

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет**

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 620.183

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Анатолій ПРОТАСОВ
«__» _____ 20__ р.

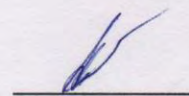
Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

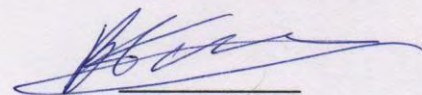
**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології
та системи неруйнівного контролю і діагностики»**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Комп'ютерна система контролю виробів з титану»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) II курсу, групи ПК-91мп
Євген ЛАГУТІН



Науковий керівник:
Доцент, кандидат технічних наук
Віктор БАЖЕНОВ



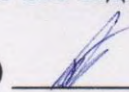
Консультант з розділу: «Розробка стартап-проекту»
Доцент, доктор економічних наук
Катерина БОЯРИНОВА



Рецензент:
Доцент, кандидат технічних наук
Валентин МОКІЙЧУК



Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) 



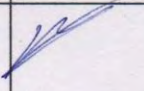
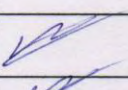

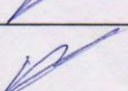
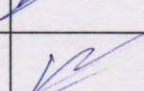
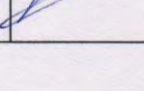
Київ – 2020 року

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Бояринова К.О., д.е.н., доцент; доцент кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел, аналіз існуючих методів та систем.	4 тижні	
2	Розгляд і вибір метода структуроскопії	1 тиждень	
3	Побудова структурної схеми та алгоритму роботи	1 тиждень	
4	Опис роботи макету	2 тижні	
5	Розрахунки компонентів	2 тижні	
6	Дослідження титану	3 тижні	
7	Виконання та оформлення розділу «Розробка стартап-проекту»	1 тиждень	
8	Оформлення пояснювальної записки, презентації та плакатів	1 тиждень	

Студент



Євген ЛАГУТІН

Науковий керівник



Віктор БАЖЕНОВ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет**

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 620.183

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Анатолій ПРОТАСОВ
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології
та системи неруйнівного контролю і діагностики»**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Комп'ютерна система контролю виробів з титану»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) II курсу, групи ПК-91мп

Євген ЛАГУТІН _____

Науковий керівник:

Доцент, кандидат технічних наук

Віктор БАЖЕНОВ _____

Консультант з розділу: «Розробка стартап-проекту»

Доцент, доктор економічних наук

Катерина БОЯРИНОВА _____

Рецензент:

Доцент, кандидат технічних наук

Валентин МОКІЙЧУК _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Лагутін Євген Володимирович

1. Тема дисертації «Комп'ютерна система контролю виробів з титану», науковий керівник дисертації Баженов Віктор Григорович, доцент, затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 р. № 3228
 2. Термін подання студентом дисертації 9.12.2020
-
3. Об'єкт дослідження: процес контролю титанових сплавів
 4. Вихідні дані: зразки титану ВТ-4, ВТ-5, цифрова система контролю
 5. Перелік завдань, які потрібно розробити: огляд існуючих систем контролю структури матеріалів, розробити структуру автоматизованої системи контролю, зробити розрахунки основних блоків системи, провести дослідження зразків титану.
 6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: результати дослідження, алгоритм роботи, структурна схема.
 7. Орієнтовний перелік публікацій: публікація статті в XII науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування».
 8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартаппроектів	Бояринова К.О., д.е.н., доцент; доцент кафедри менеджменту факультету менеджменту та маркетингу КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел, аналіз існуючих методів та систем.	4 тижні	
2	Розгляд і вибір метода структуроскопії	1 тиждень	
3	Побудова структурної схеми та алгоритму роботи	1 тиждень	
4	Опис роботи макету	2 тижні	
5	Розрахунки компонентів	2 тижні	
6	Дослідження титану	3 тижні	
7	Виконання та оформлення розділу «Розробка стартап-проекту»	1 тиждень	
8	Оформлення пояснювальної записки, презентації та плакатів	1 тиждень	

Студент

Євген ЛАГУТІН

Науковий керівник

Віктор БАЖЕНОВ

РЕФЕРАТ

Завданням курсового проекту є розробка комп'ютерної системи на основі метода вищих гармонік для контролю зразків титану. Титан, його сплави та титанові вироби.

На початку курсового проекту були викладені теоретичні матеріали з основною інформацією про методи, цілі і завдання структуроскопії та областях його застосування.

Під час виконання дисертації було побудовано структурну схему, алгоритм роботи та розрахунок основних компонентів системи.

Основною частною дисертації є дослідження структури титанових зразків за допомогою побудованої комп'ютерної системи.

В ході написання дисертації була спроба проведення структуроскопії за допомогою ультразвука.

Також було проведено розробку стартап проекту для потенційного початку масового виробництва, а також розглянуто можливості виходу розробленої системи на вітчизняний і міжнародні ринки.

В результаті проведеної роботи було побудовано комп'ютерну систему та досліджено її ефективність на алюмінієвих та титанових зразках.

ABSTRACT

The aim of the course project is to develop a computer system based on the method of higher harmonics for the control of titanium samples. Titanium, its alloys and titanium products.

At the beginning of the course project were presented theoretical materials with basic information about the methods, goals and objectives of structuroscopy and its areas of application.

During the dissertation the structural scheme, algorithm of work and calculation of the main components of the system were built.

The main part of the dissertation is the study of the structure of titanium samples using a computer system.

During the writing of the dissertation there was an attempt to conduct structuroscopy using ultrasound.

The development of a startup project for the potential start of mass production was also carried out, as well as the possibilities of the developed system entering the domestic and international markets were considered.

As a result of this work, a computer system was built and its efficiency was studied on aluminum and titanium samples.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	12
1.1. Титанові сплави	16
1.2. Атомно-емісійний спектрометр	20
1.2.1. Аналіз зразків спектру	22
1.3. Лазерно-ультразвукова структуроскопія	25
1.4. Магнітні та електромагнітні методи структуроскопії	27
1.5. Особливості використання вихрострумowego методу	29
1.6. Метод вищих гармонік	31
1.7. Переваги МВГ	31
1.8. Вибір та обґрунтування методу контролю	32
Висновки до розділу 1	33
2. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ	34
2.1. Вибір структурної схеми	34
2.2. Опис роботи макету	37
Висновки до розділу 2	42
3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	43
3.1. Розрахунок перетворювача	43
3.2. Розрахунок та підбір елементів для електричної схеми	45
3.2.1. Розрахунок фазообертача	45
3.2.2. Розрахунок підсилювача	46
3.2.3. Вибір синтезатора	52
3.2.4. Розрахунок перемножувача сигналу	52
3.2.5. Розрахунок фільтра нижніх частот	53
3.2.6. Підбір мікроконтролера	54
3.2.7. Підбір клавіатури	55
3.2.8. Підбір дисплею	56
Висновки до розділу 3	57
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ З ТИТАНУ	58
4.1. Результати дослідження зразків титану за допомогою метода вищих гармонік	58
4.2. Контроль титану за допомогою ультразвукового методу	64

Висновки до розділу 4	70
5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	72
5.1. Опис ідеї проекту	73
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту	75
5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску проекту	75
5.3. Розроблення ринкової стратегії проекту	83
5.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	86
Висновки до розділу 5	89
ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
ДОДАТКИ.....	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ОК – об’єкт контролю

НК – нерушійний контроль

ВНН – вісь найлегшого намагнічування

ВСН – вісь складного намагнічування

МВС – метод вихрових струмів

МВГ – метод вищих гармонік

ВСТУП

Особливий інтерес для наукових і виробничих цілей представляє розробка методів і засобів контролю якості феромагнітних матеріалів і виробів, що володіють сильно вираженими нелінійними характеристиками при перемагнічуванні. В даний час для цих цілей широке поширення набуває метод вихрових струмів з використанням в якості вимірювальної інформації вищих гармонік е.р.с. датчиків контролю і вимірювань. Цей спосіб електромагнітного контролю якості виробів і вимірювання різних неелектричних величин, що отримав назву методу вищих гармонік (МВГ), заснований на використанні нелінійних властивостей феромагнітних виробів і гармонійного аналізу електромагнітних параметрів датчика. Залежно від схеми включення датчика і його конструкції найчастіше використовується гармонійний склад е.р.с. вторинної обмотки, однак, не менші можливості можуть бути отримані при гармонійному аналізі намагнічування струму датчика з однією обмоткою, що живиться в режимі заданої напруги.

На відміну від відомих електромагнітних способів контролю якості виробів і матеріалів (вихрострумовий, електромагнітний по характерних точках динамічної петлі перемагнічування і ін.) МВГ володіє значно більшою інформаційною здатністю до змін тих чи інших параметрів контрольованої ділянки виробу.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Структуроскопія об'єднує комплекс питань по фізичним неруйнівним методам контролю якості матеріалів заготовок, напівфабрикатів і деталей при їх виготовленні і експлуатації. Під порушенням якості тут розуміються відступу від заданого хімічного і фазового складу або структурного стану досліджуваних матеріалів, що виникають задовго до появи в них тріщин втоми. Предметом неруйнівного структурного аналізу можуть бути зміни стану матеріалу, викликані гідруванням, неоднорідними механічними напруженнями, наприклад внаслідок наклепу або будь-якої іншої механічної обробки, а також процеси в металах, пов'язані з термічної, хіміко-термічної обробками або загартуванням струмами високої частоти.

Методи, що застосовуються для контролю якості структури матеріалів, діляться на ті, що вимагають і не вимагають виготовлення спеціальних зразків. Вже давно стало ясно, що вибірккові методи контролю за еталонними зразками не дають повної гарантії якості кожної деталі і машини в цілому.

Існуючі фізичні руйнівні методи структуроскопії, які не дозволяють поки «побачити» структуру так, як її видно в мікроскоп. Про стан структури судять за непрямими ознаками. Так, стали з феритної і аустенітної структурою істотно відрізняються один від одного по електромагнітним властивостям.

Електромагнітна структуроскопія дозволяє контролювати якість структури і аналізувати склад струмопровідних матеріалів за допомогою методу вихрових струмів (МВТ), вищих гармонік (МВГ), магнітних шумів (МШ), нелінійних спотворень (МНС) і інших методів, пов'язаних з впливом на контрольований об'єкт змінних (іноді в комбінації з постійними) електромагнітних полів. Вона розвивається на стику матеріалознавства, теорії магнетизму, електромагнітної теорії поля і фізики твердого тіла.

Можливості електромагнітних методів визначаються наявністю зв'язку між структурним станом, механічними властивостями, що цікавить нас матеріалу і його електричній і магнітній характеристики: електропровідністю σ ,

магнітною проникністю μ , коерцитивною силою H_c і ін. У своїй основі електромагнітна структуроскопія є прикладна частина вчення про магнетизм і електромагнітні явища. Вона використовує математичну статистику, теорію ймовірності, обчислювальну техніку, автоматику.

Основне завдання електромагнітної структуроскопії – виявити щодо змін електромагнітних характеристик різницю в структурі, хімічному складі або твердості контрольованого зразка і зразка, що відповідає технічним умовам. До проб-лем, що вирішуються в електромагнітній структуроскопії, відносяться:

- визначення ступеня хімічної чистоти матеріалів та сплавів;
- сортування по маркам, хімічним складом та іншим характеристикам, що впливає на електромагнітні властивості матеріалу;
- виявлення деталей, оброблених по режимам, що не відповідає заданому;
- виявлення «м'яких» або «твердих» ділянок на деталях, зон неоднорідної структури, охрупчених або знеуглецьованих ділянок як в процесі виготовлення деталей, так і при їх експлуатації;
- виявлення «ініціюючих» зон можливих руйнувань, оцінка схильності матеріалу до корозії, корозійного розтріскування, відображає залишковий запас міцності і часу життя деталі до руйнування.

Цей перелік легко продовжити, зв'язавши його з процесами, при яких можливі відступу від прийнятої технології обробки, експлуатації, зберігання деталі або виробу в цілому.

У металознавстві при дослідженні властивостей немагнітних матеріалів вельми часто використовують зміни питомої електричної опору ρ , для визначення якого необхідні зразки. Виготовлення одного зразка, підготовчі роботи і, нарешті, розрахунки вимагають порівняно великих витрат. Отримана характеристика є інтегральною величиною і не може служити критерієм для оцінки стану поверхневого шару на певній ділянці деталі. Як правило, руйнування деталей починається в поверхневій зоні. Саме тут і протікають

вихрові струми. Процес контролю цієї зони за допомогою електромагнітних структуроскопії триває 2-3 с і може бути механізованим і автоматизованим.

Розроблено та широко застосовуються спеціальні прилади для вимірювання питомої електропровідності (величини, зворотної питомому опору) немагнітних металевих матеріалів, композитів і виробів на графітовій основі. Діаметр датчика у цих приладів всього кілька міліметрів, що дає можливість встановлювати його на такі об'єкти, як заклепки.

Створена апаратура дозволяє отримати інформацію про структуру матеріалу на різних ділянках деталі, швидко перевірити якість (або відповідність еталонному зразку) сотень і тисяч напівфабрикатів і деталей, в тому числі що знаходяться у важкодоступних ділянках всередині машин; визначити стан поверхні деталі під шаром лаку, фарби, емалі або захисного покриття.

Питома електропровідність (далі, просто електропровідність) – потужний засіб аналізу немагнітних матеріалів. На її величину впливають хімічний склад, обрані режими обробки, послідовність технологічних операцій. Тому, як і всюди в електромагнітної структуроскопії, тут необхідні надійно перевірені статистичні дані про розкид значень електропровідності, характерному для кожного сплаву при різних видах обробки. Важливо, щоб контрольовані деталі мали однакове термічний стан і були ідентично оброблені. Якщо деталі мають покриття, то матеріал покриття і його товщина також повинні бути однаковими для всієї перевіреній партії. Досить часто і найбільш успішно здійснюється контроль за партіями.

Висока роздільна здатність досягається застосуванням багатоступінчастого контролю на різних стадіях виробничого процесу в поєднанні з такими поширеними методами, як спектральний аналіз за допомогою стилоскопа або контроль на механічних пристроях, що визначають твердість. Багатоступінчастий неруйнівний контроль, наприклад, дозволяє визначати марку матеріалу на перших стадіях обробки навіть у тих умовах, коли контроль на фінішній операції виявляється недієвим. В практику

перевірки великогабаритних деталей увійшов контроль їх за зразками-супутникам. Такі зразки відбираються від кожної плавки або садки, одна частина зразків проходить вхідний контроль, а інша - слід по технологічному ланцюжку. Передавальні клейма або номери ставляться кілька разів і можуть бути переплутані. Звірення електропровідності деталі і зразка-супутника дозволяє підтвердити марку матеріалу, рівномірність і правильність термічної обробки. При цьому забезпечується значна економія за рахунок скорочення транспортних витрат на переміщення деталей на ділянці контролю твердості, виключаються випадки травматизму, пов'язані з перенесенням громіздких деталей.

Електромагнітний структуроскопічний аналіз застосовують для оцінки якості не тільки масивних металевих деталей, але і гальванічних шарів, виробів, виготовлених з вуглецевих волокон, графіту і т. Д. Структура графіту визначається технологією її виготовлення. Для вуглецевих волокон, одержаних піролізом з органічних матеріалів, є зв'язок між модулем пружності і електропровідністю в напрямку осі волокна. Це дозволяє, визначаючи електропровідність в різних напрямках, вимірювати характеристики жорсткості та міцності.

Електричні і магнітні властивості сплавів залежать від властивостей і кількості фаз, величини зерен і кристалітів, їх форми, взаємного розташування, кількості вакансій і дислокацій. Особливості методу накладають свої обмеження на результати контролю. Джерелами електромагнітного поля, як правило, служать котушки індуктивності без сердечника і з сердечником, які живляться струмом частотою від декількох герц до 100 МГц і більше. За допомогою таких пристроїв отримують інформацію про зміну електромагнітних характеристик. Розшифровка цієї інформації ускладнена тим, що вона містить також відомості про зазорі між датчиком і контрольованим металом, формі і кривизні поверхні, близькості датчика до краю деталі, її товщині і т. д. Сучасні структуроскопи працюють в широкому діапазоні частот, в якості індикаторів в них використовуються електронні

трубки, розробляються блоки електронної пам'яті, системи з комп'ютерами. У схеми структуроскопії вводяться блоки, що зменшують вплив різних чинників, що заважають.

Один з напрямків електромагнітної структуроскопії – контроль якості термічної і хіміко-термічної обробок. Обсяг термічно зміцнюючих деталей з феромагнітних матеріалів, наприклад в автомобільній промисловості, досягає 50%. Ці види обробки дозволяють створити значну стискаючу напругу в поверхневих шарах, що збільшує опір матеріалів руйнуванню. Однак якщо допущено відхилення від заданих режимів обробки на будь-якої технологічної стадії, в поверхневих шарах з'являються тверді і м'які ділянки, створюються різкі перепади напруги, що може бути причиною руйнування деталі. Саме в цих зонах метал втомлюється, не витримує навантажень і дає тріщини. Фізична сутність таких процесів визначається кристалічною будовою сплавів. Для вивчення глибинних явищ, що відбуваються в надрах кристалічної решітки сплавів, залучаються рентгенівське випромінювання, ультразвукові коливання магнітні явища, термоЕРС, електричний опір.

1.1. Титанові сплави

Зростаюча роль титанових сплавів визначається можливістю з їхньою допомогою полегшення маси без зниження міцності деталей, і підвищення корозійної стійкості. За питомою міцності титанові сплави перевершують сталі. Так, якщо у типовій конструкційної сталі питома міцність у приблизно 9,2, то у титанового сплаву ВТ9 ця величина при кімнатній температурі дорівнює 18,8. Титан існує в двох алотропічних модифікаціях. Низькотемпературна модифікація (α -титан) виходить при температурах нижче 882,5 ° С. Високотемпературна модифікація (β -титан) утворюється вище цієї температури. Підвищення міцності титанових сплавів досягається легуванням його різними елементами, які діляться на дві групи: елементи, що стабілізують α -фазу, і елементи, що стабілізують β -фазу. Існують три типи сплавів:

однофазні з α -структурою і β -структурою і двофазні з $\alpha + \beta$ -структурою. Сплави з α -структурою VT1, VT5, VT8 і сплави з невеликою кількістю β -фази OT4, VT4, VT20 термічно стабільні і добре зварюються. Сплави на основі $\alpha + \beta$ -структури більш жароміцні. Вони зміцнюються термічною обробкою (загартуванням і старінням). До них відносяться сплави VT3, VT6, VT8, VT9, VT14, VT16. Титан отримують відновленням тетрахлориду титану магнієм або натрієм. В результаті утворюється металевий титан - так звана титанова губка, яку потім очищають в електропечах. В сплави додають алюміній, ванадій, олово, марганець, хром. Міцність титанових сплавів: VT1 (технічно чистий титан) - 440-590, OT470-830 МПа, VT9 - 1,12-1,27, VT14 - 1,15-1,37 ГПа. Сплав VT1 добре зварюється, прокочується, обробляється різанням. Сплави зі структурою $\alpha + \beta$ і метастабільною β -фазою мають хорошу пластичність і після термообробки набувають високу міцність. Сплави з β -структурою отримали менше застосування через сильний вплив на їх властивості домішок. Приблизно однакові колір і щільність нерідко призводять до помилок у визначенні марок матеріалу і виборі деталей з титанових сплавів. Орієнтовна електропровідність титанових сплавів приведена в табл.1. Термообробка титанових сплавів включає випалювання, загартування і старіння. Відпал забезпечує вирівнювання структурної неоднорідності. Застосовують подвійний, ізотермічний і неповний випалювання. Загартування має на меті фіксування метастабільною β -фази або продуктів її перетворення. Однак виправити брак вихідної, наприклад голчастою, структури з наявністю кордонів первинного зерна β -фази при подальшій термообробці не вдається. Дослідження впливу на електропровідність змін режимів термічної обробки трьох сплавів - VT14, VT15 і VT16 – показали, що збільшення температури гарту з 820 до 970 ° С при витримці 20 хв і охолодженні в печі до 600 ° С, а далі – в повітрі зменшують електропровідність сплаву VT14 з 0,62 до 0,53 МСм/м. Зміна температури гарту з 750 до 810 ° С і охолодженні у воді змінюють електропровідність сплаву VT16 від 0,68 до 0,62 МСм/м. Охолодження в печі збільшує її до 0,70 МСм/м.

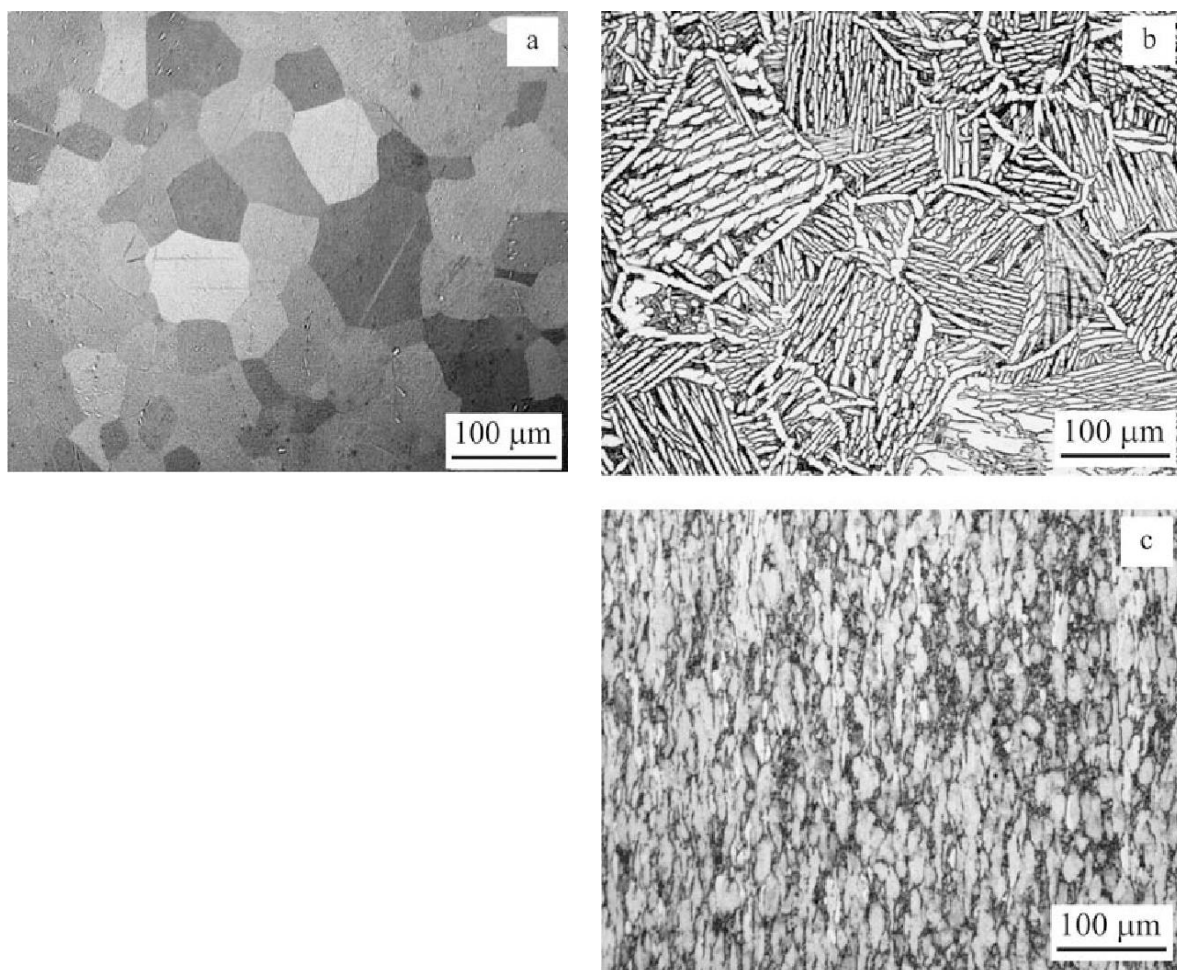


Рис. 1.1. Мікрофотографії, що показують а) рівноосні альфа-зерна в титані марки 2, б) пластинчасті альфа-колонії (білі) з бета-фаза між (сірий) в Ti662, с) альфа-зерна (Світлі) витягнуті в напрямку зубців (Ti64).

Таблиця 1.1 – Електропровідність титанових сплавів

Марка	Електропровідність, МСм, м	Термообробка
ОТ4	0,73—0,98	Випалений
ОТ4-1	1,15-1,3	
ВТ1	2,15-2,4	»
ВТ3-1	0,52—0,62	Термічно оброблений
ВТ5	0,58-0,61	
ВТ8	0,48-0,51	»
ВТ9	0,5-0,52	»
ВТ 14	0,53-0,68	»
ВТ 15	0,49-0,61	»
ВТ16	0,62-0,79	»

Вплив зернистої структури полікристала. Зерниста структура полікристала призводить до того, що число ВНН(вісь найлегшого намагнічування) значно зростає. Якщо в монокристалі заліза є шість ВНН, нікелю – вісім, а у кобальту – тільки дві, то в полікристала це ж число ВНН у кожного кристалітів, а їх кристалографічні осі розподілені хаотично. Лише в текстурованому матеріалі осі кристалітів будуть близькі один до одного. Таке велике число ВНН накладає відбиток на доменну структуру полікристала. Кожен кристаліт складається з декількох доменів, причому число їх зменшується з розмірами кристалітів. Якщо ВНН сусідніх кристалітів випадково виявляються близькими один до одного, домен може охоплювати кілька зерен. У текстурованих матеріалів можливе утворення великих доменів, що містять кілька зерен.

Така доменна структура впливає на процеси зсуву і обертання. На кордонах кристалітів, де змінюється напрямок вектора J_s , виникають магнітні заряди, поле яких направлено протилежно зовнішньому полю. Тому кордони кристалітів, межі зерен є перешкодами на шляху руху доменних меж і ускладнюють процеси зсуву тим сильніше, чим дрібніше зерно.

Хаотичний розподіл осей кристалітів призводить до того, що напрямок зовнішнього поля не збігається ні з ВНН, ні з ВСН(вісь складного намагнічування), а займає деякий середнє положення. Крива намагнічування полікристала в області процесів обертання буде результатом статистичного усереднення кривих намагнічування монокристала уздовж ВНН і ВСН.

Структуроскопію за допомогою мікроскопа недоцільно використовувати при виготовленні заготовок та виробів із титану, оскільки в матеріал потребує трудомісткої обробки перед проведенням контролю, оскільки для цього типу контролю необхідна чиста та рівна поверхня. У випадку, якщо деталь має складну форму, зрізання деякої частини матеріалу може вплинути на міцність виробу. Ще одним фактором недоцільності використання даного методу є те, що ці мікроскопи мають досить велику ціну.

Саме тому цю методику найчастіше використовують для наукового дослідження структури матеріалів.

1.2. Атомно-емісійний спектрометр

Атомно-емісійні спектрометри реалізують у своїй роботі принципи атомно-емісійного спектрального аналізу (АЕСА). Ці прилади є найбільш поширеними аналітичними приладами і в світі, і в нашій країні. Вони призначені для аналізу (найчастіше елементного аналізу) складу самих різних речовин в різних агрегатних станах.

Часто, особливо за кордоном, ці спектрометри називають оптико-емісійними спектрометрами (optical-emission spectrometers або OE-spectrometers). Таку назву застосовують, щоб підкреслити відмінність від рентгено-флуоресцентних спектрометрів (X-ray fluorescence spectrometers або XRF Spectrometers). Принцип дії останніх також заснований на реєстрації емісійного спектра, але іншого діапазону довжин хвиль - рентгенівського, а не оптичного. Скрізь в подальшому при вживанні загальної назви «АЕ-спектрометр» завжди мається на увазі саме оптико-емісійний спектрометр.

Також такі прилади іноді називають просто емісійними спектрометрами. Крім того, широко використовують назви, в яких явно вказують місце застосовуваного джерела збудження спектрів.

