

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та системи неруйнівного контролю

До захисту допущено:
Завідувач кафедри _
_____ Юрій КИРИЧУК
« ___ » _____ 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Роботизовані і автоматизовані системи
неруйнівного контролю та діагностики»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Автоматизована вихрострумova система контролю діаметру дроту для
проволочного стану»

Виконав (-ла):

студент IV курсу, групи ПК-91
Касянчик Євгеній Анатолійович _____

Керівник:

Професор, д.т.н., професор,
Куц Юрій Васильович _____

Рецензент:

к.т.н., доцент
Добролюбова Марина Валеріївна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2023

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП ПК91. 000.000 ПЗ	Пояснювальна записка	56	
3	A2	ДП ПК91. 004.000	Складальне креслення	1	
4	A1	ДП ПК91. 001.000	Схема електрична принципова	1	
5	A1	ДП ПК91. 003.000	Схема електрична структурна	1	
6	A1		Плакат	1	

				ДП ПК91.002.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Касянчик Є.А.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Куц Ю.В.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Гр. ПК-91	
Н/контр.						
Зав.каф.						

**Пояснювальна записка до дипломного проєкту на тему:
«Автоматизована вихрострумова система контролю діаметру
дроту для проволоченого стану»**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та системи неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Роботизовані і автоматизовані системи неруйнівного контролю та діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.В. КИРИЧУК

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

**на дипломний проєкт студенту
Касянчику Євгенію Анатолійовичу**

1. Тема проєкту «Автоматизована вихрострумова система контролю діаметру дроту для проволочного стану», керівник проєкту Куц Юрій Васильович, професор, затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 2057-с
2. Термін подання студентом проєкту 10 червня 2023 року.
3. Вихідні дані до проєкту: матеріал дроту – мідь; діаметр дроту – 2 мм; допуск на діаметр – $\pm 0,2$ мм ; температура ОК – до 50 °С; швидкість руху дроту – до 1 м/с.
4. Зміст пояснювальної записки:
 - 1) аналітичний огляд;
 - 2) розрахунок системи «вихрострумний перетворювач – об'єкт контролю»;
 - 3) розроблення функціональної схеми;
 - 4) розрахунок принципової схеми;
 - 5) висновок;

б) список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (4 листи А1): структурна схема, схема електрична принципова, складальне креслення ВСП та деталювання; плакат «Фізичні принципи функціонування вихрострумової системи контролю діаметру дроту».

7. Дата видачі завдання 20 лютого 2023 року _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз особливостей об'єкту контролю	01.04.2023-16.05.2023	
2	Обґрунтування вибору вихрострумового методу контролю	10.05.2023-20.05.2023	
3	Постановки завдання	14.05.2023-20.05.2023	
4	Вибір структурної схеми	20.05.2023-28.05.2023	
5	Розрахунок всіх елементів	20.05.2023-01.06.2023	
6	Проектування дефектоскопа	25.05.2023-03.06.2023	
7	Оформлення дипломного проекту	10.06.2023-03.06.2023	
8	Підготовка презентації	14.06.2023-14.06.2023	

Студент

Євгеній КАСЯНЧИК

Керівник

Юрій КУЦ

2023

Анотація

Дипломний проєкт присвячений розробленню та дослідженню вихрострумowego методу контролю якості дроту. У роботі були проведені розрахунки вихідної напруги вихрострумowego перетворювача, які виконані з урахуванням різних впливаючих факторів та параметрів системи. Основна проблема, яку вирішує дипломний проєкт, полягає у підвищенні ефективності контролю якості дроту шляхом використання безконтактного вихрострумowego методу, який забезпечує високу точність виявлення дефектів типу вм'ятин та інших порушень діаметру дроту. В графічній частині дипломного проєкту приведена структурна схема розробленої системи, складальний кресленик вихрострумowego перетворювача та його деталювання, електрична принципова схема та плакат «Фізичні принципи функціонування вихрострумовой системи контролю діаметру дроту» схему.

Мета роботи: вдосконалення процесу контролю діаметру дроту в технологічному процесі його виготовлення шляхом використання безконтактного вихрострумowego методу, який забезпечує високу точність виявлення дефектів і можливість контролю в динамічному режимі.

Abstract

The diploma project is devoted to the development and research of the eddy current method of wire quality control. In the work, calculations of the output voltage of the eddy current converter were carried out, which were performed taking into account various influencing factors and system parameters. The main problem solved by the diploma project is to increase the efficiency of wire quality control by using the non-contact eddy current method, which ensures high accuracy of detecting defects such as dents and other violations of the wire diameter. The graphic part of the diploma project includes a structural diagram of the developed system, an assembly drawing of the eddy current converter and its detailing, an electrical schematic diagram and a poster "Physical principles of operation of the eddy current system for controlling the diameter of the wire" diagram.

The purpose of the work: improvement of the process of controlling the diameter of the wire in the technological process of its manufacture by using the non-contact eddy current method, which provides high accuracy of detecting defects and the possibility of control in dynamic mode.

Зміст

Вступ.....	10
1.АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРОТУ.....	11
1.1.Етапи виготовлення металевого дроту.....	11
1.2.Підприємства в Україні які займаються виготовленням дроту.....	17
1.2.1.Криворізький завод з виробництва металевого дроту та металевї сітки.....	17
1.2.2.Публічне акціонерне товариство «ОДЕСЬКИЙ КАБЕЛЬНИЙ ЗАВОД „ОДЕСКАБЕЛЬ“».....	19
1.2.3.Інші великі підприємства України які займаються виробництвом дроту та їх методи дефектоскопії.....	22
1.3. Існуючі методи контролю діаметру дроту у виробництві.....	23
1.4. Українські стандарти щодо товщини дроту.....	27
Висновки до першого розділу.....	30
2.Розрахунок вихрострумowego перетворювача	32
2.1. Розрахунок геометричних параметрів ВСП.....	32
2.2. Розрахунок ефективного діаметру вимірювальної котушки ...	32
2.3. Розрахунок сили струму збудження ВСП.....	33
2.4. Розрахунок електричних сигналів ВС.....	35
2.5. Розрахунок електричних сигналів ВСП для граничних значень діаметрів дроту.....	36

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		8

Висновки до другого розділу	39
3.Вибір та розрахунок електричних схем системи.....	41
3.1.Розроблення схеми електричної структурної та опис роботи приладу.....	41
3.2. Розроблення схеми електричної принципової та вибір елементів бази для її реалізації.....	43
Диференційний підсилювач(TL084).....	43
Амплітудний детектор(AD630).....	44
Повторювач(TL071).....	46
Джерело опорної напруги(LM317).....	47
Компаратор(LM339).....	50
Висновок до 3 розділу.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ВСТУП

Виявлення дефектів дроту в процесі його виробництва є важливою технологічною задачею забезпечення якості виготовленої продукції. Є безліч факторів які впливають на погіршення якості дроту. Основна причина дефектів дроту – це недостатня якість матеріалу або процесу виготовлення, наприклад, нерівномірний натяг, недостатня змащеність сировини під час виробництва, зношування обладнання і технічних засобів. Інші можливі причини включають неправильне зберігання, транспортування і обробку матеріалу.

Недоліки в дроті можуть мати різні форми, такі як відсутність оболонки, відкриті плями, нерівномірна структура, пошкодження, вигини, розтягування то що. Якщо дефекти не виявляються та виробництво продовжується, це призводить до зниження якості продукції, збільшення кількості браку продукції та погіршення репутації компанії.

Якщо взяти, наприклад, дефект нерівномірна товщина дроту, то вона може призвести до різних проблем, таких як зниження міцності і зносостійкості, погіршенню провідності тощо. Відсутність відповідності зазначеному діаметру – це проблема як компанії (яка витратила гроші на продукцію не відповідаючу стандартам, програла в конкуренції та втратила клієнтів), так і споживача (який використовуючи неякісну продукцію наражає себе, що найменше, на вихід з ладу приладу або і зовсім на велику аварію).

Для запобігання виготовленню дроту з нерівномірною товщиною, виробники повинні вживати заходів щодо контролю якості на кожному технологічному етапі виробництва. Наприклад, забезпечення правильної змащеності матеріалу, підтримання необхідного натягу на матеріалі, контроль температури під час виробництва та, що найголовніше, оснащення і оновлювання технології дефектоскопії.

Крім того, важливо забезпечувати регулярне обслуговування та заміну зношених деталей на виробництві.

Основними завданнями, які розв'язуються в рамках даної роботи є:

- Огляд основних методів та аналіз НК для контролю дроту.
- Електричний розрахунок вихрострумовго перетворювача.
- Розроблення структури вихрострумового дефектоскопу.
- Розроблення конструкції вихрострумовго перетворювача

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						10
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРОТУ

1.1 Етапи виготовлення металевого дроту

Звичайно, процес виготовлення дроту може відрізнятися залежно від матеріалу та розміру дроту, а також від конкретної технології виробництва. Однак загальний процес виготовлення дроту складається з кількох етапів.

Нижче описані етапи, які зазвичай присутні в процесі виробництва дроту.

1. Підготовчий етап.

Перед витягуванням металу у вигляді дроту необхідно провести підготовчі операції, щоб забезпечити максимальну якість витягнутого дроту. Основні етапи підготовки металу для витягування наступні:

1.1. *Відбір сировинного матеріалу.* Метал для виготовлення дроту повинен бути високоякісним і містити необхідні легуючі елементи для отримання потрібних властивостей витягнутого дроту.

1.2. *Обробка поверхні металу.* Перед витягуванням метал повинен бути очищений від бруду, жирів, інших забруднень та окислення на поверхні. Для цього можуть використовуватися різні методи, такі як хімічна чи механічна обробка поверхні.

1.3. *Розмірність металу.* Для витягування дроту метал повинен мати потрібний діаметр та геометричні параметри.

1.4. *Нагрівання металу.* Перед витягуванням метал повинен бути нагрітий до потрібної температури, щоб зменшити його міцність та збільшити пластичність, що полегшить процес витягування. Температура нагрівання залежить від матеріалу і може бути в

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						11
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазоні від кімнатної температури до декількох сотень градусів Цельсія.

На початку процесу з бруска чи готових заготовок матеріалу вирізають заготовки, які відповідають діаметру дроту, що планується виготовити. Заготовки можуть бути вирізані механічним або хімічним способом. Після вирізання заготовок, їх піддають термічній обробці, що допомагає поліпшити їхні механічні властивості. Наприклад, метали можуть бути нагріті до високої температури, а потім швидко охолоджені в процесі калібрування.



