

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту

Тимчук Іван Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.179
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Розроблення вихрострумове дефектоскопа електропровідних
дротів**

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня І.І. Тимчук

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Середюк Орест Євгенович д.т.н., проф.

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Віталій ЦИХ

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТЕМ

В.С. Цих

« » 20 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Тимчуку Івану Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення вихрострумowego дефектоскопа електропровідних дротів

керівник роботи Середюк Орест Євгенович., д.т.н., проф.,

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від “30” квітня 2025 року № 270/7

2. Строк подання студентом роботи 20.06.2025

3. Вихідні дані до роботи матеріал дроту – алюміній, діаметр дроту 5 мм ; вид дефекту – поверхнева тріщина поздовжня; діапазон глибини тріщини – 10%...30% від діаметра дроту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз методів і засобів неруйнівного контролю електричних дротів

2. Розроблення вихрострумowego дефектоскопа електричних дротів

3. Метрологічний аналіз дефектоскопа

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

1. Електрична структурна схема дефектоскопа

2. Проектування генератора дефектоскопа

3. Градувальна характеристика дефектоскопа від діаметра дроту і розмірів дефектів

4. Метрологічна модель дефектоскопа

5. Математичне моделювання функціонування дефектоскопа

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Кривенко Г.М., доц. каф. ТЗНС та БП		
нормо контроль	Лютак З.П., проф. каф. ІВТЕМ		

7. Дата видачі завдання 05.05.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ</i>	15.05.2025	
2.	<i>Аналіз методів і засобів неруйнівного контролю електричних дротів</i>	01.06.2025	
3.	<i>Розроблення вихрострумове дефектоскопа електричних дротів</i>	10.06.2025	
4.	<i>Метрологічний аналіз дефектоскопа</i>	15.06.2025	
5.	<i>Охорона праці</i>	15.06.2025	
6.	<i>Оформлення бакалаврської роботи</i>	20.06.2025	

Студент _____
(підпис)

Тимчук І.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Середюк О.Є.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 74 с., 7 рис., 6 табл., 29 джерел, 7 аркушів креслень.

Об'єкт дослідження – вихрострумний дефектоскоп.

Мета роботи – розроблення установки для контролю якості дротів.

Метод дослідження – математичне моделювання фізичних процесів які відбуваються в вихрострумовому перетворювачі.

Проведено аналіз методів і засобів неруйнівного контролю електричних дротів. Розглянуто різновиди матеріалів електричних дротів, характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час їх виготовлення, характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час їх експлуатації. Проаналізовано методи неруйнівного контролю електричних дротів. Розроблена структурна і принципова схеми вихрострумового дефектоскопа, розглянуто його конструктивне виконання. Розроблено електричну принципову схему генератора з робочою частотою 300 Гц для живлення вихрострумового перетворювача. Розглянуто метрологічний аналіз дефектоскопа і умови його безпечної експлуатації.

ВИХРОВІ СТРУМИ, ЕЛЕКТРИЧНІ ДРОТИ, АЛЮМІНІЙ,
ВИХРОСТРУМОВИЙ ДЕФЕКТОСКОП, ДІАМЕТР, ПОВЕРХНЕВА ТРІЩИНА,
ВИХРОСТРУМОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 74 p., 7 fig., 6 tab., 29 sources, 7 sheets of drawings.

The object of the study is an eddy current flaw detector.

The purpose of the work is to develop a device for controlling the quality of wires.

The research method is mathematical modeling of physical processes occurring in an eddy current transducer.

The analysis of methods and means of non-destructive testing of electrical wires is carried out. Types of materials of electrical wires, characteristic damages and defects of electrical wires during their manufacture, characteristic damages and defects of electrical wires during their operation are considered. Methods of non-destructive testing of electrical wires are analyzed. The structural and principle diagram of an eddy current flaw detector is developed, its design is considered. The electrical principle diagram of a generator with an operating frequency of 300 Hz for powering an eddy current transducer is developed. The metrological analysis of the flaw detector and the conditions of its safe operation are considered.

EDDY CURRENT, ELECTRICAL WIRES, ALUMINUM, EDDY CURRENT DEFECTOSCOPE, DIAMETER, SURFACE CRACK, EDDY CURRENT TRANSDUCER.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Аналіз методів і засобів неруйнівного контролю електричних дротів	8
1.1 Аналіз електричних дротів як об'єкта неруйнівного контролю	8
1.1.1 Матеріали електричних дротів	9
1.1.2 Характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час виготовлення	11
1.1.3 Характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час експлуатації	14
1.2 Методи неруйнівного контролю електричних дротів	15
1.2.1 Вихрострумний метод неруйнівного контролю електричних дротів	15
1.2.2 Індукційний метод контролю	20
1.2.3 Електропотенціальний метод контролю	23
1.3 Технічні засоби неруйнівного контролю електричних дротів	24
2 Розроблення вихрострумного дефектоскопа електричних дротів	30
2.1 Розроблення структурної схеми дефектоскопа	30
2.2 Розрахунок основних вузлів дефектоскопа	34
2.2.1 Розрахунок генератора	35
2.2.2 Розрахунок вихрострумного перетворювача	40
2.2.3 Розрахунок вихідного сигналу вихрострумного перетворювача від дефектів	44
2.3 Конструювання генератора дефектоскопа	48
3 Метрологічний аналіз вихрострумного дефектоскопа	50
3.1 Аналіз основних складових похибки вихрострумного дефектоскопу	50
3.2 Розрахунок основної допустимої похибки вихрострумного дефектоскопу	53
4 Охорона праці	60
4.1 Аналіз потенційних небезпечних факторів і шкідливих речовин	60
4.2 Забезпечення нормальних умов праці	61
4.3 Пожежна безпека	63
4.4 Розрахунок загальнообмінної вентиляції	64
4.5 Розрахунок штучної освітленості в приміщенні	67
Висновки	70
Перелік посилань на джерела	71

ВСТУП

Підвищення рівня надійності і збільшення ресурсу машин і інших об'єктів техніки можливо тільки при умові випуску продукції високої якості в усіх галузях машинобудування. Це потребує неперервного вдосконалення технології виробництва і методів контролю якості. В ряді випадків вибіркового контролю вихідного матеріалу, заготовок, напівфабрикатів і готових виробів відповідального призначення на заводах не гарантує їх високу якість, особливо при серійному і масовому виробництві. В даний час усе більш широкого застосування набуває неруйнівний контроль продукції на окремих етапах виробництва. Для забезпечення високої експлуатаційної надійності машин і механізмів велике значення має також періодичний контроль їх стану без демонтажу або з обмеженою розбір кою, що проводиться при обслуговуванні в експлуатації або при ремонті.

В сучасних умовах стрімкого науково-технічного прогресу роль неруйнівного контролю значно зросла. Без цього високоефективного та виробничого контролю неможливо, наприклад, розвиток космічної, авіаційної, атомної техніки і сучасної енергетики, а також забезпечення безпеки руху на транспорті.

Задача суттєвого покращення якості промислової продукції, а відповідно, підвищення надійності і довговічності машин може бути успішно вирішена при умові вдосконалення виробництва і методів контролю якості продукції.

Контроль якості продукції полягає в перевірці відповідності показників її якості встановленим вимогам. Важливим критерієм високої якості деталей машин є фізичні, геометричні і функціональні показники, а також технологічні признаки якості, наприклад, відсутність недопустимих дефектів типу порушення суцільності матеріалу, відповідність фізико-механічних властивостей і структури основного матеріалу і покриття, геометричних розмірів і чистоти обробки поверхні, що вимагає технічна документація.

Рівень розвитку промисловості передових країн на сучасному етапі характеризується не тільки об'ємом виробництва і асортиментом випускаємої продукції, але і показниками її якості. Однією із основних задач підвищення ефективності народного господарства є покращення якості сировини, матеріалів і виробів, що дозволяє збільшити термін служби машин і механізмів, знизити їх матеріало- і енергоємність, підвищити продуктивність праці.

В вирішенні загальнодержавних задач підвищення якості продукції важливу роль відіграють методи і засоби неруйнівного контролю. Їх розвиток відноситься і завжди буде відноситися до числа найважливіших напрямків науково-технічного прогресу. Контроль якості є самою масовою технологічною операцією в виробництві, тому що ні одна деталь не може бути виготовлена без вимірювання її технічних характеристик. У зв'язку з ускладненням і вимогами постійного підвищення надійності нової техніки трудомісткість контрольних операцій в промисловості різко збільшується.

Поняття якості виробу, з одного боку знаходиться в неперервному розвитку, а з другого, настільки обширне поняття, що не має можливості рекомендувати навіть для часткової його оцінки прилади, що використовують який-небудь один вид проникаючого випромінювання, або один фізичний метод контролю.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДРОТІВ

1.1 Аналіз електричних дротів як об'єкта неруйнівного контролю

Дроти повітряних ліній електропередачі при експлуатації піддаються дії різних кліматичних явищ. Вітер, різкі і значні коливання температури і льодоутворення створюють великі додаткові механічні навантаження на проводи. Якщо лінія електропередачі проходить в місцевості де повітря забруднено різними хімічно активними домішками (сірчані та інші гази, луги, солі морської води і ін.), ці домішки, розчинені вологим повітрям або дощем, викликають хімічні реакції, які руйнують провода. Вказані умови визначають ряд вимог до дротів ліній електропередачі. Проте основною вимогою до проводів ліній електропередачі є їх малий електричний опір [1].

Матеріал, який застосовують для виготовлення проводів ліній електропередачі, повинен володіти високою електричною провідністю (малим електричним опором), достатньою механічною міцністю і стійкістю до хімічних впливів домішок, що знаходяться в повітрі. Конструкція проводів ліній електропередачі повинна забезпечувати надійну їх роботу в умовах експлуатації, максимальні зручності при монтуванні, а також сприяти повному використанню механічних і елетрофізичних властивостей матеріалів.

Таким чином, дроти ліній електропередач повинні відповідати таким основним вимогам:

1. Висока електрична провідність.
2. Достатня механічна міцність та стійкість проти вібрації.
3. Добре протистояти як атмосферним впливам, так і впливам хімічно активних домішок, що містяться в повітрі.
4. Матеріал і конструкція дротів повинні забезпечувати найбільш економічне спорудження ліній електропередачі як за вартістю будівництва так і за експлуатаційними показниками.

1.1.1 Матеріали електричних дротів

Основними матеріалами, з яких виготовляють дроти і троси ліній електропередачі, є мідь алюміній і сталь. Застосовуються також дроти, виготовлені із сплавів міді (бронза) і оплавів алюмінію (алдрей, алмелек та ін.)

Мідь. Мідь один з кращих провідників електричного струму. Питомий електричний опір міді $0,0182 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ при 20°C , питома маса 8,89. Мідь добре обробляється холодним волочінням причому за ступенем зменшення товщини збільшується ущільнення матеріалу і підвищується механічна міцність проводів.

Для виготовлення мідних неізолюваних проводів застосовують мідний невідпалений дріт діаметром 2,5 - 3,99 мм. Тимчасовий опір на розрив такого дроту близько $39 \text{ кг}/\text{мм}^2$.

Мідні провoda володіють високою провідністю і достатньою механічною міцністю, добре протистоять дії атмосферних явищ, а також дії більшості хімічно активних домішок в повітрі. На мідні дроти сильно впливають домішки сірки і її з'єднань в повітрі. Марка мідних дротів складається з букви М і числа, яке вказує переріз провoda; наприклад, мідний провід перерізом 120 мм^2 має марку М-120.

Алюміній. Алюміній дещо поступається міді за провідністю. Питомий електричний опір алюмінію $0,0295 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ при 20°C , питома вага 2,7. Для виготовлення алюмінієвих дротів застосовується холоднотянута невідпалений алюмінієвий дріт, яка має тимчасовий опір на розрив $15-16 \text{ кг}/\text{мм}^2$. Порівнюючи електричний опір і масу міді та алюмінію, бачимо, що опір алюмінію більший за опір міді в 1,6-1,62 рази, а маса менша в 3,29 рази. З цього виходить, що для передачі на дані відстані заданої потужності при однакових напругах і втратах в лінії алюмінієві дроти повинні мати переріз в 1,6 рази більше, ніж мідні, а маса алюмінієвих проводів буде приблизно в 2 рази менша. Вартість алюмінієвих дротів значне менша, ніж мідних. Відносно висока електрична провідність, мала питома вага і невисока вартість зумовили широке використання алюмінію для

виготовлення проводів ліній електропередач. Алюмінієві дроти так само добре протистоять атмосферним явищам, як і мідні. На алюмінієві дроти і дроти з алюмінієвих сплавів руйнуюче діють луги, соляна кислота і солі, що містяться в морській воді.

Марка алюмінієвих дротів складаються з букви А і числа, яке вказує на переріз проводу, наприклад А-70.

Сталь. Питома вага сталі 7,85, питомий електричний опір 0,18-0,20 Ом·мм²/м при 20° С. Тимчасовий опір на розрив для тих сортів прутків, які застосовується для дротів ліній електропередач, 65-70 кг/мм², а для прутків сталевих сердечників комбінованих дротів - 120 кг/мм². Сталеві дроти застосовуються при передачі невеликих потужностей електроенергії, а також на переходах ліній електропередач через великі ріки, ущелини і т. п.; іноді сталеві дроти використовуються як грозозахисні троси. Сталеві проводи виготовляються одновитковими та багатовитковими. Одновиткові сталеві дроти випускаються діаметром 3,5-6 мм. Марка одновиткових сталевих дротів складається з букв ПСО (дріт сталевий одновитковий) і цифри, яка вказує діаметр проводу в міліметрах, наприклад: ПСО-4.

Багатовиткові сталеві дроти, які мають тимчасовий опір 65-70 кг/мм², виготовляються двох марок: з сталі з присадкою до 0,2% міді – ці дроти позначаються буквами ПС (дріт сталевий) та з сталі з присадкою 0,2-0,4% міді - ці провoda позначаються буквами ПМС (дріт мідистий сталевий). Марка багатовиткових сталевих проводів складається з букв і числа, яке вказує на переріз дроту наприклад: ПС-25; ПМС-35.

Бронза. Бронза є сплавом міді з оловом з добавками в невеликих кількостях фосфору, кремнію, та ін. для підвищення міцності. Збільшення кількості олова та інших домішок в бронзі підвищує тимчасовий опір дротів на розрив, але знижує електричну провідність. Питома вага бронзи близько 8,89. Питомий електричний опір 0,029-0,03 Ом·мм²/м при 20° С. Міцність на розрив становить 54 кг/мм². Бронзові дроти так само протистоять атмосферним і хімічним діям як і мідні [1, 2].

1.1.2 Характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час виготовлення

За природою утворення дефекти металу, які виходять на поверхню, поділяються на такі, що виникли через вади основного металу типу розшарувань, тріщин, сульфідних включень, раковин, плен, закатів та ін. Дефекти формування: непровари, підрізи, пропали, нерівномірна висота і ширина шва, напливи та ін; тріщини, шлакові і газові включення, подряпини. Поширеними ці дефекти є у зв'язку з порушенням технології зварки та термічної обробки при виготовленні дротів.

Тріщини - це розриви основного металу, які створюють різку концентрацію внутрішніх напружень. Вони зазвичай недопустимі. Тріщини поділяються за розмірами (макро- і мікроскопічні), за розташуванням (поздовжні, поперечні) в дроті, в зоні термічного впливу, а також за походженням (гарячі, холодні та втомнісні) [3].