Наприклад, іскровий або дуговий спектрометр для атомно-емісійного спектрометра з іскровим або дуговим джерелом збудження спектрів, відповідно.

Або ІСП-спектрометр (ICP Spectrometer або ICP) - це атомно-емісійний спектрометр з джерелом збудження спектрів у вигляді індуктивно-зв'язаної плазми.

Для спектрометрів з лазерними джерелами збудження спектрів використовують назви лазерний або лазерно-іскровий спектрометр.



Рис. 1.2. Прилад спектронетрії



Рис. 1.3. Сліди іскрового спектрометра

1.2.1. Аналіз зразків спектру

Спектр, що випускається попередньо збудженими атомами і іонами даного хімічного елемента, строго індивідуальний (тобто характерний тільки для даного хімічного елемента);

Малюнки ілюструють, наскільки сильно відрізняються один від одного спектри різних елементів (в даному прикладі це алюміній, мідь, вольфрам і залізо).

По осі ординат - інтенсивність I в умовних одиницях. По осі абсцис - довжина хвилі λ в нанометрах, спектральний діапазон 172-441 нм. Спектри зняті на іскровому спектрометрі.

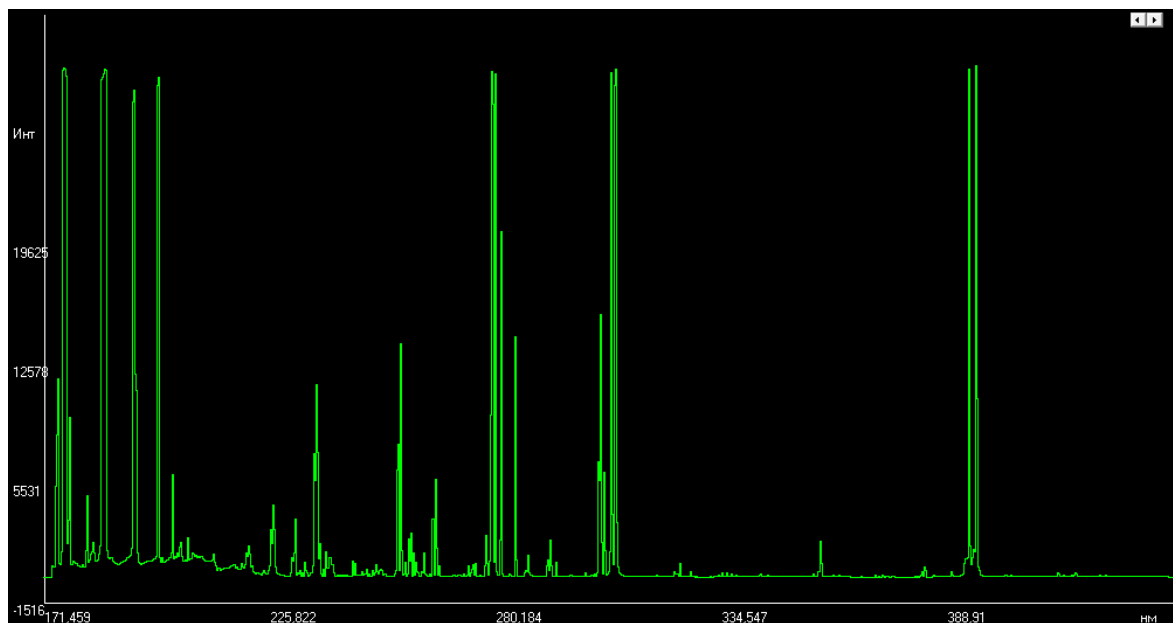


Рис. 1.4. Спектр алюмінію.

Зразок - алюмінієвий деформується марки АД31,
зміст Al близько 98%

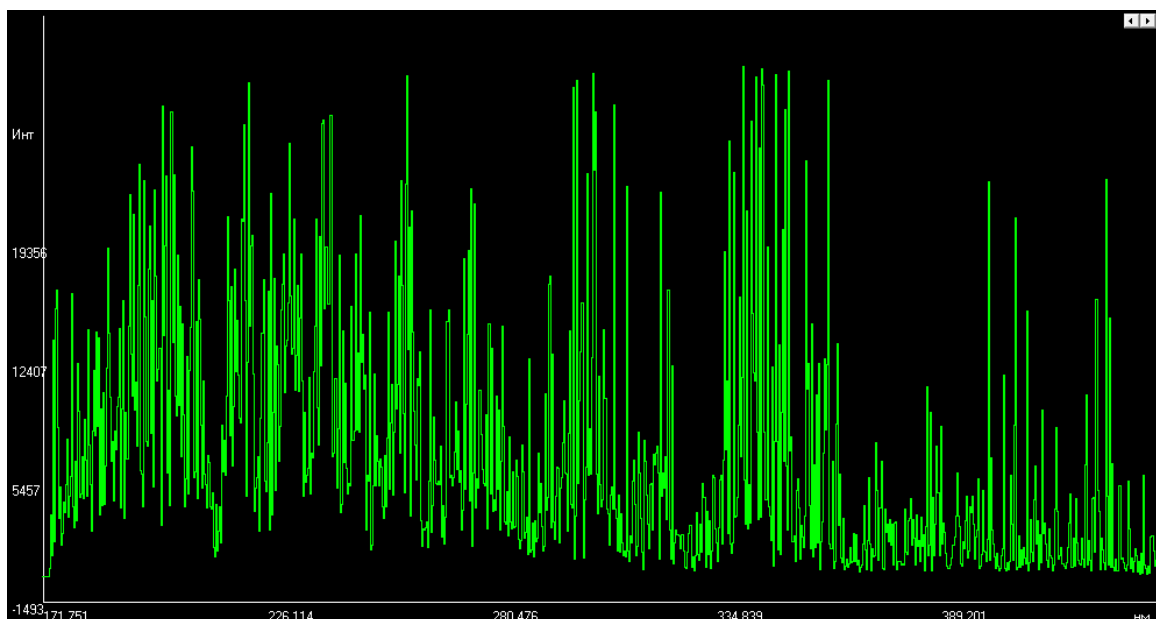


Рис. 1.5. Спектр вольфрамового сплаву.

Зразок - сплав вольфраму з вмістом W близько 90%

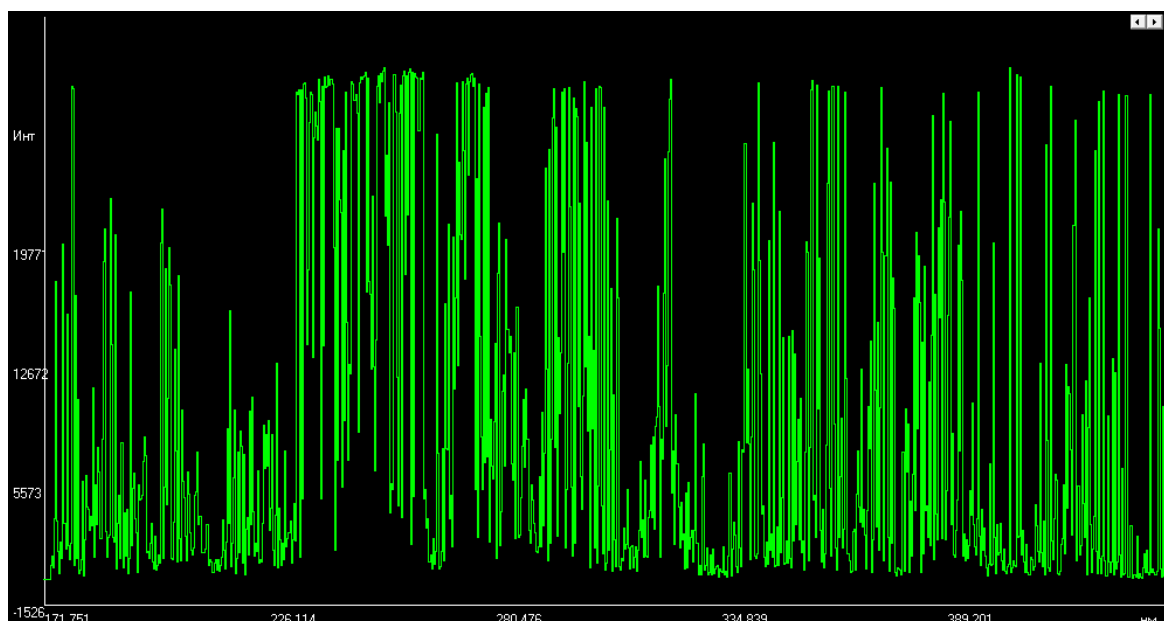


Рис. 1.6. Спектр заліза.

Спектр знятий зі стандартного зразка вуглецевої низьколегованої сталі
УГ2і, зміст Fe близько 99,5%

Інтенсивність ліній цього спектру залежить від концентрації цього елемента, визначення якої і є метою аналізу.

На рис. 1.7 представлені спектри чотирьох стандартних зразків інструментальної сталі з різною концентрацією молібдену, накладені один на

одного для наочності. Чітко видно, що аналітична лінія молібдену має різну інтенсивність (висоту) на всіх спектрах. Причому, чим більше концентрація молібдену, тим вище інтенсивність аналітичної лінії.

Зразки: РГ15 (Мо-5,74%), РГ14 (Мо-2,23%), РГ18 (Мо-1,15%), РГ13 (Мо-0,254%).

Лінія Мо-368,410 нм, ділянка спектра шириною 0,6 нм.

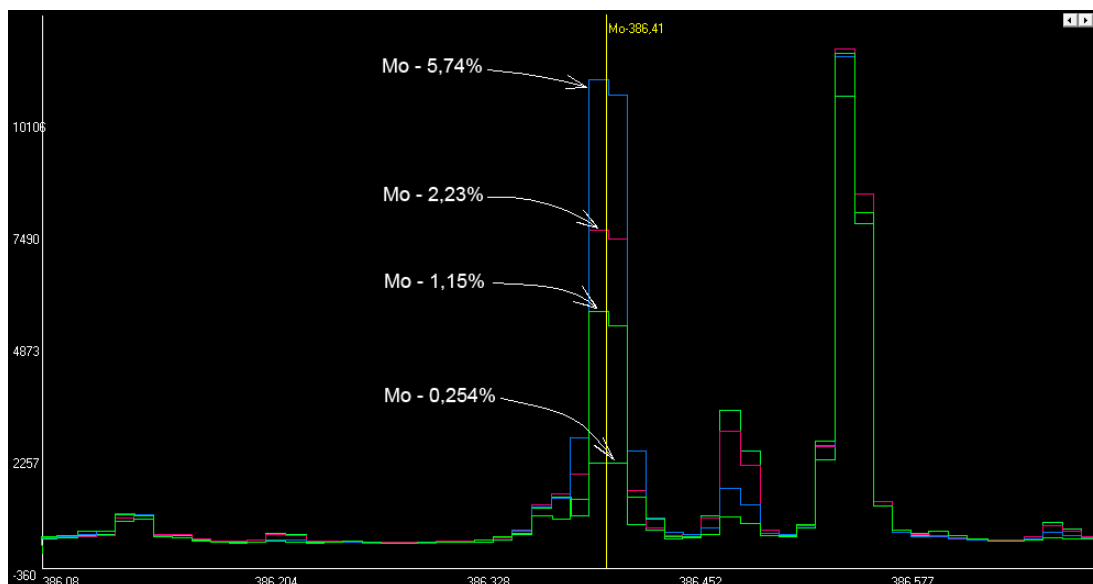


Рис. 1.7. Спектри чотирьох стандартних зразків

Спектр являє собою розподіл потужності випромінювання по довжинах хвиль і характеризується залежністю інтенсивності від довжини хвилі λ

Для отримання емісійного спектра атомам аналізованої речовини необхідно надати додаткову енергію так, щоб електрони перейшли на більш високі орбіти, тобто перевести атоми в «збуджений» стан. (Термін «збуджений» стан є сталим в атомно емісійному спектральному аналізі і далі буде застосовуватися без лапок).

З цією метою об'єкт, що аналізується вводять в джерело збудження спектрів, де він піддається абляції (тобто «вириванню» з поверхні мікрочастинок), шляхом нагрівання і випаровування. Джерело збудження спектрів тим чи іншим способом формує насичену енергією область простору з досить високою температурою.

Потрапивши в цю високотемпературну область простору, мікрочастинки аналізованої проби розпадаються на атоми. Ці атоми проби при зіткненнях з іншими частками переходять в збуджений і іонізований стан. В такому стані атоми і іони можуть перебувати дуже короткий час (10^{-8} - 10^{-7} с). Мимовільно повертаючись до нормального або до проміжного стану, вони випускають надлишкову енергію у вигляді фотонів, сукупність яких і утворює емісійний спектр.

1.3. Лазерно-ультразвукова структуроскопія

Вимірювання структури зерна матеріалів дуже важливо для розуміння їх механічних властивостей і експлуатаційних характеристик.

Акустична спектроскопія в просторовому поданні є технологією, яка використовує ультразвукові хвилі для картування зернистої структури матеріалу. Вимірюючи в різних напрямках швидкість поширення звуку можна визначити орієнтацію зерна і анізотропію матеріалу.

Просторова роздільна здатність (в 25-100 мкм) і роздільна здатність по швидкості (менше 1%) можна отримати за допомогою лазерної оптичної системи.

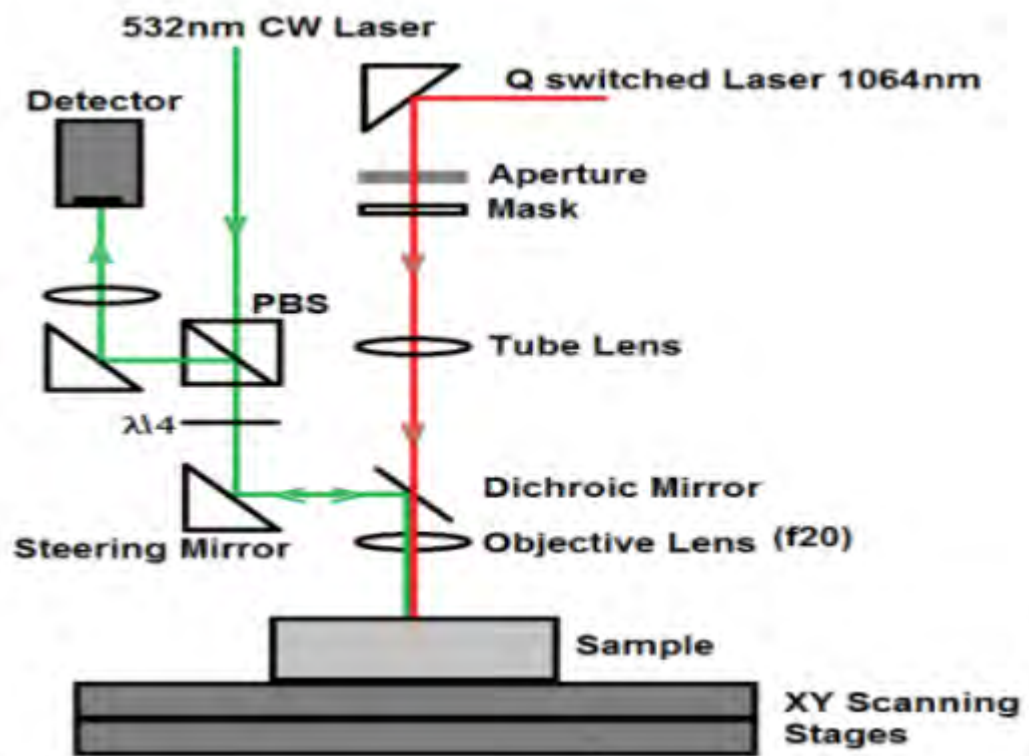


Рис. 1.8. Оптична конфігурація системи

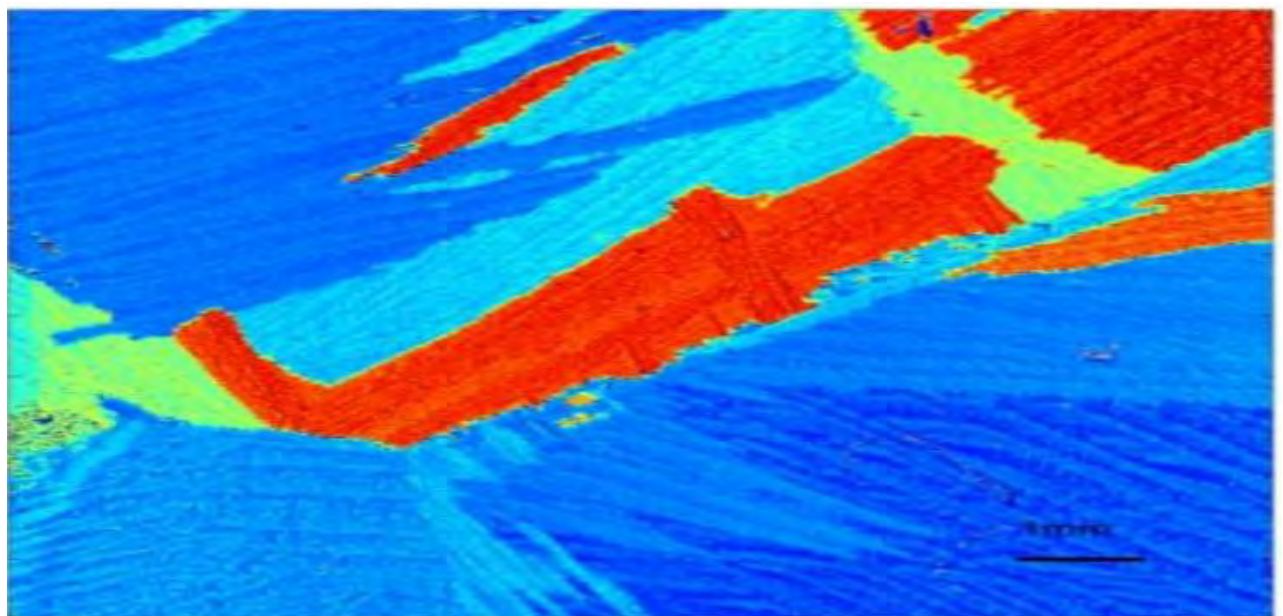


Рис. 1.9. Зображення Ti LG685, що показує внутрішню структуру в великих зернах

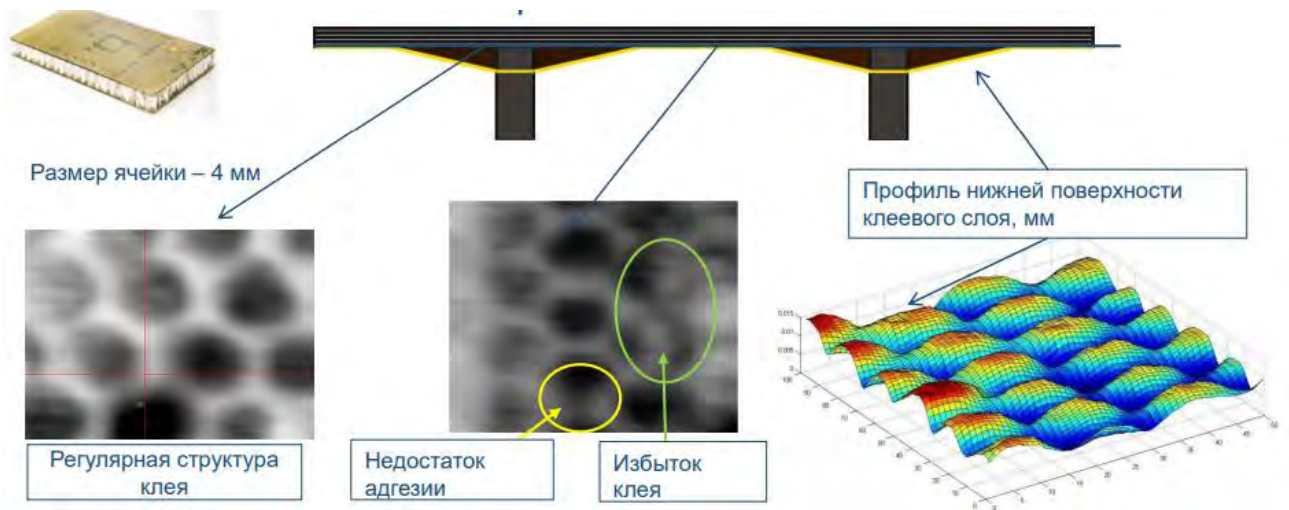


Рис. 1.10. Контроль сотовых панелей

Для проведення структуроскопії можливе, також, використання класичного ультразвукового методу. Для визначення неоднорідності структури використовується час проходження ультразвуку вздовж ОК, але таке вимірювання є опосередкованим, оскільки ми не бачимо повної картини структури ОК.

1.4. Магнітні та електромагнітні методи структуроскопії

Розподіл на магнітні та електромагнітні методи визначається впливом на контрольований об'єкт полем: постійним або змінним. Однак досить часто змінне поле застосовується в поєднанні з постійним, або навпаки. Як відомо, якщо на феромагнетик одночасно діє постійне магнітне поле H і додаткове змінне поле ΔH , змінюється в невеликих межах, то величина магнітної проникності буде залежати від напрямку і величини додаткового поля ΔH . При магнітному контролі широко використовують параметр коерцитивної сили H_c , залишкову магнітну індукцію B_d , різні види магнітної проникненості. Коерцитиметри застосовують для контролю якості термічної обробки, контролю твердості, товщини хіміко-термічних та інших зміцнених шарів і т.п. Вони мають приставний електромагніт, що живиться від джерела постійного струму. При вимірах намагнічують і розмагнічують деталь. Про

відсутність поля судять по відхиленню рамки з струмом або показаннями вимірювача (індикатора) поля, ферозондовий датчик якого вбудований в електромагніт. Метод ферозондів отримав і самостійне застосування при контролі якості деталей за величиною залишкової магнітної індукції. Ферозонд являє собою котушку з двома обмотками (струмової та вимірювальної) і феромагнітним стрижнем з матеріалу з малою коерцитивною силою, наприклад пермаллоя. У більшості таких приладів використовуються два невеликих ферозонда з вторинними обмотками для вимірювання градієнта поля, включеними зустрічно. При впливі на сердечник ферозонда невеликого постійного поля в ЕРС, що наводиться у вимірювальній котушці, з'являється друга гармоніка з амплітудою, яка залежить від величини цього поля. Розроблені та застосовуються зонди, діаметр яких близько 1 мм. Для контролю структури з їх допомогою, деталь попередньо повинна бути намагнічена. Для контролю якості термообробки і твердості дрібних сталевих деталей, наприклад нормалей, застосовуються автомати: деталь, під час падіння, намагнічується, а потім проскакує через вимірювальну котушку. В ній наводиться ЕРС, величина якої залежить від твердості.

Останніми роками все більше застосування знаходить імпульсно-локальний метод контролю, званий також методом «точкового полюса». Сутність його полягає в тому, що випробуваний виріб намагнічують полюсом постійного магніту або електромагніту, що живиться імпульсним струмом, а потім вимірюють напруженість залишкового магнітного поля, наприклад ферозондовим методом. Величина залишкового поля залежить від властивостей контрольованого середовища, конструкції датчика, зазору, амплітуди, числа і форми намагнічуючих імпульсів поля та ін. Низькочастотні електромагнітні методи в діапазоні частот 3-100 Гц реалізовані в структуроскопії з прохідними перетворювачами. Накладні датчики в цьому діапазоні мають великі розміри і масу і тому застосовуються рідко. Більшість раніше розроблених датчиків структуроскопії працювало на промислової частоті 50 Гц.

Збуджуюче магнітне поле створюється струмом промислової частоти від регульованого автотрансформатора. Сигнал, що знімається зі вторинних котушок датчика, балансується компенсаторами по фазі та амплітуді, посилюється і подається на вертикально відхиляючі електронної трубки. На горизонтально відхиляючі пластини подається пилоподібна напруга, синхронізована з промислової частотою струму живлення. Іноді на виході приладу підключається смуговий підсилювач, що забезпечує фіксацію миттєвих значень сигналу розбалансу. При малих струмах намагнічування па екрані приладу видно один період синусоїди. Її можна зміщувати щодо центру екрану зміною часу запуску опорної напруги. У міру збільшення струму в збуджуючій обмотці синусоїда спотворюється. У приладах є можливість отриману криву диференціювати або інтегрувати.

1.5. Особливості використання вихрострумowego методу

Взаємодія змінного електромагнітного поля з металом, у якого відносна магнітна проникність більше одиниці, викликає збільшення індуктивності збуджуючої котушки через зменшення розсіювання магнітного поля і магнітного опору кола, але, з іншого боку, відбувається зменшення індуктивності і зростання активних втрат, викликаних дією вихрових струмів. При яскраво вираженому скін-ефекту на частотах понад 1000 Гц превалюють вихрові струми і індуктивність котушки буде менше одиниці. При менших частотах і невеликій магнітної проникності вплив вихрових струмів буде значно менше. На відміну від магнітних характеристик в постійних магнітних полях, які визначаються в основному матеріалом, розмірами і формою зразка (якщо мова йде про випробування в прохідній котушці), магнітні властивості в змінних магнітних полях лише умовно можуть бути названі характеристиками матеріалу. Наслідком впливу поля вихрових струмів є нерівномірність розподілу магнітної індукції по перетину зразка. Індукція і напруженість поля всередині зразка зменшуються з віддаленням від поверхні. Чим вище магнітна проникність, тим сильніше зменшуються напруженість

поля і індукція з глибиною зразка. Тому можна говорити про магнітну проникність певної марки матеріалу при заданій частоті випробувального струму, визначеної формі кривої індукції або напруженості магнітного поля, величиною їх амплітуди.

У змінному магнітному полі магнітний стан зразка або деталі змінюється по динамічній петлі, пробігаючи за період повний цикл; магнітний стан, відповідне основною кривою намагнічування, існує лише одну мить за період. Чим більше активні втрати, тим ширше динамічна петля і тим правіше в координатної площини $B - H$ лежить вершина петлі. При роботі з прохідними перетворювачами здебільшого застосовують режими, в яких проявляється нелінійна залежність $B(H)$, і в складі ЕРС з'являються вищі гармоніки основної частоти синусоїдального збудливого струму. Сучасні методи структуроскопії феромагнітних матеріалів побудовані на аналізі амплітуд і фаз ЕРС вторинного сигналу, порівняно параметрів динамічної петлі, її площі і форми, аналізі гармонійних складових і їх спектральної щільності, порівняно миттєвих значень амплітуд і т. д.

Складність контролю сталевих деталей полягає в тому, що мартенсит, ферит, карбіди і залишковий аустеніт мають різноманітні електромагнітні властивості (намагніченість насичення у карбідів в 2 рази менше, ніж у фериту). Поки існує тільки один шлях, шлях експериментальних досліджень, що дозволяє встановити зв'язок між електромагнітними властивостями, хімічним складом і структурою матеріалу.

1.6. Метод вищих гармонік

Описаний раніше метод вихрових струмів (МВТ) заснований на зв'язку глибини проникнення змінного магнітного поля зі структурно-чутливими характеристиками металу - його електропровідністю а й магнітною проникністю . Глибина проникнення при контролі вимірюється непрямим чином - за величиною змінного магнітного потоку через вироб, який визначається по вторинної ЕРС. Таким чином, вихідним сигналом в МВТ є вторинна ЕРС, її активна і реактивна складові. У разі контролю немагнітних виробів цієї вторинної ЕРС буде повна ЕРС вимірювальної обмотки. Контроль же магнітних виробів призводить до появи у вторинній ЕРС вищих гармонійних складових. Вихідним сигналом в МВТ в цьому випадку буде або повна вторинна ЕРС (якщо вищі гармоніки малі в порівнянні з першою), або її перша гармоніка.

Але можна для цілей контролю структури феромагнітних виробів використовувати крім першої гармоніки вторинної ЕРС (або поряд з нею) вищі гармонійні складові. Метод електромагнітного контролю виробів з феромагнітних матеріалів і сплавів, для якого характерно розкладання несинусоїдального сигналу перетворювача на гармонійні складові і використання для цілей контролю амплітуд і фаз гармонік, вище першої, називається методом вищих гармонік.

