеріально-технічного забезпечення об'єкту. На неї покладається розробка плану матеріального і технічного забезпечення. Повне та своєчасне забезпечення формувань всіма засобами оснащення, організація ремонту техніки і різного майна, підвіз його до ділянок робіт, зберігання і облік; забезпечення продовольством, предметами першої необхідності робітників та службовців на об'єктах та в місцях розосередження.

Транспортна служба організовується на базі транспортних відділів, цехів, гаражів об'єкту. Вона розробляє і здійснює заходи по забезпеченні перевезень,

пов'язаних з розосередженням робітників і службовців та доставкою їх до місця роботи, організовує підвезення сил і засобів до осередки ураження, пристосовує транспорт для перевезення робітників і службовців, евакуації уражених. Проводять роботу по знезараженню транспорту. Начальниками служб призначаються начальники установ, відділів, лабораторій, на базі яких розгортається служба.

На невеликих об'єктах служби ЦО не створюються, а їх робота доручається відділам даного об'єкту. Начальниками цивільної оборони сільських районів є голови державної виконавчої влади. При них існує штаб цивільної оборони. В сільських районах утворюються прийомні евакокомісії для прийому і розміщення евакуйованого населення з міст і районів, де сталися стихійне лихо, аварія або катастрофа або інші надзвичайні ситуації. В сільських районах створюються служби, аналогічні міським районам. Особливістю медичної служби є те, що вона приймає і розміщує евакуйовані лікарні і лікувально-профілактичні установи і хворих. Крім того, в сільських районах створюються служби захисту тварин і рослин на базі ветеринарних установ та дослідних станцій.

Для вирішення завдань по охороні особового складу формувань і населення, а також для спеціальної обробки транспорту і техніки на великих підприємствах, особливі хімічної промисловості, розвинута мережа закладів цивільної оборони, до яких відносяться:

- лабораторії ЦО (радіометричні і хімічні) – для проведення різних видів аналізів на наявність отруйних і радіохімічних речовин. Вони створюються на базі існуючих заводських (цехових) лабораторій з використанням їх кадрів, обладнання, приміщення;
- стаціонарні обмивочні пункти – для повної санітарної обробки людей, заражених радіоактивними речовинами. Вони створюються на базі бань і душових павільйонів. При цих пунктах створюються площадки дезактивації одягу, взуття і засобів індивідуального захисту. Один стаціонарно обмив очний пункт за 10 год. обробляє до 800 чоловік;

- станції обеззаражування одєжі — для дегазації, дезактивації і дезинфікації одєжі, взуття, засобів індивідуального захисту. За 10 год. Одна станція обробляє 500-1000 кг майна;
- станції обеззаражування транспорту - для дегазації, дезактивації і дезинфікації транспортних засобів. Вони створюють на базі миючих відділів і гаражів. За 10 год. Станція може дезактивувати потоком води 45-55 вантажних машин.

4.4 Сили цивільної оборони

Силами цивільної оборони є аварійно-рятувальні загони, спеціалізовані та невоєнізовані формування. Безпосереднє керівництво силами цивільної оборони здійснює Міністр МНС України.

До сил цивільної оборони відносяться:

- аварійно-рятувальні загони;
- спеціалізовані формування цивільної оборони (4 загони);
- невоєнізовані формування, які створюються на ОНГ.

Аварійно-рятувальні формування виконують завдання щодо захисту населення від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха, воєнних дій, а також проводять РіІНР. Для виконання специфічних робіт, пов'язаних з радіаційною та хімічною небезпекою, значними руйнуваннями внаслідок землетрусу, аварійними ситуаціями на нафтогазодобувних промислах, створюються спеціалізовані формування.

За Указом Президента України від 27 січня 2003 року №76 здійснюється процес інтегрування військ цивільної оборони з підрозділами пожежної охорони і утворення їх на базі спеціальної державної пожежно рятувальної служби України.

Комплектування спеціалізованих формувань цивільної оборони здійснюється за контрактом з числа фахівців, що мають досвід роботи в надзвичайних ситуаціях. Підпорядковані вони штабу цивільної оборони України.

Невоєнізовані формування створюються на воєнний час в областях, містах, районах, а також на підприємствах, що продовжують свою виробничу діяльність під час війни. До формувань ЦО зараховуються працездатні громадяни України, за винятком жінок, які мають дітей віком до трьох років, та осіб, які мають мобілізаційні розпорядження (припис).

За підпорядкуванням невоєнізованих формувань ЦО поділяються на:

- об’єктові;
- територіальні.

Об’єктові формування призначені для ведення РіІНР в осередках ураження та в районах стихійного лиха безпосередньо на об’єктах. Використовуються за планами начальників ЦО об’єктів.