Рис. 1.1. Одержання листового металу на прокатному стані для подальшої екструзії

Матеріали в твердому стані формуються в потрібні форми шляхом застосування сили або тиску. Матеріал, що підлягає обробці, може бути у відносно твердому та стабільному стані та у таких формах, як брусок, лист, гранули чи порошок, або він може бути у м'якій, пластичній чи шпаклівковій формі (рис. 1.1.). Тверді матеріали можна формувати гарячим або холодним.

2. Витягування (Extrusion).

На цьому етапі заготовки пропускають через пристрій для витягування, який складається з набору роликів. Заготовка проходить

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						12
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

через серію роликів, які поступово зменшують її діаметр та підвищують довжину. Цей процес відбувається за допомогою великої кількості тиску та високої швидкості, що дозволяє отримувати дрібніші діаметри дроту

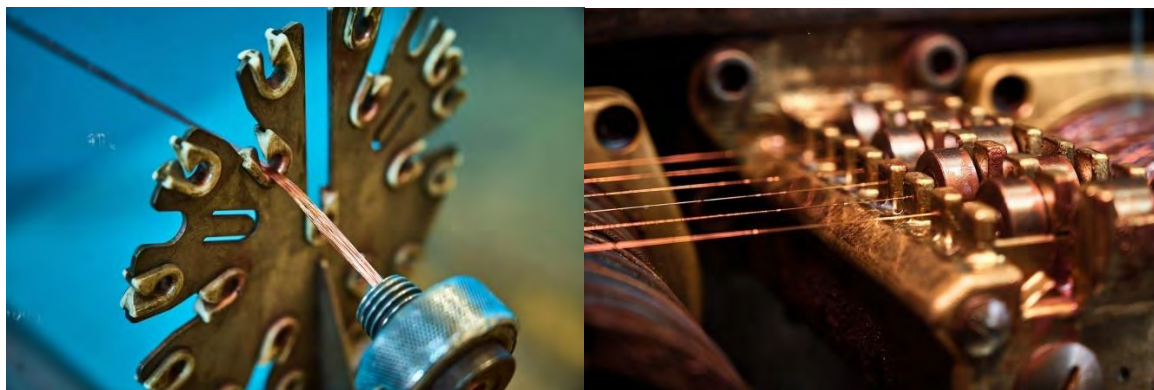


Рис. 1.2. Витягування дроту

Для визначення температури витягування металевого дроту рекомендується дотримуватися встановлених стандартів і рекомендацій, які можуть відрізнятися залежно від конкретного виду металу та умов витягування.

Стандарти ASTM International, які містять вимоги до якості металевих матеріалів та методи їх випробувань. Зокрема, ASTM E8/E8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials містить вимоги до витягування дроту і може надати рекомендації щодо температури витягування.

Також, виробники металевого дроту та обладнання для його виготовлення можуть надавати рекомендації щодо температури витягування, які базуються на їх власних дослідженнях та практичному досвіді.

Оптимальна температура витягування може відрізнятися в залежності від конкретних умов виробництва та обладнання, тому рекомендації слід використовувати як орієнтир, а не безумовну інструкцію.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						13
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Конкретні приклади стандартів та температур

- Для вуглецевої сталі ASTM A227, рекомендується нагрівати дріт до температури в діапазоні 370-420 °C перед витягуванням (згідно з даними виробника Leggett & Platt).
- Згідно з дослідженнями, оптимальна температура витягування дроту зі сталі типу AISI 316L знаходиться в діапазоні 1150-1250 °C.
- Для витягування дроту з алюмінієвої сплави AA6061, рекомендується нагрівати матеріал до температури 475-510 °C (згідно з даними з наукових статей).

Варто зазначити, що в кожному конкретному випадку оптимальна температура витягування може залежати від багатьох чинників, включаючи тип металу, діаметр дроту, форму виробу, умови витягування тощо. Тому важливо дотримуватися рекомендацій виробника і стандартів, а також проводити відповідні випробування, щоб знайти оптимальну температуру витягування для конкретного випадку.

3. Витягування в калібрах (Drawing).

Після витягування заготовки мають форму дроту, але ще містять різні неоднорідності. Наступним етапом є витягування в калібрах, що допомагає поліпшити якість для витягування в калібрах заготовку пропускають через серію калібрів з поступово зменшуваною діаметром, які мають поліровану поверхню. Дрібніші діаметри дроту досягаються шляхом багаторазового витягування в калібрах, що дозволяє вирівняти структуру металу та знизити його діаметр до необхідних розмірів.

4. Різання дроту (Cutting).

Після витягування в калібрах дрібні кусочки дроту, які вже мають необхідний діаметр, можуть бути вирізані на потрібну довжину. Це зазвичай виконується з використанням спеціального обладнання, наприклад, механічного ножа або гідроабразивного різального станку.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						14
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

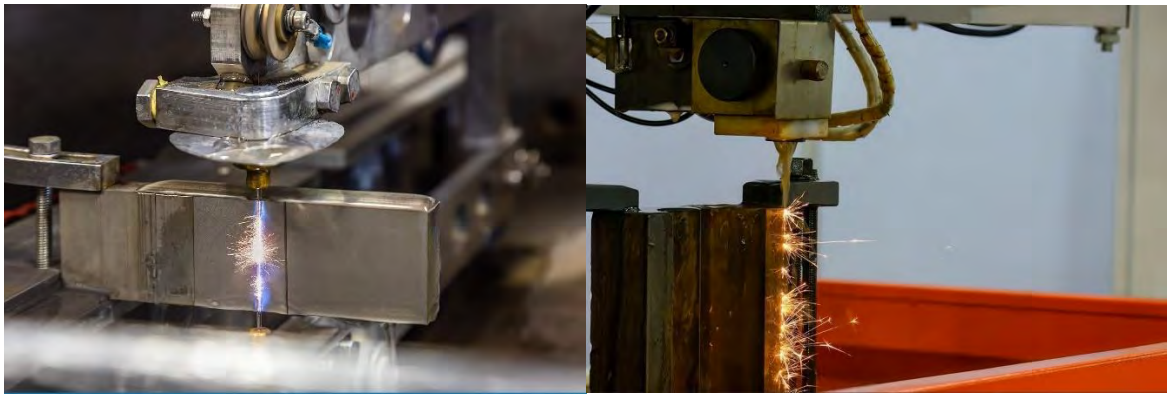


Рис. 1.3. Різання дроту

5. Обробка поверхні (Surface treatment):

В залежності від призначення дроту, його поверхню можуть обробляти різними способами, щоб забезпечити його властивості. Наприклад, дріт може бути полірований, щоб зменшити тертя, або покритий захисним шаром, щоб запобігти корозії. Залежно від виду експлуатації його покриття може бути:

- 5.1. Гальванічне покриття: це процес покриття металу шаром іншого металу за допомогою електролізу. Наприклад, мідне покриття може бути застосоване на сталевому дроті для запобігання корозії.
- 5.2. Пластикове покриття: дріт можна покрити пластиком, щоб захистити його від вологи і корозії. Це часто використовується для дроту, який буде використовуватися у вологому середовищі, наприклад, у воді.
- 5.3. Покриття емаллю: емаль – це скло, що сплавляється на метал. Емаль може бути нанесена на металевий дріт для захисту від корозії і зносу. Емаль зазвичай наносять на дріт, що використовується у виробництві приладів та інструментів.
- 5.4. Покриття порошком: порошкова покраска може бути використана для покриття металевого дроту. Після нанесення порошкової фарби

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						15
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

на дрiт вiн пiддається обробцi високою температурою, що забезпечує стiйкiсть до корозii та вiдмивання.

- 5.5.** Покриття оловом: олово може бути використане як покриття для металевого дроту. Олово має вiдмiнну стiйкiсть до корозii та може бути використане в екстремальних умовах.

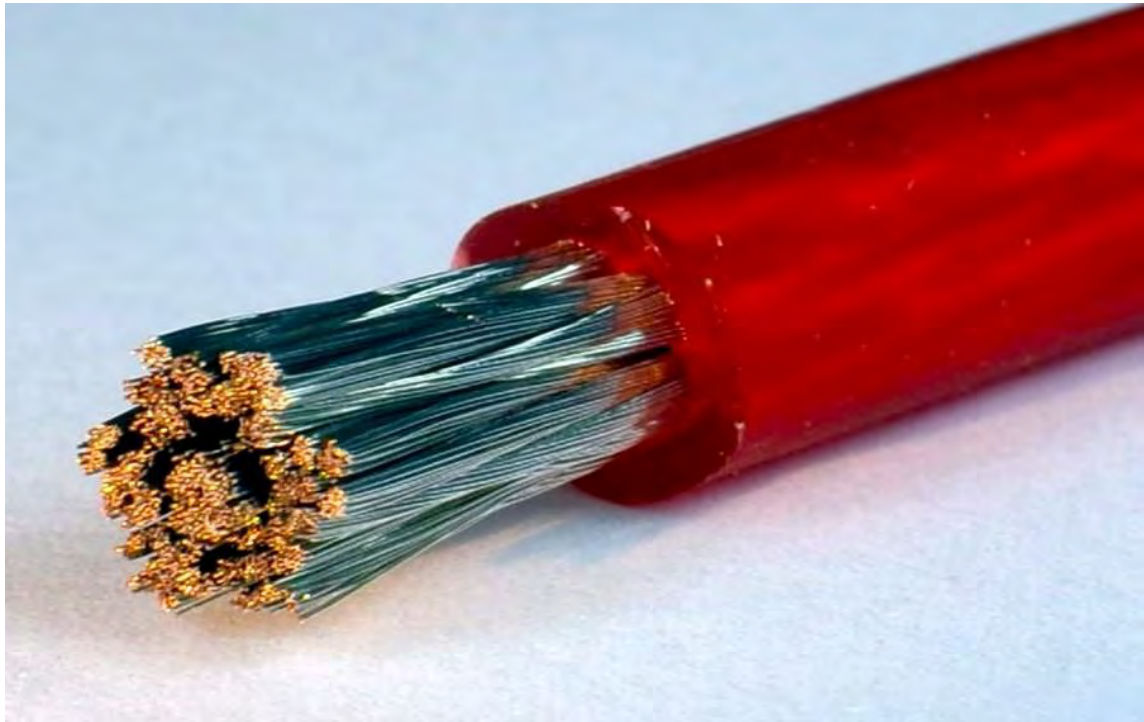


Рис. 1.4. Лужена мiдь (мiдь покрита оловом)

6. Пакування та зберiгання (Packaging and storage):

Останнiй етап – це пакування та зберiгання дроту. Зазвичай дрiбнi кусочки дроту пакуються в бандли або катушки для зручностi транспортування та зберiгання. Важливо зберiгати дрiт в сухому та прохолодному мiсцi, щоб запобiгти корозii та iншим пошкодженням.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						16
Зм.	Арку	№ докум.	Пiдпис	Дата		

1.2. Підприємства в Україні які займаються виготовленням дроту

1.2.1. Криворізький завод з виробництва металевого дроту та металеві сітки

Криворізький завод з виробництва металевого дроту та металеві сітки є одним з найбільших та найстаріших підприємств металургійної галузі в Україні. Завод знаходиться в місті Кривий Ріг на півдні України та є частиною металургійної групи "Метінвест".