1.7. Переваги МВГ

Найбільша перевага МВГ перед МВТ полягає в тому, що вищі гармоніки вторинної ЕРС тісніше пов'язані зі структурно-чутливими параметрами (σ , μ_a , ν , H_0 , B_s), ніж перша. Причому зазвичай амплітуди і фази вищих гармонік визначаються не яким-небудь одним із зазначених параметрів, а їх комбінаціями: $\sigma\mu$, H_0/σ або ж $B_s\sigma$. Як правило , при зміні структури феромагнетика всі зазначені структурно-чутливі характеристики змінюються таким чином, що залежність наведених вище комбінацій від структури буде

однозначною. Дійсно, з ускладненням структури, зі збільшенням, наприклад, числа сторонніх включень збільшується опір руху електронів провідності (зменшується σ), але при цьому також зростає опір руху доменних меж, а значить, зменшується μ . При зміні структури σ та μ змінюються однаково, отже, їхній добуток буде однозначно залежати від структурних параметрів. Те саме можна сказати і до окремого H_0/σ ; H_0 грає роль внутрішнього розмагнічуючого поля і зростає зі збільшенням числа включень і їх розмірів, по при цьому зменшується σ , і величина H_0/σ змінюється однозначно. Зі збільшенням числа немагнітних і слабوماгнітних включень зменшується B_s , але при цьому також знижується і σ . Таким чином, всі три зазначені вище комбінації електричних і магнітних величин можуть служити для визначення структури феромагнетика.

Даний метод не потребує складного датчика який буде використовуватись в робочих умовах, але потребує розробки схеми для точних вимірювань.

1.8. Вибір та обґрунтування методу контролю

В якості метода контролю був обраний метод вищих гармонік оскільки переваги МВГ складаються не тільки в кількісному підвищенні інформації, що вже визначає його перспективність для багатопараметрового неруйнівного контролю, а й в тому, що при цьому збільшується чутливість до контрольованих параметрах, і відкриваються ширші можливості електромагнітних методів контролю якості виробів і матеріалів для цілей структуроскопії, дефектоскопії і вимірювання неелектричних і магнітних величин. Остання обставина зумовлена неоднаковою залежністю основної та вищих гармонік сигналу датчика від одних і тих же параметрів феромагнетика.

Для розробки приладу за основу була обрана схема оптимального вимірювача фази рис. 1.11.

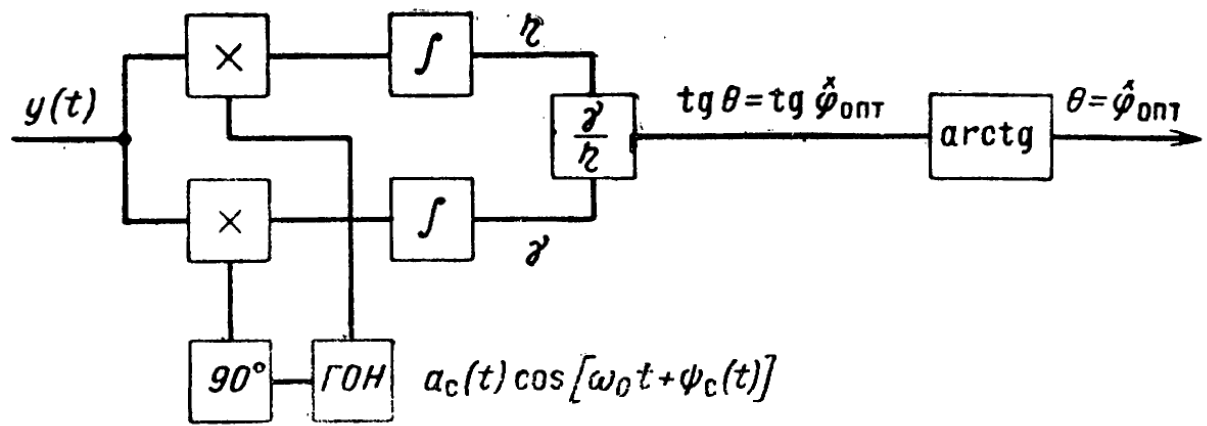


Рис. 1.11. Схема оптимального вимірювача фази

\times – перемножувачі; ГОН – генератори опорної напруги; \int – інтегратори;
 $\frac{z}{z'}$ – пристрій для визначення даного відношення; \arctg – тригонометричний
 перетворювач.

Висновки до розділу 1

У даному розділі було розглянуто метод вищих гармонік, основні принципи, на яких заснований даний метод, його фізичне підґрунтя, описані його переваги та недоліки. Приведена оптимальна схема для побудови системи. Також були розглянуті інші методи контролю які дозволяють контролювати структуру титану.

2. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

2.1. Вибір структурної схеми

Запропоновано структурну схему (рис. 2.1) для реалізації структуроскопа на базі метода вищих гармонік.

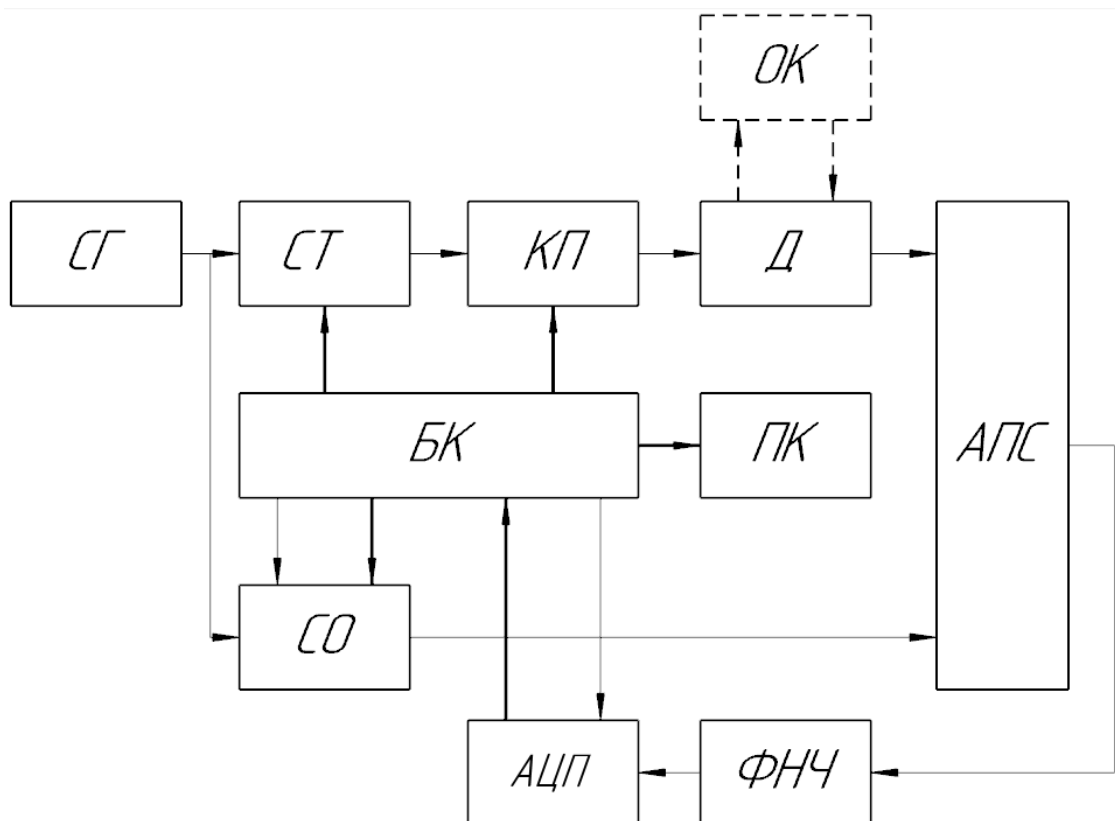


Рис. 2.1. Структурна схема структуроскопа на основі метода вищих гармонік

СГ – синхрогенератор опорної частоти
СТ – синтезатор тестового сигналу
СО – синтезатор опорного сигналу гармонік
КП – керований підсилювач
Д – датчик
АПС – аналоговий помножувач сигналів
ФНЧ – фільтр нижніх частот
АЦП – аналого-цифровий перетворювач
БК – блок керування

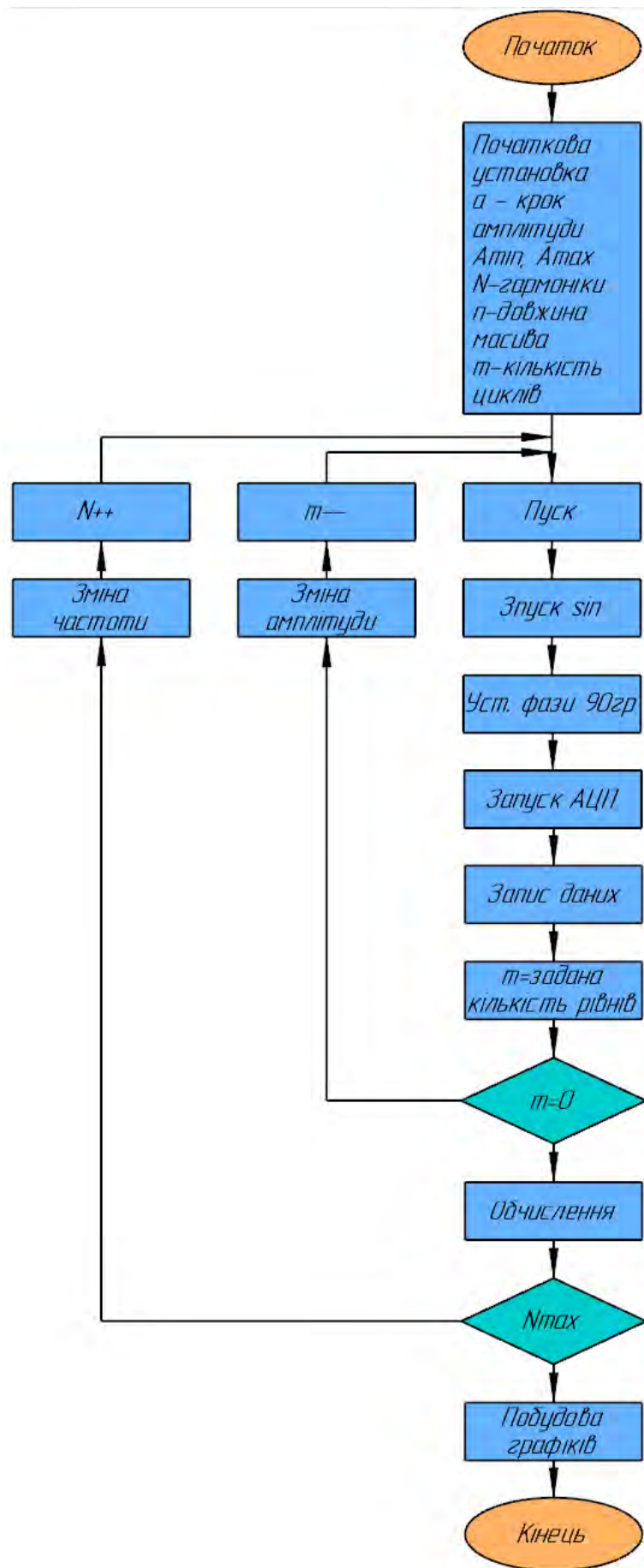


Рис. 2.2. Алгоритм роботи структуроскопа

Принцип роботи запропонованої системи визначення структури матеріалу полягає в наступному. Сигнал від генератора синхросигналів СГ синхронізує роботу синтезаторів частоти синусоїдальних сигналів СТ та СО початкові фази і частоти яких є когерентні і визначається кодами які подаються з мікроконтролера МК. По командам мікроконтролеру МК підключеного до входів керування підсилювача КП ступенями змінюють амплітуду тестового збуджуючого сигналу на вході перетворювача Д, якій внаслідок взаємодії з ОК тестовий сигнал перетворює в вимірювальний, параметри якого (амплітуди, початкові фази отримуваних гармонік при різних амплітудах тестового сигналу) будуть залежати від структури об'єкту контролю його втоми і дефектів в ньому . Перша гармоніка вимірювального сигналу з виходу перетворювача Д, яка наприклад може визначатися згідно виразу:

$$b_u(t) = B\sin(\omega t + \phi),$$

де φ - початкова фаза першої гармоніки вимірювального сигналу на виході перетворювача; B - амплітуда першої гармоніки вимірювального сигналу;

потрапляє на перший вхід помножувача сигналів АПС. Амплітуди і фази вимірювального сигналу визначається за два такти. На першому такті на другий вхід помножувача АПС потрапляє сигнал опорного синтезатора частоти який наприклад має вигляд: $a(t) = A\sin\omega t$. Відомо, що при помноженні синусоїдальних сигналів результуючий сигнал має вигляд: $a(t) \cdot b_u(t) = A\sin(\omega t) \cdot B\sin(\omega t + \phi) = \frac{1}{2}AB[\cos(\phi) - \cos(2\omega t + \phi)]$.

За допомогою фільтра нижніх частот 7, підключеного до виходу помножувача АПС відфільтровується складова с здвоєною частотою $\cos(2\omega t + \phi)$, тому на виході фільтра будемо мати тільки постійну складову $a_c = \frac{1}{2}kABC\cos(\phi)$, де k - коефіцієнт перетворення помножувача. Отримана постійна складова потрапляє на інформаційний вхід АЦП, де по сигналам дискретизації з виходу мікроконтролера перетворюється в код і потрапляє на входи мікроконтролера МК , де запам'ятовується. На другому такті по команді

мікроконтролера змінюють початкову фазу опорного синтезатора частоти ω на 90° , що призведе до зміни сигналу на його виході на сигнал який буде мати вигляд: $a(t) = A\cos\omega t$ Тому відповідно на виході фільтра постійна складова буде визначатися виразом: $a_s = \frac{1}{2}kABSin(\phi)$. Отримана постійна складова аналогічно кодується за допомогою АЦП і потрапляє на входи мікроконтролера, де амплітуди A_i і фази ϕ_i i -х гармонік визначаються згідно виразів відповідно

$$A_i = \sqrt{a_{si}^2 + a_{ci}^2} \quad \text{і} \quad \phi_i = \arctg \frac{a_{si}}{a_{ci}}$$

На другому циклі вимірювання по команді мікроконтролера змінюють частоту опорного синтезатора частоти на задану кратну (2,3,4,5...і т.д.) тестовій частоті, (причому відомо що початкова фаза кратної частоти в синтезаторах частоти типу DDS буде дорівнювати фазі початкової частоти сигналу першої гармоніки) і далі визначають амплітуди і початкові фази отриманих гармонік за два такти. Причому число циклів визначається числом заданих гармонік контролю. За допомогою мікроконтролера МК накопичують масив двотактових результатів вимірювання на кожній гармоніці при різних рівнях тестового сигналу в комп'ютері ПК для подальшої обробки.

Запропонована структурна схема на базі ортогонального методу дозволяє вимірювати параметри з найбільшою точністю.

2.2. Опис роботи макету

Робота макету базується на патентованих науково-інженерних інноваціях:

Інтерпретації утворення і розповсюдження квантів енергії, згідно якої при збудженні матеріалу об'єкта контролю в вимірювальній котушці датчика утворюється спектр змінної напруги вищих гармонік з амплітудою і фазою, яка несе інформацію про електронну структуру досліджуваного матеріалу.

Зовнішній вид макета пристрою представлений на Рис. 2.3:

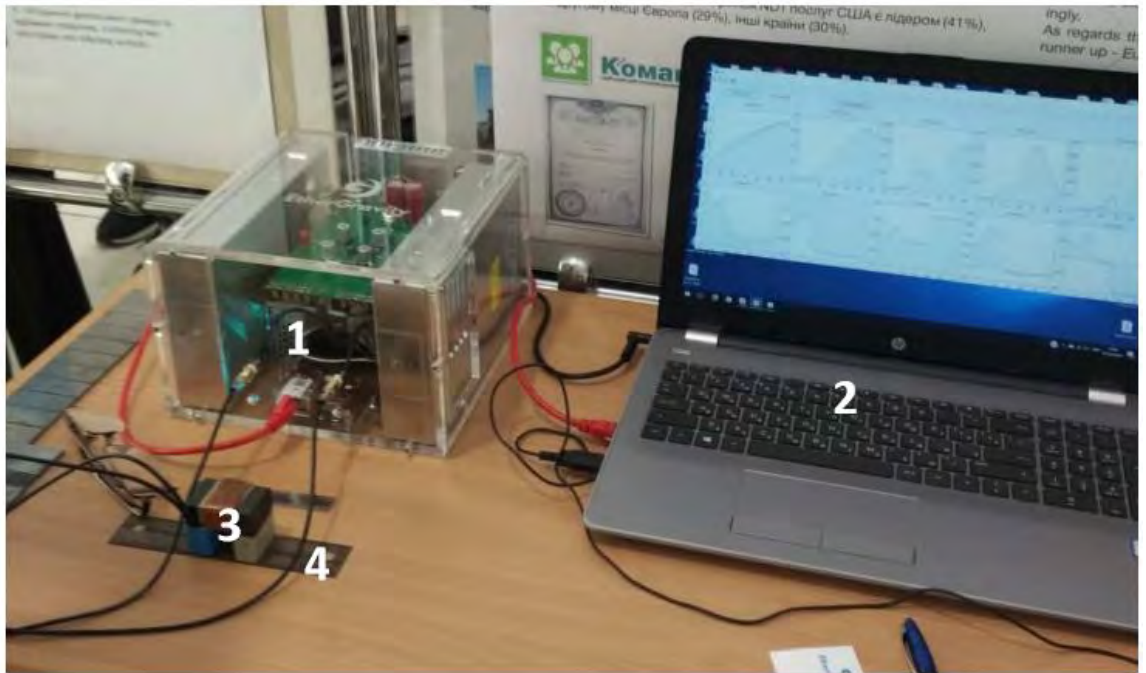


Рис. 2.3. Макет комп'ютерної системи

Основні блоки системи: електронний блок (1), сенсор (3), комп'ютер (2).

Електронний блок (1) призначений для синтезу сигналів збудження заданої конфігурації і обробки сигналів відгуку. Містить синтезатор сигналів, цифро-аналогові і аналогове-цифрові перетворювачі, модуль управління, модулі пам'яті, інтерфейси підключення зовнішніх пристроїв, каскад підсилювачів. Конфігурується за параметрами частоти дискретизації, форми, частоти, амплітуди, інтервалів сигналу збудження, а також автоматичних змін зазначених параметрів під час вимірювань за заданим алгоритмом. Можуть використовуватись сенсори (3) вихрострумового, ультразвукового, оптичного неруйнівного контролю. За допомогою комп'ютера (2) виконується конфігурація вимірювальної системи в залежності від параметрів об'єкту контролю, сенсора, а також поставлених задач дослідження.

Основними вузлами системи (рис. 2.3) є: електронний блок (1), датчик (3) і комп'ютер (2).

Електронний блок (1) призначений для синтезу сигналів збудження заданої конфігурації і обробки сигналів відповіді. Він містить синтезатор сигналів, цифро-аналогові і аналого-цифрові перетворювачі, модуль

управління, модулі пам'яті, інтерфейси для підключення зовнішніх пристроїв і каскад підсилювачів. Він конфігурується параметрами частоти дискретизації, форми, частоти, амплітуди, інтервалів сигналу збудження, а також автоматичною зміною цих параметрів при вимірах за заданим алгоритмом. У вимірювальній системі можуть використовуватися датчики (2) вихрострумового, ультразвукового, оптичного неруйнівного контролю. За допомогою комп'ютера (3) конфігурація вимірювальної системи може бути змінена і скоригована в залежності від характеристик контролюваного об'єкта, датчика, а також завдань дослідження.

Синтезований синусоїдальний сигнал заданих параметрів подається на обмотку збудження датчика, виконану на основі феритового сердечника. Сигнал збудження і параметри обмоток датчика підбираються таким чином, щоб за рахунок нелінійних характеристик фериту в зразку можна було створити Полігармонічне електромагнітне поле, що збуджує спектр гармонік вихрових струмів відповідної частоти. В результаті в вимірювальній обмотці індукується спектр відповідних сигналів, когерентний частоті дискретизації аналого-цифрових перетворювачів, що дозволяє визначати початкові значення фаз гармонік відповідних сигналів.

Синтезований синусоїдальний сигнал заданих параметрів подається на обмотку збудження сенсора, виконаного на базі феритового осердя. Параметри сигналу збудження і обмоток сенсору підібрані таким чином, щоб за рахунок нелінійних характеристик фериту в зразок ввести полігармонічне електромагнітне поле, яке збуджує спектр гармонік вихрових струмів відповідної частоти. В результаті в вимірювальній обмотці наводиться спектр сигналів відгуку, який когерентний частоті дискретизації АЦП, що дозволяє визначати значення початкових фаз отриманих гармонік сигналів відгуку.

Для експериментів вибрано листовий матеріал товщиною 3 мм зі сплаву АА2024-Т4, який після природної витримки до стабільного стану має оптимальну комбінацію властивостей, завдяки чому широко використовується в промисловості, в тому числі в аерокосмічній галузі. На виробництві і в науці

накопичений багатий досвід випробування виробів зі сплавів серії AA2XXX різнманітними технологіями і методами неруйнівного контролю.

Оскільки добре відомо, що в'язкопружна поведінка конструкційних матеріалів безпосереднє пов'язана з мікроструктурою, зв'язок мікроструктури з фазовими характеристиками сигналів відгуку досліджувався на зразках з різними рівнями пластичної деформації, які отримані внаслідок проведення експерименту на простий розтяг, а самі зразки виготовлені «вздовж», «поперек» і під кутом 45° відносно напрямку вальцювання. Загальний вид зразків приведений на Рис. 2.4.



Рис. 2.4. Зразки з алюмінію

По кожному екземпляру зразка за цикл вимірювання отримано спектр початкових фаз сигналів відгуку, які змінюються через збільшення амплітуди сигналу збудження. На Рис. 2.5 представлений приклад зміни спектру фаз дев'яти гармонік зразка AA2024.90.13, виміряних сенсором , де по осі X – номер інтервалу вимірювання, по осі Y – значення початкової фази гармоніки в градусах, а на рис. показані зміни спектру фаз сенсору без зразка. З метою встановлення статистичної керованості виміряних значень початкових фаз при вимірюванні датчиком 5 здійснювалось десять циклів, датчиком 9 шість циклів вимірювання для кожного зразка. Під час вимірювань відбувався контроль зовнішніх параметрів робочого середовища, а саме, температури зразків, сенсорів, електронних компонентів пристрою, позиціонування

сенсора на зразках. За допомогою Moving Range (MR) Chart встановлювалась статистична керованість процесу вимірювання.

Для кожного зразка дев'ятьма різними сенсорами було виконано понад 100 вимірювань, в результаті яких визначені найбільш прийнятні параметри сенсорів і сигналу збудження для вимірювання початкових фаз вищих гармонік. Були представлені результати двох серій вимірювань датчиком 5, друга – датчиком 9. Зазначенні датчики мають однакові феритові осердя, проте з метою забезпечення різних максимальних значень струму сигналу збудження відрізняються параметрами збуджувальної і вимірювальної обмоток. Максимальне значення струму збудження датчика 9 в 7 разів перевищує максимальне значення струму збудження датчика 5. В обох серіях встановлювались однакові параметри частоти дискретизації, гармонійної частоти, кількості і тривалості інтервалів синтезованого сигналу збудження синусоїдальної форми, при цьому відрізнялись значення струму.

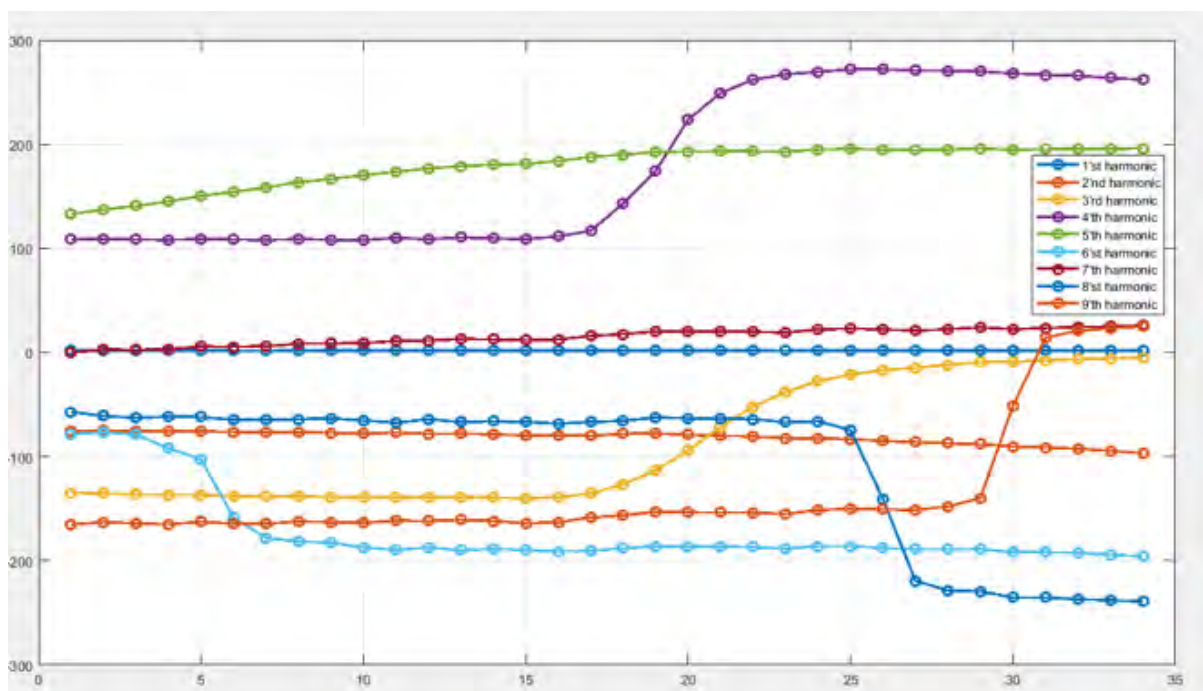


Рис. 2.5. Залежність фазового спектра 9 гармонік сигналу у відповідь наростання амплітуди сигналу збудження.

Висновки до розділу 2

В даному розділі була побудована структурна схема комп'ютерної системи на основі метода вищих гармонік, а також алгоритм цієї системи.

В ході експерименту було досліджено структуру алюмінієвих зразків після його розтягу. Фактично контролювати втому металу, що дуже важливо на сучасному рівні контролю.

Для експерименту використовувались алюмінієві зразки, оскільки виготовлення подібних зразків з титану досить складне і потребує великих коштів. Також складнощі викликає процес розтягу титану. Враховуючи, що алюміній має схожу структуру з титаном, було прийнято рішення використовувати, для досліджень, саме його.

3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок перетворювача

Тип перетворювача: трансформаторний.

Обираємо діаметр обмотки збудження D_{cp} :

Враховуючи, що котушка має феритове осердя, приймаємо:

$$D_{cp} = D_{oc} = 0.003\text{м} = 10\text{мм}$$

Аксiальна довжина котушки L :

$$\frac{0.15 < L}{D_{cp} < 0.3} \rightarrow L = 10\text{мм} \quad (3.1)$$

Обираємо діаметр дроту збуджуючої котушки (враховуючи iзоляцію):

$$0.1\text{мм} < d_1 < 0.8\text{мм} \rightarrow d_1 = 0.32\text{мм}$$

Розрахуємо кількість витків котушки збудження W_1 :

а) площа вікна $S_0 = 0.0075\text{м} = 7.5\text{мм}$

б) кількість шарів $n = \frac{L}{d_1} = 32 \quad (3.2)$

в) кількість витків в одному шарі $W_1^* = \frac{S_0}{L d_{1iz}} = 53.5 = 53 \quad (3.3)$

$$W_1 = n W_1^* = 159 \quad (3.4)$$

Перевірка: $100 < W_1 < 500$.