Гарячі (кристалізаційні) тріщини можуть утворюватись в період кристалізації металу в інтервалі температур 1400...950°C для сталі внаслідок підвищеної крихкості металу в твердо-рідкому стані і дії розтягуючих напружень.

Особливу групу складають холодні тріщини, що виникають при температурі 300...100 °C, розташовуються по тілу кристалів металу. Поява їх пов'язана з утворенням структур загартування. На відміну від гарячих, холодні тріщини мають меншу ширину розкриття, що ускладнює їх виявлення при зовнішньому огляді.

Втомнісні тріщини можуть появитися в конструкціях, які тривало працюють в умовах динамічних знакозмінних навантажень. На поверхні зони, яка працює із знакозмінними навантаженнями, до появи втомних тріщин з'являються поля, аналогічні полям розсіяння над дефектами.

Тріщини на цементованих та хромованих поверхнях. При експлуатації деталей з азотованою та цементованою поверхнями іноді відбувається розтріскуванням крихкого поверхневого шару. Тріщини в основному бувають двох типів:

- тріщини, які виникають від ударів по деталі, при правці деталей чи при дії згинаючих навантажень експлуатації;
- термічні тріщини, які виникають на поверхнях тертя.

В останньому випадку тріщини за зовнішнім вином схожі на шліфовочні і спостерігаються, коли деталі труться між собою і працюють при недостатній кількості мастильних матеріалів. В результаті чого поверхня нагрівається до високої температури і тоді відбувається заїдання чи часткове руйнування однієї з деталей, яка ковзає по поверхні іншої.

Шліфовочні тріщини виникають через підвищений нерівномірний місцевий нагрів шліфованої поверхні деталі. Найбільш схильні до утворення цих тріщин азотовані і загартовані деталі з легованих і маловуглецевих сталей. При неправильно підібраних режимах шліфування на поверхні хромованих деталей, як правило, проявляються шліфовочні тріщини.

Шліфовочні тріщини легко виокремити від тріщин інших видів: вони тонкі, неглибокі (від десятитисячних до десятих долей міліметра) і розташовуються на поверхні групами у вигляді сітки чи тонких ліній впоперек напрямку шліфовки.

Гартівні тріщини виникають при охолодженні дротів в результаті дії внутрішніх напружень. Вони можуть виникати і пізніше в деталях, які тривалий час не піддавалися відпустку, що зменшує внутрішні напруження. Високі і нерівномірні внутрішні напруження при недостатній жорсткості дроту викликають його короблення. Якщо є ослаблені перерізи, то можуть виникнути і тріщини. Найбільш вірогідні місця зародження гартівних тріщин – це місця з різкою зміною перерізу, гострі кути та підрізи. Причиною утворення тріщин можуть служити дефекти матеріалу (волосовини, шлакові включення, флокени), ковочні тріщини чи недотримання режимів термічної обробки деталей [6].

Відмінною ознакою гартівних тріщин є невизначеність їх напрямлення. Вони добре виявляються навіть при слабкому намагнічуванні, оскільки матеріал загартованих деталей має досить високе значення залишкової індукції та коерцитивної сили, а загартувальні тріщини мають більші розміри і майже завжди виходять на поверхню деталі.

Надриви – це неглибокі тріщини, що виникають на деталях в результаті деформації металу, наприклад при накатці різьби, виготовлення пружин. При холодній штамповці дротів можуть виникнути тріщини в місцях різких згинів, особливо коли матеріал має недостатньо високі пластичні властивості.

Флокени є дрібні тріщини довжиною 20...30 мм різноманітного напрямлення, розташовуються в основному у внутрішніх, більш глибоких зонах сталевих поковок. Флокени є небезпечними дефектами. Їх присутність в сталі різко відображається на її механічних властивостях. Особливо якщо напрямлення дії сил не співпадає з площиною залягання флокенів. На деталях вони можуть бути знайдені тільки в тому разі, якщо вони виходять на поверхню чи залягають неглибоко під нею. Флокени зазвичай зосереджені в центральній частині заготовки у вигляді сімейства тонких і коротких тріщинок, в перефірній шарі флокени відсутні.

Неметалічні розкатані шлакові та інші включення представляють собою: продукти реакцій розкислення, що протікають у ванні чи ковші при виплавці і розливці сталі; шлаки, розчинені при високих температурах в металі і виділяються з нього при пониженні температури у вигляді включень: MnO ; FeO ; FeS та ін.

Волосовини - це тонкі нитки неметалічних включень чи газових міхурів, витягнутих вздовж волокон металу при його куванні, прокаті чи протяжці. Волосовини і прямолінійні і витягнуті в напрямі прокатки. На деяких деталях, які працюють на розтяг (електричні дроти) чи на згин, допускається невелика кількість поздовжніх волосовин і шлакових включень. В місцях концентрації напружень їх наявність не допустима.

Розшарування утворюються при прокаті злитків, всередині яких є посадочні раковини, великі ділянки неметалічних включень, тобто окислені шари металу. При прокаті включень, раковини, розкочуються і утворюють розшарування [2].

1.1.3 Характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час експлуатації

Механічні пошкодження дротів сторонніми предметами складають в окремих випадках до 60% від всіх пошкоджень, які призводять до стійких відключень ліній. В більшості випадків такі пошкодження призводять до обривів або перепалу значного числа витків проводу (до 40%). Частіше всього механічні пошкодження дротів відбуваються через зачіпання або приближення до дротів стріл кранів, екскаваторів, трубоукладачів, та інших високогабаритних машин. нерідкі випадки пошкоджень дротів при падінні дерев або при наближенні віток чагарника і крони дерев. Особливо багато пошкоджень від падінь дерев спостерігається на ділянках ліній, що проходять по заповідникам, лісопаркам, водозахисним зонам і т. п., де ширина просіки мінімальна.

Мають місце випадки обриву дротів на переходах через судноплавні річки і канали не прибраними вчасно мачтами суден.

В ряді випадків мають місце простріли дротів кулями або дробом. Такі пошкодження легко визначити за характером обриву окремих витків проводу. Витки в місцях обриву від прострілу розплющені і на їх часто є сліди дроби або кулі. Випадки обриву дротів при перекриттях ізоляції найбільш часто спостерігаються на лініях з мідними і алюмінієвими дротами [3, 18].

1.2 Методи неруйнівного контролю електричних дротів

1.2.1 Вихрострумівий метод неруйнівного контролю електричних дротів

Електромагнітний (вихрострумівий) метод контролю базується на взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, які наводяться обмоткою збудження в електропровідному об'єкті контролю. Густина вихрових струмів є функцією від геометричних розмірів і електромагнітних параметрів ОК, а також від взаємного розташування вимірювального вихрострумівого перетворювача (ВСП) та ОК.

Конструктивно ВСП – це є індуктивні котушки (одна або декілька). Струм, який проходить через обмотку збудження створює електромагнітне поле, яке перетинає поверхню ОК і в електропровідному шарі наводить вихрові струми. Електромагнітне поле цих струмів діє на ВСП одним із двох шляхів:

- 1) наводиться е.р.с. індукції (якщо є дві обмотки);
- 2) змінюється повний комплексний опір обмотки (однообмотковий ВСП).

ЕРС і опір Z залежить від багатьох параметрів. З одного боку це добре, але з іншого – погано, бо вплив цих параметрів треба розділяти при побудові системи обробки вимірювальної інформації [1].

Даний метод контролю забезпечує можливість безконтактного контролю, що є основною його перевагою. При цьому досягається велика продуктивність, мала залежність від стану середовища на результат контролю, велика надійність, можливість роботи в середовищах з підвищеною радіацією або запиленістю.

Недоліком даного методу є можливість контролю тільки електропровідних об'єктів або при наявності електропровідних основ при контролі діелектричних матеріалів, а також складність побудови пристроїв обробки багатопараметричної вимірювальної інформації.

Отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, безконтактність і висока продуктивність визначають широкі можливості автоматизації вихрострумowego методу контролю.

Простота конструкції перетворювача – ще одна з переваг даного методу. У більшості випадків котушки встановлюють у захисному корпусі і заливають компаундом. Завдяки цьому вони стійкі до механічних і атмосферних впливів, можуть працювати у досить широкому інтервалі температур і тисків.

Вихрострумові методи базуються на збудженні вихрових струмів, тому їх використовують для контролю якості електропровідних об'єктів: металів, сплавів, напівпровідників. Їм властива мала глибина зони контролю, яка визначається глибиною проникнення електромагнітного поля у контрольоване середовище. Цей метод широко використовують у дефектоскопії, визначенні розмірів і структуроскопії матеріалів і виробів [9].

У дефектоскопії за допомогою даного методу виявляють дефекти типу порушення суцільності, які виходять на поверхню або залягають на невеликій глибині, а також різноманітні тріщини, неметалеві включення, тощо.

Вихрострумовий метод дозволяє розв'язувати задачі контролю розмірів виробів. Цим методом вимірюють діаметр дроту, товщину металевих листів і стінок труб, товщину покриття на електропровідних основах. Структурний стан металів і сплавів впливає на їх електричні і магнітні характеристики. Це дозволяє контролювати не тільки однорідність хімічного складу, але й структуру металів, а також виявляти механічні напруження елементів конструкцій виробів.

За основу вихрострумowego методу покладена залежність інтенсивності і розподілу вихрових струмів в об'єкті контролю від його основних параметрів і від взаємного розташування ВСП і об'єкта. Змінний струм, який діє в котушках ВСП, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в електропровідному об'єкті контролю [12].

На рис. 1.1 подана узагальнена функціональна схема вихрострумowego контролю з використанням накладного перетворювача. Густина вихрових струмів максимальна на поверхні об'єкта в контурі, діаметр якого близький до

діаметра збуджувальної обмотки, і зменшується до нуля вздовж осі ВСП і при $r \rightarrow \infty$. Густина вихрових струмів зменшується також і по глибині об'єкта контролю. Для наближеної оцінки глибини проникнення електромагнітного поля накладного ВСП в об'єкт контролю можна скористатися формулою глибини проникнення δ (м) плоскої хвилі [2]:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma}}, \quad (1.1)$$

де ω - колова частота струму збудження ВСП;

μ_a - абсолютна магнітна проникність, Гн/м;

σ - питома електрична провідність матеріалу об'єкта контролю, См/м.

Величина δ відповідає затуханню напруженості магнітного поля в e раз у порівнянні із значенням напруженості магнітного поля на поверхні об'єкта. Формула (1.1) надає завищене значення глибини проникнення, яке тим ближче до реального, чим більшим є значення узагальненого параметра

$$\beta = R\sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma}, \quad (1.2)$$

де R - радіус збуджуючої обмотки ВСП.

Так при $\beta = 1.5$ реальне значення δ менше знайденого за формулою (1.1) в 2,2 рази, а при $\beta = 5$ - в 1,5 рази.

Для визначення δ при відомому значенні β можна використовувати наступну формулу [1]:

$$\delta = \frac{R\sqrt{2}}{\beta} \quad (1.3)$$

Формулу (1.1) також можна застосовувати для наближеної оцінки глибини проникнення магнітного поля прохідного ВСП в довгий круговий циліндр чи трубу.

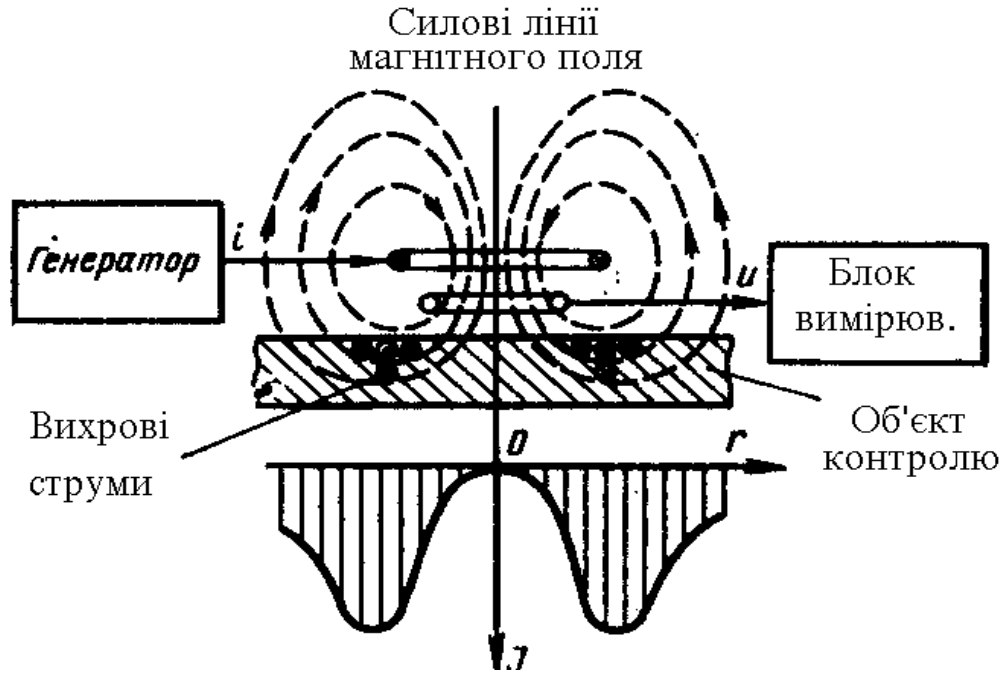


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема вихрострумowego контролю за допомогою накладного ВСП

Дійсне значення глибини проникнення для зовнішнього прохідного ВСП з однорідним магнітним полем перевищує оцінку за формулою (1.1).

На рис. 1.2 вказані графіки залежності відносної глибини проникнення $\delta_* = \delta/R$ від квадрату узагальненого параметра контролю x :

$$x = R\sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \sigma}, \quad (1.4)$$

де R – радіус контрольованого циліндра або зовнішній радіус труби ($\delta_* = \frac{\sqrt{2}}{x}$).

Для лінійного середовища та осьосиметричного монохроматичного магнітного поля комплексна е.р.с становить:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E} &= -j\omega \cdot w_B \cdot \dot{\Phi}; \\ \dot{E} &= -j\omega \cdot w_B \cdot l \cdot \dot{A}, \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

де l – довжина контуру вимірювальної обмотки, яка коаксіальна із збуджуючою.

Для розрахунків переважно використовують відносну е.р.с:

$$\dot{E}_* = \frac{\dot{E}}{E_0}, \quad (1.6)$$

де E_0 – модуль вектора початкової е.р.с (відповідає відсутності об'єкта у зоні контролю).

Очевидно, що

$$\dot{E}_* = -j\dot{\Phi}/\Phi_0 = -f\dot{\Phi}_* = -j\dot{A}/A_0 = -jA_*, \quad (1.7)$$

де Φ_0 і A_0 – модулі векторів магнітного потоку і векторного потенціалу [12]. Дійсне значення глибини проникнення для зовнішнього прохідного ВСП з однорідним магнітним полем перевищує оцінку за формулою (1.1).

Комплексний опір параметричного ВСП визначається виразом:

$$Z = \dot{U}/\dot{i}_3 = -\frac{\dot{E}}{\dot{I}_3}, \quad (1.8)$$

де \dot{I}_3 – струм збудження в обмотці ВСП.