Територіальні формування призначені для ведення РіІНР разом з об’єктовими формуваннями на найбільш важливих об’єктах на території міста, району, області, а також у районах стихійного лиха, катастроф та інших надзвичайних ситуаціях.

За призначенням невоєнізовані формування ЦО поділяються на:

- формування загального призначення;
- формування служб.

Формування загального призначення утворюються для ведення РіІНР на об’єктах, у осередках ураження та в районах стихійного лиха. Організаційно складаються із зведених загонів (команд, груп) та рятувальних загонів.

Формування служб цивільної оборони призначаються для проведення рятувальних заходів і робіт, розвідки, знезаражування, надання медичної допомоги при проведенні рятувальних та інших невідкладних робіт, а також для посилення і забезпечення дій формувань загального призначення при їх функціонуванні в осередках ураження та районах стихійного лиха. Організаційно складаються з загонів, команд, груп, бригад, дружин, ланок.

Цивільна оборона організовується на всіх об’єктах народного господарства (промислові і сільськогосподарські підприємства, учбові заклади, установи, організації). Заходи цивільної оборони проводяться на всій території держави, як правило, заздалегідь, з врахуванням особливостей кожного району.

ВИСНОВКИ

В цій кваліфікаційній роботі було розроблено систему для автоматизованого контролю резисторів в процесі їх виробництва за рівнем нелінійності їх вольт-амперних характеристик, тобто за параметром, тісно пов'язаним з показниками надійності резисторів.

Проведено обґрунтування оптимального положення операції контролю в схемі технологічного процесу, вибору контрольованого параметру, пов'язаного з показниками надійності, методики вибору рівнів випробувальної напруги для різних типів номіналів резистора та границь розбраковки за рівнем нелінійності, а також методу і апаратури для вимірювання дуже малих рівнів нелінійності ВАХ, що характерні для резисторів. Показано напрям підвищення чутливості і точності блоку вимірювання нелінійності.

Проведено розрахунок конструкції живильника і електроприводу механізму передачі руху автоматизованого пристрою контролю.

Спроектований автоматизований пристрій може використовуватись як автономна складова частина системи автоматизованого контролю якості резисторів та автоматизована система управління технологічним процесом виготовлення резисторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт бакалаврів спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньої програми «Комп'ютеризовані системи управління та прикладне програмування» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, О.С. Голотенко – Тернопіль: ТНТУ, 2025. – 86 с.
2. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник /В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Ун-т новітніх технологій; НАУ, 2017. – 496 с.
3. Бабак В.П. Обробка сигналів: Підручник / / В.П. Бабак, В.С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К.: Либідь, 1999. - 392 с.
4. Микитишин А.Г. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / Укладачі: А.Г. Микитишин, М.М. Митник, О.С. Голотенко, В.В. Карташов. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с.
5. Бабак В.П. Теорія ймовірностей, випадкові процеси та математична статистика: Підручник / В.П. Бабак, Б.Г. Марченко, М.Є. Фриз. – К.: Техніка, 2004. - 288 с.
6. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: Підручник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко. – Херсон: Олді-плюс, 2013.–538 с.
7. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2 т./М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борець, А. Ковальчик. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 1300 с.

8. Поліщук Є.С. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, Б.І. Стадник та ін.; за ред. Є.С. Поліщука. – Львів: Вид-во Бескид Біт. 2012. – 618 с.
9. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
- 10.Абракітов В. Е.Конспект лекцій з курсу «Автоматизація технологічних процесів» /В.Е. Абракітов; Харків. нац. ун-тміськ. госп-ваім. О. М. Бекетова.– Харків : ХНУМГім. О. М. Бекетова, 2016. –80с.
- 11.Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів [Текст]: Підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2015. – 378 с.
- 12.Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів [Текст]: Підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк, Національний ун-т харч. технологій. – К.: НУХТ, 2013. – 796 с.
- 13.Ладанюк А.П. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів [Текст]: монографія / А.П. Ладанюк, О.А. Ладанюк, Р.О. Бойко, В.В. Іващук, Д.О. Кроніковський, Д.А. Шумігай. - К.: «Інтер Логістик Україна», 2015. - 408 с.
- 14.Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: Навчальний посібник / Куцик А., Місюренко В.. — Львів: Львівська політехніка, 2011. — 200 с.
- 15.Житецький В.Ц. Основи охорони праці.- Львів: Афіша, 2000.- 350 с.
16. Губський А. І., Цивільна оборона.- К.: Міністерство освіти, 1995. - 216 с.
- 17.Пістун І.П., “Безпека життєдіяльності” – Суми: Університетська книга, 2000, - 302с.
- 18.Депутат О.П., Коваленко І.В., Мужик І.С. Цивільна оборона. Навчальний посібник / За ред. Полковника В.С.Франчука. – Львів : Афіша, 2000. – 336с.