Розрахунок струму збудження I при перегріві котушки:

$$I = (0.85 \div 0.9) I_{пр} = 0.15\text{А} \quad (3.5)$$

$$I_{пр} = \sqrt{\lambda S_{ox} [\theta]_д / R} = 258.2 = 0.026\text{ А} \quad (3.6)$$

де $\lambda - (8 \div 12) \text{Вт} / \text{м}^2 \text{град}$ – коефіцієнт теплопередачі,

S_{ox} – поверхня охолодження котушки,

$[\theta]_д$ – допустима температура перегріву $\rightarrow [\theta]_д < 25^\circ\text{C}$,

$$R = \frac{4\rho W_1 D_{cp}}{d_1^2} = 0.075$$

$\rho = 0.0175 \text{Ом} \times \text{мм}^2 / \text{м}$ – для міді

Розрахунок частоти струму збудження:

$$\text{при } \beta = 20 \rightarrow f = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \times \frac{4\beta^2}{D_{cp}\sigma\mu_0} = 1.267 \times 10^3 \text{ Гц} \quad (3.7)$$

$$\text{Де, } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.257 \times 10^{-6}$$

$$\sigma = 40 \times 10^6$$

Розрахунок напруги холостого ходу:

$$U_{xx} = 1.35\omega\mu_0 W_1 W_2 (m - 0.3) I \sqrt{D_{cp1} D_{cp2}} = 55 \text{ В} \quad (3.8)$$

$$\omega = 2\pi f, W_2 = W_1, D_{cp1} = D_{cp2}$$

$$m = D_{cp1}/D_{cp2} \text{ (або } D_{cp2}/D_{cp1}, \text{ якщо } m < 1)$$

Розрахунок внесених напруг здійснюється по годографам (рис. 3.1):

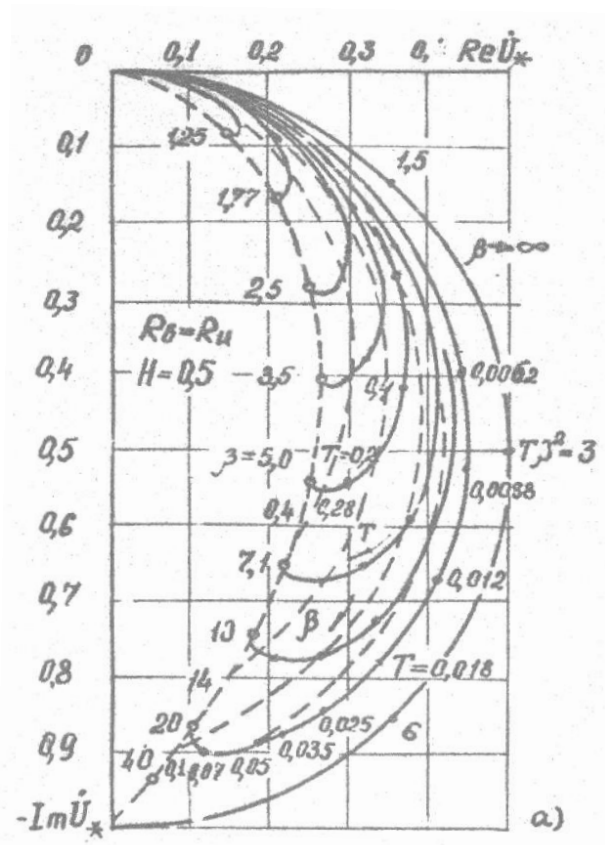


Рис. 3.1. Годограф для накладного перетворювача в залежності електропровідності зразка.

Розрахунок внесеної напруги:

$$U_{BH} = U_{xx} (Re U_{BH}^* + j Im U_{BH}^*) e^{-3\xi} = 50 \text{ В} \quad (3.9)$$

$$\xi = (h_1 + h_2)/D_e$$

$$D_e = D_{cp1} + 1.5h_1$$

$h_1 = 5$ мкм, $h_2 = 10$ мкм – висота обмоток над ОК

Розрахунок вихідного сигналу перетворювача:

$$U_{вих} = E_0 + U_{вн} = 0.054 \text{ В} = 54 \text{ мВ} \quad (3.10)$$

$$E_0 = jU_{xx}e^{-3c/D_{cp1}} = 0 \text{ В}$$

$$c = h_1 - h_2$$

3.2. Розрахунок та підбір елементів для електричної схеми

3.2.1. Розрахунок фазообертача

Схема, що забезпечує ідеальний фазовий зсув, повинна передавати сигнал, не змінюючи його амплітуду, але зрушуючи його фазу на певний заданий кут.

Схема фазообертача приведена на рис. 17.

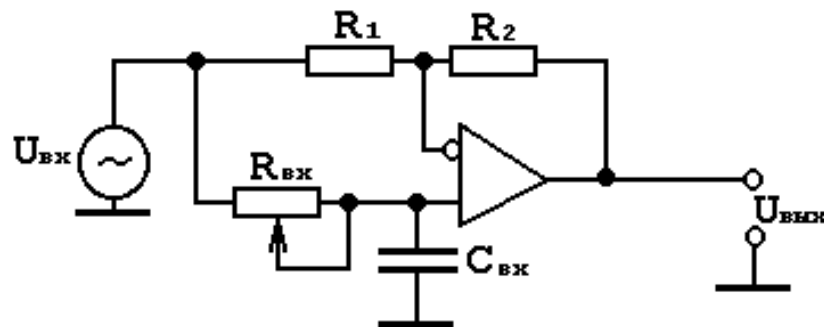


Рис. 3.2. Фазообертач з операційним підсилювачем.

На вихід фазообертача поданий синусоїдальний сигнал $U_{вх}$ частотою 40 кГц і амплітудою 1.5 В.

Сигнал на виході $U_{вих}$ має ту ж частоту і амплітуду, що і вхідний сигнал, але запізнюється відносно $U_{вх}$ на 90° .

У загальному вигляді вираз для вихідної напруги схеми фазообертача має вигляд:

$$U_{вих} = U_{вх}e^{j\theta} \quad (3.2.1)$$

де θ – фазовий кут.

В фазообертачі резистори $R_1 = R_2 = R$.

Фазовий кут θ залежить тільки від $R_{\text{ВХ}}$ і $C_{\text{ВХ}}$ і від частоти F вхідного сигналу $U_{\text{ВХ}}$. Вони пов'язані такими співвідношеннями:

$$\theta = -2\arctg(2\pi \times F \times R_{\text{ВХ}} \times C_{\text{ВХ}}) \quad (3.2.2)$$

θ – вимірюється в $^\circ$, F – в герцах, R – в Ом, C – в фарадах.

З рівняння (3.3.4) слідує, що $\theta = -90^\circ$, тоді як $R_{\text{ВХ}}$ дорівнює реактивному опору $C_{\text{ВХ}}$, тобто:

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{1}{2\pi \times F \times C_{\text{ВХ}}} \quad (3.2.3)$$

При зміні $R_{\text{ВХ}}$ від 1 до 100 кОм θ зміниться приблизно від -12° до -168° . Таким чином, фазообертач може зсувати кут в діапазоні до 180° . Якщо $R_{\text{ВХ}}$ та $C_{\text{ВХ}}$ в схемі поміняти місцями, то кут буде додатній.

3.2.2. Розрахунок підсилювача

В якості підсилювача лінії живлення котушки було обрано модель Арех PA92 (рис. 3.3). Також представлена стандартна схема підключення підсилювача (рис. 3.4) та розташування на платі (рис. 3.6).

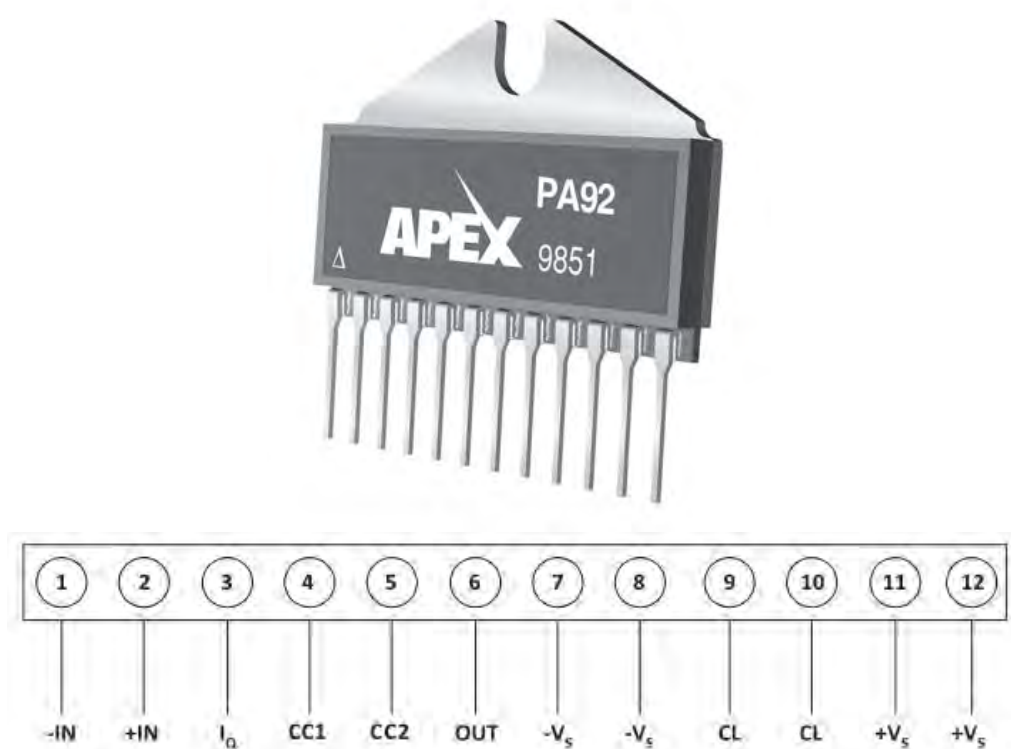


Рис. 3.3. Підсилювач PA92.

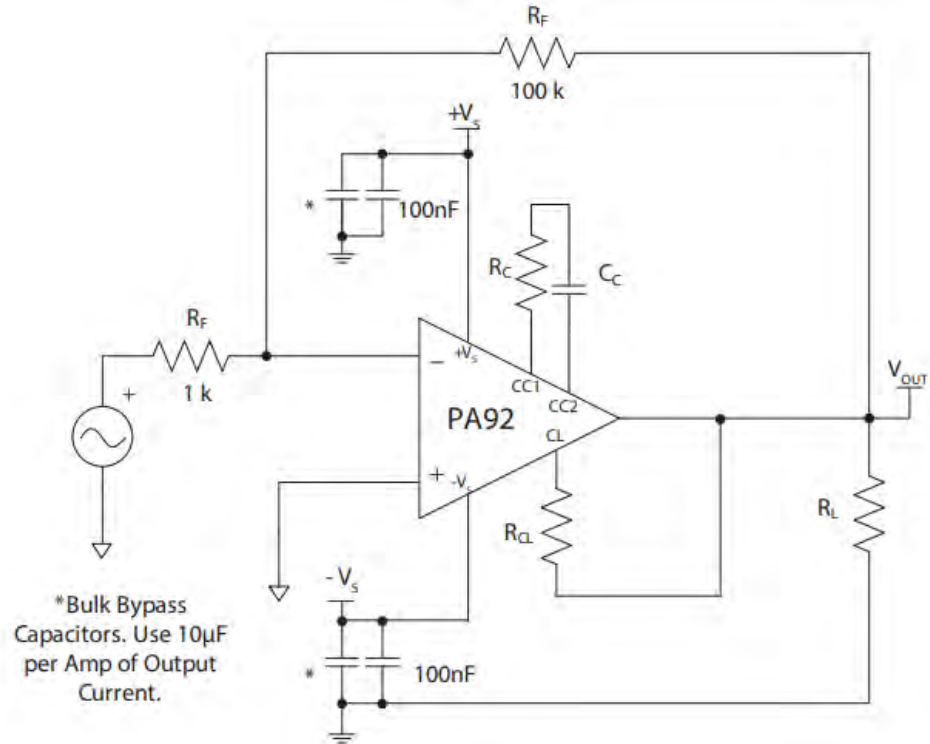


Рис. 3.4. Схема підключення рекомендована виробником

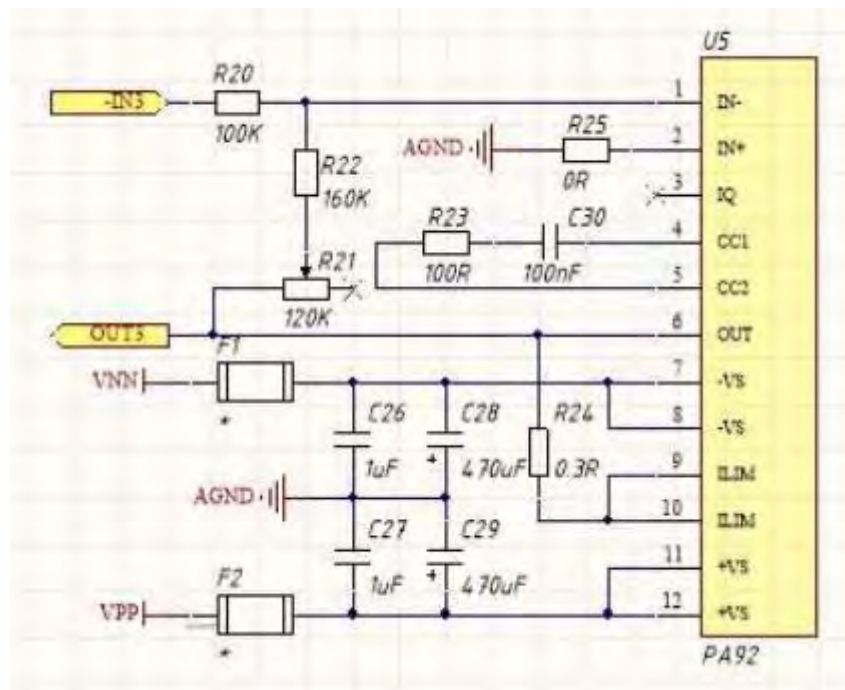


Рис. 3.5. Схема підключення на монтажній платі PA92

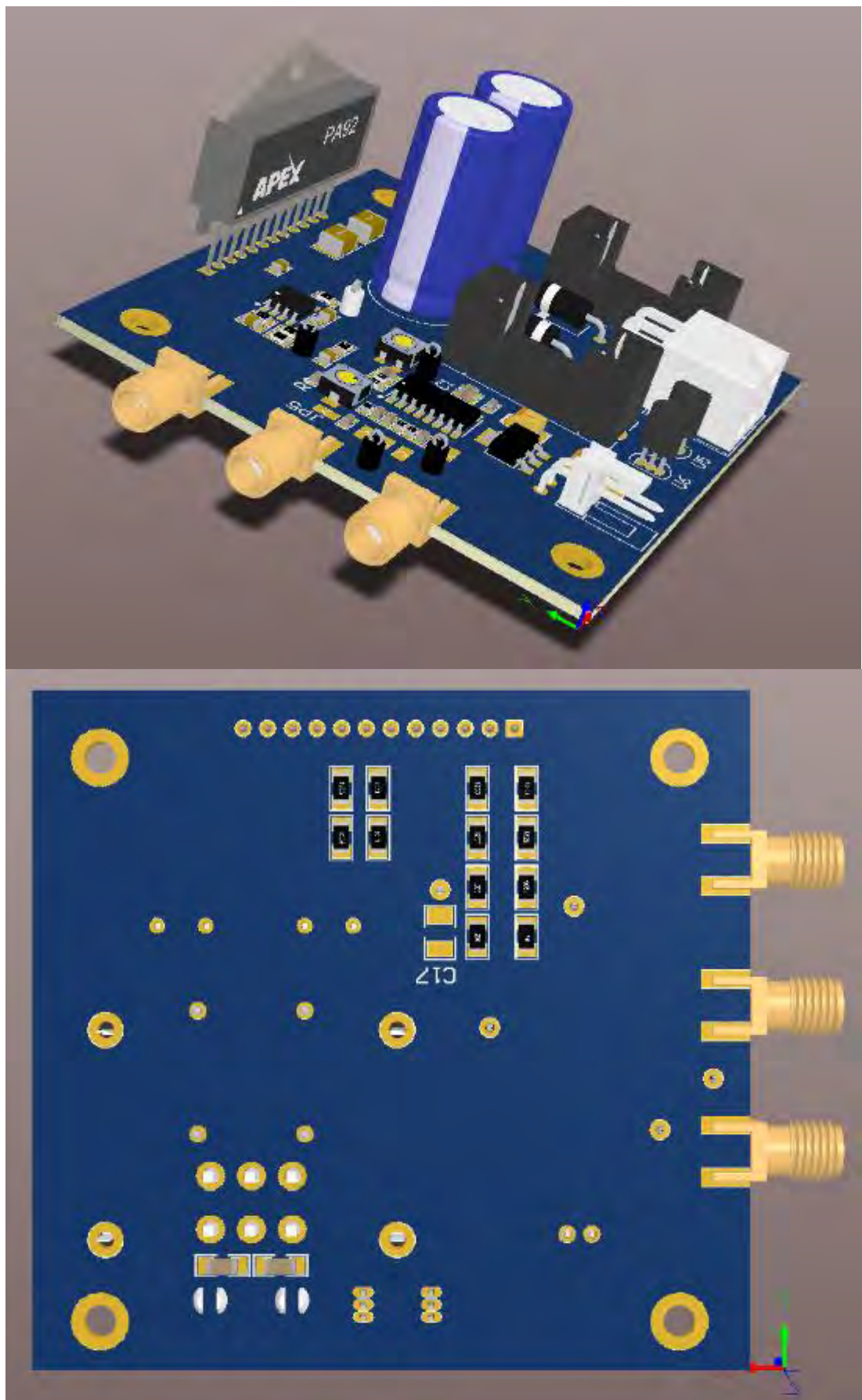


Рис. 3.6. Розташування компонентів на монтажній платі підсилювача PA92

Для роботи котушки необхідно підсилити вхідну напругу до 50В. Напруга живлення підсилювача буде від -50В до +50В, для того щоб можна було отримати на виході ОП максимум 50В.

Максимальна можлива напруга живлення підсилювача -200/+200В.

В нашому випадку підсилення реалізовано у вигляді каскаду з трьох підсилювачів рис. 3.7.

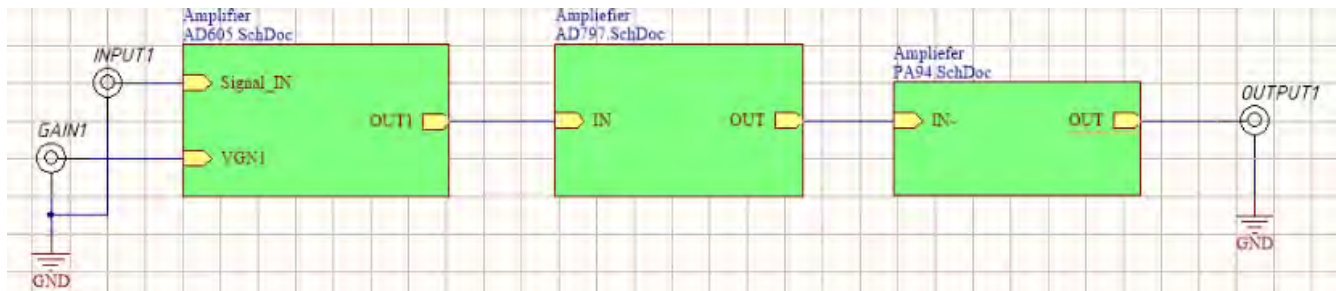


Рис. 3.7. Ланка з трьох підсилювачів

Перший підсилювач застосовується для ступінчатої зміни коефіцієнта підсилення при дослідженні зразків.

В якості першого підсилювача був обраний AD605 (рис. 3.8)

На рис. 3.9 приведена схема підключення AD605.

- живлення 5В
- підсилення від 0 до 48дБ
- максимальна вхідна напруга до 1В

Керування здійснюється за допомогою комп'ютера через ЦАП.

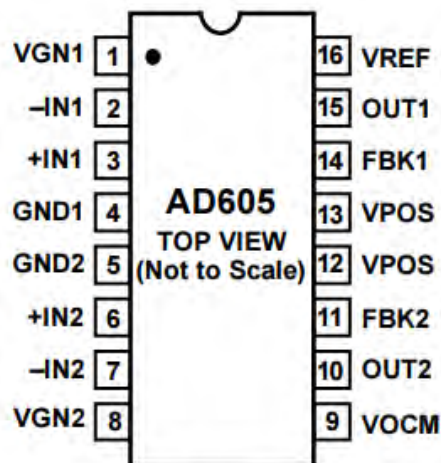


Figure 2. Pin Configuration

Рис. 3.8. Керований підсилювач AD605.

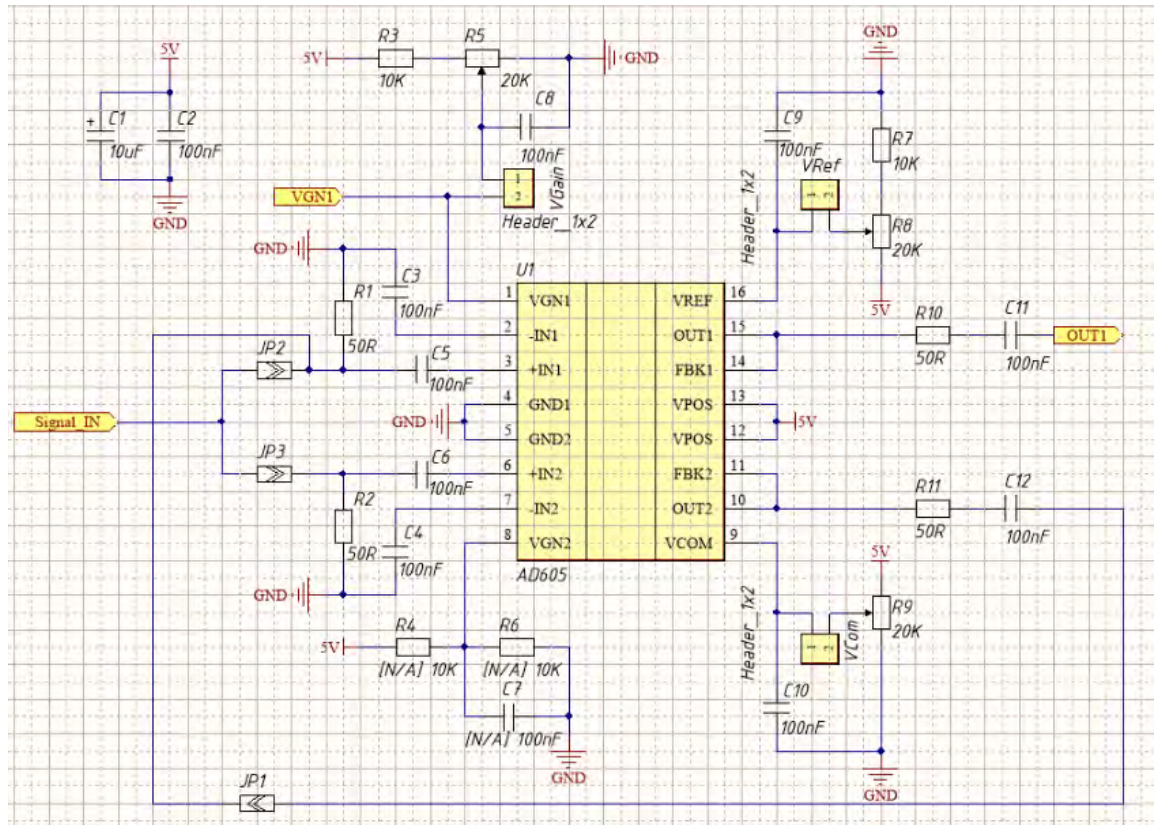


Рис. 3.9. Схема підключення AD605

Другий підсилювач в ланці використовується для додаткового підсилення сигналу, щоб зменшити коефіцієнт підсилення на основному підсилювачі RA92, що дозволить розширити його частотний діапазон.

В якості другого підсилювача був обраний AD797(рис. 3.10).

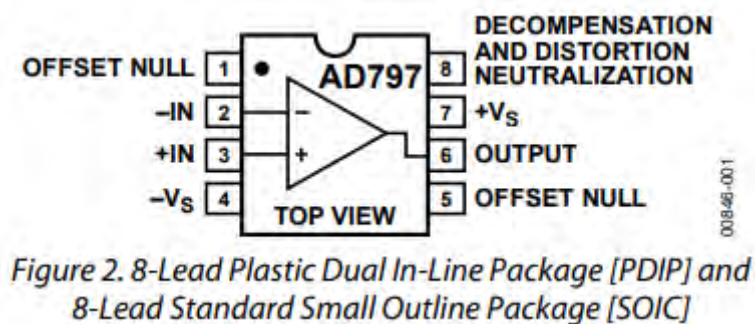


Рис. 3.10. Підсилювач AD797

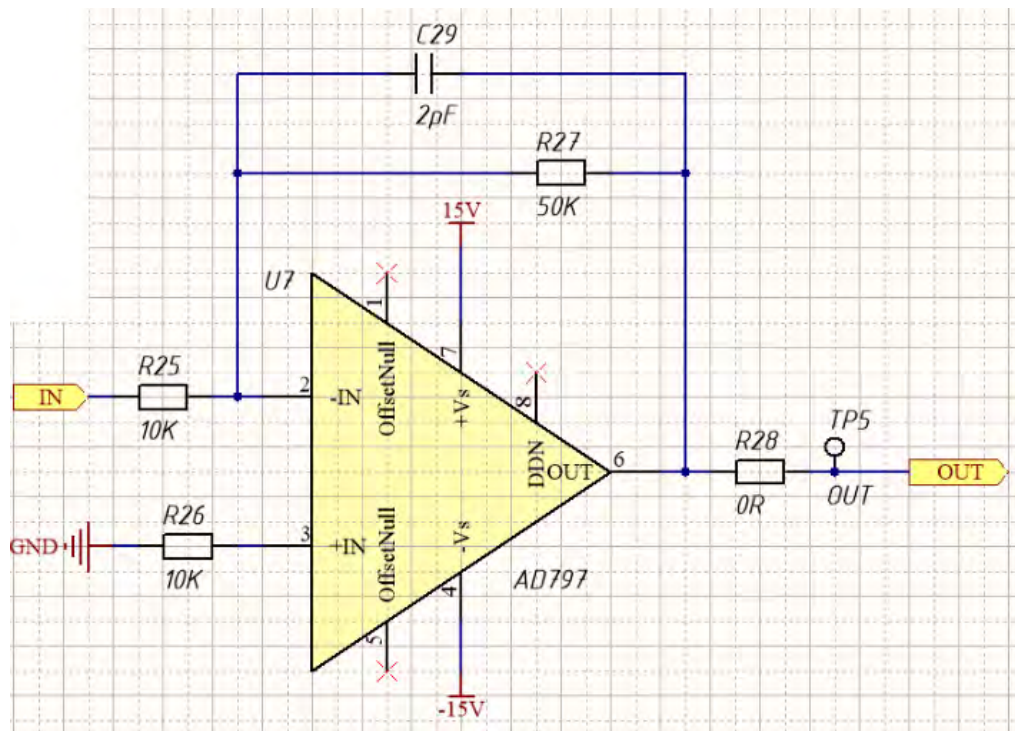


Рис. 3.11. Схема підключення AD797

- максимальна напруга живлення $\pm 18\text{V}$

Розрахуємо коефіцієнт підсилення для $U_{\text{пр}}$, враховуючи що максимальна напруга з виходу AD

$$K_3 = \frac{U_{\text{пр}}}{U} = \frac{50}{1} = 50 \quad (3.2.4)$$

Де U – максимальна напруга яку повинні отримати на виході підсилювача.