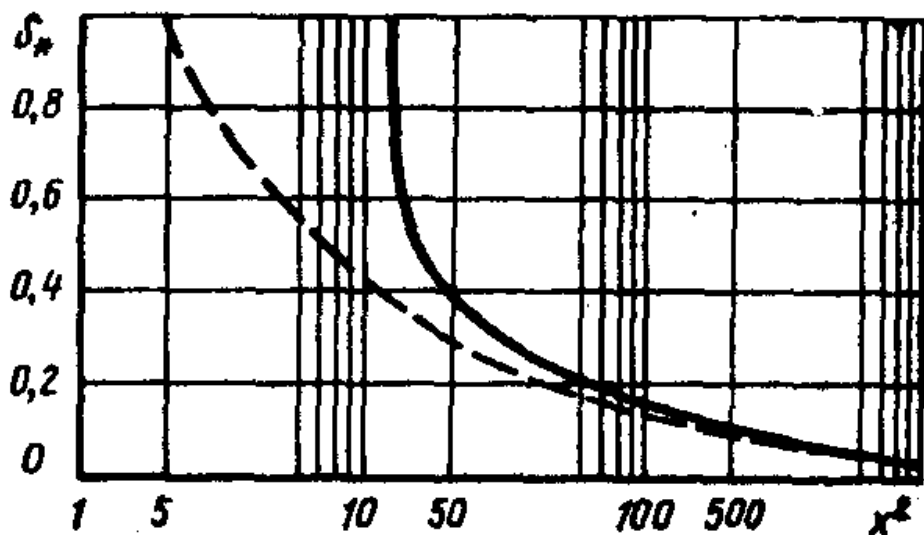


Рисунок 1.2 – Залежність відносної глибини δ_* проникнення магнітного поля прохідного ВСП з однорідним полем в круговий циліндр від параметра x^2 (суцільна лінія – дійсні значення, пунктирна - наближені)

Нормоване по початковому індуктивному опору значення комплексного опору параметричного ВСП становить:

$$Z_* = \frac{Z}{\omega \cdot L_0} = \dot{U}_* = -\dot{E}_*. \quad (1.9)$$

1.2.2 Індукційний метод контролю

Магнітний вид неруйнівного контролю застосовується в основному для контролю виробів із феромагнітних матеріалів, тобто із матеріалів, котрі здатні суттєво змінювати свої магнітні характеристики під впливом зовнішнього (намагнічуючого) магнітного поля. При цьому виді контролю обов'язковою є операція намагнічування, при якій виріб поміщається у магнітне поле [3].

В залежності від конкретних задач неруйнівного контролю, марки контрольованого матеріалу, необхідної продуктивності методу можуть використовуватися ті чи інші інформативні параметри. Найбільш розповсюдженими інформативними параметрами вважається коерцитивна сила, намагніченість, індукція або остаточна індукція, магнітна проникність, ефект Баркгаузена.

За способом отримання первинної інформації розрізняють наступні методи магнітного виду контролю: магнітопорошковий, магнітографічний, ферозондовий, ефект Холла, індукційний, пондеромоторний, магніторезисторний.

З допомогою магнітних методів контролю можна виявляти загартовані і шліфувальні тріщини, волосовини, закати, втомнісні тріщини і інші поверхневі дефекти шириною розкриття в декілька міліметрів.

Індукційний метод полягає у використанні в якості первинного перетворювача котушки, яка рухається відносно намагніченого об'єкту контролю. Е.р.с., яка індукується в котушці, несе інформацію про поля розсіювання.

В індукційному методі в якості магнітного перетворювача використовуються пасивні індукційні котушки. Дані перетворювачі мають вигляд котушки (контур) з кількістю витків w .

Робота індукційних магнітних перетворювачів описується згідно закону електромагнітної індукції.

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.10)$$

де $d\Phi$ - зміна повного магнітного потоку за невеликий проміжок часу dt ;
 Φ – повний магнітний потік, який становить [5]:

$$\Phi = \mu_0 \cdot \mu_T H \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (1.11)$$

S – площа поперечного перерізу котушки.

В формулі (1.11) введені позначення:

H – модуль напруженості магнітного поля;

α - кут між вектором H і нормаллю до площини котушки;

μ_T - відносна магнітна проникність осердя котушки, проникність тіла, яка визначається як його матеріалом, так і формою:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн / м} - \text{магнітна стала.}$$

З формули (1.11) слідує, що пасивний індукційний перетворювач не може бути використаний для вимірювання постійних і однорідних полів.

Для однокотушкового перетворювача е.р.с розраховують за формулою:

$$e_1 = -w \cdot \mu_T \cdot S \cdot \cos \theta_1 \frac{dH_1}{dt}, \quad (1.12)$$

а для двокотушкового диференційного перетворювача формула (1.13) набуває вигляду:

$$e_2 = -w \cdot \mu_T \cdot S \cdot \left(\cos \theta_1 \cdot \frac{dH_1}{dt} - \cos \theta_2 \cdot \frac{dH_2}{dt} \right), \quad (1.13)$$

де e_1 і e_2 – е.р.с, що індукуються;

w – кількість витків котушки;

S - площа осердя, або площа середнього витка перетворювача без осердя;

θ_1, θ_2 - кути між віссю котушок і вектором напруженості вимірюваного магнітного поля;

H_1, H_2 – напруженості магнітного поля у місцях розташування котушок;

μ_r - магнітна проникність тіла, яка подається залежністю:

$$\mu_r = \frac{\mu}{1 + \left[1 - \frac{1}{j^2} + \left(\frac{1}{j^3} - \frac{1}{j} \right) \operatorname{arctg}(j) \right]}, \quad (1.14)$$

$$\text{де } j = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l} \right)^2},$$

де d – діаметр осердя;

l – довжина осердя;

μ - магнітна проникність речовини осердя.

Магнітна індукційна головка – це різновид пасивного індукційного перетворювача (рис.1.3). Вона складається з котушки 3, яка знаходиться на кільцевому магнітопроводі 2 з робочою щілиною.

Під час руху магнітного носія 1 потік Φ_r розділяється на потік Φ_R , який зчіплюється з осердям, і на потік Φ_S , який його минає. Чим більше Φ_R , тим більша е.р.с і тим більша ефективність E осердя магнітної головки [3]:

$$E = \frac{\Phi_R}{\Phi_S} = \frac{1}{1 + \frac{l_c Q_s}{\mu_c l_s Q_c}}, \quad (1.15)$$

де l_s – середня довжина магнітних силових ліній в щілині, яка має поперечний переріз Q_s ;

l_c - середня довжина магнітних силових ліній в осерді головки, яка має площу Q_c ;

μ_c - середня магнітна проникність матеріалу осердя.

В якості матеріалів для сердечників головок використовують пермалої (79НМ, 80НХС), ферити (1000, 1000НМ). Сигнал на виході головки пропорційний градієнту поля та швидкості переміщення головки відносно поля.

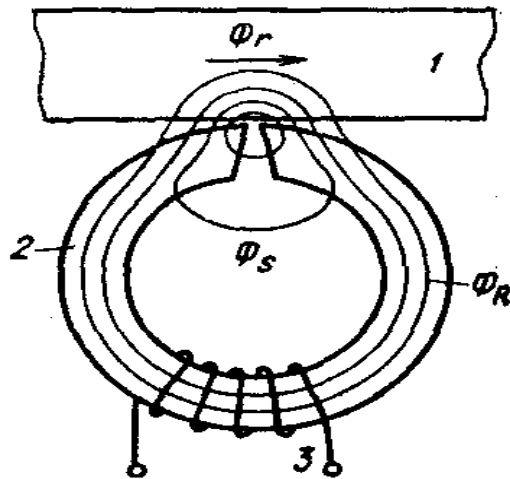


Рисунок 1.3 - Графічна інтерпретація індукційного контролю

Магнітні головки характеризуються не тільки чутливістю, але і частотною характеристикою. При цьому у частотному спектрі вихідного сигналу можуть бути суттєво приглушені нижні гармонічні складові сигналу.

Індукційні перетворювачі застосовуються в індукційних дефектоскопах. Дефектоскопами контролюють вироби із феромагнітних матеріалів (труби, прутки, дроти електричні, листи). Їхніми перевагами є простота конструкції, підвищена надійність і зручність в експлуатації.

Як недолік слід вказати на необхідність розробки конкретної конструкції для конкретних об'єктів контролю.

1.2.3 Електропотенціальний метод контролю

Електропотенціальний метод базується на реєстрації розподілу електричного потенціалу вздовж поверхні ОК. Розподіл потенціалу визначається властивостями ОК, що проводить електричний струм, який створюється зовнішнім джерелом. Метод використовується головним чином для дефектоскопії струмопровідних об'єктів, зокрема для вимірювання глибини тріщин.

За допомогою електродів 1, 2, які називаються струмовими і розміщені по різні боки тріщини, глибину якої необхідно виміряти, до пластини підводиться електричний струм. Вектор щільності струму у пластині визначається вектором напруженості електричного поля і співпадає з ним по напрямку.

Даний метод застосовується для плоских об'єктів, для дротів він не підходить

1.3 Технічні засоби неруйнівного контролю електричних дротів

Дефектоскопи - найбільш поширений вид вихрострумових приладів НК [1]. Вони призначені для виявлення несучільностей в об'єктах із електропровідних матеріалів. Умовно їх можна класифікувати по декількох ознаках. Так, по виду об'єктів контролю розрізняють дефектоскопи для контролю об'єктів із плоскими поверхнями та об'єктів складної форми, лінійно протяжних об'єктів (пруток, дріт, труба), а також для контролю дрібних деталей масового виробництва (деталі підшипників кочення, кріпильні деталі та інші). Стосовно режиму роботи дефектоскопи поділяються для роботи в статичному і динамічному режимах та універсальні. Згідно типу застосовуваних ВСП розрізняють дефектоскопи з прохідними і накладними ВСП, універсальні дефектоскопи. За конструктивним виконанням дефектоскопів розрізняють: стаціонарні, переносні і портативні. Усі класифікаційні ознаки незалежні. Можливі інші ознаки, наприклад вид живлення, захищеність від зовнішніх впливів, хоча вони в цілому відносяться до узагальнених стосовно продукції приладобудування.

Їх можна розділити на загальні, стосовно до дефектоскопів як продукції приладобудування (маса, споживана потужність, показники надійності, термін служби і т.п.), і спеціальні. До спеціальних характеристик відносять поріг чутливості, роздільну здатність і максимальну продуктивність або швидкість контролю.

Основний параметр дефектоскопа — поріг чутливості. Це мінімальні розміри дефекту заданої форми, при яких відношення сигнал/завада дорівнює двом.

В якості стандартних дефектів часто приймають вузькі розрізи, площина яких орієнтована нормально до поверхні зразка, що мають визначену глибину, довжину і ширину, яка називається також розкриттям. Такі штучні дефекти наносять на плоскі зразки, прутки і труби різними методами. Інший тип стандартного дефекту — круглий наскрізний або глухий отвір заданих значень діаметра і глибини (для глухих отворів). Отвори, як штучні дефекти, легше виготовити, але сигнали від отворів і штучних тріщин чи рисок тієї ж глибини є різними.

Реальний поріг чутливості дефектоскопа залежить, що очевидно, як від рівня сигналу, так і від рівня завад. Найбільший вплив створюють завади, які пов'язані зі зміною властивостей ОК (наприклад, параметрів μ і σ), розмірів, шорсткості поверхні ОК, а також із зміною взаємного положення ВСП і ОК (зміни зазору при використанні накладних ВСП або радіальні переміщення ОК у прохідному ВСП). Тому поріг чутливості не є постійним параметром, бо він визначається конкретними умовами застосування дефектоскопа, що необхідно обов'язково враховувати при його експлуатації. Поріг чутливості, що задається в технічній документації дефектоскопа, визначають у відповідності з точно конкретизованими цими умовами. Вказуються, наприклад, матеріал і марка зразка з атестованим штучним дефектом, взаємне розташування ВСП і зразка, розміри зразка, розташування штучного дефекту. Так як сигнал залежить від положення ВСП щодо дефекту, то зазвичай при визначенні порогу чутливості мають на увазі найбільше значення сигналу, яке отримується при скануванні дефектної ділянки [9].

Роздільна здатність — мінімальна відстань між двома дефектами, при якій вони реєструються роздільно. Цей параметр переважно задається в межах 5-15 мм. Для дефектоскопів із прохідними ВСП він залежить від діаметра ОК (і ВСП відповідно): чим більший діаметр, тим гірша роздільна

здатність для дефектів, розташованих уздовж осі ОК. Для накладних ВСП роздільна здатність, покращується із зменшенням зони чутливості ВСП.

Максимальна продуктивність контролю – важлива експлуатаційна характеристика, яка конкретизується для дефектоскопів, що працюють в автоматичному або напівавтоматичному режимі в технологічних виробничих лініях. При контролі лінійно протяжних об'єктів продуктивність визначається швидкістю контролю (м/с), а при контролі дрібних об'єктів – їх кількістю за одиницю часу (шт./год). Продуктивність контролю вихрострумових дефектоскопів обмежується головним чином можливостями пристроїв, що транспортують, сканують і сортують ОК. Обмеження, які пов'язані з впливом швидкості руху ОК у зоні контролю на сигнали ВСП, суттєво слабші і переважно не визначають впливу на продуктивність [1].

Крім перерахованих конкретизуються також якісні характеристики дефектоскопів: наявність автоматичного подавлення впливу змін зазору можливість оцінки глибини (або протяжності) дефекту і документування результатів контролю.

Регламентовані ДСТУ 2954-94 загальні технічні вимоги зазвичай доповнюються такими параметрами і характеристиками, як частота струму збудження ВСП, умови застосування дефектоскопа, види і характеристики об'єктів контролю.

Дефектоскопи для контролю об'єктів із плоскими поверхнями й об'єктів складної форми переважно комплектуються накладними ВСП і призначені для роботи в статичному і/або динамічному режимах. У першому режимі оператор переміщує ВСП вздовж поверхні ОК рукою, а у другому режимі ВСП за допомогою електроприводу сканує досліджувану ділянку ОК згідно вибору оператора. Найчастіше такі дефектоскопи виготовляють у виді портативних або переносних приладів, що допускають роботу в польових умовах.

Прилад ВД-3ОП призначений для автоматичного контролю поверхневих дефектів в трубах, прутках і дроті феромагнічних і неферомагнітних сталей і

сплавів. Він застосовується в умовах потокового виробництва. У приладі застосована амплітудно-фазовий спосіб виділення інформації.

Для контролю ферромагнітних виробів застосовується підмагнічування до насичення.

Для дефектоскопії немагнітних матеріалів широке застосування знайшли прилад “Дефектограф 2.180” . Прилади призначені для виявлення дефектів в прутках діаметром 1 - 30 мм і трубах діаметром 3 - 60 мм товщиною стінки до 4 мм. Вони оснащені пристроями сортування, маркування дефектних ділянок, а також самописцем.

Більш досконалий прилад “Дефектомат 2.189”, призначений для напівавтоматичного і автоматичного (з додатковим) контролю дефектів в дроті, прутках і трубах з немагнітних металів. Прилад дозволяє виявляти такі дефекти, як тріщини, включення, розшарування як поверхневі, так і підповерхневі. У комплект приладу входять 18 змінних перетворювачів діаметрами прохідних отворів 1,2 - 140 мм. Робочі частоти від 200 Гц до 90 кГц. Максимальна товщина стінки труб при виявленні внутрішніх дефектів визначається властивостями матеріалу і не перевищує 10% зовнішнього діаметру (не більше 5 мм). Прилад має пристрій для сортування контрольованих виробів на дві і три групи. Маса повністю укомплектованого приладу близько 250 кг[1].