Це виробництво було заснований у 1930 році і з тих пір було кілька разів модернізоване та розширене. На сьогоднішній день завод має дві лінії виробництва, які дозволяють виробляти різні види металевого дроту, включаючи сталевий дріт, дріт з оцинкованої сталі, дріт зі сталі низького вуглецю та дріт з нержавіючої сталі.

Крім того, завод виробляє металеву сітку для різноманітних застосувань, таких як забори, огорожі, фільтраційні системи та інші. Продукція заводу експортується в більш ніж 60 країн світу, що свідчить про високу якість та конкурентоспроможність виробів.

Криворізький завод з виробництва металевого дроту та металеві сітки має велику кількість відділень, включаючи відділ виробництва, інженерів, маркетингу та продажів, досліджень та розробок. Завод займає більше 10 тисяч людей і має значний вплив на економіку регіону та всієї України.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						17
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



*Рис. 1.5. Кадри з відео яке зняте на криворізькому заводі з виробництва
металевого дроту під час його виготовлення
«https://www.youtube.com/watch?v=pMQ_FOG7abw&t=2s»*

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.2.2. Публічне акціонерне товариство «ОДЕСЬКИЙ КАБЕЛЬНИЙ ЗАВОД „ОДЕСКАБЕЛЬ“»



Рис. 1.6. Фасад головного входу «ОДЕСКАБЕЛЬ»

Публічне акціонерне товариство «ОДЕСЬКИЙ КАБЕЛЬНИЙ ЗАВОД „ОДЕСКАБЕЛЬ“» (Одескабель) є також одним з провідних виробників кабельно-провідникової продукції в Україні. Компанія була заснована у 1949 році.

Вони спеціалізуються на виробництві широкого спектру кабельно-провідникової продукції, включаючи енергетичні кабелі, кабелі для зв'язку, кабелі для передачі даних, кабелі для спеціальних застосувань і багато іншого. Компанія виготовляє як стандартні кабелі, так і розробляє індивідуальні рішення для задоволення конкретних потреб клієнтів.

Це означає що вона має сучасні виробничі потужності і застосовує передові технології для виготовлення якісної продукції. Компанія має власну науково-дослідну лабораторію, де проводяться випробування і

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		19

дослідження продукції з метою забезпечення високої якості і відповідності стандартам.

Будучи спеціалістом по виробництву телекомунікаційних кабелів, Одеський кабельний завод освоїв і випускає широкий асортимент мідних і волоконно-оптичних кабелів зв'язку, радіочастотних, а також цифрових або LAN-кабелів на які є попит в останні десятиліття та номенклатура яких є найширшою в країнах ЄС. Крім цього, ПАТ «Одескабель» пропонує своїм споживачам силові кабелі, проводи й шнури різного призначення.

Основними споживачами продукції «Одескабель» є компанії, що працюють в галузях телекомунікацій, енергетики, будівництва, машинобудування, гірничодобувної галузі і ряді інших галузей. В Україні споживачами продукції «Одескабель» є найбільші оператори зв'язку - «Укртелеком», «Vodafone», «Київстар», «Lifecell», «Інтертелеком», група компаній «Вега», атомні електростанції, залізниця, «Укренерго», «Укртранснафта», «Укртатнафта», «Нафтогаз», «Криворіжсталь» та інші.



Рис. 1.7. ПАТ «Запоріжсталь» один із проектів, реалізованих з використанням продукції „ОДЕСКАБЕЛЬ“

Дефектоскопія дроту, проведена на підприємстві Одескабель, включає застосування різних методів і технічних засобів для виявлення

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						20
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

потенційних дефектів та недоліків у провідниковій структурі.

Один з основних методів, використовуваних для дефектоскопії дроту, є візуальний огляд. Він полягає в огляді поверхні дроту з метою виявлення зовнішніх дефектів, таких як подряпини, тріщини, нерівності або пошкодження ізоляційного покриття, що є найчастішими пошкодженнями при виробництві даної продукції. Для покращення точності виявлення дефектів можуть використовуватися оптичні засоби, наприклад, лупи або мікроскопи.

Однак внутрішні дефекти дроту можуть бути важкодоступні для візуального огляду. Тому на Одескабелі також використовуються інші методи дефектоскопії, такі як ультразвукова дефектоскопія та рентгенівська дефектоскопія.

Ультразвукова дефектоскопія базується на використанні ультразвукових хвиль, які проникають у провідник і відбиваються від внутрішніх дефектів. За допомогою спеціального обладнання та сенсорів, сигнали ультразвука обробляються та аналізуються для виявлення відхилень, що свідчать про наявність дефектів, таких як тріщини, включення або неправильна компактність матеріалу.

Рентгенівська дефектоскопія використовує рентгенівське випромінювання для проникнення в матеріал дроту. Рентгенівські промені проникають через провідник і реєструються на фільмі або електронних сенсорах. Аналіз отриманих зображень дозволяє виявити дефекти, такі як тріщини, нерівності в структурі або недоліки в металевому складі дроту.

Ці методи дефектоскопії, використовувані на підприємстві Одескабель, допомагають забезпечити високу якість дроту та виявлення потенційних дефектів, що можуть вплинути на безпеку та надійність електричних систем, в яких використовується цей дріт.

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
						21
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.3. Інші великі підприємства України які займаються виробництвом дроту та їх методи дефектоскопії

ПАТ "УкрВІТМЕТ" – одне з найбільших підприємств в Україні, яке спеціалізується на виробництві металевого дроту. Для контролю якості свого продукту, вони використовують різні методи дефектоскопії, включаючи вихрострумний метод, ультразвуковий контроль та візуальний огляд.

ПАТ "Метінвест" – це ще одне велике підприємство в Україні, яке спеціалізується на виробництві металевих виробів, включаючи дріт. Для забезпечення високої якості своєї продукції, вони використовують різні методи дефектоскопії, такі як вихрострумний контроль, ультразвуковий контроль та магнітний контроль.

ПрАТ "Дружківський металургійний комбінат". Це підприємство, що спеціалізується на виробництві металевої продукції, включаючи дріт. Для контролю якості свого дроту, вони використовують різні методи, такі як вихрострумний метод, ультразвуковий контроль та магнітний контроль.

ПАТ "Северсталь". Це велике металургійне підприємство, що виробляє різні металеві вироби, включаючи дріт. Для контролю якості своєї продукції, вони використовують різні методи дефектоскопії, включаючи вихрострумний контроль, ультразвуковий контроль та магнітний контроль.

Ці підприємства, разом з багатьма іншими в Україні, здійснюють постійні дослідження та вдосконалюють свої методи дефектоскопії для забезпечення високої якості своєї продукції. Детальнішу інформацію про їх методи дефектоскопії можна знайти на їхніх офіційних веб-сайтах або в наукових публікаціях, присвячених неруйнівному контролю в металургійній промисловості.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						22
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3: Існуючі методи контролю діаметру дроту у виробництві

Відсоток браку на виробництві металевих дротів може варіюватися в залежності від багатьох факторів, таких як використовуваний матеріал, технологічні параметри, кваліфікація працівників, обладнання та інші. Тому точний відсоток браку може бути різним для кожного виробника.

Проте, виробники металевих дротів зазвичай стежать за якістю продукції та застосовують систему контролю якості, щоб зменшити відсоток браку. У багатьох випадках, відсоток браку на виробництві металевих дротів може бути менше 1%, але це може залежати від конкретної технології виробництва, обладнання та вправності працівників.

Нажаль така інформація на виробництвах є конфіденційною і більш детально розібрати та проаналізувати конкретні фактори які впливають на цей показник важко. Але наприклад у журналі “Wire Journal International”, який спеціалізується на процесі виробництва дроту зазначаються цифри від менше одного відсотка і до десяти.

Для запобігання дефекту нерівномірної товщини є багато методів. Серед них можна виділити наступні.

1) Лінійний вимірювач. Це один з найпоширеніших методів контролю діаметру дроту. Він вимірює діаметр дроту за допомогою датчика, який рухається вздовж дроту та зчитує значення діаметру. Цей метод дозволяє виміряти діаметр дроту з високою точністю.

2) Камера візуального контролю – використовується для візуального контролю діаметру дроту. Така система складається з камери, комп'ютера та програмного забезпечення. Камера зазвичай розташовується над лінією виробництва дроту та знімає зображення дроту, що проходить під нею. Після цього зображення передається до комп'ютера, де програмне забезпечення аналізує його та визначає товщину дроту.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						23
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Система камери візуального контролю за товщиною дроту може бути налаштована для виявлення різних типів дефектів, таких як нерівності, плями, бульбашки повітря, тріщини та інші. Якщо система виявляє дефект, то вона може сповістити про це оператора, який може вжити заходів для усунення проблеми.

Камера візуального контролю за товщиною дроту є ефективним засобом контролю товщини дроту на виробництві. Вона дозволяє точно визначити товщину дроту та виявляти будь-які дефекти, що можуть вплинути на якість та продуктивність виробництва.

3) Мікрометр. Мікрометр – це пристрій для вимірювання діаметру дроту, який складається з двох вимірювальних поверхонь, що затискаються на дріт. Мікрометри дозволяють виміряти діаметр дроту з точністю до мікрометрів.

4) Лазерний вимірювач – використовується для вимірювання діаметра дроту за допомогою лазерного проміню, який проходить повз дріт.

Головною функцією лазерного вимірювача є контроль за товщиною дроту, що дозволяє забезпечити якість продукції та запобігти можливій відмінності у розмірах продукту, що може призвести до браку. Лазерний вимірювач може бути встановлений на лінію виробництва, де дріт проходить через оптичну систему.

Принцип роботи лазерного вимірювача на виробництві дроту полягає в тому, що лазерне випроміння падає на поверхню дроту, а фотодетектор реєструє його відбиття. За допомогою електронної обробки сигналу, отриманого від фотодетектора, лазерний вимірювач визначає точну товщину дроту. Точність вимірювання залежить від роздільної здатності лазерного вимірювача та якості його калібрування.