K_3 – загальний коефіцієнт підсилення

Приймаємо $K = 50$.

Розрахуємо напругу на виході другого підсилювача.

Коефіцієнт підсилення на другому ОП приймемо за $K_2 = 5$

$$U_{\text{підсилення}} = K_2 \cdot U = 1.5 \times 5 = 7.5 \text{ V} \quad (3.2.5)$$

Розрахуємо напругу, яка буде на виході останнього підсилювача, для $U_{\text{пр}}$.

$$U_{\text{підсилення}} = K \cdot U = 1 \times 50 = 50 \text{ V} \quad (3.2.6)$$

На вхід поступає сигнал, що має бути підсилено, а на виході отримуємо сигнал посилений в 33 рази.

3.2.3. Вибір синтезатора

В якості синтезатора була обрана мікросхема AD9833 рис. 3.12.

- живлення від 2,3 до 5,5 В
- діапазон вихідних частот від 0 МГц до 12,5 МГц
- 28-розрядна роздільна здатність: 0,1 Гц при еталонних тактових частотах 25 МГц
- 12-розрядна роздільна здатність по фазі приблизно 0.1°

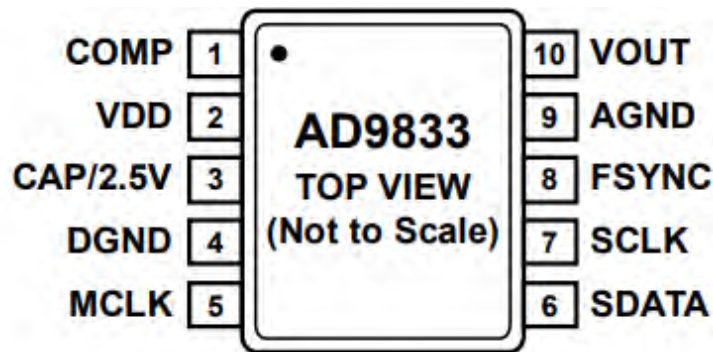


Рис. 3.12. Синтезатор AD9833

3.2.4. Розрахунок перемножувача сигналу

Перемножувач сигналів на базі операційного підсилювача AD633.

Особливості:

- чотирьохквadrантне множення
- Повнофункціональний – не вимагає застосування зовнішніх компонентів
- Диференціальні входи X і Y
- Повна похибка в межах 2% від повної шкали
- Суматорний вхід з одиничним коефіцієнтом посилення
- Масштабується опорна напруга 10 В з лазерною підгонкою рівня

Схема на рис. 3.13.

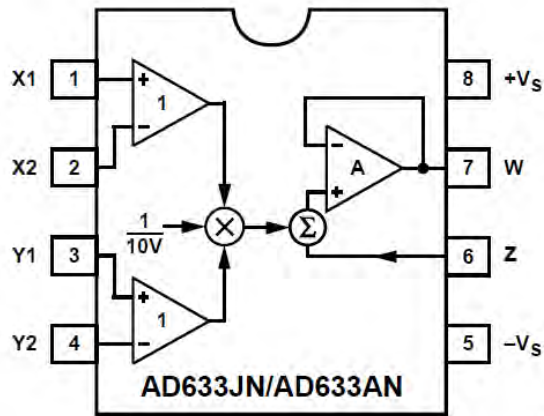


Рис. 3.13. Перемножувач сигналів на базі підсилювачів AD633

Має наступну формулу перемноження:

$$W = \frac{(X1-X2)(Y1-Y2)}{10V} + Z \quad (3.2.7)$$

В нашому випадку виводи X2 та Y2, а також Z підключені до землі.

$$W = \frac{5 \times 5}{10V} + 0 = 2.5 \text{ V} \quad (3.2.8)$$

Напруга на виході перемножувача.

3.2.5. Розрахунок фільтра нижніх частот

Операційний підсилювач в даній схемі включений за схемою повторювача напруги .

У загальному випадку частота зрізу Q задаються наступними виразами:

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \quad (3.2.9)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}{C_2(R_1+R_2)} \quad (3.2.10)$$

Наприклад, представлена на рис. 3.14 схема з зазначеними номіналами компонентів має частоту зрізу 39.7 кГц і добротність 0,5.

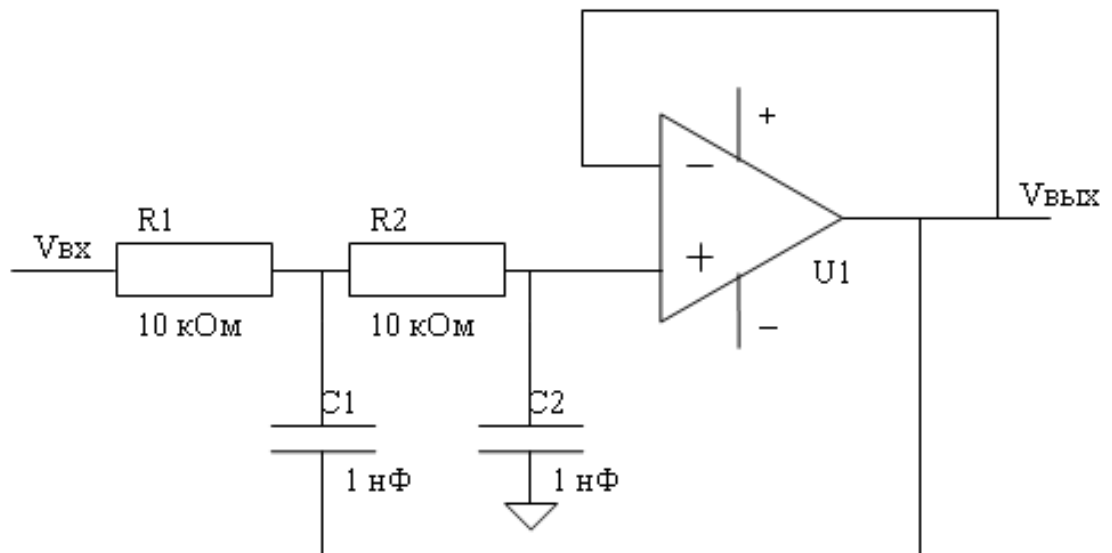


Рис. 3.14. Варіант фільтра нижніх частот з одиничним посиленням в смузі пропускання.

3.2.6. Підбір мікроконтролера

В якості мікроконтролера була використана плата STM32F779I-EVAL
рис. 3.15.

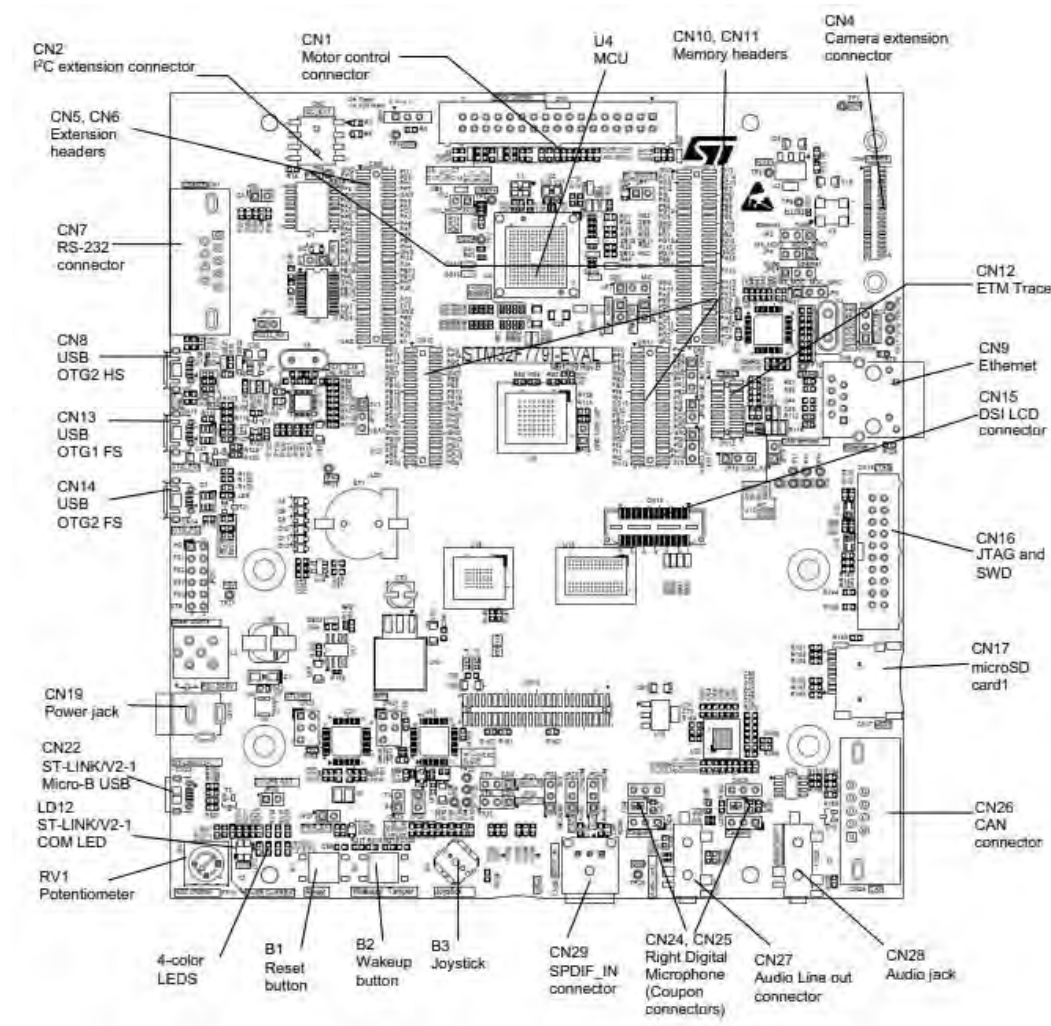


Рис. 3.15. STM32F779I-EVAL

Характеристики:

- Тактова частота генератора – 25МГц
- Внутрішня пам'ять SRAM – 256+4 Кбайт, флеш-пам'ять – 2 Мбайт

3.2.7. Підбір клавіатури

Для правильної роботи приладу необхідно його налаштувати для цього потребується пристрій введення. Для цього була використана матрична клавіатура з кнопок TL3340 (рис. 3.16) підключена до мікроконтролера.

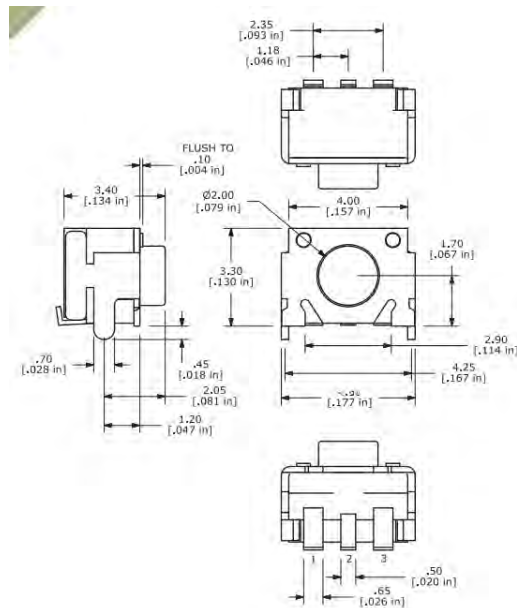


Рис. 3.16. Загальний вигляд кнопки TL3340

3.2.8. Підбір дисплею

Для схеми був обраний рідкокристалічний дисплей WH1604 (рис. 3.17).

Використовується для налаштування мікроконтролера.

Характеристики дисплея:

- 16 символний x 4 лінія
- 5x8 точок (включаючи курсор)
- Вбудований контролер
- 5 В живлення



Рис. 3.17. Дисплей WH1604

Висновки до розділу 3

У даному розділі було розраховано основні компоненти комп'ютерної системи підібрані сучасні компоненти та мікросхеми. Також було приведено схеми підключення підсилювачів та показаний варіант макетної плати з розташованими на ній компонентами.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ З ТИТАНУ

4.1. Результати дослідження зразків титану за допомогою метода вищих гармонік

Порівнювальні графіки початкових фаз вимірювальних 9-х гармонік зразків титану (ті 12), (ті 20) і (ті 25) в залежності від рівня амплітуди випробувального гармонічного сигналу.

Початкові установки: (сенсор5, вимірювальна катушка 2, напр.. кер 0.5-0.58, крок 0.0025. частота дискретизації 15.6 МГц, частота 40000Гц)

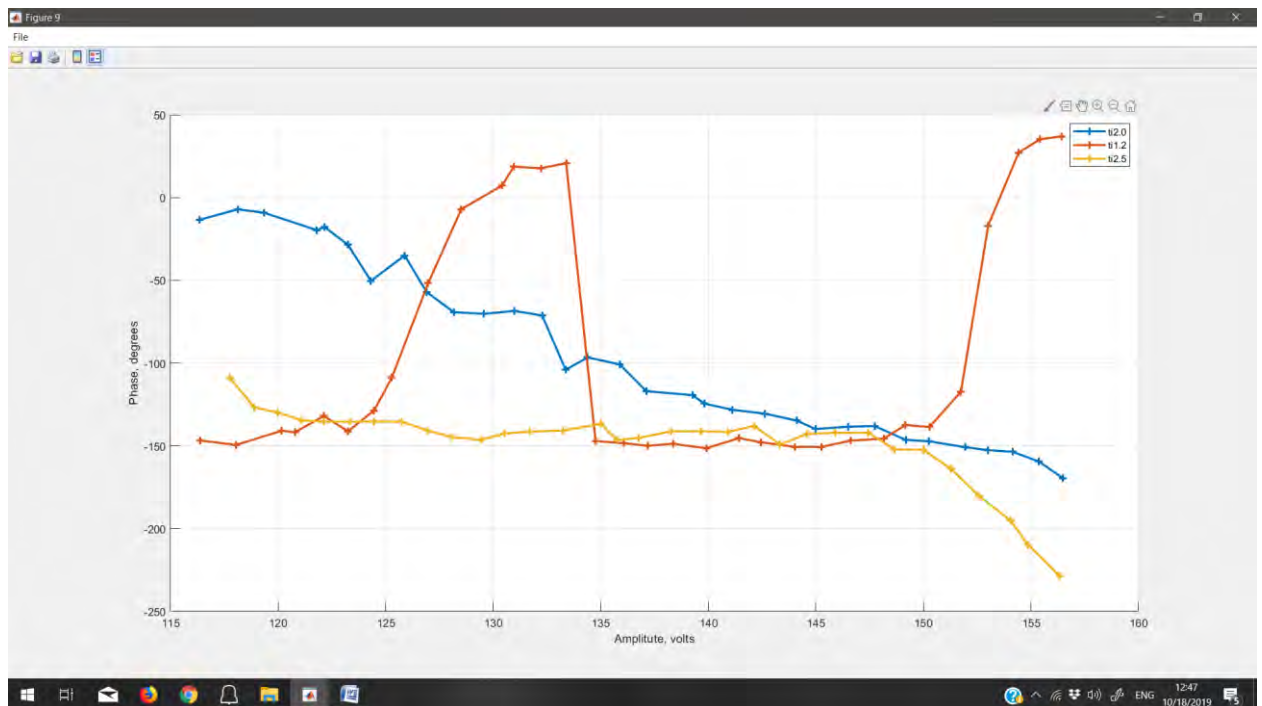


Рис. 4.1. Дев'ята гармоніка

На дев'ятій гармоніці можна побачити, що зразок титану марки ti12 має різку зміну фази на напрузі приблизно 130В, в той час як ti20 та ti25 має досить плавну зміну фази на протязі всього вимірювання.

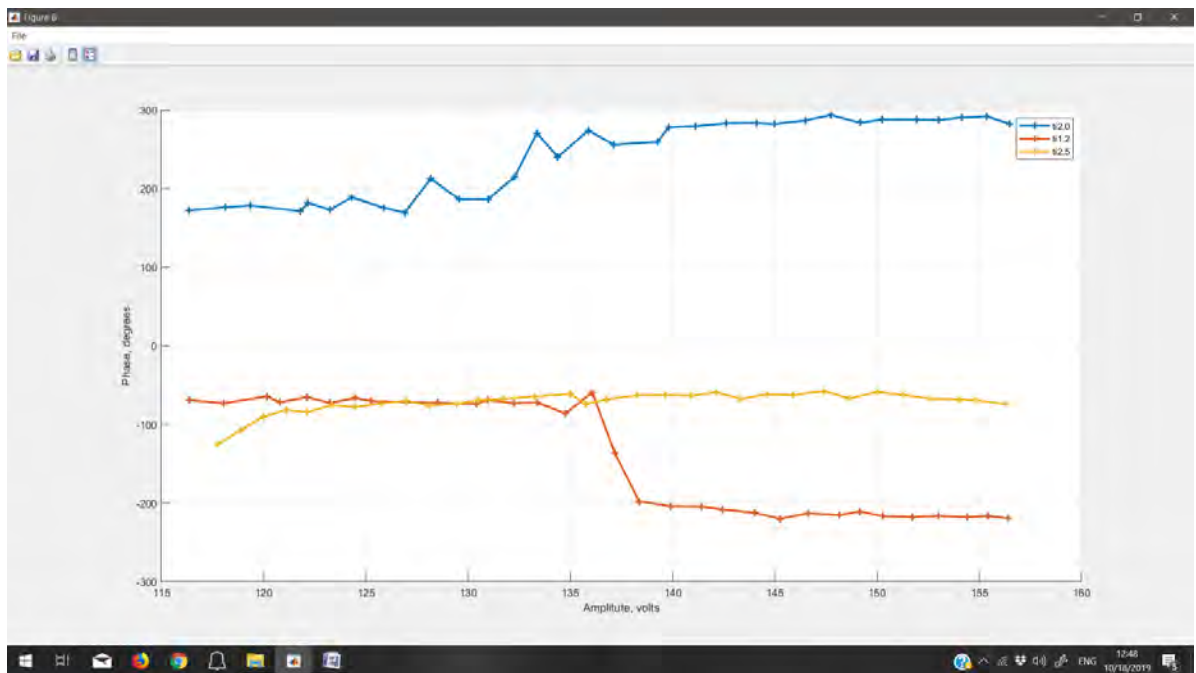


Рис. 4.2. Восьма гармоніка

На восьмій гармоніці схожа картина у порівнянні з дев'ятою. ti12 має схожі зміни по фазі.

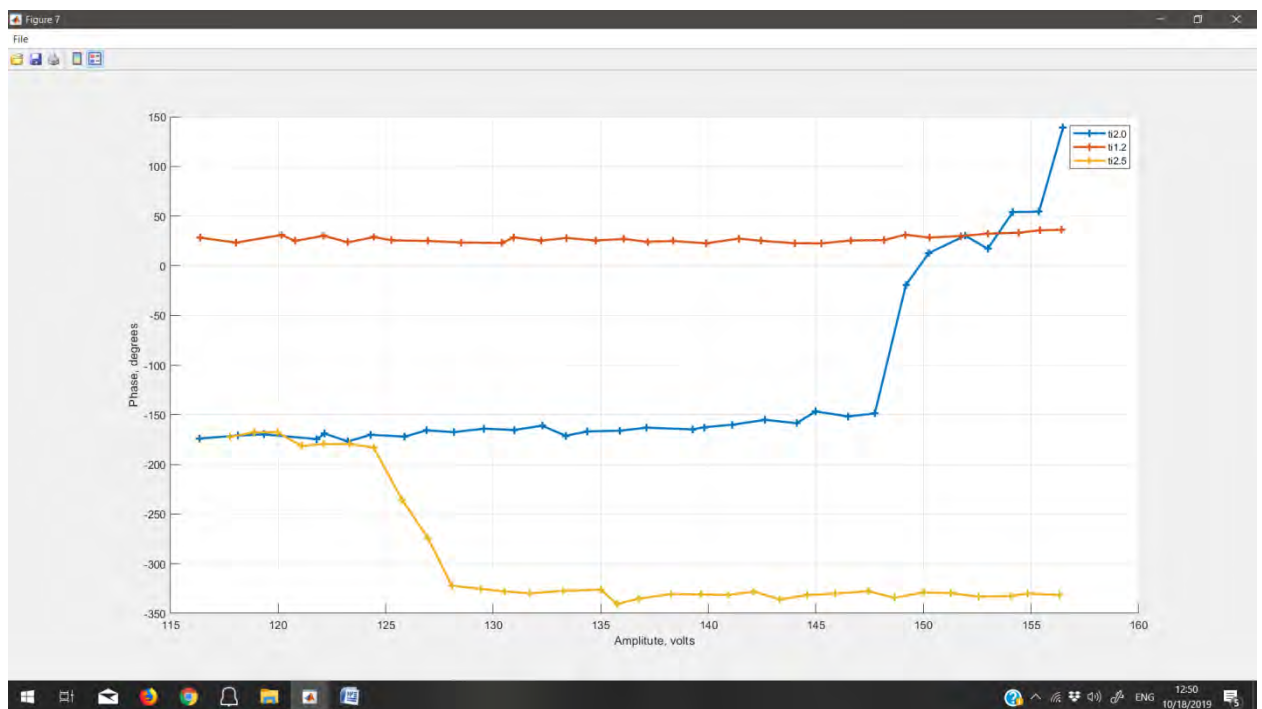


Рис. 4.3. Сьома гармоніка

Сьома гармоніка показує різку зміну фази на зразках ti20 та ti25, в той час як ti12 не проявляє ніякої реакції.

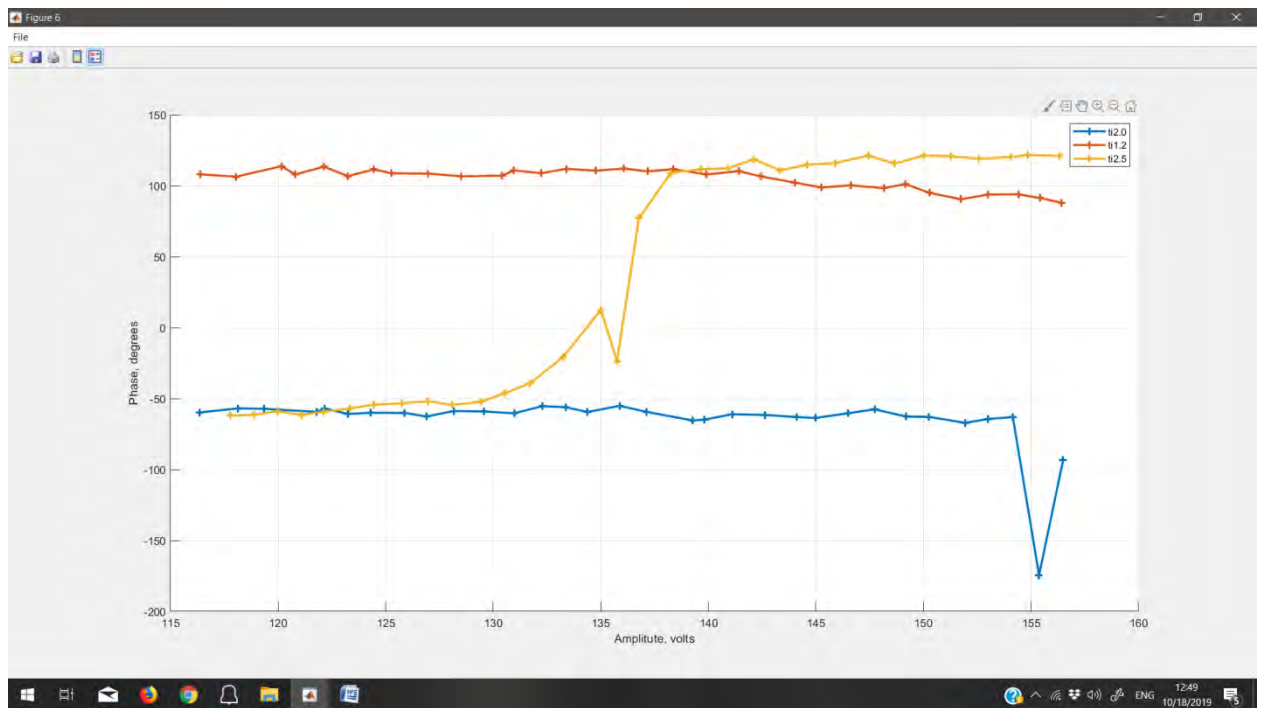


Рис. 4.4. Шоста гармоніка

На шостій гармоніці проявляється різка зміна фази лише на ti25

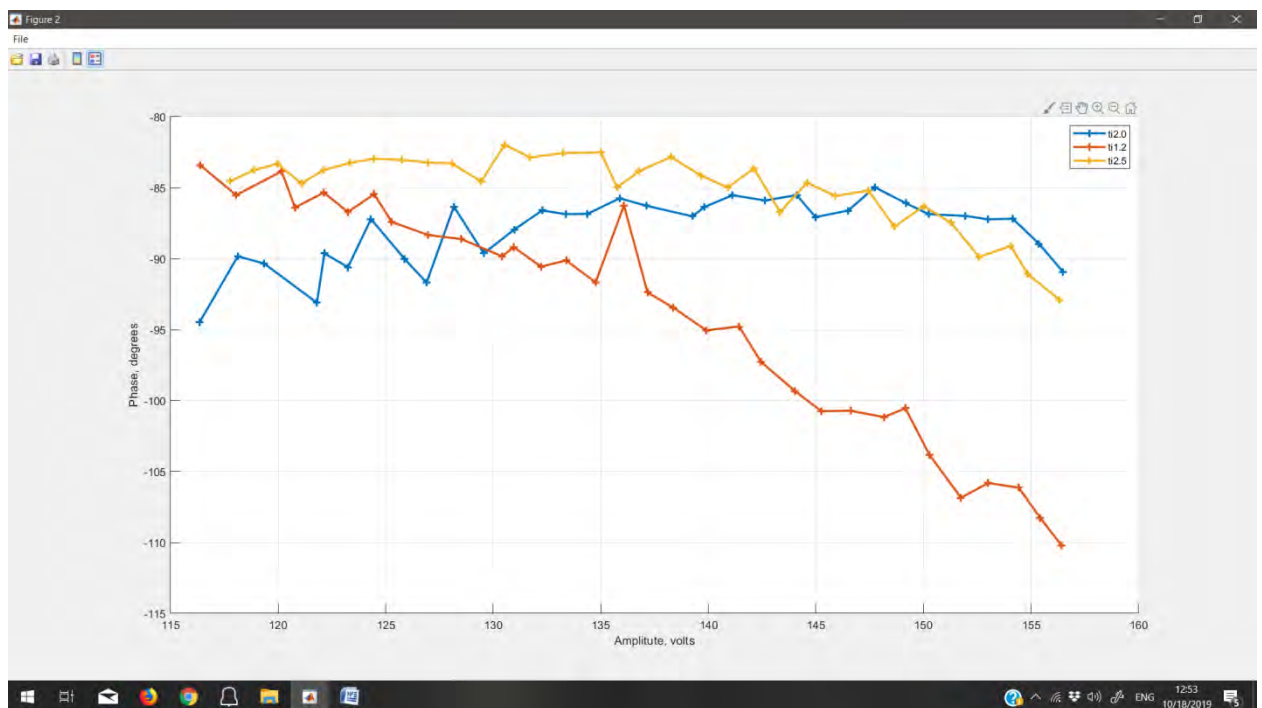


Рис. 4.5. Друга гармоніка

На другій гармоніці не має явних змін по фазі. Всі три зразки мають схожу реакцію на зміну напруги.