Для контролю дроту і труб ферромагнітних і немагнітних металів, що мають високу температуру (до 1200°C), призначений прилад “Дефектотерм 2.186” і аналогічний йому прилад “Теледиктор 937”. Діаметр об'єктів контролю 5 - 23 мм (або 20 - 65 мм). Ці прилади мають вбудовані блоки управління механізмами, що сортують і призначені для установки в автоматичних лініях [6].

Широке застосування знаходять дефектоскопи при контролі прохідними перетворювачами при контролі немагнітного дроту. Вельми зручним, в цьому випадку модуляційний метод, відстройки від впливу параметрів, що заважають.

Такий метод з використанням амплітуди сигналу в якості носія, інформації реалізований в дефектоскопі вольфрамового дроту ДКВ-2. Прилад має прохідний перетворювач самозрівнювання і дозволяє виявляти дефекти (риски, тріщини і т. д.) у вольфрамовому дроті діаметром 0,3-2,5 мм, що переміщається. Прилад високочутливий і дозволяє виявляти дефекти глибиною понад 3% діаметру дроту. Прилади типу ДКВ-2 використовуються на підприємствах електронної промисловості.

Більш досконалим є прилади серії ВД-20П. Прилад ВД-20П дозволяє виявляти дефекти завглибшки понад 10% діаметра в немагнітному дроті, діаметр якого 0,2-0,6 мм. Він комплектується пристроєм, що забезпечує перемотування контрольованого дроту швидкістю 18-180 м/хв. Прилад ВД-21П призначений для контролю немагнітного дроту діаметром 0,5-1,5 мм і дозволяє виявляти дефекти глибиною понад 2% діаметру дроту. Прилад ВД-10П призначений для виявлення дефектів, що перевищують 15% діаметру в дуже тонкому немагнітному дроті діаметром 0,05 - 0,25 мм.

Всі ці прилади забезпечені автоматичними пристроями визначення протяжності дефектних ділянок і осцилографічним індикатором. На основі методу стабілізації режиму контролю сконструйований прилад ВІП-1. Він призначений для контролю тільки немагнітних матеріалів - прутків з вольфраму, молібдену, алюмінію, міді і т.д. В приладі застосований безеталонний змінно-частотний спосіб вимірювання. Збудження перетворювача здійснюється від генератора частота якого змінюється від 1,4 до 40 кГц. Прилад дозволяє вимірювати діаметр (точністю 3%) дротів діаметром 2,5 - 10 мм.

Розглянуті приклади не вичерпують всього різноманіття приладів вихрострумове НКз прохідними перетворювачами, але показують основні напрямки, в яких ці прилади знаходять застосування.

1.4 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи

Таким чином в бакалаврській роботі необхідно здійснити:

- розробити структурну і принципову схему дефектоскопа для контролю електричних дротів;
- здійснити розрахунок вихрострумowego перетворювача, який забезпечує проведення контролю дефектів дротів;
- розглянути елементи конструктивного виконання дефектоскопа;
- розробити електричну схему генератора для живлення вихрострумowego перетворювача і здійснити його розрахунок;
- - розглянути складові похибки при функціонуванні дефектоскопа;
- розглянути правила і умови безпечної експлуатації дефектоскопа.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ВИХРОСТРУМОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА ЕЛЕКТРИЧНИХ ДРОТІВ

2.1 Розроблення структурної схеми дефектоскопа

Всі впливаючі чинники при вихреструмовому контролі діляться на контрольовані параметри ОК і що заважаючі фактори (параметри). У практиці вихреструмового контролю потрібне селективне визначення одного, двох, рідше більшої кількості параметрів ОК. Тому одна з найважливіших і найбільш важчих проблем реалізації вихреструмового контролю, створення селективних вихреструмових приладів полягає в ослабленні впливу чинників, що заважають, і параметрів ОК. Ослабити вплив зовнішніх чинників, що заважають (температура навколишнього середовища, електромагнітні наведення та ін.); легше, ніж вплив тих, що заважають параметрів ОК, оскільки вони, як правило, пов'язані з контрольованими параметрами.

Носієм корисної інформації про контрольований параметр служить сигнал ВСП. Для трансформаторного ВСП сигналом служить напруга (e_p) вимірювальної котушки, а для параметричного - зміна його комплексного опору. Якщо ВСП працює на одній частоті, то його вихідний сигнал має два параметри: амплітуду і фазу напруги (або активну і реактивну складові напруги / опору, або модуль і аргумент комплексного опору) [8].

Двохпараметрові способи виділення інформації одержали найбільш широке розповсюдження в практиці вихреструмового НК і застосовуються у випадках, коли сильний вплив на вихідні сигнали ВСП крім контрольованого надає ще один параметр, що заважає. Вибір способу ослаблення (придушення) впливу заважаючих чинників, при якому похибка контролю мінімальна, базується на аналізі залежностей вихідних сигналів ВСП від контрольованого і пригнічуваного параметрів. При двухпараметровому контролі чутливість до контрольованого параметра звичайно знижується, але чутливість до чинника,

що заважає значно зменшується. В результаті чого зростає відношення сигнал / завада [1].

До найбільш поширених двохпараметрових способів виділення інформації при вихрострумовому контролі відносяться амплітудний, фазовий і амплітудно-фазовий, які базуються на використанні відповідно амплітуди, фази а також одночасно амплітуди і фази вихідної напруги ВСП. Всі ці способи використовують гармонійний режим збудження ВСП. Загальним їх є те, що сигнал має два інформаційних параметри і в результаті компенсації частини вихідної напруги ВСП початкова робоча точка встановлюється у визначеному місці комплексної площини напруг ВСП, що вносяться, що змінюють функцію впливу параметрів ОК на сигнали ВСП.

Вибираємо серед всіх багатопараметричних способів виділення інформації-амплітудний спосіб.

Амплітудний спосіб виділення інформації доцільно застосовувати, наприклад, для контролю діаметру прутків, дротів прохідними ВСП або товщину діелектричних покриттів (що ідентично зміні зазору між ВСП і ОК) накладними ВСП з подавленням впливу змін питомої електричної провідності [7].

Також доцільно застосовувати амплітудний спосіб у випадку коли годографи $U_{BH}^*(\rho_{II})$ близькі до дуг концентричних кіл, а кут α між дотичними до них і годографами $U_{BH}^*(\rho_{II})$ значний ($\pi/4 < \alpha < \pi/2$).

Розглянемо частину годографа вносимих напруг U_{BH}^* , обумовлених змінами контрольованого параметра p_k і пригнічуваного чинника (параметра) p_n (рис. 2.1) Амплітуда напруги ВСП (модуль комплексної напруги) може лише в невеликому ступені залежати від зміни подавлюваного параметра, якщо робоча точка з початку координат зміщується в точку К комплексної площини U_{BH}^* , розташовану на нормалі NN' до годографа $U_{BH}^*(\rho_{II})$ в точці А, яка відповідає ОК з номінальними параметрами (p_{k0}, p_{n0}) [2].

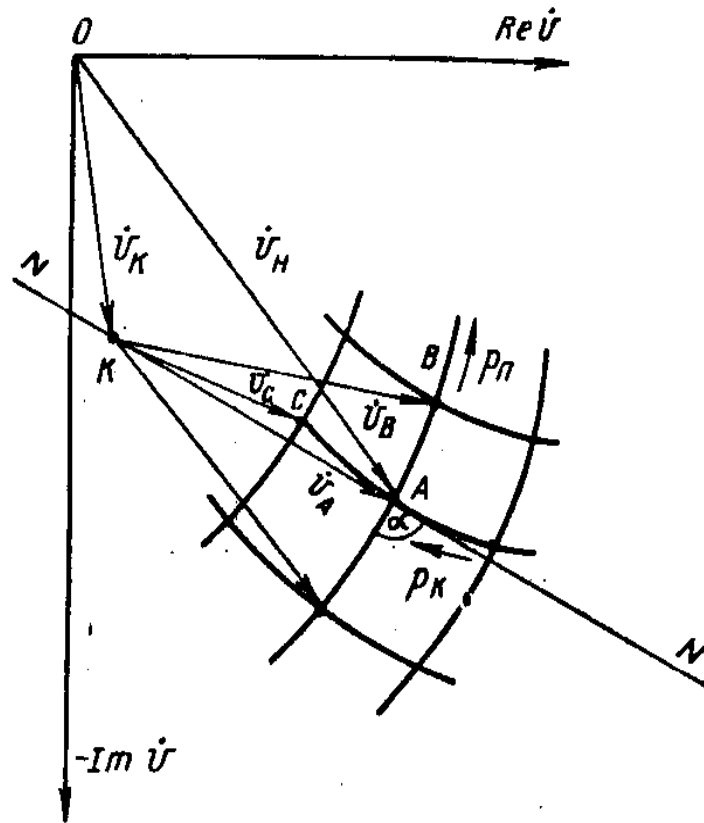


Рисунок 2.1 – До пояснення амплітудного способу виділення інформації

Цього можна добитися відніманням компенсуючої напруги U_K^* з напруги ви мірювальної ВСП:

$$U_A^* = U_H^* - U_K^* \quad (2.1)$$

де, U_H^* - початкова вносимо а напруга при $p_{к0}$ і p_{n0} .

Якщо зміна пригнічуваного чинника p_n викликає зсув кінця вектора U_{BH}^* з точки А точку В, то різниця модулів векторів ΔU_A^* і ΔU_B^* , $\Delta U \cong U_A - U_B \cong 0$

Тому опис структурної схеми дефектоскопа наступний:

Блок генератора живить синусоїдальним струмом обмотку збудження вихрострумовевого перетворювача (ВСП) і збуджує в електропровідному матеріалі ОК вихрові струми. При встановленні ВСП на ОК, в його вимірювальних обмотках збуджується сумарна е.р.с. ВСП. Підсилена підсилювачем (П), сумарна е.р.с. поступає на один із входів компенсатора сигналу (КС) ВСП. На другий вхід (КС), поступає компенсуюча напруга з формувача (Ф). Напруга з виходу (КС) через фільтр низьких частот (ФНЧ) поступає на входи амплітудного детектора (АД). Постійна напруга з виходу детектора через перемикач "Режим роботи" поступає на вхід підсилювача (П), напруга поступає на вхід (АЦП), що перетворює вхідний аналоговий сигнал в двійковий код, що використовується для управління світлової позиційної індикації (СІ) і звукової дискретної змінно-частотної сигналізації (ЗС). Пристрій звукової сигналізації може працювати в пороговому режимі, коли звуковий сигнал подається тільки при перевищенні сигналом ВСП заданого рівня, який встановлюється перемикачем амплітудного селектора (АС) [2].

2.2 Розрахунок основних вузлів дефектоскопа

Практичну реалізацію вибору робочого значення частоти, можна здійснити двома методами. Перший полягає в апіорному (попередньому) виборі частоти з врахуванням фактичних робочих її значень в аналогічних відомих, чи серійних вихрострумових приладах неруйнівного контролю. При цьому далі згідно цієї частоти знаходиться робоча точка на годографі. Другий метод передбачає розрахунок узагальненого параметра, виходячи із критеріїв оптимізації робочої частоти, наприклад з метою досягнення максимальної чутливості, але при цьому практично важко реалізувати розробку генератора на цій частоті, тому ми в бакалаврській роботі зупинимося на першому варіанті, тобто задамося частотою згідно робочих режимів аналогічних засобів дектоскопії неферромагнітних матеріалів [18].

Тому подальший розрахунок вузлів вихрострумового дефектоскопа складається з розрахунку генератора на вибраній частоті і розрахунку вихрострумового перетворювача для неферромагнітних матеріалів, якими згідно завдання бакалаврської роботи є алюмінієвий дріт.

Значення частоти визначається видом об'єкта контролю (ОК) і повинна бути такою щоб вихрові струми наводились не менше, як в половині діаметра дротів, що дасть можливість виявляти дефекти на таку глибину ОК.

Частоту визначимо, користуючись формулою (1.1), зробивши перетворення отримаємо :

$$\omega = \frac{2}{\mu a \cdot \sigma \cdot \delta^2} \quad (2.2)$$
$$\omega = \frac{2}{12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 37,2 \cdot 10^6 \cdot 6,2510^{-6}} = 68,4 \text{ кГц}$$

Так, як формула для розрахунку дає завищену глибину проникнення, то приймаємо значення частоти рівним 80 кГц, яка буде і базовим для подальшого розрахунку генератора [13, 14].

2.2.1 Розрахунок генератора

Здійснюючи розрахунок блоку генератора, слід відмітити, що генераторами називаються пристрої, в яких енергія джерела живлення перетворюється в енергію змінних електричних коливань при відсутності вхідного сигналу. Коливання на виході генератора можна отримати, охопивши звичайний підсилювач додатнім зворотнім зв'язком достатньої глибини.

При безпосередньому з'єднанні виходу підсилювача з його входом відбувається самозбудження схеми. Однак форма коливань буде значно відрізнятися від синусоїдальної, оскільки умови самозбудження будуть одночасно виконуватись для коливань різних частот. Для отримання синусоїдальних коливань необхідно, щоб ці умови виконувались тільки для однієї частоти і різко погіршувались для інших частот. Цього можна досягнути, застосувавши фазообертаюче коло, яке складається з кількох R-C ланок і служить для повороту фази вихідної напруги на 180° [14].

Зміна фази залежить від кількості ланок n і знаходиться з виразу:

$$\phi = 180^\circ \frac{1}{n}, \quad (2.3)$$

Внаслідок того, що одна R-C ланка змінює фазу сигналу на кут $\phi < 90^\circ$ мінімальна кількість ланок фазообертаючого кола $n = 3$.

Схема генератора синусоїдальних коливань з фіксованою частотою зображена на рисунку 2.2. Генератор складається з підсилювача з поворотом фази на 180° , виконаного на транзисторі VT1, який ввімкнено за схемою із спільним емітером. Для виконання умови балансу фаз в підсилювач введені фазообертаючі R-C ланки зворотного зв'язку, які змінюють фазу сигналу на частоті генерації також на 180° . На інших частотах баланс фаз виконуватися не повинен. Для зменшення впливу елементів схеми на форму кривої генерованих коливань в підсилювачі

застосовано місцевий негативний зворотній зв'язок по струму, який не залежить від частоти у всьому діапазоні смуги пропускання підсилювача. З метою забезпечення нормальної роботи генератора в його схему введено узгоджуючий каскад – емітерний повторювач на транзисторі VT2. Використання емітерного повторювача зумовлено тим, що при його відсутності важко виконати умови самозбудження в схемі генератора, оскільки, по-перше, фазообертаюча ланка зворотнього зв'язку шунтує резистор R і тим самим зменшує коефіцієнт підсилення VT1, по-друге, низький вхідний опір каскаду знижує коефіцієнт передачі струму VT1.

Робота генератора починається в момент ввімкнення джерела живлення. При цьому виникає імпульс колекторного струму, який містить широкий і неперервний спектр частот, в якому є і необхідна частота генерації. В наслідок виконання умов самозбудження, коливання тільки певної частоти (частоти генерації) стають незатухаючими. Всі інші частоти для яких умови балансу фаз не виконуються, швидко затухають [1].