Крім того, лазерний вимірювач може бути обладнаний різними додатковими функціями, такими як автоматичний контроль за

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
						24
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

рівномірністю товщини дроту, моніторинг відхилень у виробництві та автоматичне налаштування на оптимальні параметри виробництва.

У результаті використання лазерного вимірювача на виробництві дроту можна забезпечити якість продукту та знизити відсоток браку.

5) Контроль за допомогою пропускання через калібр: Цей метод полягає у пропусканні дроту через калібр – пристрій з отвором в формі потрібного діаметру.

Калібри – це спеціальні інструменти, які використовуються для точного вимірювання розмірів та геометричних параметрів виробу. Калібри для вимірювання товщини дроту можуть мати різну конструкцію, але основний принцип роботи полягає в тому, що калібр складається з двох пластин, які можуть бути рухомі вздовж дроту.

Коли дріт проходить між пластинами калібра, пластини автоматично притискаються до дроту, що дозволяє точно виміряти його товщину. Якщо товщина дроту змінюється на деяких ділянках, то калібр зможе виявити ці нерівності та допомогти здійснити коригування виробничого процесу.

Наприклад, якщо дріт занадто тонкий, пластини калібра не будуть міцно притискатися до дроту, що буде свідчити про нерівномірну товщину дроту. У такому випадку, оператор може змінити режим роботи обладнання для збільшення товщини дроту.

У разі виявлення значних відхилень товщини дроту, можуть бути вжиті додаткові заходи для усунення проблеми, наприклад, зміна режиму виробництва, внесення корекцій в технологічний процес або заміна обладнання.

б) Вихрострумний метод. Цей метод є одним з неруйнівних методів контролю, який використовується для виявлення дефектів та аномалій у електропровідних матеріалах. Метод ґрунтується на використанні вихрострумів, які виникають внаслідок змін магнітного поля поряд з поверхнею матеріалу.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						25
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи вихрострумового методу полягає у використанні спеціального генератора вихрострумів, який створює змінне магнітне поле біля поверхні досліджуваного об'єкта. При цьому утворюються вихроструми, що проникають у матеріал на певну глибину. Залежно від фізичних властивостей матеріалу та його структури, зміни вихрострумів можуть виявляти наявність дефектів, таких як тріщини, поглиблення, включення та інші невідповідності.

Переваги вихрострумового методу пов'язані з його безконтактністю та багатопараметровістю. Безконтактний характер методу дозволяє проводити контроль матеріалів без необхідності прямого контакту з ними. Це робить його особливо ефективним у випадках, коли контакт з матеріалом небажаний або неможливий, наприклад, при високих температурах, обробці важкодоступних об'єктів або контролі вузьких проміжків чи за умови куту об'єкта контролю відносно перетворювача.

Багатопараметровість вихрострумового методу полягає в його здатності залучати і аналізувати різноманітні параметри матеріалу. Зміни вихрострумів залежать від таких факторів, як електрична провідність, магнітна проникність, геометрія дефектів, розмір та форма об'єкта. Це дозволяє використовувати вихрострумовий метод для визначення різних параметрів матеріалу, таких як товщина стінки, глибина тріщини, розташування дефектів та інші характеристики.

Окрім цього, вихрострумовий метод вигідно виділяється з поміж інших методів контролю високою чутливістю та швидкістю, що дозволяє проводити виміри у реальному часі.

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
						26
<i>Зм.</i>	<i>Арку</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.4: Українські стандарти щодо товщини дроту

Український національний стандарт (ДСТУ) "Сталевий дріт. Технічні умови" ДСТУ 2770-94 визначає вимоги до товщини сталевих дротів.

Таблиця 1.1. Технічні умови для металевих дротів за ДСТУ 2770-94

Клас точності	Нормальна товщина дроту, мм	Максимальне відхилення від нормальної товщини, мм
1А	0,10 - 0,25	0,02
1Б	0,26 - 0,50	0,03
2А	0,51 - 0,80	0,04
2Б	0,81 - 1,20	0,05
3А	1,21 - 1,60	0,06
3Б	1,61 - 2,00	0,07

Таблиця 1.2. Технічні умови для мідних дротів за ДСТУ 3087:2015

Клас точності	Нормальна товщина дроту, мм	Максимальне відхилення від нормальної товщини, мм
1	0,05 - 0,10	0,01
2	0,11 - 0,25	0,02
3	0,26 - 0,50	0,03
4	0,51 - 0,80	0,04
5	0,81 - 1,20	0,05
6	1,21 - 1,60	0,06
7	1,61 - 2,00	0,07

ДСТУ 2770-94 є стандартом України, який визначає технічні вимоги до мідних проводів, що використовуються для передачі електричної енергії в електричних мережах змінного струму частотою до 100 Гц включно, з напругою до 660 В включно.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						27
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Стандарт містить вимоги до діаметра проводу, максимальної опірності проводу, випробування на стійкість до впливу тепла та розтягувальних навантажень, електричної ізоляції, тестування на згин та на відкол, а також вимоги до маркування та упаковки мідних проводів.

ДСТУ 2770-94 є обов'язковим для використання в Україні при виробництві, реалізації та експлуатації мідних проводів для електромереж.

Зокрема, стандарт встановлює вимоги до діаметру дроту, які повинні відповідати певним класам точності відповідно до таблиць, що наведені у стандарті. Такі класи точності, як правило, визначаються допустимим відхиленням від заданої товщини. Стандарт також встановлює вимоги до механічних властивостей сталевого дроту, зокрема, мінімальну межу міцності та мінімальну відносну подовження при розриві.

Крім того, стандарт встановлює вимоги до зовнішнього вигляду дроту, такі як присутність варикозних деформацій, дефектів поверхні, корозії тощо. Для кожного виду сталевого дроту встановлюються відповідні вимоги до товщини, які залежать від призначення дроту та умов його експлуатації.

Наприклад, для дроту, що використовується для армування бетонних конструкцій, вимоги до товщини можуть бути більш жорсткими, ніж для дроту, що використовується для виготовлення сітки. ДСТУ 2770-94 є офіційним стандартом в Україні та він розроблений на основі відповідних міжнародних стандартів та нормативних документів. Він є важливим джерелом інформації для виробників сталевого дроту та споживачів, які мають інтерес до його використання.

Нижче в таблиці 1.3. наведені стандарти для металевих дротів, виготовлених з різних металів.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						28
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3. ДСТУ, в яких наведено дані щодо товщини дроту

ДСТУ 4457:2005	“Дріт сталевий гладкий загального призначення. Технічні умови”	Загальне застосування	0.2-16 мм
ДСТУ 3087:2015	"Дріт мідний та латунний гладкий. Технічні умови"	Виробництво електротехнічної апаратури та кабелів	0.2-16 мм
ДСТУ 2660:2015	"Дріт залізничний зі сталі марок Ст5пс, Ст5сп, Ст10, Ст20, Ст30, Ст35, Ст40, Ст45, Ст50, Ст55, Ст60, Ст65, Ст70, Ст80. Технічні умови"	Виробництво залізничної арматури	3-12 мм
ДСТУ 3660:2013	"Дріт залізний арматурний. Технічні умови"	Виробництво арматурних виробів	4-14 мм
ДСТУ 4805:2007	"Дріт мідний та латунний з гладкої проволочи. Технічні умови"	Виробництво електротехнічної апаратури та кабелів	0.2-16 мм

Висновки до першого розділу

У рамках розділу були розглянуті різні види дефектоскопії, яку можна застосувати для контролю дротів, а також проведено аналіз підприємств в Україні, які займаються виготовленням дроту та їх методами дефектоскопії. Також були розглянуті конкретні стандарти якості дроту відповідно до ДСТУ.

У першому розділі були розглянуті різні методи дефектоскопії, такі як вихрострумова дефектоскопія, ультразвукова дефектоскопія, рентгенівська дефектоскопія та інші. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, і вибір методу залежить від конкретних вимог та умов виробництва.

Було проведено огляд підприємств в Україні, які займаються виготовленням дроту, наведено перелік таких підприємств із зазначенням їх методів дефектоскопії та інструментарію, який вони використовують для контролю якості продукції.

Окремо були наведені Державні стандарти України (ДСТУ), що стосуються вимог щодо якості дроту. Ці стандарти встановлюють вимоги до різних параметрів якості дроту, включаючи допустимі рівні дефектів та вимоги до фізичних властивостей матеріалу.

Загалом, проведений аналіз видів дефектоскопії, підприємств в Україні та стандартів якості дроту дозволяє зробити висновок про наявність різноманітних методів контролю якості продукції, а також про важливість виконання стандартів якості для забезпечення безпеки та надійності дроту, що використовується в різних галузях промисловості. Це свідчить про актуальність задачі контролю якості дротів.

Популярність вихрострумової дефектоскопії на території України може обумовлена її високою ефективністю, широким спектром застосування та відповідністю вимогам стандартів якості дроту.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						30
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи всі перелічені аспекти, можна зробити висновок, що вихрострумова дефектоскопія є перспективним методом контролю якості дроту і може бути використана в технологічному процесі його виготовлення.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						31
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2: Розрахунок вихрострумowego перетворювача

2.1. Розрахунок геометричних параметрів ВСП

1. Вибираємо з конструктивних міркувань середній діаметр обмотки збудження D_{cp} :

$$D_{cp}=3,55*10^{-3} \text{ м.}$$

Кількість витків котушок W_3 , W_B та кількість шарів обмотки вибираємо з конструктивних міркувань:

$W_1 = 70$ – кількість витків збуджуючої котушки;

$n = 2$ – кількість шарів обмотки

$W_2 = 350$ – кількість витків вимірювальної котушки

$n = 3$ – кількість шарів обмотки

Вибираємо діаметр проводу котушки збудження $d_{бз}$:

$$d_{бз}=0,025*10^{-3} \text{ м,}$$

тоді діаметр проводу в ізоляції $d_{із}$, для дроту марки ПЕВ 1, дорівнює:

$$d_{із}=0,034*10^{-3} \text{ м.}$$

Для котушки вимірювання обираємо:

$$d_{бз}=0,08*10^{-3} \text{ м,}$$

тоді діаметр проводу в ізоляції $d_{із}$, для дроту марки ПЕВ 1, дорівнює:

$$d_{із}=0,105*10^{-3} \text{ м.}$$

2.2. Розрахунок ефективного діаметру вимірювальної котушки

В розроблюваному ВСП використано котушки круглої форми. Розміри котушок вибрано з конструктивних міркувань та з урахуванням діаметру контрольованого дроту.