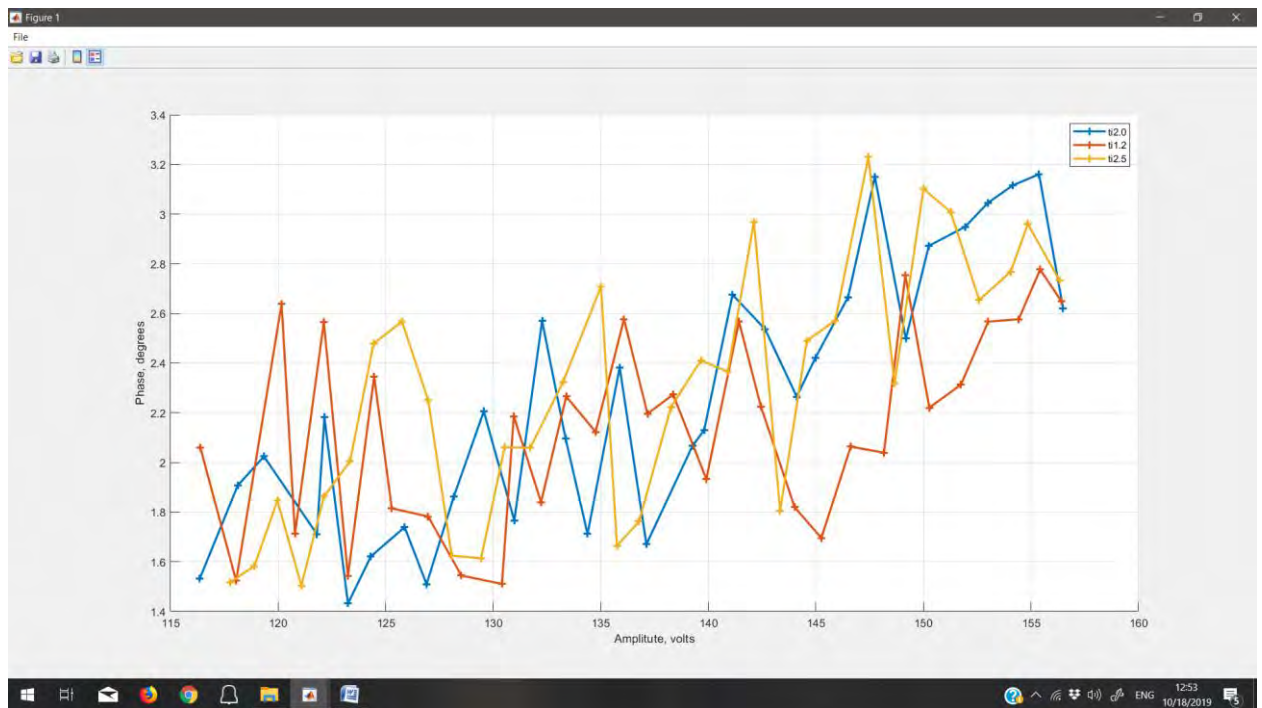


Рис. 4.6. Перша гармоніка
Перша гармоніка, як і друга, не проявляє різких змін по фазі.

Порівнювальні графіки початкових фаз вимірювальних 9 –х гармонік зразків титану (ті 20), (ті 694), (ті 387), (ті 564) в залежності від рівня амплітуди випробувального гармонічного сигналу.

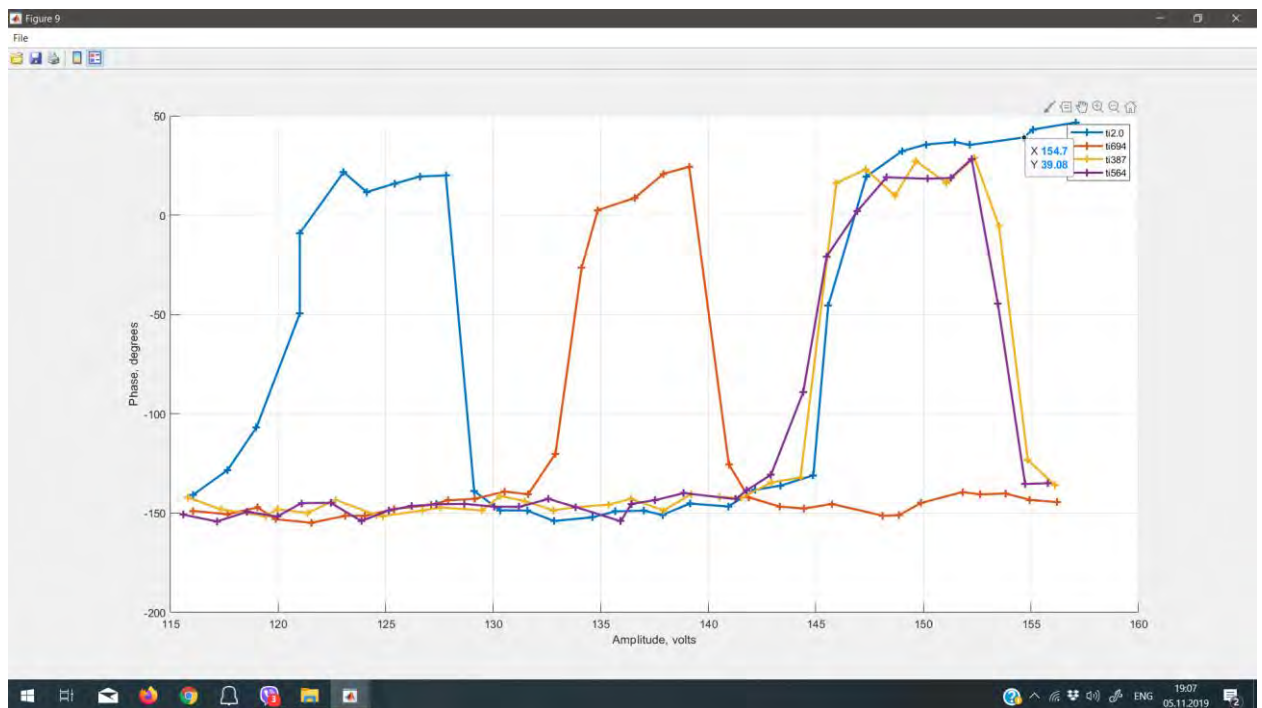


Рис. 4.7. Дев'ята гармоніка
На дев'ятій гармоніці всі зразки мають різку зміну по фазі.

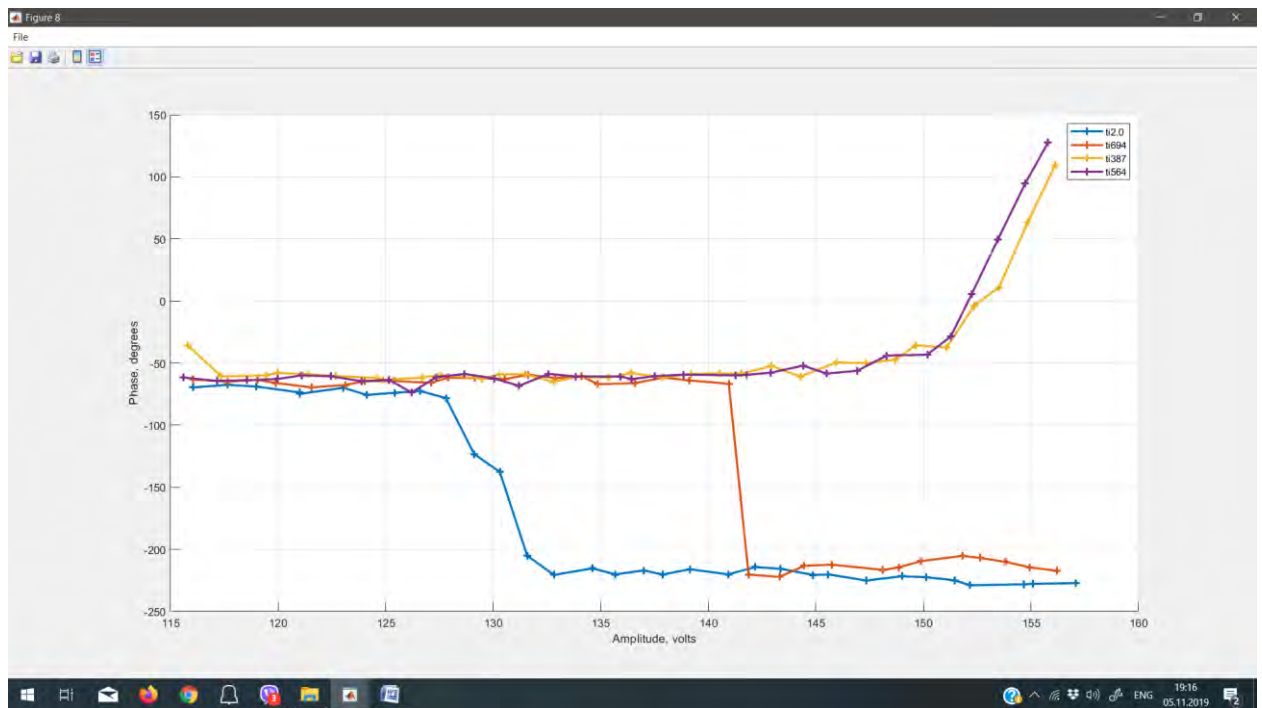


Рис. 4.8. Восьма гармоніка

На восьмій гармоніці у зразків ti694 та ti20 проявляється значна зміна по фазі.

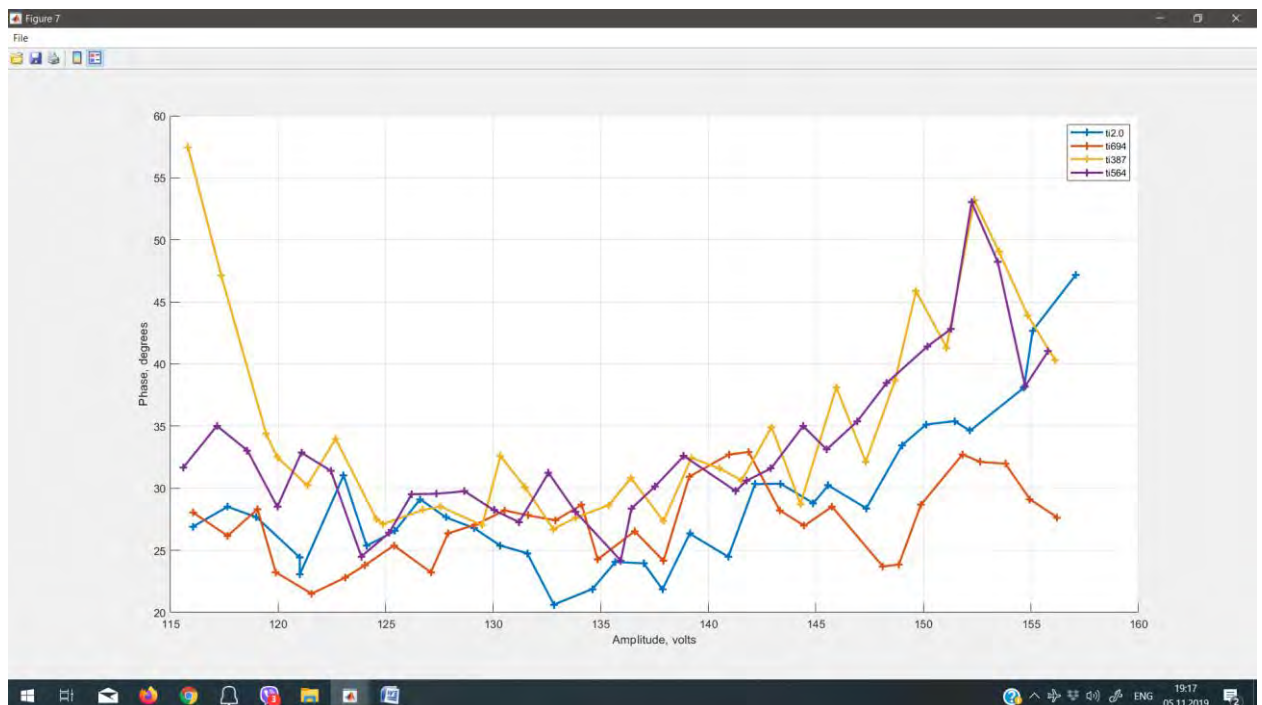


Рис. 4.9. Сьома гармоніка

Сьома гармоніка не має явних змін. Всі зразки мають майже однакові результати.

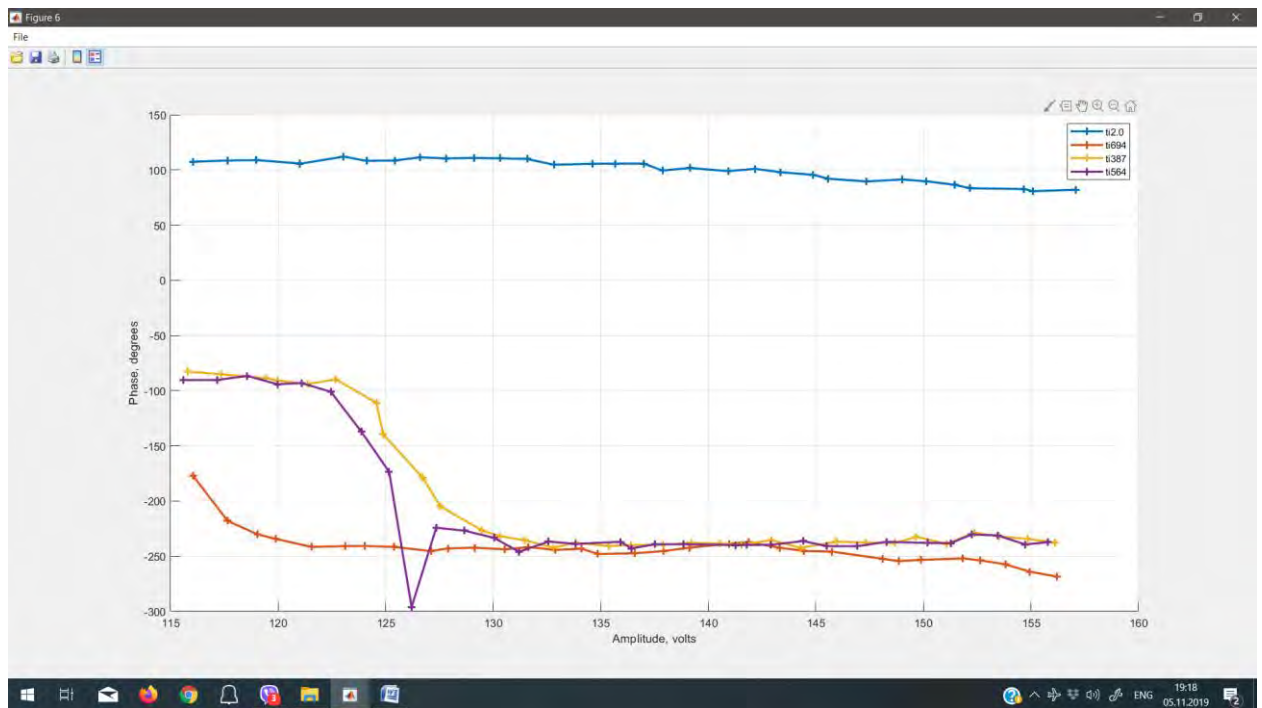


Рис. 4.10. Шоста гармоніка

Для шостої гармоніки характерна плавна зміна фази.

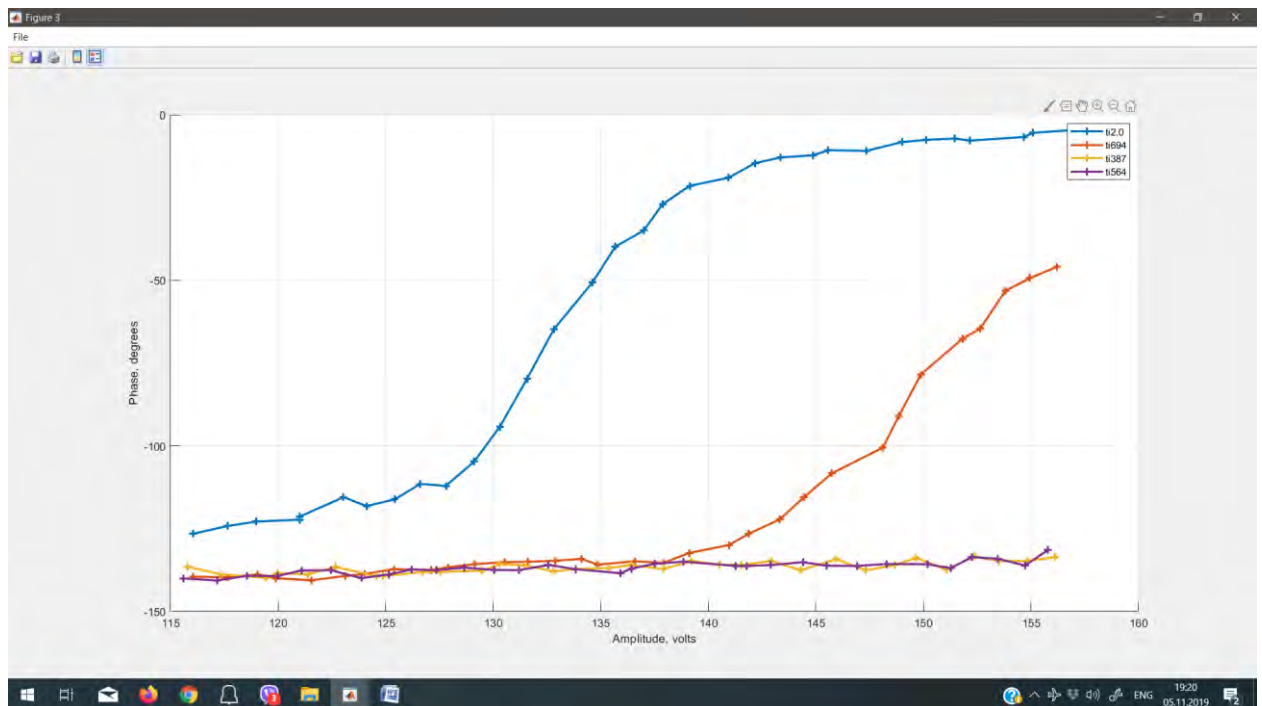


Рис. 4.11. Третя гармоніка

Третя гармоніка також має плавну зміну фази.

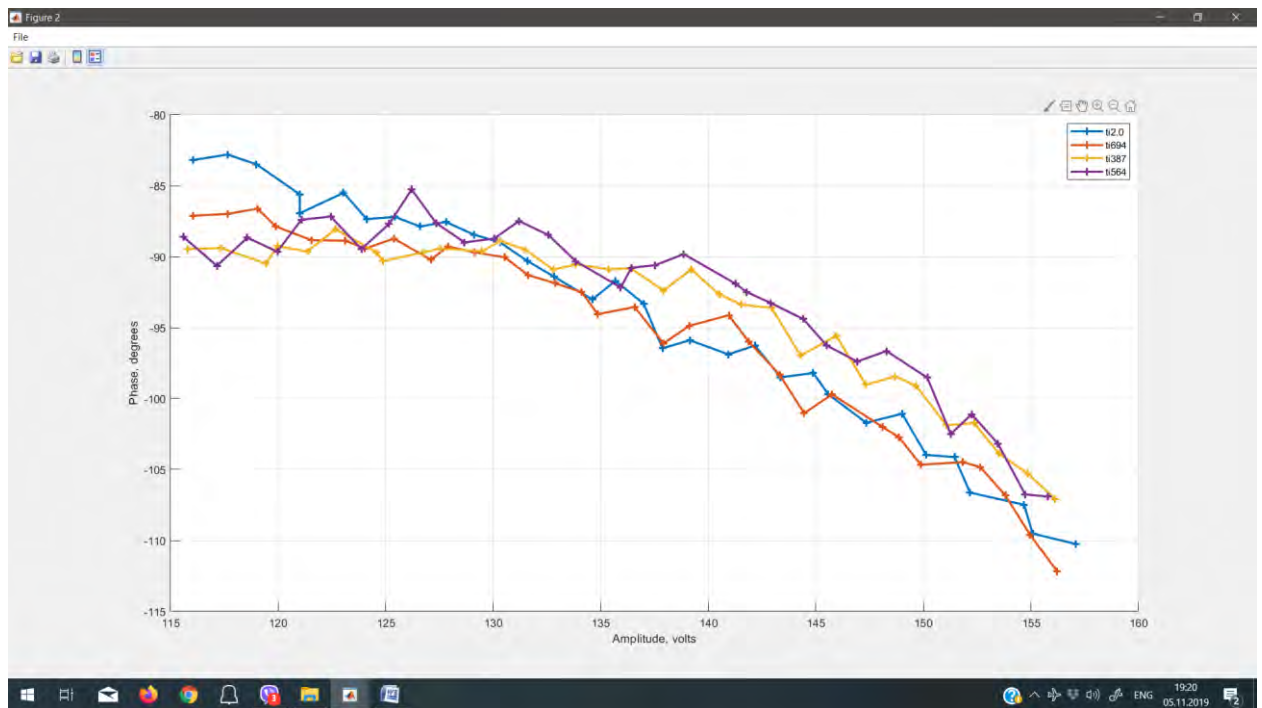


Рис. 4.12. Друга гармоніка

Розглянувши результати, видно що найбільші зміни по фазі характерні для вищих гармонік. Особливо наглядним прикладом є графіки дев'ятої гармоніки(рис. 4.1), де є досить помітна зміна фази на зразку (ті 20), що характеризує неоднорідність в їх структурі.

Перші гармоніки не мають явних фазових змін в зразках.

4.2. Контроль титану за допомогою ультразвукового методу

Для ультразвукового контролю було застосовано ультразвуковий дефектоскоп УД 3-71 (рис. 4.13).



Рис. 4.13. ультразвуковий дефектоскоп УД 3-71

Таблиця 4.1 – Характеристики УД 3-71

Ширина смуги пропускання частот ультразвукових коливань (УЗК) дефектоскопа	від 0,4 до 15 МГц
Можливі налаштування значення частот фільтра	0,4; 1,25; 1,8; 2,5; 5; 10; 15 МГц
Значення номінальних частот повторення зондуючих імпульсів	від 100 до 1000 Гц с дискретністю установки 1; 10; 100 Гц

Амплітуда зонduючого імпульса генератора дефектоскопа при тривалості (80-20) нс и тривалості фронта менш 20 нс	не менше 200 В для режиму максимальної амплітуди зонduючого імпульса, 20 В для режиму мінімальної амплітуди
--	--

Об'єктом контролю виступає блок титану марки ВТ-4 (рис. 4.14) з вирізаними отворами з різною глибиною та діаметром 2 мм.



Рис. 4.14. Титан марки ВТ-4

Контроль проводився датчиком (рис. 4.15) ЦТС-19 з частотою 2.5МГц і діаметром 12мм. Контролювання здійснювалось з протилежної сторони від отворів.

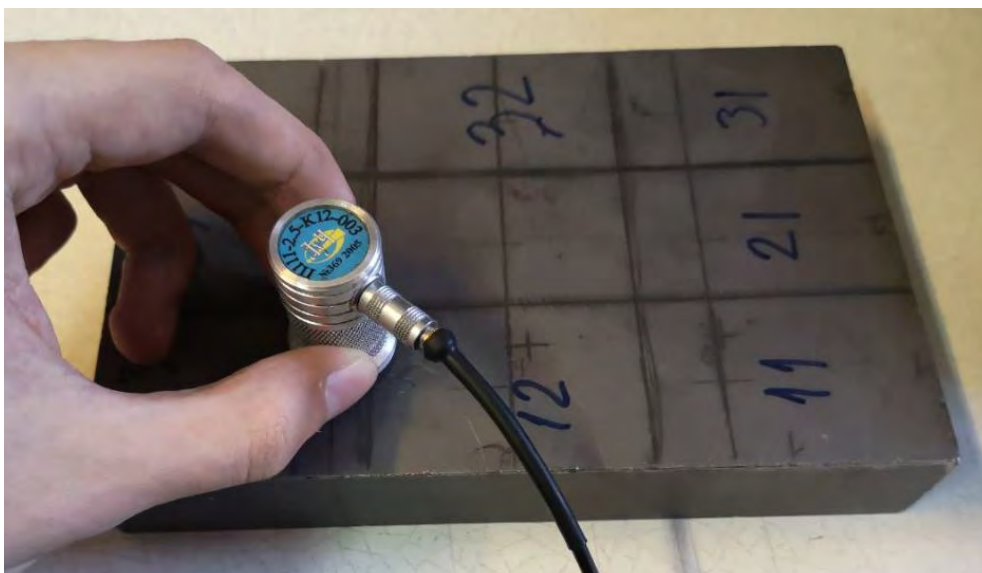


Рис. 4.15. Датчик ЦТС-19

Перший отвір не вдалося задетектувати оскільки він знаходиться в мертвій зоні.

На рис. 4.16 видно, що сигнал від другого отвора можливо задетектувати

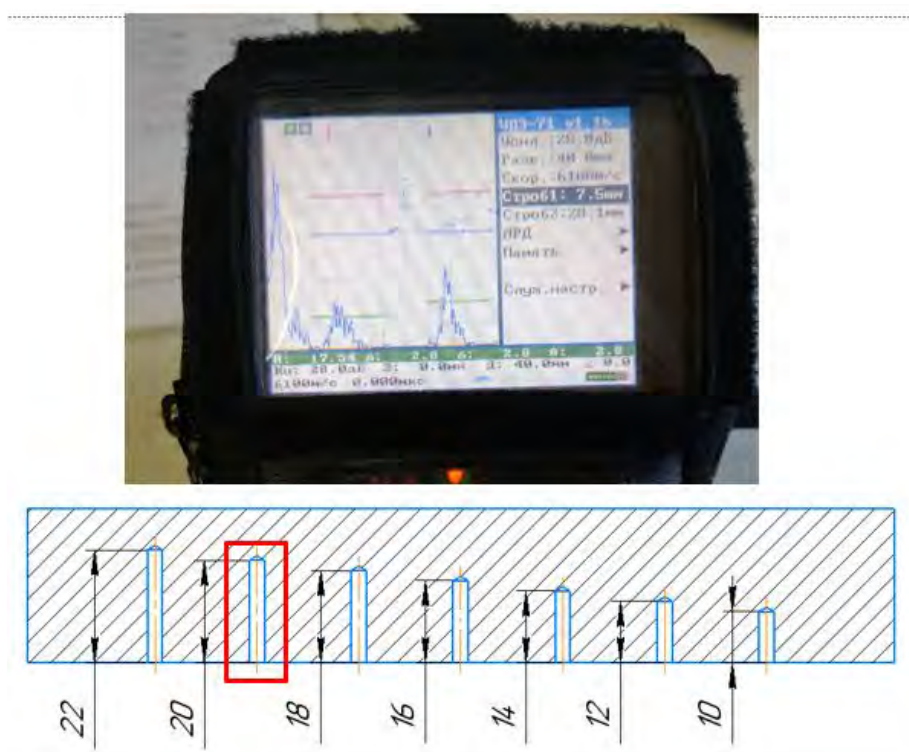


Рис. 4.16. Друге вимірювання

Третій вимір показує, що третій отвір також видно.

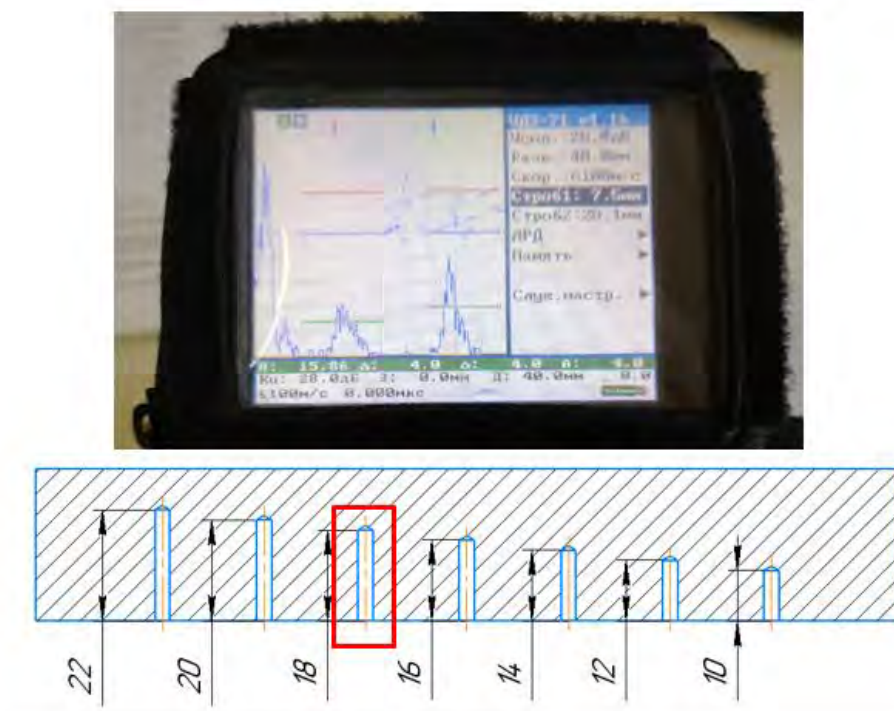


Рис. 4.17. Третій вимір

Четвертий вимір показує, що четвертий отвір дуже слабко, але все ще можливо побачити.