Здійснюємо розрахунок R-C генератора [13] при цьому вхідні дані будуть [14]:

- напруга живлення, $U_{ж} = 9\text{В}$;
- частота генерації, $f = 300\text{ Гц}$;
- робоча напруга транзистора VT1, $U_{к.р.vt1} = 4\text{ В}$;
- робоча напруга транзистора VT2, $U_{к.р.vt2} = 4\text{В}$;
- струми спокою транзистора VT1, $I_{к.р.vt1} = 10\text{mA}$;
- струми спокою транзистора VT2, $I_{к.р.vt2} = 5\text{mA}$;

1) Вибираємо транзистори для схеми генератора. З метою оптимальної роботи пристрою доцільно вибрати одного типу, які повинні задовільняти умови:

$$U_{ke.max} \geq 1,2U_{ж}, \quad (2.2)$$

$$I_{k.max} \geq 2I_k, \quad (2.3)$$

Вибираємо транзистори типу КТ 3102В з такими параметрами
 $U_{k,max}=30В$,

$I_{k,max}=100\text{ mA}$, $h_{21}=300$, $r_6=110\text{ Ом}$, $r_e=20\text{ Ом}$;

2) запишемо рівняння $U_{ж}$ для транзистора VT2

$$U_{ж}=U_{k.p.vt2} + I_{e.vt2} \cdot R9, \quad (2.4)$$

де, $I_{e.vt2}$ - струм емітера транзистора VT2 при відсутності вхідного сигналу. Звідси враховуючи, що $I_{e.vt2} = I_{k.p.vt2}$ то отримаємо значення опору резистора R9:

$$R9 = (U_{ж} - U_{k.p.vt2}) \frac{1}{I_{e.vt2}}, \quad (2.5)$$

$$R9 = (9 - 4) / 5 = 1\text{кОм}$$

Складемо рівняння для струму бази VT2

$$I_{б.vt2} = I_{k.p.vt2} \cdot h_{21e.vt2} \approx (U_{ж} - I_{k.p.vt2} \cdot R9) \frac{1}{R8}, \quad (2.6)$$

з виразу (2.6)

$$R8 = \frac{(U_{ж} - I_{k.p.vt2} \cdot R9) \cdot h_{21e.vt2}}{I_{k.p.vt2}}, \quad (2.7)$$

$$R8 = \frac{(9 - 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3) \cdot 300}{5 \cdot 10^{-3}} = 240\text{кОм}$$

3) розраховуємо опори резисторів підсилювального каскаду генератора.

Для цього запишемо рівняння $U_{ж}$ для транзистора VT1:

$$U_{ж} = I_{k.p.vt1} \cdot R3 + U_{k.e.vt1} + I_{e.vt1} \cdot R4, \quad (2.8)$$

$$I_{k.vt1} \cong I_{e.vt1}, \quad (2.9)$$

$$U_{k.e.vt1} = r_e \cdot I_{e.vt1}, \quad (2.10)$$

$$U_{kt.vt1} = 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,2В$$

де r_e - диференційний опір емітерного переходу.

Напруга на резисторі R4 для однострижкованих підсилювальних каскадів визначається з виразу:

$$U_{e.vt1} = I_{e.vt1} \cdot R4 \cong 0,015U_{ж} \quad (2.11)$$

$$U_{e.vt1} = 0,015 \cdot 9 = 0,135B$$

Звідси R3 та R4

$$R3 = \frac{0,985 \cdot U_{\text{жс}} - I_{kt.vt1}}{I_{k.p.vt1}}, \quad (2.12)$$

$$R3 = \frac{0,985 \cdot 9 - 0,2}{10 \cdot 10^{-3}} = 866,50M$$

вибираємо R3=820 Ом;

$$R4 = \frac{U_{e.vt1}}{I_{e.vt1}}, \quad (2.13)$$

$$R4 = \frac{0,135}{10 \cdot 10^{-3}} = 13,50M$$

вибираємо R4=13 Ом

4) вхідний опір підсилювального каскаду без врахування шунтуючої дії подільника на резисторах R1 і R2 визначається з виразу:

$$R_{\text{вх1}} = r_{\text{б.vt1}} + (1 + h_{21e.vt1})R4, \quad (2.14)$$

$$R_{\text{вх1}} = 110 + (1 + 300) \cdot 13,5 = 41730M$$

$r_{\text{б.vt1}}$ - диференційний опір бази транзистора VT1, Ом.

Оскільки опір паралельно з'єднаних резисторів R1 і R2 не повинен шунтувати $R_{\text{вх1}}$, то

$$Z = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} \geq 2R_{\text{вх1}}, \quad (2.15)$$

$$Z = 2 \cdot 4173 = 83470M$$

5) визначаємо опори резисторів R1 і R2

$$R1 = \frac{U_{\text{жс}} \cdot h_{21evt1}}{I_{kvt1}}, \quad (2.16)$$

$$R1 = \frac{9 \cdot 300}{10 \cdot 10^{-3}} = 270кОм$$

$$R2 = \left(\frac{1}{Z} - \frac{1}{R1} \right)^{-1}, \quad (2.17)$$

$$R2 = \left(1,2 \cdot 10^{-4} - 3,7 \cdot 10^{-6} \right)^{-1} = 11,6кОм$$

Вибираємо $R_2=12\text{кОм}$

б) розраховуємо вхідний опір емітерного повторювача $R_{\text{вх}2}$ з врахуванням шунтування резистора R_9 вхідним опором підсилювального каскаду $R_{\text{вх}1}$:

$$R_{\text{вх}1} = \frac{Z \cdot R_{\text{вх}1}}{Z + R_{\text{вх}1}}, \quad (2.18)$$

$$R_{\text{вх}1} = \frac{8347 \cdot 4173}{8347 + 4173} = 2782 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{вх}2} = r_{\text{б}2} + (1 + h_{21e2}) \cdot \left(\frac{R_9 \cdot R_{\text{вх}1}}{R_9 + R_{\text{вх}1}} \right), \quad (2.19)$$

$$R_{\text{вх}2} = 110 + 301 \cdot 10^{-3} \cdot 0,73 = 221522 \text{ Ом}$$

Тоді значення $R_{\text{вх}2}$ визначається з виразу:

$$R_{\text{вх}2} = \frac{R_8 \cdot R_{\text{вх}2}}{R_8 + R_{\text{вх}2}}, \quad (2.20)$$

$$R_{\text{вх}2} = \frac{240 \cdot 10^3 \cdot 221,5 \cdot 10^3}{(240 + 221) \cdot 10^3} = 0,115 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

Значення опорів резисторів R-C кола однакові і знаходяться за формулою:

$$R \approx 0,1 \cdot R_{\text{вх}2}, \quad (2.21)$$

$$R = R_5 = R_6 = R_7 = 0,1 \cdot 0,115 \cdot 10^6 = 11,5 \text{ кОм}$$

Вибираємо $R_5=R_6=R_7=11,5 \text{ кОм}$

Ємність конденсатора R-C кола знаходиться з виразу для частоти генерації. З врахуванням шунтуючої дії $R_{\text{вх}1}$

$$C_3 = C_4 = C_5 = \frac{\sqrt{6 + 4R \frac{1}{R_{\text{вх}2}}}}{f \cdot R}, \quad (2.22)$$

$$C_3 = C_4 = C_5 = \frac{\sqrt{6 + 4 \cdot 1,15 \cdot 10^4 \frac{1}{1,15 \cdot 10^4}}}{300 \cdot 1,15 \cdot 10^4} = 7,3 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}$$

вибираємо $C_3=C_4=C_5=1\text{нФ}$

7) визначаємо коефіцієнт підсилення по напрузі

$$K_n \approx \frac{h^{21e} \cdot R3}{R_{ex1}}, \quad (2.23)$$

$$K_n = \frac{300 \cdot 866,5}{4173} = 62,3$$

Отримане значення K_n повинно задовольняти умови підтримання незатухаючих коливань у схемі :

$$K_n \geq 29 + \frac{23R}{R_{ex2}}, \quad (2.24)$$

$$K_n = 29 + \frac{23 \cdot 1,15 \cdot 10^4}{1,15 \cdot 10^5} = 31,3$$

$62,3 > 31,3$ умова виконується, отже елементи вибрано правильно.

8) розраховуємо ємності розділювальних конденсаторів $C1=C2=C6$ за формулою:

$$C1 = C2 = C6 = \frac{10^6}{2\pi f \cdot R}, \quad (2.25)$$

$$C1 = C2 = C6 = \frac{10^6}{2\pi \cdot 300 \cdot 1,15 \cdot 10^4} = 4нФ$$

2.2.2 Розрахунок вихрострумowego перетворювача

Суть розрахунку геометричних параметрів зводиться до знаходження габаритних розмірів вимірювальної і збуджуючої обмоток, а також до габаритних розмірів котушки прохідного перетворювача для контролю тонкого дроту[12].

Малий діаметр (1 мм - 5 мм) контролюючого дроту визначає малі значення коефіцієнта заповнення прохідного перетворювача (0,1 % - 3 %) і, як наслідок, малий рівень сигналів і необхідність балансування високої степені прохідного перетворювача.

Для підвищення абсолютної чутливості вимірювача діаметру застосовуємо прохідний перетворювач з протяжною збуджуючою обмоткою. Вимірювальні

обмотки доцільно розмістити поза збуджуючою, що дозволить спростити технологію виготовлення прохідного перетворювача і зменшити паразитну ємність між вимірювальними обмотками і дротом, що контролюється [8].

Діаметр робочого отвору D_0 вибираємо рівним 10 мм, виходячи із діаметру об'єкта контролю і для здійснення центрування в перетворювачі контролюючого дроту максимального діаметру.

Діаметр обмотки збудження D_3 складає 15 мм, відповідно її довжина $l_3 = 4 \cdot D_3 = 60$ мм. Тоді кількість витків одношарової збуджуючої обмотки визначаємо, виходячи з діаметру дроту в ізоляції (0,7 мм): $W_3 = 800$ витків.

Середній діаметр одношарової вимірювальної обмотки D_B знаходимо, прийнявши товщину стінки каркасу рівною 1 мм, а діаметр дроту d_B рівним 0,2 мм. Тоді $D_B = 20$ мм.

Довжина вимірювальної обмотки l_B вибираємо рівною 30 мм. За відомими D_B і l_B визначаємо кількість витків вимірювальної обмотки $W_B = 9,45$ витків. Приймаємо $W_B = 10$ витків.

Активний опір збуджуючої та вимірювальної обмоток перетворювача [2]:

$$R_3 = \frac{4 \cdot \rho \cdot D_3 \cdot W_3}{d_3^2}, \quad (2.26)$$

$$R_3 = 2,64 \text{ Ом}$$

$$R_6 = \frac{4 \cdot \rho \cdot D_6 \cdot W_6}{d_6^2}, \quad (2.27)$$

$$R_6 = 7,08 \text{ Ом}$$

Повний опір обмоток:

$$z_3 = R_3 + j\omega L_3, \quad (2.28)$$

$$z_3 = (2,64 + j254) \text{ Ом}$$

$$z_6 = R_6 + j\omega L_6, \quad (2.29)$$

$$z_6 = (7,08 + j66) \text{ Ом}$$

Згідно даного геометричного розрахунку виконується конструювання первинного перетворювача.

Далі проведемо електричний розрахунок він зводиться до визначення результуючої напруги.

Індуктивність збуджуючої обмотки визначаємо згідно формули:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 \pi \cdot D^2}{4 \cdot l} \quad (2.30)$$

$$L = 1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{800^2 \cdot 3,14 \cdot (14,2 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 56,8 \cdot 10^{-3}} = 0,0022 \text{ Гн}$$

Приймаємо $L=2,2$ мГн.

Струм збудження визначається діаметром дроту збуджуючої обмотки D_3 по допустимій густині струму $j_{\text{доп}}=50$ А/мм²:

$$I_3 = 0,25 \cdot \pi \cdot d_3^2 J_{\text{доп}} \quad (2.31)$$

$$I_3 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,7^2 \cdot 50 = 18,5 \text{ мА}$$

Приймаємо $I_3 = 20$ мА.

Напруженість магнітного поля всередині збуджуючої обмотки $H_3=2670$ А/м. Напруженість магнітного поля поза об'єктом контролю $H_0=3890$ А/м.

Вихідну напругу будемо визначати за допомогою годографа відносної напруги прохідного ВСП. Для цього необхідно провести розрахунок таких параметрів за формулою (2.1) розраховуємо узагальнений параметр згідно даних про ОК і значення колової частоти струму збудження $\omega=0,08$ МГц:

$$x^2 = ((10 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,08 \cdot 10^6 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 37,2 \cdot 10^6 = 25 [1].$$

Визначаємо коефіцієнт заповнення, який визначається радіусом ОК R і радіусом обмоток збуджувальної R_3 і вимірювальної R_B :

$$\eta = \left(\frac{R}{R_B} \right)^2 \quad \text{при } R_B \leq R_3, \quad (2.32)$$

або

$$\eta = \left(\frac{R}{R_3} \right)^2 \quad \text{при } R_B > R_3, \quad (2.33)$$

Оскільки, радіус вимірювальної обмотки R_B є більшим за радіус збуджувальної R_3 , то для визначення коефіцієнта заповнення використовуємо формулу (2.33):

$$\eta = \left(\frac{5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} \right)^2 = 0,25.$$

1) визначаємо відносну вносиму напругу за допомогою годографа [1].

Для цього відповідно до знайденого коефіцієнта заповнення вимірювальної котушки $\eta=0,25$ та узагальненого параметра контролю $x^2=25$ методом інтерполяції визначаємо точку, з якої, опустивши перпендикуляри на дійсну і уявну осі, одержуємо значення відносної вносимої напруги в комплексній формі:

$$\dot{U}_{\dot{a}i}^* = 0,06 - j0,21(B)$$

$$\left| \dot{U}_{BH}^* \right| = \sqrt{\text{Re}^2 \dot{U}_{BH}^* + \text{Im}^2 \dot{U}_{BH}^*} \quad (2.34)$$

$$\left| \dot{U}_{BH}^* \right| = \sqrt{0,06^2 + 0,21^2} = 0,22(B)$$

розраховуємо початкову е.р.с. при відсутності об'єкта контролю:

$$\dot{E}_0 = -j\pi \cdot \mu_0 \cdot \omega \cdot H_0 \cdot R_g^2 \cdot W_g, \quad (2.35)$$

$$\dot{E}_0 = -j \cdot \pi \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 0,08 \cdot 10^6 \cdot 3890 \cdot (7,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10 = 4,9(B)$$

знаходимо абсолютне значення вносимої напруги:

$$\dot{U}_{ен} = \dot{E}_0 \cdot \dot{U}_{ен}^*, \quad (2.36)$$

$$\dot{U}_{ен} = 4,9 \cdot 0,22 = 1,1(B)$$

розрахунок результуючої напруги ВСП:

$$\dot{U} = jE_0 + \dot{U}_{ен}, \quad (2.37)$$

$$\dot{U} = j4,9 + 1,1 = 5,02(B)$$

Отже, згідно проведеного електричного розрахунку напруга ВСП складає 5,02 В.

2.2.3 Розрахунок вихідного сигналу ВСП від дефектів

Сигнали прохідних ВСП від дефектів залежать від багатьох факторів: геометричних параметрів дефектів, значення узагальненого параметра контролю форми і положення ОК. параметрів ВСП, а для диференціальних ВСП – від асиметрії його котушок, при контролі феромагнітних ОК - від струму збудження ВСП.