Систему «ВСП прохідного типу – ОК» з зображено на рис.2.1.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						32
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

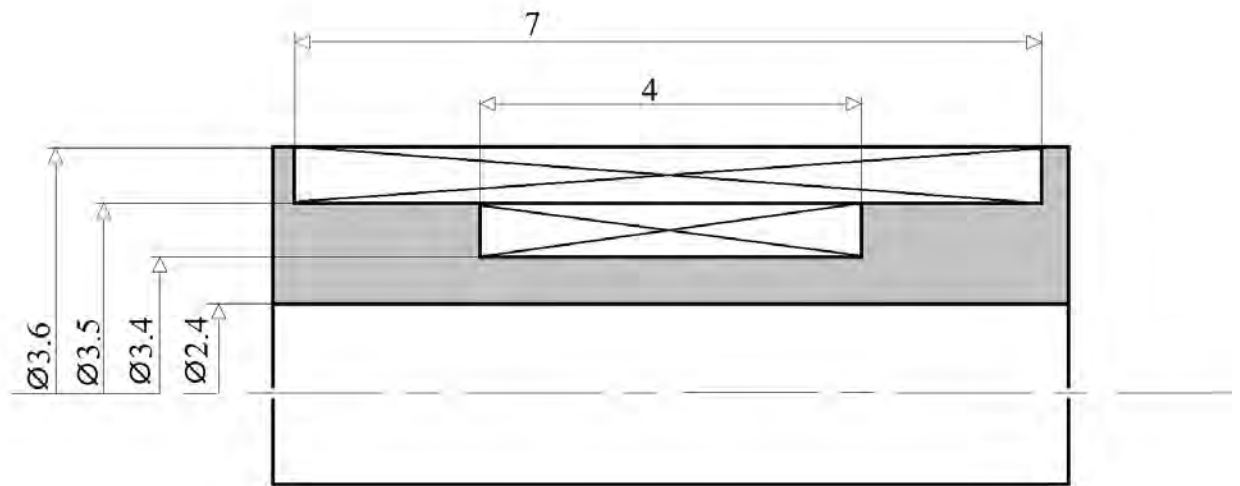


Рис. 2.1. Система «ВСП проходного типу – ОК»

$D = 2\text{мм}$ – номінальний діаметр дроту,

$d_2 = 3.4\text{мм}$ – внутрішній діаметр вимірювальної котушки,

$D_2 = 3.5\text{мм}$ – зовнішній діаметр вимірювальної котушки та внутрішній діаметр котушки збудження.

$D_1 = 3.6\text{мм}$ – зовнішній діаметр котушки збудження.

Аксіальна довжина котушки збудження обрана величиною $l_1 = 7\text{мм}$.

Ефективний діаметр вимірювальної котушки (розташованої найближче до ОК) становить

$$D_{\text{еф}} = \sqrt{\frac{1}{D_2 - d_2} * \int_{d_2}^{D_2} x^2 dx} = \sqrt{\frac{1}{3} * \frac{D_2^3 - d_2^3}{D_2 - d_2}} = \sqrt{\frac{D_2^2 + D_2 d_2 + d_2^2}{3}} = 3.55\text{мм},$$

$$D_{\text{еф}} = 3.55 * 10^{-3} \text{ м.}$$

2.3. Розрахунок сили струму збудження ВСП

Розрахунок сили струму збудження I виконаємо з умови відсутності перегріву котушки. Оберемо

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$I = (0,85 \div 0,9) I_{гр},$$

де $I_{гр}$ – граничне значення струму збудження, яке визначається за формулою

$$I_{гр} = \sqrt{\frac{\lambda S_{ох} [\theta]_д}{R}},$$

$[\theta]_д$ – допустима температура перегріву,

λ – коефіцієнт теплопередачі,

R – активний опір котушки,

$S_{ох}$ – площа поверхні охолодження котушки.

Приймаємо наступні числові дані цих параметрів:

$$[\theta]_д = 4^{\circ}\text{C},$$

$$\lambda = 10 \text{ Вт/м}^2\text{град},$$

$$R = 4\rho W_1 D_{ср} / d_1^2 = \frac{4 \cdot 0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot 70 \cdot 3,55 \cdot 10^{-3}}{(0,025 \cdot 10^{-3})^2} = 27,83 \text{ Ом},$$

де $\rho = 0,0175 \cdot 10^{-6} \text{ Ом м}^2 / \text{м}$ – питомий опір міді.

Площа охолодження котушки складається з її внутрішньої і зовнішньої поверхонь (поверхнями торців котушки нехтуємо з огляду на їх мализну).

Загальна формула визначення площі охолодження має вид

$$S_{ох} = \pi \cdot d_b \cdot L,$$

де L – висота намотки котушки.

Тоді маємо:

$S_{ох1} = \pi \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 79,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – площа зовнішньої поверхні катушки;

$S_{ох2} = \pi \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – площа внутрішньої поверхні катушки,

$$S_{ох} = S_{ох1} + S_{ох2} = 156,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						34
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Граничний і робочий струм збудження дорівнюють відповідно

$$I_{гр} = \sqrt{\frac{10 \cdot 156,2 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{27,83}} = 0,015 \text{ А} = 15 \text{ мА},$$

$$I = 0,9 \cdot 0,015 = 0,0135 \text{ А} = 13,5 \text{ мА}.$$

2.4. Розрахунок електричних сигналів ВСП

1. Вибір узагальненого параметру з умови досягнення високої чутливості до зміни діаметру дроту

$$\beta = \pi D \sqrt{0,2 f \mu^* \gamma} \cdot 10^{-3},$$

$$\beta = 10.$$

2. Коефіцієнт заповнення для вимірювальної котушки

$$\eta = \frac{D^2}{D_{\text{эф}}^2} = \frac{2^2}{3,55^2} = 0,3173.$$

3. Розрахунок відносної внесеної напруги здійснюється за формулою

$$\dot{U}_{\text{вн}}^* = j\eta(\mu^* \dot{\mu}_{\text{эф}}(\beta) - 1)$$

$j = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця ,

$$\mu^* = 1,$$

$\mu_{\text{эф}}(10) = 0,141625 - 0,131248j$ – ефективна магнітна проникність,
визначається табличним способом.

Тоді значення відносної внесеної напруги у випадку контролю дроту номінального діаметра становить

$$\dot{U}_{\text{вн}}^* = j\eta(\mu^* \dot{\mu}_{\text{эф}}(\beta) - 1) = j \cdot 0,3173(1 \cdot (0,141625 - 0,131248j) - 1)$$

$$= 0,041644 - 0,272362j.$$

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						35
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Розрахунок робочої частоти ВСП виконаємо з формули для узагальненого параметра

$$\beta = \pi D \sqrt{0,2 f \mu * \gamma \cdot 10^{-3}},$$

де $\gamma = 57.14 * 10^6 \frac{\text{См}}{\text{м}}$ – питома електропровідність міді.

$$10 = \pi * 2 * 10^{-3} \sqrt{0.2 * f * 1 * 57.14 * 10^6 * 10^{-3}}$$

$$f = 2.21651 * 10^5 \text{Гц}$$

5. Розрахунки модуля напруги холостого ходу

$$U_{\text{опм}} = \frac{\pi^2}{2} f \mu_0 W_1 W_2 I \frac{D_{\text{еф}}^2}{l_1}$$

де $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнітна стала.

$$U_{\text{оп}} = \frac{\pi^2}{2} * 2,21651 * 10^5 * 4\pi * 10^{-7} * 70 * 350 * 0.0135 * \frac{3,55^2 * 10^{-6}}{7 * 10^{-3}} = 0.82 \text{В.}$$

6. Розрахунок абсолютної внесеної напруги

$$\dot{U}_{\text{вн}} = U_{\text{оп}} \dot{U}_{\text{вн}}^*$$

$$U_{\text{вн}} = 0.82 * (0.041644 - 0.272362j) = (0.03414808 - 0.22333684j) \text{ В.}$$

7. Розрахунок вихідної напруги \dot{U} за формулою $\dot{U} = \dot{U}_{\text{вн}} + j\dot{U}_{\text{оп}}$.

$$U = 0.03414808 - 0.22333684j + 0.82j = (0.03414808 + 0.59666316j) \text{ В}$$

2.5. Розрахунок електричних сигналів ВСП для граничних значень діаметрів дроту

1. Розрахунок вихідної напруги для $D=1.8\text{мм}$ та $D=2.2\text{мм}$ ($D(2\text{мм}) \pm 10\%$)

Коефіцієнт заповнення:

$$\eta_2 = \frac{D^2}{D_{\text{еф}}^2} = \frac{1.8^2}{3.55^2} = 0.2571$$

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						36
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_3 = \frac{D^2}{D_{\text{эф}}^2} = \frac{2.2^2}{3.55^2} = 0.3841$$

2. Розрахунок відповідних значень узагальненого параметра:

$$\beta^- = 9, \quad \beta^+ = 11.$$

3. Для цих значень узагальненого параметра табличним способом отримуємо такі значення ефективної магнітної проникності:

$$\mu_{\text{эф}}(9) = 0.157419 - 0.144554j,$$

$$\mu_{\text{эф}}(11) = 0.129796 - 0.121027j.$$

4. Розрахунок відносної внесеної напруги

$$U_{\text{вн}2}^* = 0,037150378 - 0,2165443317j$$

$$U_{\text{вн}3}^* = 0.046474368 - 0.334158336j$$

5. Розрахунок абсолютної внесеної напруги

$$U_{\text{вн}2} = (0,037150378 - 0,2165443317j) * 0,82 = 0,03046331 - 0,177566352j \text{ В}$$

$$U_{\text{вн}3} = (0.046474368 - 0.334158336j) * 0,82 = 0.038329818 - 0.274009835j \text{ В}$$

6. Розрахунок вихідних напруг ВСП дає такі значення:

$$U_1 = 0.03414808 + 0.59666316j \text{ В}$$

$$U_2 = 0,03046331 - 0,177566352j + 0.82j = 0,03046331 + 0.642433648j \text{ В}$$

$$U_3 = 0.038329818 - 0.274009835j + 0.82j = 0.038329818 + 0.545990165j \text{ В}$$

7. Розрахунок модулю напруги

$$|U_1| = 0.59764 \text{ В}$$

$$|U_2| = 0.643156 \text{ В}$$

$$|U_3| = 0.547334 \text{ В}$$

8. Відображення отриманих результатів на годографі відносних внесених напруг (рис.2.2)

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						37
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