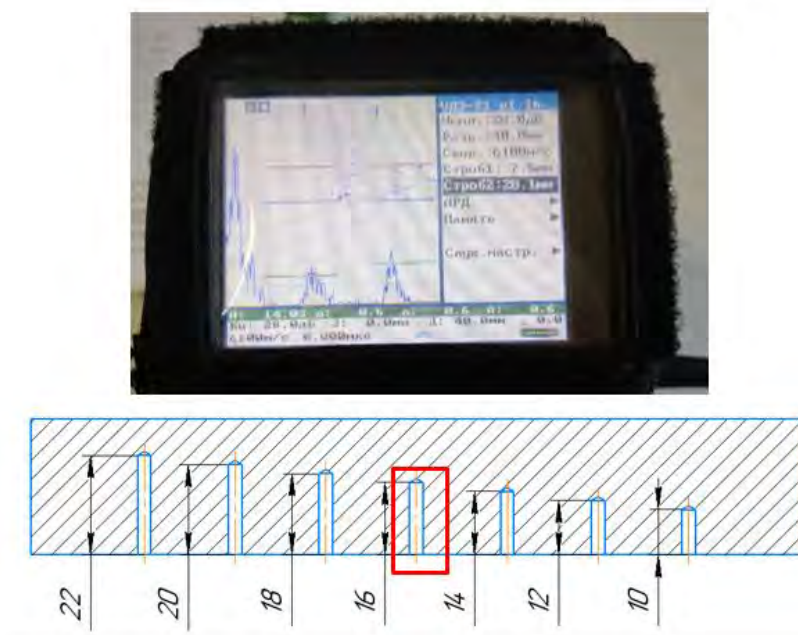


Рис. 4.18. Четверте вимірювання

Аналогічна ситуація з детектуванням п'ятого отвору.

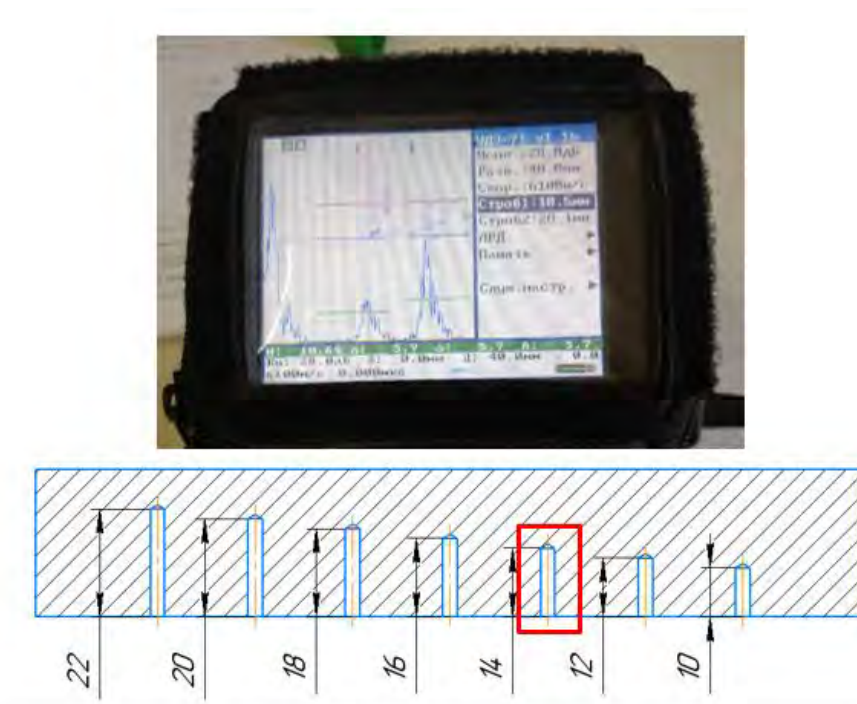


Рис. 4.19. П'яте вимірювання

Шосте та сьоме вимірювання показує, що сигнали від отворів 6 та 7 майже не помітні.

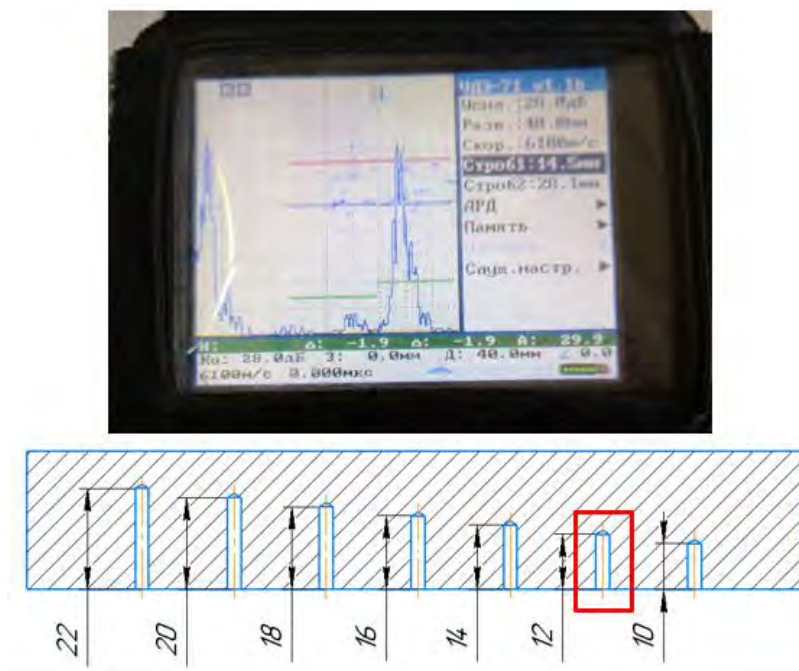


Рис. 4.20. Шосте вимірювання

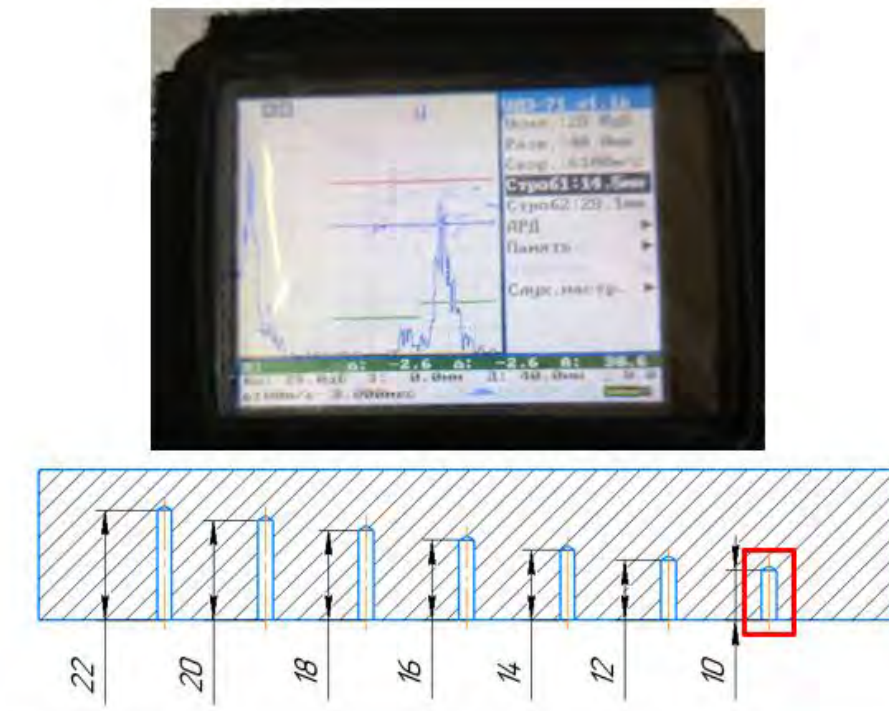


Рис. 4.21. Сьоме вимірювання

Висновки до розділу 4

Була спроба проведення структуроскопії зразка титану, але точності вимірювання приладу була недостатня для детектування зміни швидкості поширення ультразвуку в залежності від зміни структури в матеріалі. Тому була проведена дефектоскопія штучно виготовлених дефектів у вигляді отворів різної глибини. Але ультразвук в титані має досить високе затухання із-за чого деякі з контрольованих отворів були майже непомітні.

Для проведення структуроскопії за допомогою ультразвуку потрібен прилад з дуже високою точністю визначення швидкості. Крім того потрібна спеціальна підготовка зразків для вимірювання, а також підготовка сенсорів.

Стосовно контролю методом вищих гармонік, можна добре побачити різкі зміни фази, що може вказувати на неоднорідність в структурі титану.

Також можна помітити, що значна зміна фази характерна лише для вищих гармонік. Особливо 9, 7, 5 гармоніки. Особливо потрібно відмітити, що

досліджуваний метод є цифровим, може бути реалізований на сучасній елементній базі та сучасних мікроконтролерах може взаємодіяти з персональним комп'ютером, що є важливим у період діджиталізації та автоматизації технологічних процесів у світі. І саме головне, що комп'ютерна система контролю на базі досліджуємого метода може бути використана безпосередньо в цехових умовах при контролі продукції.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

Розділ магістерських дисертацій «Розроблення стартап-проекту» присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії. Розділ є завершальною частиною магістерської дисертації і виконується у вигляді оцінювання можливостей та формування заходів із ринкового впровадження інноваційних пропозицій магістранта.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатності щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі можливості реалізації магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінка можливостей їх ринкового запровадження.

5.1. Опис ідеї проекту

Опис ідеї проекту дає уявлення про його зміст та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Впровадження приладу на основі методу вищих гармонік для контролю структури титану	1. Впровадження у промисловості для автоматизації процесу контроль якості титану та виробів 2. Контроль структури	- Адаптивність приладу до різноманітних металів окрім титану - Прискорення процесу контролю - Підвищення якості контролю

В таблиці 5.1 викладений зміст ідеї стартап ідеї та потенційні базові ринки збуту цієї системи, в яких треба шукати майбутніх споживачів.

Головними напрямками застосування цієї ідеї є впровадження у промисловості для автоматизації процесу контроль якості титану та виробів. Переваги, що отримують користувачі – підвищення якості контролю.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

Техніко- економічні характеристики	(потенційні) товари/концепції конкурентів				(Слабка сторона) W	(нейтральна сторона) N	(сильна сторона) S
	Мій проект	Конкурент Spectromaxx	Конкурент Novotest	Конкурент МЕТЭК			
Вартість	50000	175000	45000	80700			+
Бездротова комунікація	-	-	-	-		+	
Швидкість алгоритму обрахунку	100ns	160ns	135ns	110ns			+
Швидкість передачі даних	-	-	-	-		+	
Можливість інтегрування системи в об'єкт контролю	+	-	-	-			+
Вивід даних на комп'ютер	+	+	-	-			+
Компактність системи	+	-	+	-			+

В таблиці 5.2, було проаналізовано основні техніко-економічні властивості та характеристики кожної з пропозицій, окреслено переваги та недоліки, як даної ідеї стартап проекту, так і конкурентів. Результат показав, що дана система має меншу ціну за її аналоги на ринку, система має можливість інтегрування в об'єкт контролю, більш швидкий алгоритм обрахунку.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Далі необхідно розробити аудит технологій, завдяки яким можна реалізувати ідею проекту. Задля визначення здійсненності цієї ідеї потрібно проаналізувати складові, котрі наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї стартап-проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка комп'ютерної системи на основі метода вищих гармонік.	Виготовлення деталей та збір приладу власноруч	Наявна	Доступна
		Розробка програмного забезпечення для обробки та аналізу даних	Наявна	Доступна
		Виготовлення деталей та збір приладу на сторонніх заводах	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Для реалізації проекту було обрано Виготовлення деталей та збір приладу власноруч та Розробка програмного забезпечення для обробки та аналізу даних, задля збільшення якості та виконання усіх побажань стосовно програмного забезпечення.				

Проаналізувавши сильні та слабкі сторони проекту з конкурентними пропозиціями можна сказати про можливість виходу продукту на ринок і його конкурентоспроможність в сфері електромагнітних структуроскопів.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску проекту

Даний розділ присвячено визначенню ринкових можливостей (які можна використати під час ринкового впровадження проекту) та ринкових загроз (які можуть перешкодити реалізації проекту), які дозволять спланувати напрями розвитку проекту із розрахунку потреб потенційних клієнтів, стану ринкового середовища та пропозицій проектів-конкурентів.

Першою чергою потрібно провести аналіз ринкового попиту на даний

продукт, а саме: наявність попиту, динаміку ринку, можливий обсяг використання продукту.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	~ 147 млрд. грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Без обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Наявність сертифікату про повірку
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	88%

Проаналізувавши табл. 5.4 можна зазначити досить малу кількість конкурентів та високі показники обсягу продаж, що свідчить про стабільний нормальний ринок для даної продукції. Щодо попиту, який з кожним роком набирає великої популярності за рахунок розширення сфер промисловості, наявні можливості для поширення ринку продукції та залучення в сферу обслуговування.

Важливим фактором вдалого залучення продукту на ринок є аналіз потенційних груп клієнтів, їх вимоги до товару, адже орієнтуючись на них продукт здобуде свою клієнтську базу.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Сертифікація (аналіз структури матеріалу, можливість використання виробів після контролю)	Підприємства, що спеціалізуються на виготовленні, заготовок, деталей, контролі їх якості; Авіа-, Судно- та Машинобудівні підприємства	Залучення як у стаціонарні так і у мобільні системи контролю; Конфігурування пристрою під конкретний виріб	Адаптивність; Надійність; Висока вірогідність контролю; Автоматизованість

Потенційними клієнтами можуть стати компанії з виготовлення як окремих деталей так і компанії орієнтованих на виробництві готових виробів. Задоволення вимогам таких крупних підприємств є підґрунтя для розширення клієнтської бази.

Для збільшення вірогідності виходу продукції на ринок варто проаналізувати можливі загрози та спираючись на них спланувати шляхи їх уникнення ще на початковому етапі. Авжеж всіх факторів врахувати неможливо, але варто бути готовим до тих, які чекають на початковому вході проекту на ринок.

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Клієнтська база	Ринок неруйнівного контролю в Україні досить малий тому здобуття клієнтської бази ускладнене	Участь у форумах та виставках
2	Конкуренція	Конкуренцію складають досить відомі підприємства, що існують на ринку досить довго	Створення конкурентних характеристик; Популяризація товару серед обслуговуючого персоналу
3	Функціональність	Кожний виріб має свої особливості та вимагає індивідуального підходу	Проектування лінійки приладів спрямованих на контроль різних груп виробів
4	Сертифікація	Обов'язковою умовою виходу продукції на ринок є її сертифікація	Залучення національних підприємств для отримання відповідної сертифікації
2	Брак	Вихід із ладу компонентів системи	Аналіз проблеми. Підбір більш якісних компонентів. Заміна продукту.
3	Програмний збій	Вихід із ладу програмного забезпечення	Аналіз помилки. Оновлення програмного забезпечення.
4	Нова більш ефективна система	Поява на ринку більш ефективної технології	Удосконалення продукту.

В таблиці 5.6 приведено зміст загроз та можливу реакцію компанії на їх виникнення. Визначено фактори загроз які перешкоджають ринковому

впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Для розглянутого стартап проекту існують як можливості, так і загрози, але можливі загрози не критичні і їх можна вирішити, а можливості реальні та значно покращують можливості для виходу продукту на ринок та подальшого розвитку.

Далі проводиться аналіз пропозицій, що наявні на ринку для визначення ступеню та рис конкуренції (Таблиця 5.7)

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новизна запропонованої технології	Залучення нових технологій у процес виробництва підвищує його ККД	Акцентування уваги потенційних клієнтів на дану перевагу проекту
2	Адаптивність	Можливість застосування у різних сферах виробництва	Залучення приладу до систем з різним спрямуванням
3	Портативність	Надає можливість приладу працювати як стаціонарно так і в польових умовах	Створення приладів з різним ступенем інтеграції в системи контролю.
4	Економічний	Більш дешевий продукт з конкуруючими характеристиками	Створення жорсткої конкуренції на ринку

Фактори можливостей вказують на актуальність, конкурентоспроможність та наявність потреби у даному продукті.

Орієнтуючись під потреби виробників можливо покращення стійкості продукту на ринку.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
тип конкуренції: - олігополія	В галузі домінують декілька фірм	Якісна продукція, правильна цінова політика, висока якість обслуговування
Рівень конкурентної боротьби: - міжнародна	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Вихід на міжнародний ринок
Галузева ознака: - міжгалузева	Підприємства працюють в межах декількох галузей	Додавання додаткових функцій за потребою клієнта
Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Реклама, простота в користуванні Додавання додаткових функцій за потребою клієнта, Пропозиція товару за
Характер конкурентних переваг: - нецінова	Характеризується якісними характеристиками програмного продукту	Якісна характеристика та додаткові дані при використанні
Інтенсивність: - марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення товарного знаку, який буде впізнаваний та легкий у запам'ятовуванні

В наведеній таблиці 5.8 можна зробити висновок, що ситуацію на ринку сприяє вільній конкуренції в локальних масштабах і на теперішній час немає факторів, які б перешкождали входженню продукту на ринок.

Наступним кроком є детальніший аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером (Таблиця 5.9).

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Відсутні, оскільки метод раніше не використовувався для контролю парамагнетиків	Усі, хто зможуть впровадити цю технологію, або впровадять нову конкуруючу технологію	Вплив на постачальників в розміру можливих замовлень	Визначити фактори сили споживачів	Існують, але менш ефективні.
Висновки :	Низка конкуренція	Досить великі можливості входу на ринок.	Умови постачання відсутні.	Висока затребуваність на ринку	Низька конкуренція

Аналіз показує що дана система є конкурентоспроможною та має великий потенціал для виходу на ринок, оскільки конкуренція на досить низькому рівні, а товари замітники мають меншу ефективність в порівнянні з запропонованою системою.

Таблиця 5.10 – SWOT – аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: <ul style="list-style-type: none"> - Адаптивність - Портативність - Функціональність - Ціна 	Слабкі сторони: <ul style="list-style-type: none"> - продукт який ще не зарекомендував себе на ринку; - значна кількість конкурентної продукції
Можливості: <ul style="list-style-type: none"> - Залучення у сфери товарів та послуг НК - Модернізація за рахунок нових технологій - Збільшення продажів за рахунок іноземних замовників 	Загрози: <ul style="list-style-type: none"> - Відсутність клієнтської бази - Політико-економічний стан в країні - Конкуренти

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Також необхідно проаналізувати сильні та слабкі сторони стартапу.

На основі аналізу конкуренції, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначається та описується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.11 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Якість	Якість продукції збільшує привабливість продукту і підвищує попит на нього.
2	Ціна	Зменшення ціни сприяє збільшенню попиту.
3	Інноваційність	Нова технологія може збільшити попит
4	Отримання сертифікатів та патенту	Підвищує довіру клієнтів.
5	Підтримка	Постійне обслуговування продукту підвищує довіру клієнта та попит.
6	Гарантія	Більший гарантійний строк підвищує довіру клієнтів

Таблиця 5.12 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Якість	18		+					
2	Ціна	14			+				
3	Інноваційність	16				+			
4	Отримання сертифікатів та патенту	13			+				
5	Підтримка	19					+		
6	Гарантія	14					+		

З таблиць 5.11 та 5.12 видно, що запропонований стартап проект має великі перспективи конкурентоспроможності. Основними перевагами цієї технології є її низька ціна, у порівнянні з конкурентами, постійне обслуговування та інноваційних характер технології.

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1.5 року
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу	Висока	2 роки

Проводимо аналіз розроблених альтернатив ринкового впровадження із зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу наявними ринковими можливостями.

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Готові	Середній попит	Середня	Середня
2	Приватні підприємства	Готові	Високий попит	Середня	Складна

Які цільові групи обрано: Державні та приватні підприємства. Використовується стратегія диференційованого маркетингу.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів було обрано цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили свою стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу. Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренти спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Передбачає надання товару важливого з точки зору споживача властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	Найкращі задіяні робочі центри, виготовлення виробу в термін. Ціна така, як і у конкурентів	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку обрано стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Така стратегія може спиратися як на диференціацію, так і на лідерство по витратах, або і на те, і на інше, але тільки у рамках цільового сегменту.

Необхідно визначити базову стратегію конкурентної поведінки(Таблиця 5.16).

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Шукати нових споживачів	Ні	Наступальна

В ході аналізу базових стратегій (Таблиця 5.16) було обрана наступальну стратегію, яка припускає збільшення своєї частки ринку. При цьому мета яка переслідується являє собою подальше підвищення прибутковості роботи компанії на ринку за рахунок максимального використання ефекту масштабу.

Для опису ринкової стратегії необхідно розробити стратегію позиціонування (Таблиця 5.17), яка являє собою ринкову позицію, за якою споживачі будуть ідентифікувати проект. Ця стратегія створюються в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки, а також на основі вимог споживачів з обраного сегменту.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Якість, точність, компактність, можливість інтегрувати систему в об'єкт контролю. Можливість системи працювати у промисловій сфері.	Стратегія диференціації	Якість, точність виміру, програмне забезпечення, формування лояльності і прихильності споживачів.	Якість Зручність використання Надійність

За результатом даного підрозділу було сформовано стратегію ринкової поведінки компанії, яка визначатиме курс роботи компанії на ринку.

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Спочатку необхідно сформулювати базові переваги концепції переваг потенційного продукту для формування маркетингової програми стартап проекту (Таблиця 5.18).

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Контроль структури титану	Компактна система на базі сучасних компонентів	Можливість вмонтувати систему на об'єкті контролю

Наступним етапом потрібно розробити трьох рівневу маркетингову модель продукту.

У таблиці 5.19 було сформовано трьох рівневу модель продукту, до складу якої входить: задум товару, використання товару та основні характеристики готового продукту до та після продажу.

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Комп'ютерна система для контролю структури титану у промисловості.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1) Контроль втоми виробів з титану
	Компактність
	Якість: відповідає вимогам Технічного Регламенту України щодо <u>низьковольтного електричного обладнання №037</u>
	Пакування: спеціалізований контейнер для зберігання
III. Товар із підкріпленням	Марка: «StrucLine»
	До продажу є можливість тест драйву приладу на місці.
	Після продажу включає гарантійне обслуговування.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок оформлення патенту та захищення програмного забезпечення алгоритмами блокування не зареєстрованого використання.	

При описі трьох рівнів моделі товару (Таблиця 5.19) було визначено рівні товару такі як: товар за задумом, реальне виконання, підкріплення до товару

Далі необхідно сформувати межі встановлення цін, яка передбачає аналіз цін конкурентів та доходів споживачів.

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	56000 грн	75000 грн	1300000 грн	50000-70000 грн

В таблиці 5.20 було визначено межі встановлення цін для споживачів. На основі рівня цін товарів-замінників, рівня цін на аналоги, доходи цільової групи споживачів.

Формування системи збуту показано в Таблиця 5.21.

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж онлайн Закупівля великими обсягами	Продаж товару клієнту, калібрування та обслуговування товару	Висока	Оптовий продаж продукції

З таблиці 5.21 робимо висновок, що оптимальною системою для збуту є оптовий продаж продукції. Основним каналом збуту при цьому є продаж у спеціалізованих інтернет-магазинах.

Останнім пунктом розроблення маркетингової програми стартап-проекту є побудова концепції маркетингових комунікацій (Таблиця 5.22).

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Закупівля малими обсягами, замовлення товарів через інтернет	Конференції Виставки	Компактність Надійність Якість	Донести переваги продукту	«Титан використовується в багатьох сучасних галузях і тому постає питання контролю структури виробів з титану в часності їх втому під час експлуатації»

В результаті даного підрозділу ми отримаємо повністю готову концепцію маркетингових комунікацій, що включає в собі ключові переваги концепції потенційного товару, трьох рівневу маркетингову модель продукту, визначені межі встановлення ціни, сформовану систему збуту та концепцію маркетингових комунікацій. Розроблена маркетингова концепція дає змогу мати перевагу над конкурентами.

Висновки до розділу 5

Комерціалізація стартап-проекту опирається на існуючий попит, динаміку ринку та рентабельність на ринку. На даному ринку споживач зазвичай порівнює переваги які можуть надати їм товари, оскільки кількість виробників приладів контролю досить мала, велика увага приділяється новим продуктам, що з'являються на заміну вже існуючим. Спираючись на це можна стверджувати, що станом на сьогоднішній день існує підґрунтя для комерціалізації даного проекту.

Конку rentна ціна на продукт, адаптивність під виробничі умови робить товар досить привабливим та збільшує кількість груп потенційних клієнтів. Також варто врахувати те, що представлений продукт є новим та не викликає довіри зі сторони великих підприємств. Також варто враховувати можливу конкуренцію зі сторони товарів замінників. Тому основну увагу при розгляді конкурентоспроможності варто приділяти на технологічну новизну, швидкість та якість проведеного контролю.

Головними споживачами являються промислові підприємства, підприємства де потрібен постійний моніторинг стану структури об'єкту контролю.

Основними можливостями проекту є варіант появи державного замовлення, розширення ринку збуту за кордон, використання при виготовленні об'єкту контролю і подальшого контролю при експлуатації. Загрозами проекту – поява нової більш ефективної технології й підвищення ціни на виробництво.

Альтернативним варіантом розвитку продукту було обрано можливість дистанційного використання продукту, а за базову стратегію охоплення ринку було обрано диференційований маркетинг та стратегію позиціонування.

Оптимальною системою збуту було обрано оптовий продаж продукції, основним каналом збуту – продаж через інтернет-магазин.

ВИСНОВКИ

В аналітичній частині було розглянуто основні методи електромагнітної структуроскопії, фізику на якій базується ці методи.

Більш детально розглянуто метод вищих гармонік, оскільки цей метод має гарні перспективи для використання в промисловості.

Оскільки об'єктом контролю виступає титан, було розглянуто його структуру та нюанси його контролю.

Також був проведений огляд альтернативних методів структуроскопії, такі як: атомно-емісійна спектрометрія, використання мікроскопу, ультразвукова та лазерно-ультразвукова спектрометрія, описані їх переваги та недоліки.

Враховуючи перспективність та переваги методу вищих гармонік, було прийнято рішення обрати його, як основу для проведення досліджень структури титану.

У розділі вибір та обґрунтування структури комп'ютерної системи контролю було побудовано структурну схему приладу та складено алгоритм його роботи. Також було описано загальну роботу макета приладу та приведені результати дослідження проведених на алюмінієвих зразках.

В розрахунковій частині приведені обчислення основних вузлів приладу, підібрано компоненти та показано модель макетної плати приладу.

Основну увагу було присвячено дослідженню. У розділі представлено результати у вигляді графіків на яких показано залежність фази сигналу та структури титанових зразків. При наявності неоднорідності на графіках проявляється характерна різка зміна фази. Доцільно також сказати, що прояв значної зміни фази проявляється на вищих гармоніках в той час як перші гармоніки майже не реагують структурні неоднорідності.