Прохідні ВСП найчастіше використовують для дефектоскопії протяжних ОК, в першу чергу циліндричної форми: прутків, труб і дроту. Для таких ОК, одержуваних плющенням або волочінням, найбільш характерні вузькі поздовжні дефекти: тріщини, волосовини, риски, закати і т.п. При аналізі чутливості прохідних ВСП такі дефекти можна розглядати як нескінченно довгий у вузький розріз певної глибини h , направлений в глиб циліндра по радіусу (дефект типу А) на рис. 2.2 [1].

На рис. 2.3 представлений графік відносного комплексного приросту напруги вимірювальної обмотки прохідного трансформаторного ВСП однорідним полем від відносної глибини поверхневого дефекту $h_* = h/2R$, R - радіус ОК) циліндричного неферомагнітного ОК для різних значень узагальненого параметра $x^2 = R^2 \omega \mu_0 \sigma$, при коефіцієнті заповнення $\eta=0,25$.

Об'єкт контролю, згідно завдання на бакалаврську роботу – алюмінієвий дріт діаметром до 5 мм.

Значення відносної глибини проникнення електромагнітного поля в ОК знайдемо за формулою (2.38) :

$$h_* = h/2R \quad (2.38)$$

де h - глибина дефекту, R - радіус ОК.

Згідно завдання глибина дефекту може бути в межах 10%-30% від значення діаметру дроту. Для побудови градуовальної характеристики підставимо у формулу (2.44) 5 різних значень в заданих межах.

$$\text{для } 10\%, h_* = \frac{0,5}{10} = 0,05;$$

$$\text{для } 15\%, h_* = \frac{0,75}{10} = 0,075;$$

$$\text{для } 20\%, h_* = \frac{1}{10} = 0,1;$$

$$\text{для } 25\%, h_* = \frac{1,25}{10} = 0,125;$$

$$\text{для } 30\%, h_* = \frac{1,5}{10} = 0,15;$$

Для знаходження $|\Delta U_{,y*}|$ слід скористатись годографом вектора перетворення напруги прохідного ВСП в залежності від глибини дефектів в дротах (рис 2.3). Шукаємо приріст напруги від дефекту [3].

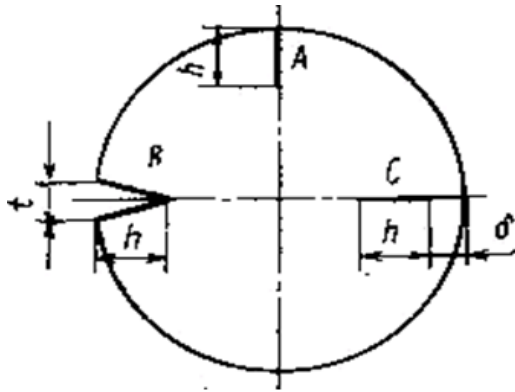


Рисунок 2.2 – Дефекти в круговому циліндрі

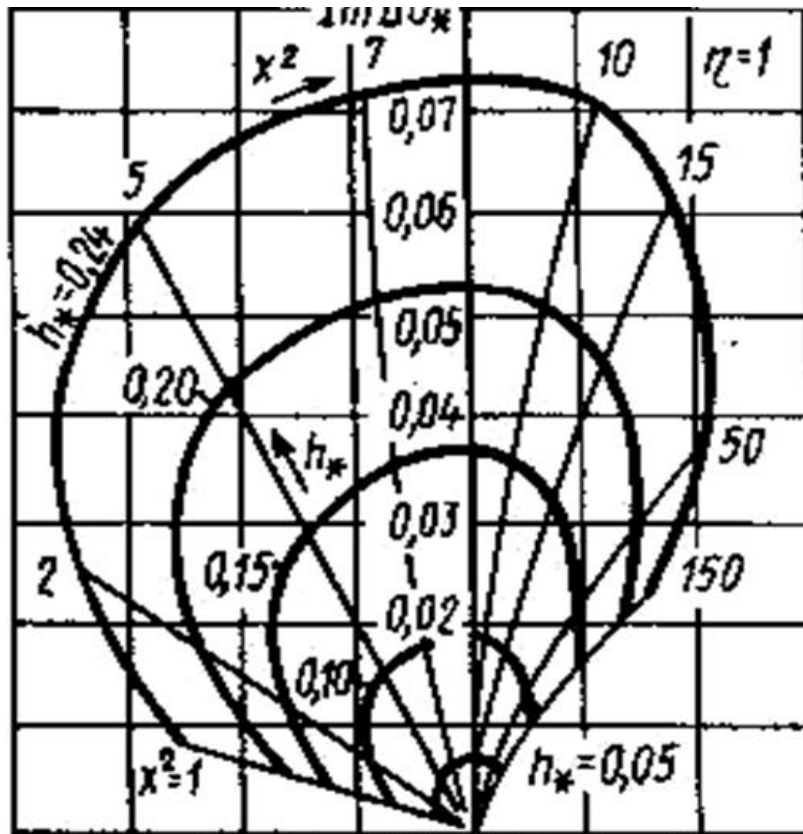


Рисунок 2.3 – Годограф $\Delta U_*(h_*)$ для вузьких поверхневих дефектів

$$\Delta U_{1*} = 0,0086 + j0,025;$$

$$\Delta U_{2*} = 0,0057 + j0,021;$$

$$\Delta U_{3*} = 0,0043 + j0,017;$$

$$\Delta U_{4*} = 0,0029 + j0,01;$$

$$\Delta U_{5*} = 0,0014 + j0,006;$$

$$|\Delta U_{1*}| = \sqrt{0,0086^2 + 0,025^2} = 0,026$$

$$|\Delta U_{2*}| = \sqrt{0,0057^2 + 0,021^2} = 0,022$$

$$|\Delta U_{3*}| = \sqrt{0,0043^2 + 0,017^2} = 0,018$$

$$|\Delta U_{4*}| = \sqrt{0,0029^2 + 0,01^2} = 0,011$$

$$|\Delta U_{5*}| = \sqrt{0,0014^2 + 0,006^2} = 0,006$$

Тепер обчислимо зміну значення вихідного сигналу ВСП від дефекту з врахуванням компенсатора. Для цього значення напруги від дефекту необхідно додати до основного сигналу.

$$\operatorname{Re} \Delta U_* \cdot U_0, \quad (2.39)$$

для дійсної частини :

$$\Delta U_{1*} = 0,0086 \cdot 4,9 = 0,042$$

$$\Delta U_{2*} = 0,0057 \cdot 4,9 = 0,028$$

$$\Delta U_{3*} = 0,0043 \cdot 4,9 = 0,021$$

$$\Delta U_{4*} = 0,0029 \cdot 4,9 = 0,014$$

$$\Delta U_{5*} = 0,0014 \cdot 4,9 = 0,007$$

$$\operatorname{Im} \Delta U_* \cdot U_0, \quad (2.40)$$

для уявної частини :

$$\Delta U_{1*} = 0,025 \cdot 4,9 = 0,123$$

$$\Delta U_{2*} = 0,021 \cdot 4,9 = 0,103$$

$$\Delta U_{3*} = 0,017 \cdot 4,9 = 0,083$$

$$\Delta U_{4*} = 0,01 \cdot 4,9 = 0,049$$

$$\Delta U_{5*} = 0,006 \cdot 4,9 = 0,029$$

Тепер обчислимо :

$$|\Delta U_* \cdot U_0| = \sqrt{\operatorname{Re}^2 \Delta U_* \cdot U_0 + \operatorname{Im}^2 \Delta U_* \cdot U_0}, \quad (2.41)$$
$$|\Delta U_{1*} \cdot U_0| = \sqrt{0,001764^2 + 0,015129^2} = \sqrt{0,016893} = 0,13(B)$$
$$|\Delta U_{2*} \cdot U_0| = \sqrt{0,000784^2 + 0,010609^2} = \sqrt{0,011393} = 0,11(B)$$
$$|\Delta U_{3*} \cdot U_0| = \sqrt{0,000441^2 + 0,006889^2} = \sqrt{0,00731} = 0,09(B)$$
$$|\Delta U_{4*} \cdot U_0| = \sqrt{0,000196^2 + 0,002401^2} = \sqrt{0,002597} = 0,05(B)$$
$$|\Delta U_{5*} \cdot U_0| = \sqrt{0,000049^2 + 0,000841^2} = \sqrt{0,00089} = 0,03(B)$$

2.3 Конструювання генератора дефектоскопа

Конструювання дефектоскопа включає в себе такі етапи. Насамперед здійснюється розробка блоку дефектоскопа - генератора. Крім того конструювання дефектоскопа включає в себе такий етап, як розробку конструкції вихрострумowego перетворювача.

Генератор є окремою платою і входить в електричний блок дефектоскопа і тому нижче більш детально зупинимося на його розробці. При розгляді даного розділу варто відмітити, що при розробці генератора слід дотримуватися певних правил і ДСТУ[13].

Плата під елементи розробляється хімічним способом, при цьому плата повинна відповідати ОСТ 4.047.000.

Наступним кроком у розробці блоку, є розводка плати. При цьому слід дотримуватися установлених норм. Крок координатної сітки 2.5 мм. Провідники умовно позначаємо суцільною лінією, яка виконується шириною 0.71 мм. Конфігурацію провідників витримуємо згідно координатної сітки.

Причому мінімальна віддаль між провідниками становить 2.5 мм. Коли нанесено координатну розводку на плату, провідники покривають сплавом РОЗЕ ТУ-6-09-40-65-75. Після покриття плати захисним шаром, проводим маркування плати фарбою ЧМ, чорний ТУ 029-02-859-78. Тоді проводимо маркування елементів білою фарбою БМ, білий ТУ 029-02-859-78. Виготовивши плату, кріпимо до неї елементи. Цьому електромонтаж виконувати згідно принципової схеми. Для кріплення елементів на плату використовуємо припой Прв.КР2 ПОССу61-0.5. Встановлення елементів проводимо згідно ОСТ 4..010.030-81 [13].

Встановивши елементи на плату, покриваєм її лаком НЦ-228 крім з'єднувача. Після цього готову плату з елементами маркуємо фарбою ЧН, чорний ТУ029-02-859-78.

Виконавши всі вище вказані дії, отримуємо плату вдосконаленого блоку, яка відповідає всім вказаним технічним умовам.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИХРОСТРУМОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА

3.1 Аналіз основних складових похибки вихрострумowego дефектоскопу

Здійснюючи аналіз основних складових похибки вихрострумowego дефектоскопу, слід відмітити, що прилад складається з багатьох блоків, що викликає виникнення багатопланових похибок. Тому варто навести деякі теоретичні дані для пояснення даних похибок. Слід відмітити, що результати вимірювань тієї чи іншої фізичної величини дають лише приблизне її значення.

Відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірювальної величини називають похибкою вимірювання. Оскільки істинне значення вимірюваної величини залишається не відомим замість істинного значення приймають значення так зване дійсне, під яким розуміють значення вимірювальної величини, яке знайдене експериментальним шляхом і настільки наближується до істинного значення, що може бути використано замість нього. По цій причині на практиці можна знайти лиш приблизну оцінку похибки вимірювання [10].

Похибка, яка виражена в одиницях вимірювальної величини, називається абсолютною похибкою, а відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення вимірювальної величини - відносною похибкою. В залежності від характеру вимірювання похибки розрізняють:

систематичні похибки - похибки які залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж самої величини [10];

випадкові похибки - похибки які змінюються випадковим чином при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж самої величини.

Якість засобів і результатів вимірювань найкраще оцінити за допомогою похибок. На сьогодні відомо близько 30-ти різних видів похибок [10], перелічимо декілька основних, а саме;

1) Похибка засобу вимірювань і результату вимірювань. Похибка результату вимірювання це число, яке вказує можливі границі невизначеності отриманого значення вимірювальної величини. Похибка засобу вимірювання це певна його властивість, для визначення якої необхідно використовувати певні правила.

2) Інструментальні і методичні. Інструментальними похибками засобів вимірювань (ЗВ) називають такі похибки, які належать конкретному ЗВ, можуть бути визначені при випробовуванні даного ЗВ і можуть бути занесені в паспорт засобів вимірювання.

3) Статичні і динамічні похибки. Ці похибки властиві тільки ЗВ і залежать від швидкості зміни в часі вимірювальної величини. Ті похибки, які не залежать від швидкості зміни в часі- це статичні похибки, а ті, які залежать - динамічні похибки [1].

4) Систематичні, прогресуючі і випадкові похибки. Систематичні похибки - це такі, які змінюються в часі і є певними функціями відповідних параметрів. Прогресуючі похибки - це такі, які змінюються в часі і ця зміна залежить від зміни характеристик окремих елементів В. Випадкові похибки - це такі похибки, які не можуть бути передбачені ні по знаку ні по величині.

5) Похибки адитивності і градуювання. Системне відхилення експертних даних від вибраної характеристики ЗВ називається похибкою адекватності. Похибка градуювання залежить від похибок тих взірцевих ЗВ за допомогою, яких задається градуювання робочого ЗВ.

6) Абсолютна, відносна і приведені похибки. Абсолютна - це різниця між значенням параметру його дійсним значенням. Відносна похибка – це відношення абсолютної похибки до дійсного параметру.

Приведена похибка - це відношення абсолютної похибки до діапазону зміни вхідної чи вихідної величини.

7) Адитивні і мультиплікативні похибки. Похибки ЗВ, які не залежать від величини вхідного сигналу називаються адитивними [12].

На основі цього розглянемо складові сумарної похибки для даного приладу, а саме вихрострумового дефектоскопу, якому характерні такі похибки, як статично-інструментальні похибки. До статично-інструментальних похибок відносимо такі похибки як:

- похибка електричних вузлів δ_e , яка виникає в результаті нестабільної роботи генератора, також похибка підсилювача і перетворювача сигналу. Крім того при обробці вихідного сигналу також виникає похибка, яка базується на похибці аналогово-цифрового перетворювача. Всі ці похибки виникають при обробці сигналу, коли іде перетворення аналогового сигналу в цифровий при великій похибці обробки сигналу вузлами дефектоскопу.

- похибка від швидкості переміщення δ_v . При надто швидкому переміщенні прилад не встигає зафіксувати наявність дефекту, також його розміри і положення в ОК, що спотворює результати контролю.

- похибка зазору $\delta\Delta$, яка в свою чергу виникає при неправильному виставленні робочого режиму перетворювача стосовно об'єкту контролю, коли виставлено одну величину зазору, а при цьому вимірюється зовсім інша величина зазору;

- похибка від взаємного розміщення перетворювача і ОК δ_p , коли перетворювач неправильно (під кутом) встановлений по відношенні до поверхні ОК, що викликає зміну величини зазору, що як вже вище зазначалося викликає появу похибок при вимірюванні.

- похибка зразка δ_s , яку викликає неправильне виготовлення самого еталону [1].

Також до складових сумарної похибки можна віднести динамічну похибку δ_d , що залежить від встановлення приладу в робочий режим.

Варто зауважити, що сумарна похибка включає в себе і додаткову похибку δ_{ood} , яка буде залежати від шорсткості поверхні, забрудненості,

температурної зміни струму, оскільки при нагріву елементів приладу точність вимірювання вносить свою лепту в похибки, оскільки збільшується зазор, що призводить до спотворення результатів вимірювання. Забруднення поверхні також створює умови для виникнення похибок. Крайовий ефект чи не один з найважливіших складових випадкової похибки в нашому випадку, тому, що коли вимірювання проводяться на краю ОК то вихрострумове поле, що наводиться в ОК виходить за межі деталі, що викликає зміни вихрового поля, при цьому результати вимірювань спотворюються.