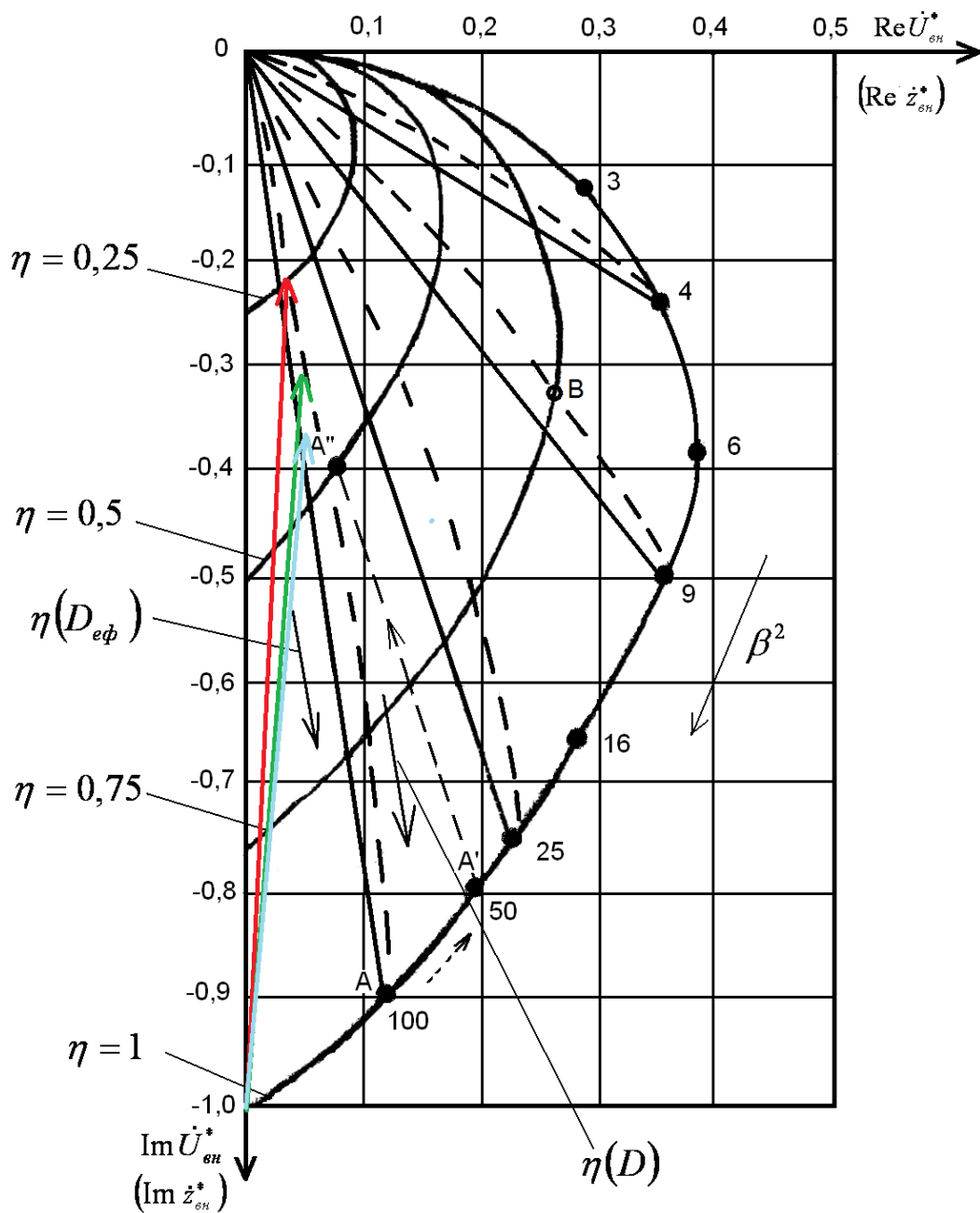


Рис2.2. Годограф відносних внесених напруг (опорів) при контролі немагнітного електропровідного прутка у зовнішньому прохідному ВСП.

$$D=2(\text{---}) \quad D=1.8(\text{---}) \quad D=2.2(\text{---})$$

Оскільки амплітудні значення вихідних сигналів ВСП суттєво залежать від діаметру дроту, структуру приладу розроблятимемо на основі амплітудного методу вимірювання. В цьому випадку пороговірівні напруг компараторі пропорційні розрахованим значенням U_2 та U_3 .

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

Висновки до другого розділу

У рамках розділу були проведені розрахунки відносної внесеної напруги вихрострумowego дефектоскопа дроту. Результати розрахунків підтвердили, що внесена напруга залежить не тільки від діаметру дроту, але й від ряду інших факторів, таких як робоча частота, сила струму збудження, електропровідність матеріалу дроту тощо.

З умови забезпечення високої чутливості ВСП до зміни діаметру дроту значення узагальненого параметру обрано рівним 10 для номінального значення діаметру дроту. Це значення забезпечується вибором робочої частоти 220 кГц.

Розрахунки відносної внесеної напруги ВСП та абсолютної вихідної напруги ВСП дали змогу оцінити вплив зміни діаметра дроту на параметри вихідного сигналу ВСП. Отримані результати будуть використані при подальшому проєктуванні системи контролю діаметра дроту з метою покращення якості контролю та підвищення ефективності виробництва.

На підставі виконаних розрахунків обґрунтовано використання амплітудного методу вимірювання, який буде покладено в основу розроблення структури вихрострумової системи контролю діаметра дроту.

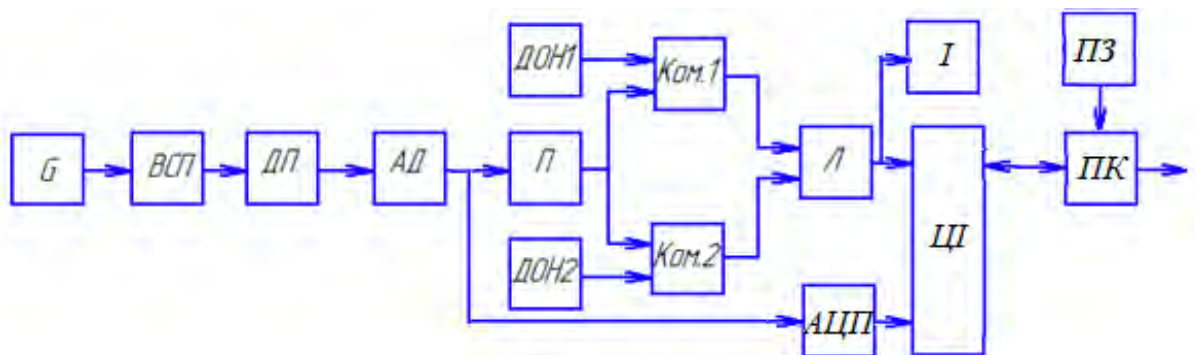
Отримані значення порогових рівні напруг U_2 та U_3 будуть використані як опорні напруги компараторів, які фіксуватимуть вихід значень діаметра дроту за встановлені межі.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						39
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Вибір та розрахунок електричних схем дефектоскопу

3.1. Розроблення схеми електричної структурної та опис роботи приладу

Структурна схема автоматизованої вихрострумової системи контролю діаметру дроту наведена на рис. 3.1. Оскільки Систему передбачається встановлювати безпосередньо у проволочений стан, останній забезпечує протягування дроту крізь прохідний ВСП.



ДП	Диференціальний підсилювач
АД	Амплітудний деректор
П	Повторювач
ДОН	Джерело опорної напруги
Ком	Компаратор
Л	Логістична схема
Х	Роз'єм
І	Індикатор
ПК	Персональний компютер
ПЗ	Програмне забезпечення

Рис. 3.1. Структурна схема вихрострумової систнеми для контролю дваметра дроту

Структурна схема системи складається з наступних компонентів.

- 1. Генератор.** Генератор створює високочастотний сигнал, який подається на первинну котушку ВСП для створення змінного електромагнітного поля, що діє на об'єкт контролю. Згідно виконаних в розділі 2 розрахунків генератор повинен формувати струмовий сигнал синусної форми частотою 220 кГц та силою струму 13,5 мА.
- 2. Диференціальний підсилювач.** Сигнал, який формується вимірювальною котушкою ВСП, підсилюється диференціальним підсилювачем. Коефіцієнт підсилення – 10. Цього достатньо для підсилення сигналу ВСП до рівнів (4...8)В.
- 3. Амплітудний детектор.** Сигнал з диференціального підсилювача подається на амплітудний детектор. Амплітудний детектор формує постійний сигнал, пропорційний амплітуді змінного сигналу на його вході. Операція амплітудного детектування здійснюється за допомогою діодів – електронних приладів з нелінійною вольт амперною характеристикою. вимірювання амплітуди.
- 4. Повторювач.** Повторювач необхідний для узгодження амплітудного детектора з компараторами сигналів.
- 5. Джерело опорної напруги.** Джерела опорної напруги генерує стабільну постійну напругу, пропорційну (з коефіцієнтом підсилення диференціального підсилювача) отриманих в розділі 2 пороговим значенням напруги U_2 та U_3 .
- 6. Компаратор.** Сигнал з повторювача порівнюється з встановленими опорними напругами за допомогою двох компараторів. Компаратор генерує вихідний сигнал, який вказує, чи перевищує сигнал ВСП поріг, який відповідає межовим значення діаметра дроту.
- 7. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП).** Якщо сигнал з компаратора вказує тільки на наявність дефекту діаметру дроту, то АЦП дає змогу

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						41
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворити аналоговий сигнал ВСП в цифровий формат, необхідний для кількісного оцінювання значення діаметру дроту.

8. **Логічна схема.** Логічна схема виконує обробку цифрового сигналу з компараторів. Ця схема формується на логічних елементах І, АБО, ВИКЛЮЧНЕ АБО.
9. **Цифровий інтерфейс.** Цифрові сигнали з логістичної схеми та АЦП передається через цифровий інтерфейс, такий як RS-232 або USB, для зв'язку з персональним комп'ютером.
10. **Індикатор.** Результати дефектоскопії візуалізуються на індикаторі, який може бути реалізований у вигляді світлодіодного індикатора або LCD-дисплея. Цей індикатор показує наявність або відсутність дефектів.
11. **Персональний комп'ютер.** Персональний комп'ютер використовується для керування системою обробки та аналізу отриманих даних. Він підключається до цифрового інтерфейсу та використовує спеціалізоване програмне забезпечення.
12. **Програмне забезпечення:** Спеціалізоване програмне забезпечення на персональному комп'ютері використовується для управління системою, збору даних, візуалізації, обробки та аналізу результатів контролю. Воно може містити інструменти для обробки сигналів, статистичного аналізу, збереження даних, створення звітів тощо.

Отримані дані можуть бути візуалізовані на персональному комп'ютері.