Крім вище наведених похибок також складовою сумарної похибки можна вважати методичну похибку δ_m , яка залежить від правильного вибору точки на годографі, також слід відмітити, що точність з якою вибирають точку впливає на результати вимірювань.

3.2 Розрахунок основної допустимої похибки вихрострумowego дефектоскопу

При розгляді даного розділу слід відмітити, що похибка вимірювання, тобто відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірної величини, утворюється внаслідок похибок засобів вимірювань, методу вимірювання і методу відрахунку показів засобів вимірювання. Ці похибки, в свою чергу, складаються із своїх складових похибок. Наприклад, похибка засобів вимірювання визначається похибками його блоків і вузлів. Значення цієї похибки може суттєво залежати від зовнішніх факторів, які впливають на роботу засобу вимірювання (вимірювання навколишньої температури, коливань напруженості джерел живлення) [1].

На практиці вимірювань часто постає задача визначення сумарної (результуючої) похибки за відомими значеннями складових цієї похибки.

Знаходження сумарної систематичної похибки по відомим систематичними похибкам сумуючих складових не викликає труднощів. В цьому випадку при розрахунку приймають $r = 0$, якщо випадкові складові можна рахувати невідомими, або рівними одиниці з знаком + або -, якщо

помітна кореляція між сумуючими випадковими складовими похибки. Розглянемо більш детально сумування випадкових похибок [10].

Сумування випадкових похибок при нормальних законах їх розподілу будемо вважати, що результуюча похибка вимірювань складається з n випадкових складових, які мають нормальний закон розподілу. Знаючи довірчу імовірність і довірчий інтервал для кожної складової похибки, можна знайти середньоквадратичне відхилення кожної із них по формулі :

$$\sigma_i = \frac{\delta_{im}}{z p_i} \quad (3.1)$$

де $z p_i$ - коефіцієнт, взятий з таблиць для нормального розподілу і відповідної довірчої імовірності P_i .

Якщо імовірність довіри для всіх складових однакова і рівна P , тоді використовуючи вираз (3.1) дістанемо:

а) для корельованих складових

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \pm \delta_{im}}{z_p} \quad (3.2)$$

де знак \pm означає, що для складових з позитивною кореляцією δ_i і δ_{im} потрібно брати з знаком $+$, а для складової з негативною кореляцією - з знаком мінус;

б) для незалежних складових ($r_{ij}=0$)

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum \delta_{im}^2}}{z_p} \quad (3.3)$$

При сумуванні складових, які мають нормальний закон розподілу, результуюча похибка буде мати той самий нормальний закон розподілу.

Тому інтервал довіри сумарної похибки з імовірною довірою P може бути знайдений як :

$$\delta_{\Sigma} = \pm z_p \cdot \sigma_{\Sigma} \quad (3.4)$$

де δ_{Σ} - границя довірчого інтервалу сумарної похибки.

З врахуванням (3.2) (3.3) вираз (3.4) матиме вигляд

а) для корельованих складових

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sum \pm \delta_{im} \quad (3.5)$$

б) для незалежних складових

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum \delta_{im}^2} \quad (3.6)$$

Якщо в виразі (3.4) всі складові мають позитивну кореляцію, тоді

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\delta_{im}} \quad (3.7)$$

Сумування похибок за виразом (3.6) називається арифметичним сумуванням, а за виразом (3.7) - геометричним сумуванням.

Дійсні значення коефіцієнтів кореляції за абсолютним значенням можуть знаходитись в границі від 0 до 1 , тому арифметичне сумування звичайно дає зависокі значення похибки [10].

Сумування випадкових похибок при їх законах розподілу, які відрізняються від нормальних.

Важкість знаходження сумарної похибки в цьому випадку заключається в тому, що закон розподілу сумарної похибки залежить від конкретних видів і характеристик законів розподілу сумарних складових. Наприклад, при складанні двох незалежних похибок, які мають рівномірні закони розподілу з однаковими дисперсіями, результуюча похибка буде розподілятися за трикутним законом. Якщо ці рівномірні закони мають різні дисперсії, тоді результативний закон буде мати вид у вигляді трапеції. Тому для встановлення інтервалу довіри сумарної похибки необхідно в кожному конкретному випадку шукати методами теорії імовірності результуючий закон розподілу за відомими законами сумування складових.

Можливі приблизні способи визначення інтервалу довіри похибки без встановлення результативного закону розподілу. Перший базується на центральній граничній теоремі: якщо число сумуючих незалежних складових достатньо велике, тоді результуючий закон розподілу близький до

нормального і в якості коефіцієнту $K_{\Sigma}^{(p)}$ можна приймати z_p . Другий - при сумуванні незалежних складових, які мають закон розподілу.

Розподіл похибок ЗВ на основі центральної граничної теореми теорії імовірності мають бути завжди близькі до нормального розподілу. Але більш детально випробування фактичного розподілу похибок ЗВ показали, що закони розподілу похибок різноманітні. Це різко ускладнює призначення верхньої і нижньої границі лінії похибки, а тому і всю методику створення суджень про положення лінії похибки ЗВ в границях нормуючих границь і умов виходу частини смуги похибки за нормуючі границі.

Це більше ускладнюється ще й тим, що форма закону розподілу в поперечному перерізі смуги різна не тільки для ЗВ різних типів, але може суттєво відхилятися у окремих екземплярах ЗВ одного і того самого типу. І більш того, навіть у даному екземплярі ЗВ вона може змінюватися по довжині смуги похибки, тобто мати одну форму при $x=0$ і поступово набирати зовсім іншу форму до кінця смуги [1].

Більш детальним випробуванням цієї властивості граничних квантилів при $P_0=0,9$ показали, що інтегральні криві багатьох класів симетричних, високоентропійних розподілів в області 0,05 і 0,95 квантилів перетинаються між собою хоча і не строго в одній точці, зате в дуже вузькому інтервалі. Тому з похибкою в $0,05\sigma$, що в більшості технічних розрахунків, похибка з імовірністю $P_0=0,9$ може бути визначена як $\Delta_{0,9}=1,6\sigma$, а верхні і нижні границі можна знайти за формулами.

Таким чином, при використанні для оцінки випадкової складової похибки

з $P_0=0,9$ оцінки $\Delta_{0,9}=1,6\sigma$ довірча імовірність виходу похибки за симетричні границі буде мати значення $P_0=0,95$, так як вихід за нижню границі буде практично відсутній [10].

$$\Delta_z = \frac{\Delta_{\Sigma}}{U_{\text{вих}}} \quad (3.8)$$

$$\Delta_{\Sigma} = Z \cdot \sigma_{\Sigma} \quad (3.9)$$

де σ_{Σ} - сумарне середньоквадратичне відхилення(СКВ) похибок;

Z - коефіцієнт Ст'юдента (коефіцієнт довіри), який за нормальним законом розподілу рівний $Z = 1,96$

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum \sigma_i^2} \quad (3.10)$$

де σ_i - СКВ похибок окремих елементів і яке рівне

$$\sigma_i = \frac{\Delta_i}{Z} \quad (3.11)$$

$$\Delta_i = \delta_i \cdot U_H \quad (3.12)$$

На основі вище наведених формул здійснюємо розрахунок сумарної похибки блоку дефектоскопу. З даних розрахованого блоку дефектоскопу береться розраховані складові елементи генератора. Туди входять транзистори, конденсатори, резистори. Відносна похибка цих елементів береться з довідника. Оскільки в розрахованій схемі певні групи елементів однотипні, то й відносна похибка даних елементів буде для всіх однакова. Тому для резисторів $\delta_R = 0,2\%$ при цьому в схемі налічується 9 резисторів, для конденсаторів $\delta_C = 0,5\%$ їх кількість складає 6 штук, для транзисторів $\delta_I = 1,5\%$ при тому, що в схемі їх 2 штуки.

Для того, щоб обчислити сумарну похибку дефектоскопа необхідно при цьому від відносних похибок перейти до абсолютних, для цього відносну похибку домножуємо на номінальну напругу живлення кожного елемента, вона складає $U_{HR} = 5V$, $U_{HC} = 4V$, $U_{HI} = 2V$ тому перемноживши дані величини отримуємо:

$$\Delta_R = (9 \cdot 0,002) \cdot 5 = 0,09$$

$$\Delta_C = (6 \cdot 0,005) \cdot 4 = 0,12$$

$$\Delta_I = (2 \cdot 0,015) \cdot 2 = 0,06$$

Тепер потрібно перейти до СКВ, при цьому отримані результати потрібно поділити на коефіцієнт Ст'юдента $Z = 1,96$, зробивши цю операцію отримаємо

$$\sigma_R = \frac{0,09}{1,96} = 0,046$$

$$\sigma_C = \frac{0,12}{1,96} = 0,061$$

$$\sigma_I = \frac{0,06}{1,96} = 0,031$$

тепер знаходиться сумарна похибка дефектоскопа про те в СКВ тому підставивши отримані дані отримаємо

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{0,046^2 + 0,061^2 + 0,031^2} = 0,082$$

Отримавши сумарну похибку вузла в СКВ переходимо тим самим шляхом, що йшли сюди до відносної похибки блоку.

$$\sigma_{\Sigma} = 0,082 \cdot 1,96 = 0,16$$

тоді $\delta_{\Sigma} = 0,16/9 = 0,018$ (1,8%)

Отже сумарна похибка вузла генератора складає 1,8%.

Тому можна зробити висновок, вузол має похибку, яка складає 1%. При такій похибці блок генератора можна вважати справним і допустимим до роботи.

Тепер маючи сумарну похибку блоку можна розрахувати основну сумарну похибку дефектоскопа[1].

Тому користуючись вище наведеними складовими основної похибки дефектоскопа, які мають певні значення, здійснюємо розрахунок. Для цього потрібно знати величини похибок складових дефектоскопу. Так як вище зазначалося, що сумарна похибка дефектоскопу складається з складових, то наведемо їх величини кожної зокрема.

Статично-інструментальна складова містить в собі такі похибки, як похибка зразка, яка за технічною документацією складає $\delta_3 = 0,4\%$. Похибка електронного блоку дефектоскопа складається з похибки розрахованого нами генератора, яка складає $\delta_2 = 1\%$, а похибки перетворювача і підсилювача, аналоговоцифрового перетворювача згідно документації на аналогічні

прилади береться $\delta_{пер}=0,9\%$, $\delta_{нідс}=0,8\%$, $\delta_{ацп}=0,5\%$, тоді згідно вище наведених формул сумування похибок сумарна похибка електронного блоку рівна

$$\delta_e = \sqrt{\delta_z^2 + \delta_{пер}^2 + \delta_{нідс}^2 + \delta_{ацп}^2} \quad (3.13)$$

$$\delta_e = \sqrt{0,018^2 + 0,009^2 + 0,008^2 + 0,005^2} = 0,022$$

Маючи похибку електронного блоку дефектоскопу знайдемо тепер похибку швидкості переміщення перетворювача. За документаційними даними на цей виріб ця величина складає $\delta_v=0,3\%$. Похибка зазору згідно стандартів на аналогічний прилад становить $\delta_\Delta=0,5\%$. Так як перетворювач має фіксуючу оправку, то похибкою від взаємного розміщення можна нехтувати $\delta_p=0$.

Враховуючи, що в нас є електронна система обробки інформації і перетворювачі практично без інерційні, то динамічною похибкою також нехтуємо $\delta_d=0$. Методична похибка, яка залежить від правильного вибору точки на годографі згідно документації береться рівною $\delta=0,3\%$. При проведенні контролю дефектоскопом виникають ще і додаткові похибки, які згідно нормативних документів беруться загальною величиною для всіх складових даної похибки і ця величина рівна $\delta_{дод}=0,8\%$.

Маючи всі вхідні дані для розрахунку, проводимо сумування всіх похибок за вище вказаними формулами

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\delta_v^2 + \delta_\Delta^2 + \delta_p^2} + \delta_z + \delta_e + \delta_{дин} + \delta_m + \delta_{дод} \quad (3.14)$$

$$\delta_\Sigma = \sqrt{0,003^2 + 0,005^2 + 0^2} + 0,004 + 0,022 + 0 + 0,003 + 0,008 = 0,044 = 4,4\%$$

Отже сумарна похибка дефектоскопу складає 4,4%, що цілком прийнятно для групи приладів, що використовуються для точних вимірювань.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпечних факторів і шкідливих речовин

Аналізуючи потенційні небезпеки та шкідливості виробничого середовища лабораторії, слід зауважити, що потенційну небезпеку для працюючих становлять: недостатня освітленість, шум, ультразвук, вібрація, електричний струм, електромагнітні поля, та інші шкідливі фактори [19-23]. Дія струму залежить від сили, частоти, тривалості. Потенційно небезпечні фактори, які можуть впливати на здоров'я людини, згідно) ДСТУ 2867-94 («Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги») та ДСП 173-96 («Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Зі змінами») зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Потенційно небезпечні виробничі фактори

Виробничий об'єкт	Небезпечний фактор (технологічна операція)	Фактичне значення	Нормативне значення (безпечна величина)	Характер дії на людину
Дефектоскоп	Шум Електростатичне поле Електрообладнання	$L_p=50$ дБ fct=63 Гц 15кВ/м $U=220$ В $I=1A$ f=50 Гц	$L_p=65$ дБ fct=63 Гц 20кВ/м $U=220$ В $I=0,1A$ f=50 Гц	Роздратування, втома. Роздратування, втома Можливе ураження електричним струмом

В лабораторії є також ряд шкідливих речовин, які негативно впливають на здоров'я. Характеристика цих речовин, їх шкідлива дія на організм людини і можливий захист від них, згідно ДСП 173-96

4.2 Забезпечення нормальних умов праці

Забезпечення здорових і безпечних умов праці у виробничій сфері досягається при проектуванні за рахунок дотримання діючих нормативних документів, а для існуючих об'єктів шляхом порівняння фактичних значень з нормативними і при виявленні відхилень розробкою та впровадженням заходів по створенню умов праці згідно вимог нормативних документів.

Тому для створення необхідних умов праці необхідно, щоб метеорологічні умови були якомога сприятливішими для нормальних умов праці. Характеристики метеорологічних умов у виробничому приміщенні, згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» наводиться у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Нормативні характеристики метеорологічних умов виробничому приміщенні [24]

Виробниче приміщення	Категорія важкої роботи	Період року	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Лабораторія	П,б - середній	Холодний	17-19,	40-60	0,2
		теплий	20-22	40-60	0,3

Для створення та підтримання необхідних санітарно-гігієнічних умов виробничого приміщення застосовується опалення, вентиляція. Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, які призначені для забезпечення на постійних робочих місцях в робочій зоні приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним і технічним вимогам [22]. Характеристика якого наводиться в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Характеристика системи вентиляції

Виробниче приміщення	Вид вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітряного обміну 1/год.
Лабораторія	Механічна витічна	Відцентровий вентилятор типу ВР-4-70	2

Нормативна зорова робота передбачає створення на робочих місцях освітлення згідно санітарних норм і правил або відомчих нормативів, згідно ДБН В.2.5-28:2018 "Природне та штучне освітлення.", значення яких наводиться в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика штучної освітленості [25]

Виробниче приміщення	Розряд та підрозряд зорової роботи	Освітленість,лк				Тип світильників
		Загальна	комбінована	Аварійна	спеціальна	
Лабораторія	III-г	300	400	10	-	ЛПО з ламп типу ЛБ

З вище наведеного можна зробити висновок, що в лабораторії забезпечені всі нормальні умови праці на робочих місцях, що дозволяє дефектоскопістам проводити роботи значно ефективніше і продуктивніше.

4.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека передбачає такий стан об'єкта, при якому виключалося б виникнення пожежі, а в випадку його виникнення - перешкодження дії на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечення захисту матеріальних цінностей. Пожежна безпека забезпечується системами попередження пожежі і пожежного захисту, що включає комплекс організаційних заходів і технічних засобів [23].

Первинні засоби пожежогасіння, що використовуються в лабораторії підприємства, згідно НАПБ А.01.001-2004 наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Первинні засоби пожежогасіння [26]

Назва приищення	Площа, яка захищається, м ²	Типи первинних засобів пожежогасіння	Кількість, шт.
Лабораторія	100	Вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-8; Войлок, азбестове полотно 2·2 м;	2 1

Вище наведені дані свідчать про задовільний стан пожежної безпеки в лабораторії підприємства.

4.4 Розрахунок загальнообмінної вентиляції

Для виконання розрахунку подається схема витяжної вентиляції. Розрахунок 4.1 полягає в визначенні розмірів перерізів ділянок системи, гідравлічних втрат на цих ділянках, підборі вентиляції. Схема приведена на рисунку 4.1.

Де I, II, III, IV ділянки витяжної вентиляції.

1- повітровтягувач

2- вентилятор

3- фільтр

4- повітропровід

Об'єм лабораторії складає 2400 м^3 . Так як кратність обміну повітря 2, то кожен з двох вентиляторів повинен витягувати з приміщення по $2400 \text{ м}^3/\text{год}$ повітря. Розрахунок починаємо з найбільш віддаленої ділянки 1.

Витрата повітря, $Q = 1200 \text{ м}^3/\text{год} = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Довжина повітропроводу, $L = 4 \text{ м}$

Густина повітря, $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$

Кліматична шкідливість $\gamma = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Задаємося швидкістю в повітропроводі $v = 5 \text{ м}/\text{с}$.

Площа перерізу повітропроводу

$$S = \frac{Q}{v} \quad (4.1)$$

$$S = \frac{0,3}{5} = 0,06 \text{ м}^2$$

Тоді його діаметр

$$d = \sqrt{4 \frac{S}{\pi}} \quad (4.2)$$

$$d = \sqrt{4 \frac{0,06}{3,14}} = 0,289 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий діаметр $d=0,3$ м

Динамічний тиск

$$\gamma = v^2 \frac{\rho}{2} \quad (4.3)$$

$$\gamma = 25 \frac{1,2}{2} = 15 \text{ Па}$$

Число Рейнольдса

$$\text{Re} = v \frac{d}{\nu} \quad (4.4)$$

Коефіцієнт тертя

$$\chi = 0,1266 \frac{1}{\text{Re}^{1/6}} \quad (4.5)$$

$$\chi = 0,1266 / (0,1)^{1/6} = 0,018$$

Тоді втрати тиску на одиницю довжини

$$R = \left(\frac{\chi}{d} \right) \cdot \left(v^2 \frac{\rho}{2} \right) \quad (4.6)$$

$$R = (0,018/0,3) \cdot (25 \cdot 1,2/2) = 0,9 \text{ Па/м}$$

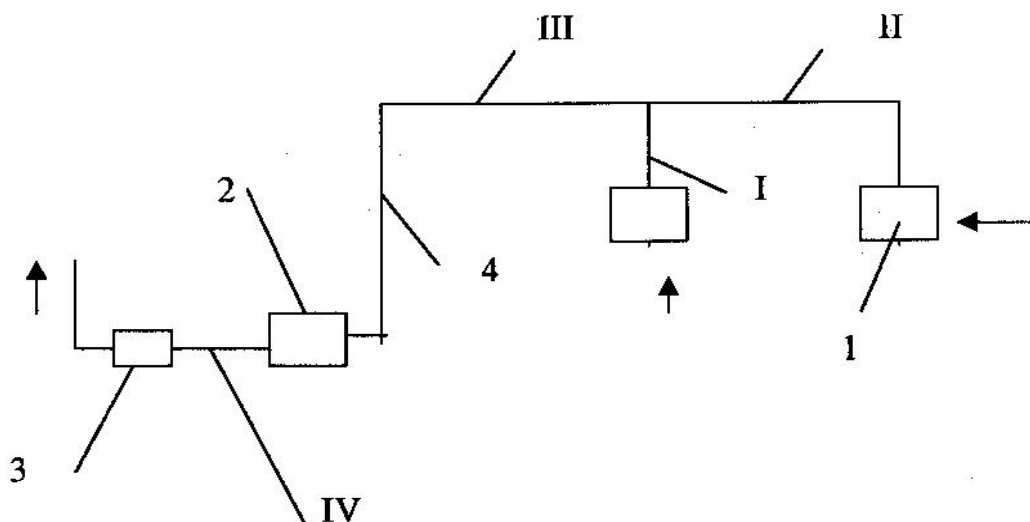


Рисунок 4.1 – Схема витяжної вентиляції

Втрати тиску по довжині

$$Rl=R \cdot l \quad (4.7)$$

$$Rl=0,09 \cdot 4=3,6 \text{ Па}$$

Сума коефіцієнтів місцевого опору на ділянці 1 $\Sigma \varepsilon = 1,9$. Коефіцієнти місцевого опору на інших ділянках приведені в таблиці 3.9 [22]. Тоді втрати тиску на місцеві опори Z

$$Z=\varepsilon \cdot \gamma \quad (4.8)$$

$$Z=1,9 \cdot 15=28,5 \text{ Па}$$

Загальні втрати тиску на ділянці I

$$Rl+Z=3,6+28,5=32,11 \text{ Па}$$

Повний необхідний тиск з врахуванням заносу на 10%

$$\Delta P=1,1 \cdot \Sigma Rl+Z \quad (4.10)$$

$$\Delta P=1,1 \cdot 117,85=129,6 \text{ Па}$$

Подача вентилятора з врахуванням втрат в розмірі 10%

$$L=1,1 \cdot Q \quad (4.11)$$

$$L=1,1 \cdot 1200=1320 \text{ м}^3/\text{год}$$

До установки приймаємо радіальний вентилятор з параметрами, [27] $L=1320 \text{ м}^3/\text{год}$, $\Delta P=129,6 \text{ Па}$, $\eta=0,725$, $n=1000 \text{ об/ хв}$ в комплексі з електричним двигуном A1325SU.

Результати розрахунків на інших ділянках приведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Розрахунок вентиляції

Q, м ³ /год	l, м	v, м/с	d, м	γ , Па/м	R, Па	R, Па	Σ , Па	Z, Па	R l+Z, Па	Σ Rl+Z, Па
1200	4	5,3	0,05	1,9	0,6	3,9	8,5	2,1	3	2,11

12	2	5	0	1	0	1	1	2	3	6
00			,3	5	,9	,8	,9	8,5	0,3	2,41
24	3	7	0	2	0	1	0	2	2	9
00			,7	9,4	,63	,9	,9	6,5	8,35	0,76
24	1	7	0	2	0	0	0	2	2	1
00			,7	9,4	,63	,6	,9	6,5	7,09	17,85

4.5 Розрахунок штучної освітленості в приміщенні

Розрахуємо штучну освітленість для приміщення з такими розмірами: довжина $a = 15$ м, ширина $b = 8$ м, висота $h = 4$ м, висота робочої поверхні $h_{p.n.} = 0,8$ м. Нам потрібно створити освітлення $E_v = 140$ лк люмінесцентними лампами типу ЛБ-40 в світильниках ЛДОР. Коефіцієнти відбиття в приміщенні такі: від підлоги $\rho_{п.} = 50$ %, від стін $\rho_c = 30$ %, від робочої поверхні $\rho_{p.n.} = 10$ %. Коефіцієнт запасу $k = 1,3$.

Даний світильник має в поперечній площині криву світлорозподілу типу Д, тобто косинусний розподіл [27-29].

В цьому випадку $\lambda = 1,4$.

Висота підвісу світильників ЛДОР з підвісками $h_c = 0,4$ м.

Розрахункова висота рівна:

$$h_p = h - h_{p.n.} - h_c, \quad (4.12)$$

Підставивши числові значення отримаємо:

$$h_p = 4 - 0,8 - 0,4 = 2,8 \text{ м}.$$

Відстань між рядами світильників рівна:

$$L = h_p \cdot \lambda, \quad (4.13)$$

$$L = 2,8 \cdot 1,4 = 3,92 \text{ м}.$$

Число рядів світильників рівне:

$$n' = \frac{b}{L}, \quad (4.14)$$

$$n' = \frac{8}{3,92} = 2,05.$$

Приймаємо $n=3$. Визначаємо відстань від крайнього ряду світильників до стіни :

$$l = \frac{b - L \cdot 2}{2}, \quad (4.15)$$

$$l = \frac{8 - 3,92 \cdot 2}{2} = 0,1 \text{ м.}$$

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p \cdot (a + b)}, \quad (4.16)$$

$$i = \frac{15 \cdot 8}{2,8 \cdot (15 + 8)} = 1,86.$$

По цьому значенні інтерполюванням знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,532$. Приймаємо коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,15$.

Визначаємо потрібний світловий потік ламп в кожному із рядів світильників:

$$F_v = \frac{E_v \cdot z \cdot k \cdot a \cdot b}{h_p \cdot \eta}, \quad (4.17)$$

$$F_v = \frac{140 \cdot 1,15 \cdot 1,3 \cdot 15 \cdot 8}{2,8 \cdot 0,532} = 16860 \text{ лм.}$$

Вибрані світильники з двома лампами по 40 Вт і потоком по 3000 лм, то необхідне число світильників в ряді:

$$N = \frac{F_v}{6000}, \quad (4.18)$$

$$N = \frac{16860}{6000} = 2,81 \cong 3.$$

При довжині кожного світильника 1,24 м загальна довжина складе 3,72 м.

Загальна потужність ламп освітлювальної установки рівна:

$$P = n \cdot N \cdot 2 \cdot 40 \text{Вт}, \quad (4.19)$$

$$P = 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 40 = 720 \text{Вт}.$$

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі проведено аналіз методів і засобів неруйнівного контролю електричних дротів. А саме, розглянуто різновиди матеріалів електричних дротів, характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час їх виготовлення, характерні пошкодження та дефекти електричних дротів під час їх експлуатації. Також проаналізовано методи неруйнівного контролю електричних дротів.

На основі проведеного порівняльного аналізу методів неруйнівного контролю вибрано вихрострумний метод контролю, який найбільш придатний для контролю якості дротів. Це пов'язано з тим, що він забезпечує найкраще виявлення пошкодження дротів при автоматизованому контролі. Вибраний метод проаналізований теоретично, а також здійснено його обґрунтування.

Розроблена структурна і принципова схеми дефектоскопа розглянуто конструктивне виконання.

На основі структурної схеми розроблено електричну принципову схему генератора з робочою частотою 300 Гц для живлення вихрострумного перетворювача. Проведено розрахунок генератора і вихрострумного перетворювача.

Розглянуті складові похибки при роботі дефектоскопа.

Розглянуті правила безпечної експлуатації дефектоскопа і проведено розрахунок штучної освітленості в приміщенні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Середюк О.Є., Барна О.Б., Криницький О.С. Електричний, магнітний та електромагнітний види неруйнівного контролю в нафтогазовій галузі: навчальний посібник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – 348 с.

2. Середюк О.Є. Електричний, магнітний та електромагнітний види контролю: конспект лекцій. МВ 02070855-801-01. - Івано-Франківськ: Факел, 2001.-170с.

3. Фізичні основи неруйнівного контролю: навчальний посібник / Р.Т. Боднар, В.Т. Камінський, І.С. Кісіль, З.П. Лютак, О.Є. Середюк – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. – 384 с.

4. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. – Львів: Вид. Державного університету "Львівська політехніка", 2000.-360с.

5. Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля: Монографія/За ред. З.Ю. Готри. - Львів: Вид. Національного університету "Львівська політехніка", 2001.-412с.

6. Тетерко А.Я., Назарчук З.Т. Селективна вихрострумова дефектоскопія.– Львів: НАН України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка, 2004.–248с.

7. Онгірська Н. Г., Горбатенко М. Ю. Розрахунок параметрів котушки вихрострумового перетворювача при довільному положенні дефектів у контрольованому об'єкті // Методи та прилади контролю якості. – 2000. – № 5. – С. 26 - 28.

8. Маєвський С. М. Методика розрахунку параметрів вихрострумів перетворювачів / С. М. Маєвський, Н. Г. Онгірська // Методи та прилади контролю якості. – 1999. – № 3 – С. 3-7.

9. Неруйнівний контроль. Вихрострумівий контроль. Загальні вимоги ДСТУ ISO 15549:2015 (ISO 15549:2008, IDT). – [Чинний від 2016-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2015. – 8 с. – (Національний стандарт України).

10. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості: навчальний посібник/ С.А. Чеховський, І.С. Петришин, Н.М. Піндус, С.П. Ващишак, М.А. Кононенко, В.М. Романів, О.Є. Середюк. Л.А. Витвицька / за ред. С.А. Чеховського. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010.- 534с.

11. Неруйнівний контроль. Контроль вихрострумівий. Словник термінів ДСТУ EN ISO 12718:2016 (EN ISO 12718:2008, IDT; ISO 12718:2008, IDT) – [Чинний від 2016-08-01]. – К.: Держстандарт України, 2016. – 41 с. – (Національний стандарт України).

12. Неруйнівний контроль. Контроль вихрострумівий. Загальні вимоги і рекомендації ДСТУ EN 12084:2005 (EN 12084:2001, IDT) – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2005. – 16 с. – (Національний стандарт України).

13. Кісіль І.С. Конструювання вимірювальних приладів: навч. посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 324с.

14. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури: Навч. посіб. - О.: Наука і техніка, 2007. - 122 с.

15. Карпаш О.М. Технічна діагностика бурового та нафтогазового обладнання: навч. посібник. – Івано-Франківськ.: ІФНТУНГ, 2007. – 272 с.

16. Карпаш О.М., Возняк М.П., Василюк В.М. Технічна діагностика систем нафтогазопостачання: навч. посібник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2007. – 341 с.

17. ДСТУ EN 1330-1:2016 (EN 1330-1:2014, IDT) Неруйнівний контроль. Термінологія. Частина 1. Перелік загальних термінів.

18. Sun, H. Electromagnetic methods for measuring material properties of cylindrical rods and array probes for rapid flaw inspection [Text]: Retrospective Theses and Dissertations / H. Sun. — Iowa State University, 2005. — 148 p.

19. Кривенко Г. М., Семчук Я. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я.. Охорона праці: методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. ІваноФранківськ: ІФНТУНГ, 2021. 84 с.

20. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва

21. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>

22. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>

23. Наказ МОЗУ №30 від 23.02.2000р. «Про затвердження списків і введення в дію гігієнічних регламентів шкідливих речовин у повітрі робочої зони і атмосферному повітрі населених місць» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030282-00#Text>

24. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>

25. ДБН В.2.5-28-2018 Інженерне обладнання будинків і споруд, Природне і штучне освітлення.

26. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні

27. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В. Ц. Жидецького - Львів: Афіша, 2000. - 352 с.

28. ДСТУ EN 60051-6:2015 Прилади прямої дії електровимірювальні аналогові, показувальні та допоміжні частини до них.

29. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.