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
						42
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2: Розроблення схеми електричної принципової та вибір елементів бази для її реалізації

Диференційний підсилювач(TL084)

Візьмемо підсилювач TL084. Він високовольтний, високошвидкісний операційний підсилювач з чотирма оперативними підсилювачами, який входить в сімейство TL08х. Він є дуже популярним компонентом у вимірювальних, аудіо та комунікаційних системах, а також у вузькосмугових додатках.

Особливості та технічні характеристики диференційного підсилювача TL084 включають наступне:

Кількість підсилювачів: TL084 містить чотири незалежних оперативних підсилювача, що дозволяє йому працювати з різними сигналами одночасно або використовувати їх для різних додаткових функцій.

Вхідні параметри мікросхеми TL084:

Вхідний опір: TL084 має високий вхідний опір, що дозволяє йому ефективно підключатися до джерел сигналу з високим опором.

Вихідний опір: Вихідний опір TL084 досить низький, що забезпечує добру здатність до навантаження та зменшує спотворення сигналу.

Параметри потужності:

Постійна напруга живлення (Supply Voltage): TL084 працює з однонапруговим живленням в діапазоні від ± 4 вольт до ± 18 вольт. Це дозволяє йому працювати в широкому спектрі додатків.

Потужність споживання (Power Consumption): TL084 має низьке споживання струму, що робить його енергоефективним компонентом.

Частотна характеристика: TL084 має широкий частотний діапазон, здатний передавати сигнали високої частоти. Залежно від

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						43
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуваних елементів та конфігурацій, діапазон може сягати від кількох герц до кількох мегагерц.

Коефіцієнт посилення (Gain): TL084 має високий коефіцієнт посилення, що дозволяє ефективно підсилювати слабкі сигнали і забезпечує добру якість сигналу на виході.

Вихідні параметри мікросхеми TL084:

Рівень вихідного сигналу: TL084 здатний генерувати сигнали близькі до найбільшого можливого рівня живлення.

Здатність до навантаження: Вихідний сигнал TL084 має низьку здатність до навантаження, що забезпечує мінімальну взаємодію з підключеними пристроями.

Захист та стійкість: TL084 має вбудовані захисні функції, які забезпечують стійкість та захист від перенапруг, короткого замикання і перевантажень.

TL084 є надійним та високоефективним диференційним підсилювачем, який знайшов широке застосування у багатьох електронних пристроях та системах. Його висока точність, низьке споживання енергії та широкий діапазон робочих температур роблять його вибором для різноманітних додатків.

Амплітудний детектор(AD630)

Підійде амплітудний детектор AD630 є спеціалізованим інтегральним пристроєм, розробленим компанією Analog Devices. Він використовується для вимірювання амплітуди вхідного сигналу та відновлення його постійної складової. AD630 базується на технології збалансованого демодулятора та фазового детектора, що дозволяє отримувати точне вимірювання амплітуди навіть у присутності шуму та змінних фазових зсувів.

Основні особливості та технічні характеристики амплітудного детектора AD630 включають наступне:

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		44

Балансований демодулятор: AD630 використовує збалансований демодулятор для вимірювання амплітуди вхідного сигналу. Це означає, що він працює з двома сигналами, що мають збалансовані амплітуди та протилежні фази.

Вимірювання амплітуди: AD630 здатний виміряти амплітуду вхідного сигналу, відображаючи його на виході пристрою. Він забезпечує високу точність вимірювання амплітуди навіть при наявності шуму та змінних фазових зсувів.

Частотна характеристика: AD630 має широкий діапазон робочих частот, що дозволяє вимірювати амплітуду сигналів від низьких до високих частот.

Вхідні параметри мікросхеми AD630:

Вхідна напруга: AD630 має низьку вхідну напругу, що дозволяє ефективно працювати зі слабкими сигналами.

Вхідний опір: AD630 має високий вхідний опір, що забезпечує мінімальне спотворення сигналу при підключенні до джерел з високим опором.

Вихідні параметри мікросхеми AD630:

Вихідна напруга: AD630 надає вихідну напругу, яка пропорційна амплітуді вхідного сигналу. Залежно від конфігурації, вихідна напруга може бути відповідною постійній складовій або змінній амплітуді.

Загальна характеристика мікросхеми AD630:

Постійна напруга живлення (Supply Voltage): AD630 працює при постійній напрузі живлення з діапазоном від ± 5 вольт до ± 18 вольт.

Потужність споживання (Power Consumption): AD630 має низьке споживання струму, що забезпечує енергоефективну роботу.

Амплітудний детектор AD630 знаходить застосування в багатьох областях, де потрібно точне вимірювання амплітуди сигналів, таких як комунікаційні системи, аудіообладнання, медичні пристрої та багато

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
						45
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

інших. Його висока точність, широкий діапазон частот та низьке споживання енергії роблять його потужним інструментом для обробки амплітудної інформації.

Повторювач (TL071)

Тут зупинемось на двох можливих моделях Повторювач TL071 та ОР07. По багатьох пунктах їх можна рахувати аналогами, однак

Повторювач TL071:

TL071 є одноканальним низькошумним повторювачем (операційним підсилювачем).

Він має високу точність підсилення, низький рівень шуму та велику полосу пропускання.

Застосовується в різних аудіо- та сигнальних пристроях, де потрібне низькошумне підсилення.

Загальний вид мікросхеми *TL071* наведено на рис.3.2.



Рис. 3.2. TL071 - JFET операційний підсилювач

Повторювач ОР07:

ОР07 є прецизійним повторювачем з низьким шумом та високою точністю.

Він має низьку вхідну зміщену напругу, низьку споживану потужність та велику точність підсилення.

Застосовується в вимірювальних, контрольних та точних аналогових додатках.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		46

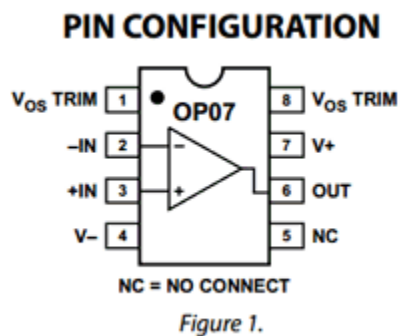


Рис. 3.3. Конфігурація роз'ємів OP07

Отже обидва повторювачі, TL071 і OP07, мають низький рівень шуму і високу точність підсилення. Однак TL071 має велику смугу пропускання, що робить його підходящим для аудіо- та сигнальних пристроїв. На відмінну від OP07 який має низьку вхідну напругу зміщення, що робить його ідеальним для точних вимірювань і контролю.

Можем зробити висновок що обидва повторювачі, TL071 і OP07, є хорошими виборами для структурної схеми вихрострумове дефектоскопу дроту. Вибір між ними залежить від конкретних потреб. Якщо вам потрібне широкопasmово підсилення з низьким рівнем шуму, TL071 може бути кращим варіантом. З іншого боку, якщо ви працюєте з точними вимірюваннями і контролем, OP07 може бути більш підходящим вибором через свою високу точність та низьку вхідну зміщену напругу.

Для наших потреб резонно буде вибрати TL071.

Джерело опорної напруги(LM317)

Джерело опорної напруги LM317 (рис.3.4) є інтегральною схемою, яка забезпечує стабілізацію напруги в електричних пристроях. Вона використовується для створення точної опорної напруги, яка не залежить від змін вхідної напруги або навантаження. Основним призначенням

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						47
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

джерела опорної напруги LM317 є забезпечення постійної напруги на виході незалежно від змін вхідної напруги та струму навантаження.



Рис. 3.4. LM317 з радіатором

Джерело опорної напруги LM317 має три основних піни (колективно відомі як піни Adjust, Output і Input), а також додаткові піни для заземлення та введення зовнішнього резистора. Пін Adjust використовується для налаштування опорної напруги, пін Output - для виведення стабілізованої напруги, а пін Input - для введення незмінної напруги.

Одним з ключових елементів джерела опорної напруги LM317 є внутрішній постійний опір, відомий як референсний опір, який створює стабілізовану опорну напругу. Цей опір може бути налаштований за допомогою зовнішнього резистора, що дозволяє змінювати вихідну опорну напругу. Додатково, внутрішній регулятор потужності дозволяє контролювати стабілізацію напруги та захищати схему від перевантажень.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						48
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

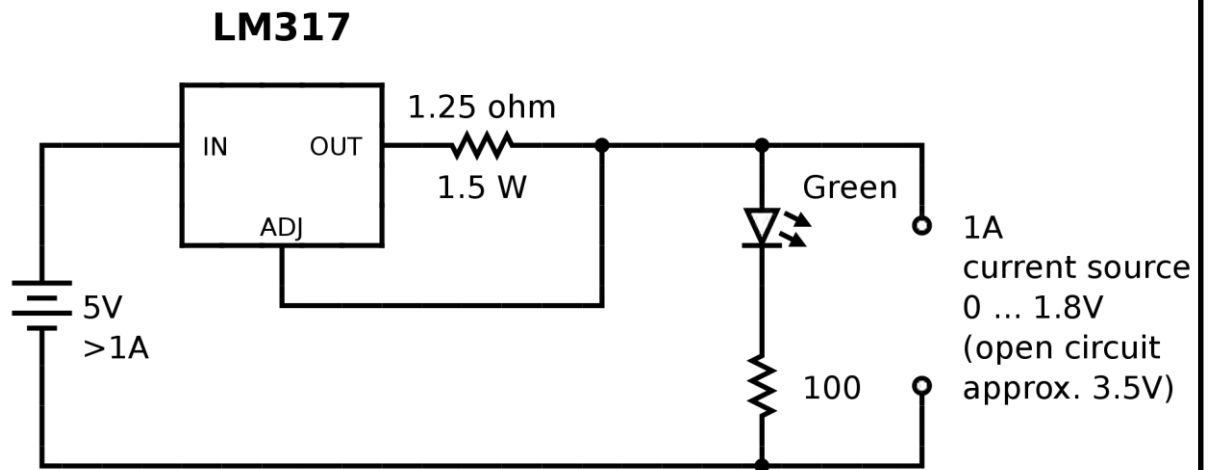


Рис. 3.5. Джерело струму, схема побудована на LM317

Джерело опорної напруги LM317 також має вбудовані захисні функції, такі як захист від перевантаження, захист від перегрівання та захист від короткого замикання, що робить його надійним та безпечним для використання в різних електронних пристроях.

У практичних застосуваннях, джерело опорної напруги LM317 може бути використане для створення стабілізованих джерел напруги в аналогових та цифрових пристроях, які вимагають точної та стабільної напруги для своєї роботи. Воно широко використовується в електроніці, включаючи аудіоапаратуру, радіоприймачі, блоки живлення, промислові системи автоматизації та багато інших пристроїв.

Джерело опорної напруги LM317 має наступні технічні характеристики:

Вихідна напруга (Output Voltage): Джерело опорної напруги LM317 може створювати вихідну напругу в діапазоні від приблизно 1,2 вольт до 37 вольт (залежно від конкретної версії чипа LM317 та зовнішніх компонентів).

Похибка встановлення напруги (Voltage Accuracy): Зазвичай точність напруги становить приблизно $\pm 2\%$ до $\pm 5\%$, що залежить від виробника та версії чипа LM317.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		49

Максимальний струм навантаження (Maximum Load Current): Джерело опорної напруги LM317 може постачати струм до певного максимального значення, яке визначається залежно від конкретної версії чипа та режиму використання. Наприклад, для стандартного чипа LM317, максимальний струм навантаження може складати до 1,5 або 2 ампер (в залежності від виробника).

Температурний діапазон (Temperature Range): Зазвичай, джерело опорної напруги LM317 працює в діапазоні температур від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$, що дозволяє йому використовуватися в різних умовах.

Потужність розсіювання (Power Dissipation): Потужність розсіювання вказує на теплову енергію, яку джерело опорної напруги LM317 втрачає під час роботи. Ця характеристика залежить від величини вихідного струму та різних факторів.

Захист від перевантаження та перегрівання (Overload and Thermal Protection): Джерело опорної напруги LM317 забезпечує захист від перевантаження та перегрівання, що дозволяє запобігти пошкодженню чипа та зберегти його ефективність.

Важливо враховувати, що конкретні технічні характеристики можуть відрізнятися залежно від виробника та версії чипа LM317. Рекомендується використовувати документацію та специфікації, надані виробником, для отримання точної інформації про конкретну версію, яка використовується в структурній схемі вихрострумової системи контролю діаметра дроту.

Компаратор(LM339)

Компаратор LM339 є дуже поширеним в схемотехніці завдяки своїм низькій вартості, низькому струму споживання, широкому діапазону робочих напруг та хорошим характеристикам. Він є ефективним інструментом для порівняння сигналів і використовується в багатьох

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
						50
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

електронних пристроях, включаючи структурні схеми вихрострумове дефектоскопу дроту.

Компаратор LM339 є інтегральною мікросхемою, яка використовується для порівняння двох вхідних сигналів та генерації відповідного вихідного сигналу в залежності від результату порівняння. Він має чотири незалежні компаратори, тобто може порівнювати чотири пари сигналів одночасно.

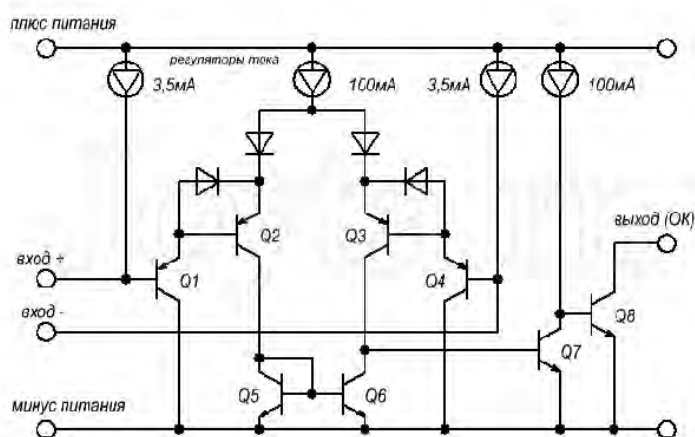


Рис. 3.6. Структурна схема одного компаратора, що входить до складу мікросхеми LM339

Технічні характеристики компаратора LM339:

Вхідна напруга: Зазвичай допустимий діапазон вхідних напруг для компаратора LM339 становить від 0 до V_{cc} , де V_{cc} - напруга живлення.

Напруга підвищення: Це напруга, при якій стан виходу змінюється. Зазвичай для LM339 ця напруга становить приблизно половину напруги живлення ($V_{cc}/2$).

Напруга вихідного сигналу: Вихідний сигнал компаратора LM339 може бути логічним "1" (високий рівень) або логічним "0" (низький рівень) залежно від результату порівняння вхідних сигналів. Високий рівень вихідного сигналу зазвичай становить приблизно V_{cc} (напруга живлення), а низький рівень - приблизно 0 В.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		51

Температурний діапазон: Зазвичай компаратор LM339 працює в широкому діапазоні температур, від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ або більше, залежно від версії.

Струм споживання: Типовий струм споживання компаратора LM339 дуже низький, зазвичай в мікроамперних або міліамперних значеннях.

Напруга живлення: LM339 може працювати з різними напругами живлення в діапазоні від одного джерела, наприклад, 2 В до 36 В або більше.

Кількість компараторів: LM339 має чотири незалежні компаратори, що дозволяє порівнювати чотири пари сигналів одночасно.

Вихідна струмова спроможність: LM339 здатний надати достатню вихідну струмову спроможність для підключення до навантаження.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						52
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до третього розділу

В рамках розділу був проведений детальний аналіз структурної та принципової схеми та компонентів, що використовуються в структурній схемі вихрострумової системи. Дана методика дозволяє ефективно виявляти дефекти, такі як тріщини, включення та зміна геометрії дротів, що є критичними показниками їх якості.

Наведено опис роботи структурної схеми. Обґрунтовано вибір елементної бази для реалізації схеми електричної принципальної блока обробки сигналів вихрострумового перетворювача.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		53

Висновок

Переваги вихрострумowego методу є висока чутливість до контрольованих параметрів, можливості безконтактного і неруйнівного контролю, а також висока надійності результатів. Вихрострумова технологія неруйнівного контролю є широко використовуваною в промислових галузях, таких як виробництво дроту, виробів електроніки, автомобілебудування та інші.

Тема дипломного проекту, що присвячена вихрострумівій дефектоскопії дроту та проволочного стану, вирішує дану проблему шляхом впровадження неруйнівного методу контролю, який дозволяє виявити дефекти на ранніх стадіях виробництва та уникнути наступних проблем. Застосування вихрострумової дефектоскопії допомагає забезпечити високу якість продукції, знизити відходи та витрати на ремонт, а також збільшити надійність та безпеку використання дроту та проволоки.

Таким чином, вихрострумова дефектоскопія є потужним інструментом для контролю дефектів виробництва дроту та проволоки. Вона дозволяє ефективно виявляти дефекти на ранніх стадіях виробництва, забезпечуючи високу якість продукції та підвищуючи надійність та безпеку. З урахуванням переваг даної методики.

На території України вихрострумова дефектоскопія також є популярною. Вона застосовується в багатьох виробничих підприємствах, де важлива якість продукції, особливо в галузі виробництва дроту та проволоки. Проблема дефектів у виробництві дроту є серйозною та вимагає уваги, оскільки вона може призвести до втрат якості, зниження міцності та небезпечних ситуацій.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
						54
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ПАТ «ОДЕСКАБЕЛЬ» (2023) Профільні рішення. Витягнуто з [\[https://odeskabel.com/ua/about/odeskabel-sogodni.html\]](https://odeskabel.com/ua/about/odeskabel-sogodni.html)
2. ДСТУ. Національний стандарт України. Держспоживстандарт України.
3. Куц Ю.В. Магнітний неруйнівний контроль: Навчальний посібник / Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, В.К. Цапенко, В.С. Єременко, Ю.Ю. Лисенко – К: НТУУ "КПІ". – 2012. – 208с.
4. АрселорМіттал Кривий Ріг. (2023). Профільні рішення. Витягнуто з: [\[https://www.amkrprof.org.ua/node/87\]](https://www.amkrprof.org.ua/node/87)
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / [навч. посібник для учнів проф. навч. зал.] /Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є., Степаненко В. О., Лопатько К. Г. К.: Либідь, 2002. — 328 с.
6. Металорізальні інструменти: Навч. посібник. Ч.2 / П. Р. Родін [та ін.]; Київський політехнічний ін-т. — К.: ІСДО, 1993. — 180 с.
7. ISO. (2008p). Wire Rods and Wires for Cold Heading and Cold Extrusion - Technical Delivery Conditions (ISO 16120-2). Отримано з [\[https://www.scribd.com/document/468726092/ASTM-A510-02-Steel-Wire\]](https://www.scribd.com/document/468726092/ASTM-A510-02-Steel-Wire). ASTM International: "Standard Specification for Steel Wire, Carbon, for General Use" (ASTM A510/A510M),
8. ISO. (2017p). Wire Rods and Wires for Cold Heading and Cold Extrusion - Technical Delivery Conditions (ISO 16120-2). Отримано з [\[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/cd825f7e-8634-4f6f-9754-80af3beeed71/en-iso-16120-2-2017\]](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/cd825f7e-8634-4f6f-9754-80af3beeed71/en-iso-16120-2-2017).
9. "Неруйнівний контроль та діагностика матеріалів" - підручник, автор: Горошко А. В.
10. "Методи неруйнівного контролю" - науково-технічний журнал, випуск 3 (25), автори: Колісников В. В., Шаповалов О. М.
11. "Методи неруйнівного контролю в машинобудуванні" - науково-технічний збірник, випуск 10, автори: Легенький В. А., Морозов О. М.

					ПК 91. 100005. 000 ПЗ	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		55

11. Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
12. Куц Ю.В. Технології електромагнітного неруйнівного контролю: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.
13. I. Lysenko, V. Uchanin, V. Petryk, Y. Kuts, A. Protasov and A. Alexiev, "Intelligent Automated Eddy Current System for Monitoring the Aircraft Structure Condition," 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 1-5.
14. Застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумовій дефектокопії / М. О. Редька, Ю. В. Куц, Є. В. Шаповалов, В. М. Учанін, Ю. Ю. Лисенко, О. Д. Близнюк // Технічна діагностика і неруйнівний контроль. – 2022. – №1. – С. 45-53.
15. Куц Ю.В. Технології електромагнітного неруйнівного контролю. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.
16. Мікропроцесорна техніка: лабораторний практикум. Частина 1. [Електронний ресурс] / А. С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 113 с.
17. Мікропроцесорна техніка: лабораторний практикум. Частина 2. [Електронний ресурс] / А. С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 76 с.
18. Mei, Zhong, Kuts, Yurii, Kochan, Orest, Lysenko, Iuliia, Levchenko, Oleksandr and Vlach-Vyhrynovska, Halyna. "Using Signal Phase in Computerized Systems of Non-destructive Testing" Measurement Science Review, vol.22, no.1, 2022, pp.32-43.

					<i>ПК 91. 100005. 000 ПЗ</i>	Арку
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		56

Додатки