Також була спроба дослідження структури титану за допомогою ультразвукового методу, але цей варіант не дав позитивного результату оскільки прилад має досить малу точність для проведення структуроскопії.

В заключній частині розроблено стартап проект. Описано можливості

ринкової комерціалізації проекту спираючись на існуючий попит. З огляду на новизну запропонованого товару можна стверджувати, що станом на сьогоднішній день існує підґрунтя для його комерціалізації. Передбачено альтернативні варіанти реалізації стартап-проекту, викладений опис проекту. Можна стверджувати про доцільність та можливість його подальшого залучення у ринкову економіку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дорофеев АЛ., Ершов РЕ. Физические основы электромагнитной структуроскопии.— Новосибирск: Наука; 1985. 180 с.
2. Пестряков ВБ. Фазовые радиотехнические системы.— Москва: Советское радио; 1968. 468 с.
3. Баженов ВГ, Гльойник КА. Методи технічної реалізації вихрострумових дефектоскопів на мікроконтролерах. Матеріали XV Міжнар. наук.-техн. конф. Приладобудування: стан і перспективи; 2016 Трав 17-18; Київ. Київ: НТУУ «КПІ»; 2016.
4. Bazhenov VG, Gl'oynik KA. Design features of eddy current flaw detectors on the microcontrollers. International Conference «Defectosopia 16»; 2016; Sozopol. Sozopol, BG: SCIENTIFIC PROCEEDINGS NDT DAYS 2016 XXXI; 2016.
5. Баженов ВГ, Гльойник КА, Ходневич СВ. Цифрові вихрострумові дефектоскопи на базі програмованих синхронних демодуляторів. Матеріали XVI Міжнар. наук.-техн. конф. Приладобудування: стан і перспективи; 2016 Трав 16-17; Київ. Київ: НТУУ «КПІ»; 2016. с. 146.
6. Bazhenov V.G. Optimization of the algorithms for the work of eddy current flaw detectors on microcontrollers / Bazhenov V.G., Gl'oynik K.A., Lysenko I.I. // Ж-л «Научные известия на НТСМ». - Созополь, Болгария, 2017. – №216. – С. 118–120.
7. Bazhenov VG, Protasov AG, Gl'oynik KA. Increasing of operation speed digital eddy current defectoscopes based on frequency synthesizer. Microwaveaves, radar and remote sensing Symposium; 2017; Kiev. Kiev, UA: IEEE; 2017. p. 155-158.
8. Баженов ВГ, Гльойник КА, Ходневич СВ. Ортогональний амплітудно-фазовий метод вимірювання при проектуванні вихрострумових дефектоскопів на базі мікроконтролерів. Вісник НТУ «ХПІ» серія «Механікотехнологічні системи та комплекси». 2017 Грудень; 44(1266):60-64.
9. Баженов ВГ, Калениченко ЮО, Рацбарський СС. Методи технічної реалізації вихрострумових дефектоскопів на мікроконтролерах. Матеріали XVIII Міжнар. наук.-техн. конф. Приладобудування: стан і перспективи; 2018 Трав 15-16; Київ. Київ: НТУУ «КПІ»; 2018.

10. Баженов ВГ, Гльойник КА. винахідники; Баженов ВГ, патентовласник. Цифровий багатофункціональний вихрострумовий дефектоскоп. Патент України № 117877. 2018 Жов. 10.

11. Kalenichenko YO, Bazhenov VG, Ratsebarskiy SS. Design features of eddy current flaw detectors on the microcontrollers. International Conference «Defectoscopia 19»; 2019; Sozopol. Sozopol, BG: SCIENTIFIC PROCEEDINGS NDT DAYS 2019 XXXI; 2019. p.21

12. Сущность и методы атомно-эмиссионного спектрального анализа [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.iskroline.ru/articles/atomic-emission-spectroscopy-principles/>

13. Лазерно-ультразвуковые методы обеспечения качества продукции машиностроительной отрасли, как компонента комплекса национальных базовых критических технологий, формирующих сквозную систему управления жизненным циклом продукции машиностроительной отрасли [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://soyuzmash.ru/docs/prez/prez-kstr-041217-3.pdf>

14. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерноінтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики» спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

15. Lashko O. Experience in the Organization of Non-Destructive Testing Formal Education in Ukraine. International Journal “NDT Days”. Vol. II, Issue 1. 2019. P. 91-95.

ДОДАТКИ

Комп'ютерна система контролю виробів з титану

Лагутін Є.В.
ПК-91мш

Мета роботи: зменшити часові та матеріальні затрати на визначення структури титану.

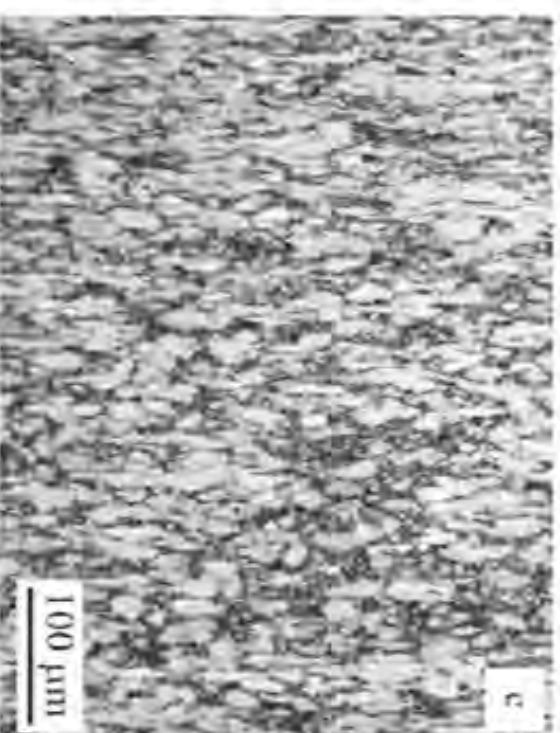
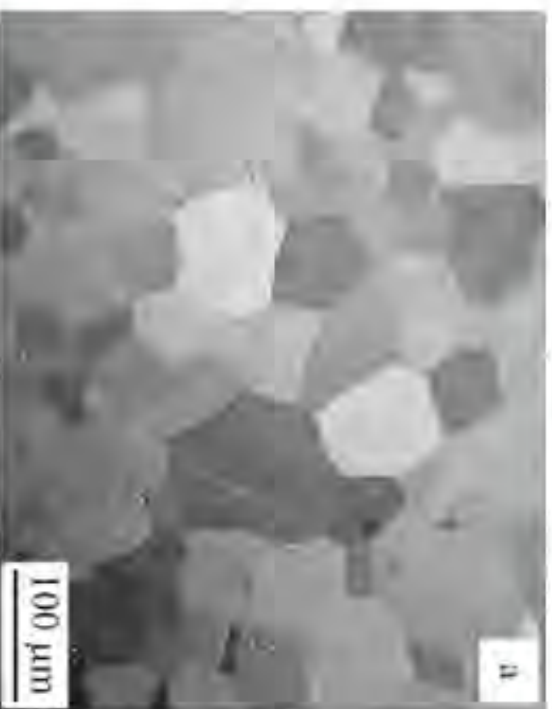
Завдання: розробка компактної комп'ютерної системи контролю структури титану.

Об'єкт дослідження: процес контролю титанових сплавів.

Предмет дослідження: методи та способи контролю структури матеріалів.



Структуроскопія оптичним методом

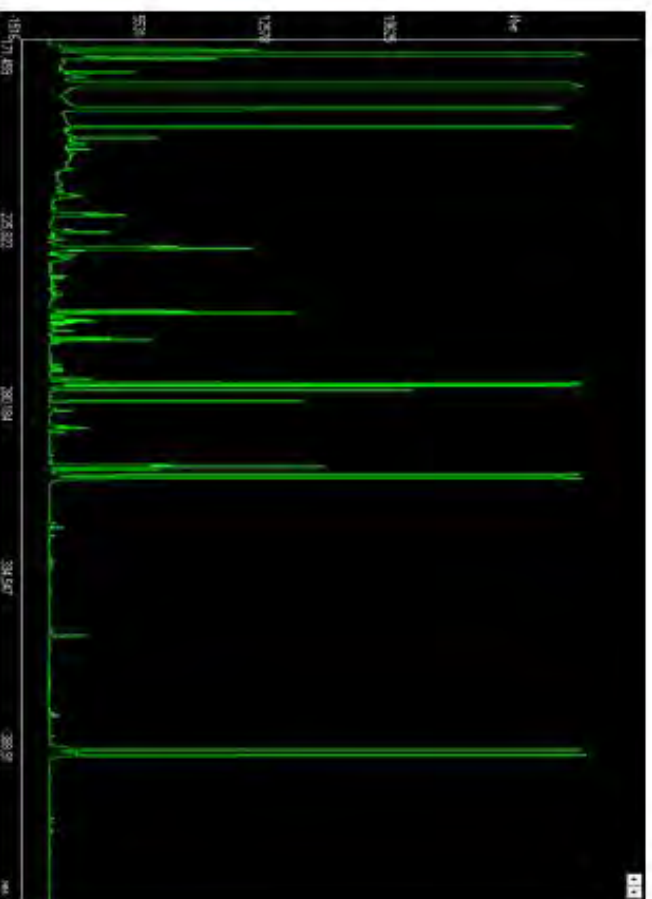


Структуроскопію за допомогою мікроскопа нецільно використовувати при виготовленні заготовок та виробів із титану, оскільки в матеріал потребує трудомісткої обробки перед проведенням контролю, оскільки для цього типу контролю необхідна чиста та рівна поверхня. У випадку, якщо деталь має складну форму, зрізання деякої частини матеріалу може вплинути на міцність виробу. Ще одним фактором нецільності використання даного методу є те, що ці мікроскопи мають досить велику ціну. Саме тому цю методику найчастіше використовують для наукового дослідження структури матеріалів.

Атомно-емісійна спектроскопія

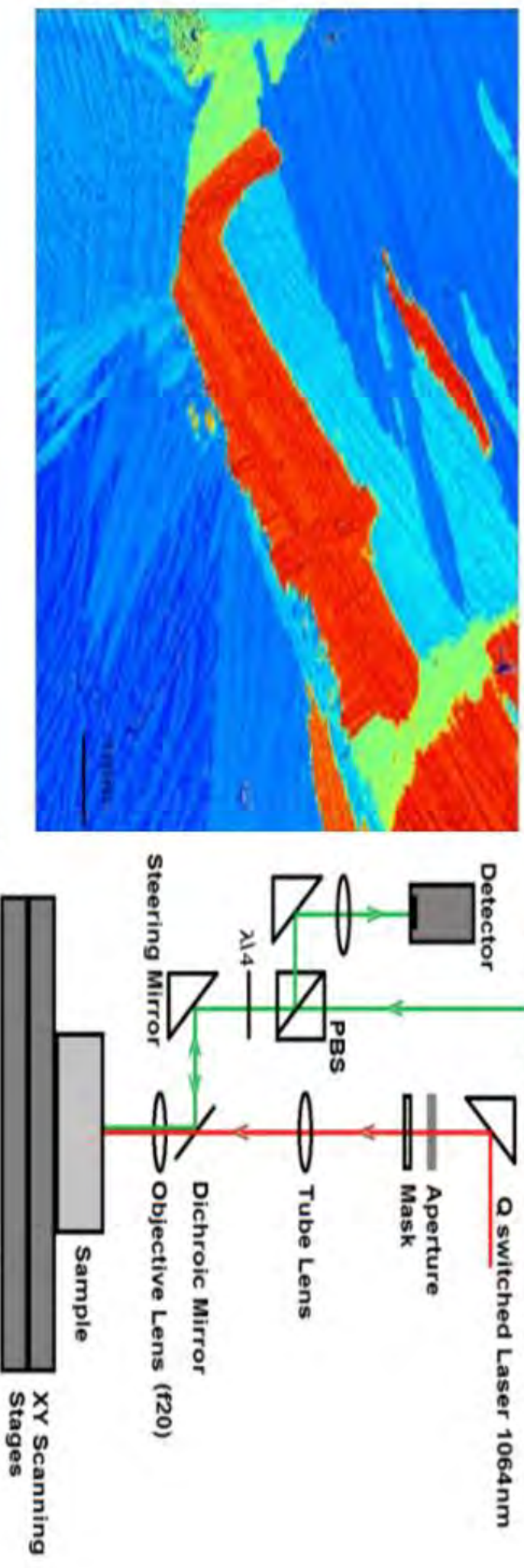
Атомно-емісійні спектрометри реалізують у своїй роботі принципи атомно-емісійного спектрального аналізу (АЕСА). Ці прилади є найбільш поширеними аналітичними приладами і в світі, і в нашій країні. Вони призначені для аналізу (найчастіше елементного аналізу) складу самих різних речовин в різних агрегатних станах.

Спектрометрія тісно пов'язана із структуроскопією, адже кількість домішок в металах, що виплавляються мають вплив на структуру.

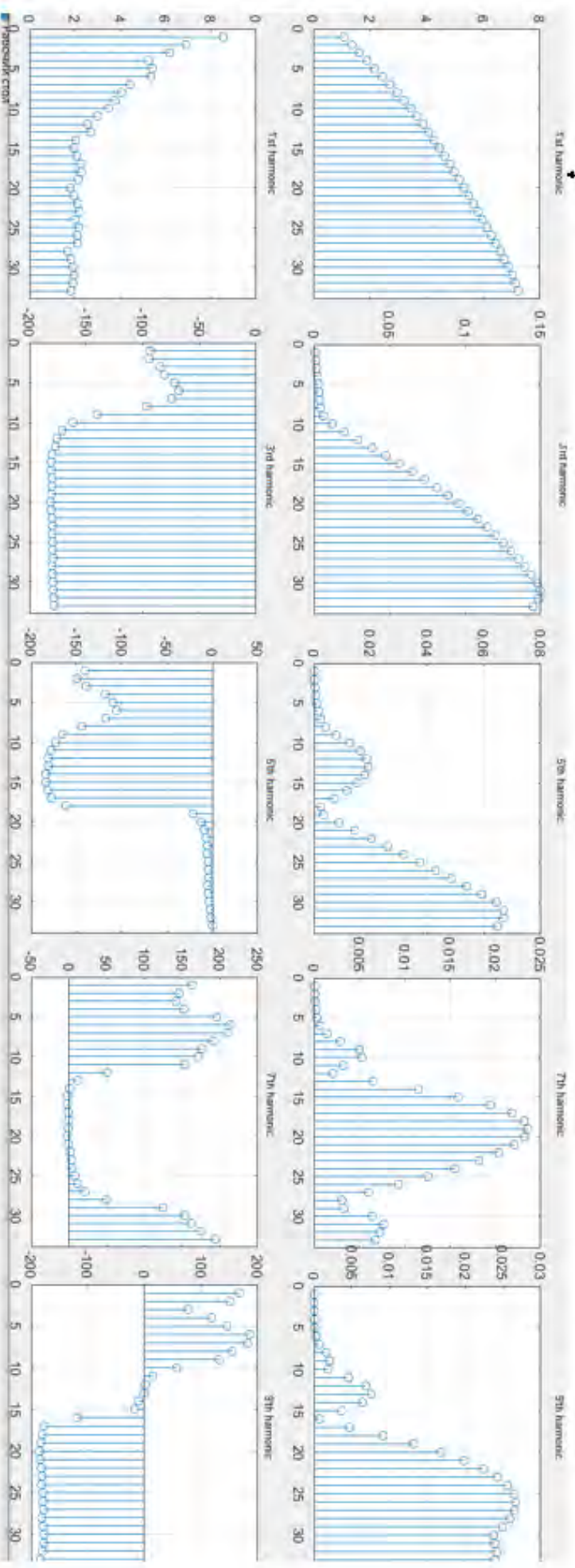
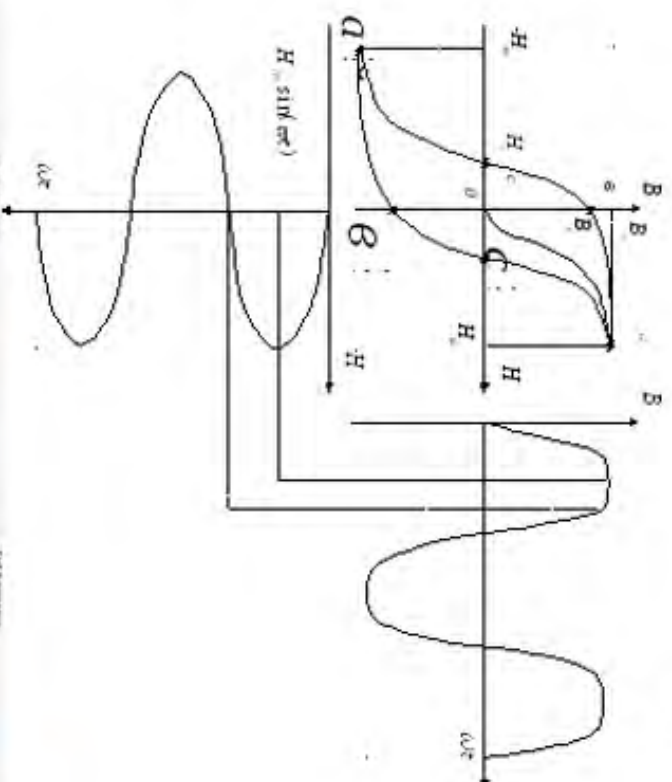


Лазерно-ультразвукова структуроскопія

Акустична спектроскопія є технологією, яка використовує ультразвукові хвилі для картування зернистості структури матеріалу. Вимірюючи в різних напрямках швидкість поширення звуку можна визначити орієнтацію зерна і анізотропію матеріалу.



Метод вищих гармонік



Структурна схема

СТ – синхронізатор опорної частоти

СТ – синтезатор тестового сигналу

СО – синтезатор опорного сигналу гармонік

КТ – керуваний підсилювач

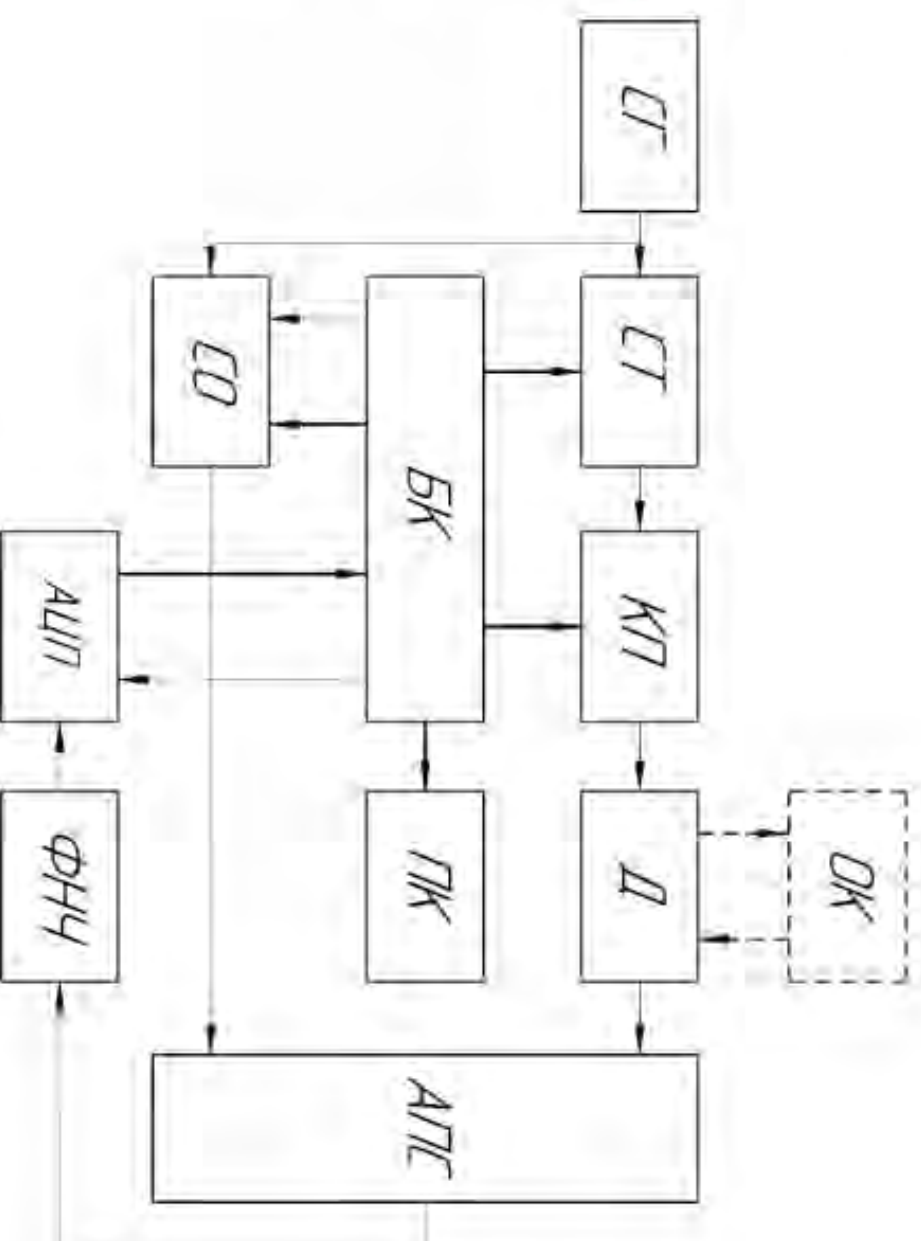
Д – датчик

АПС – аналоговий помножувач сигналів

ФНЧ – фільтр нижніх частот

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

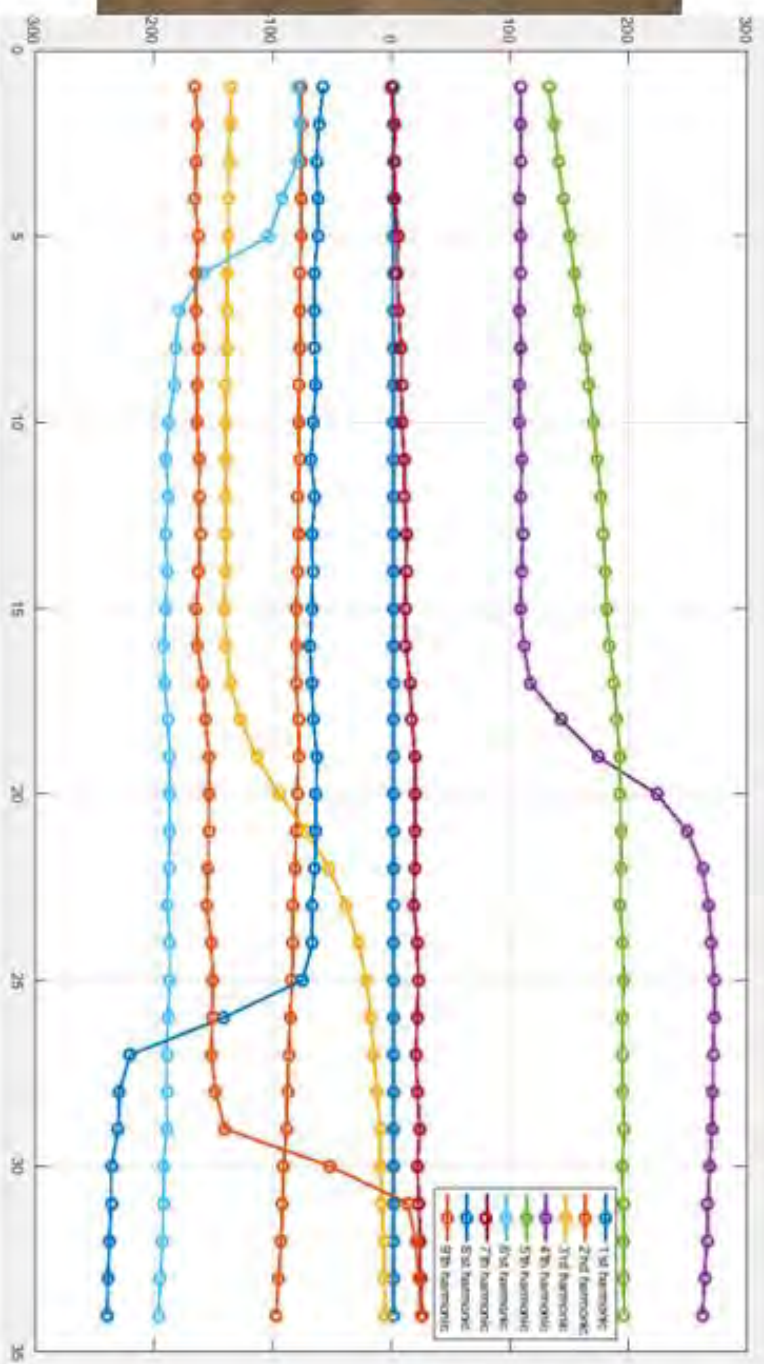
БК – блок керування



Дослідження структури

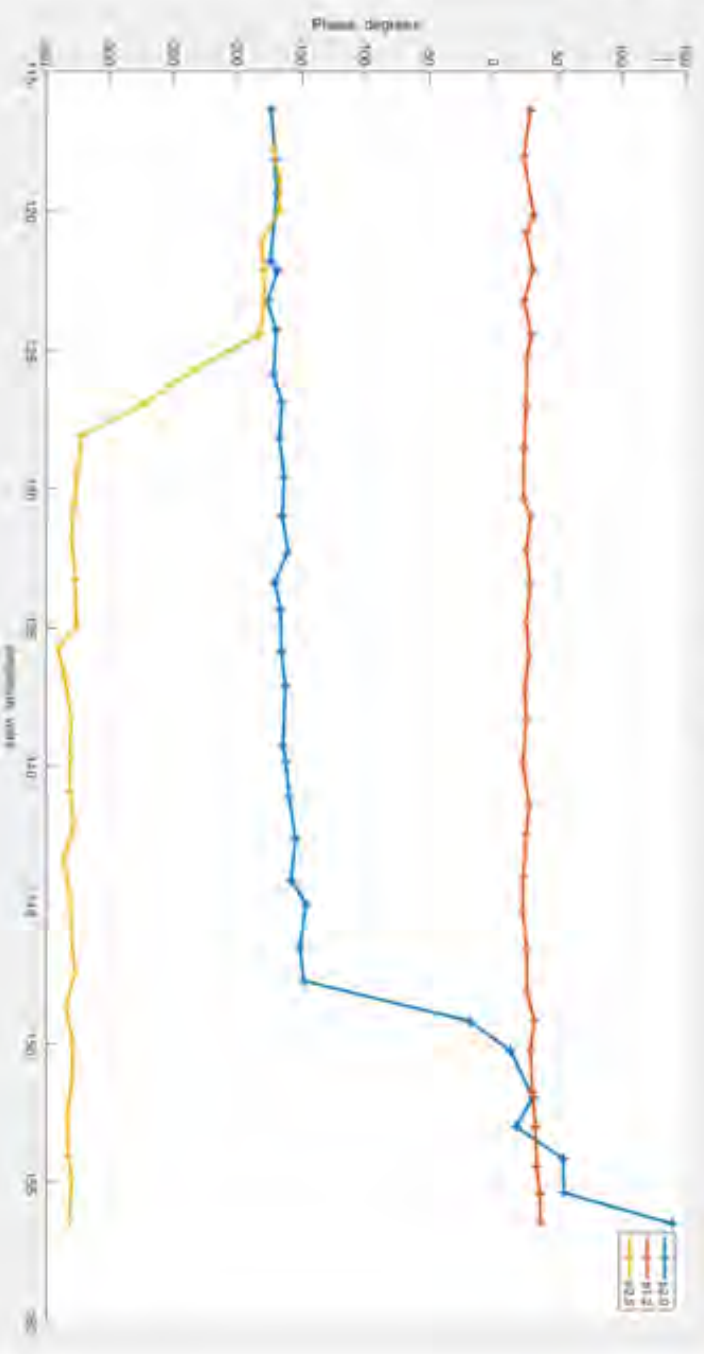
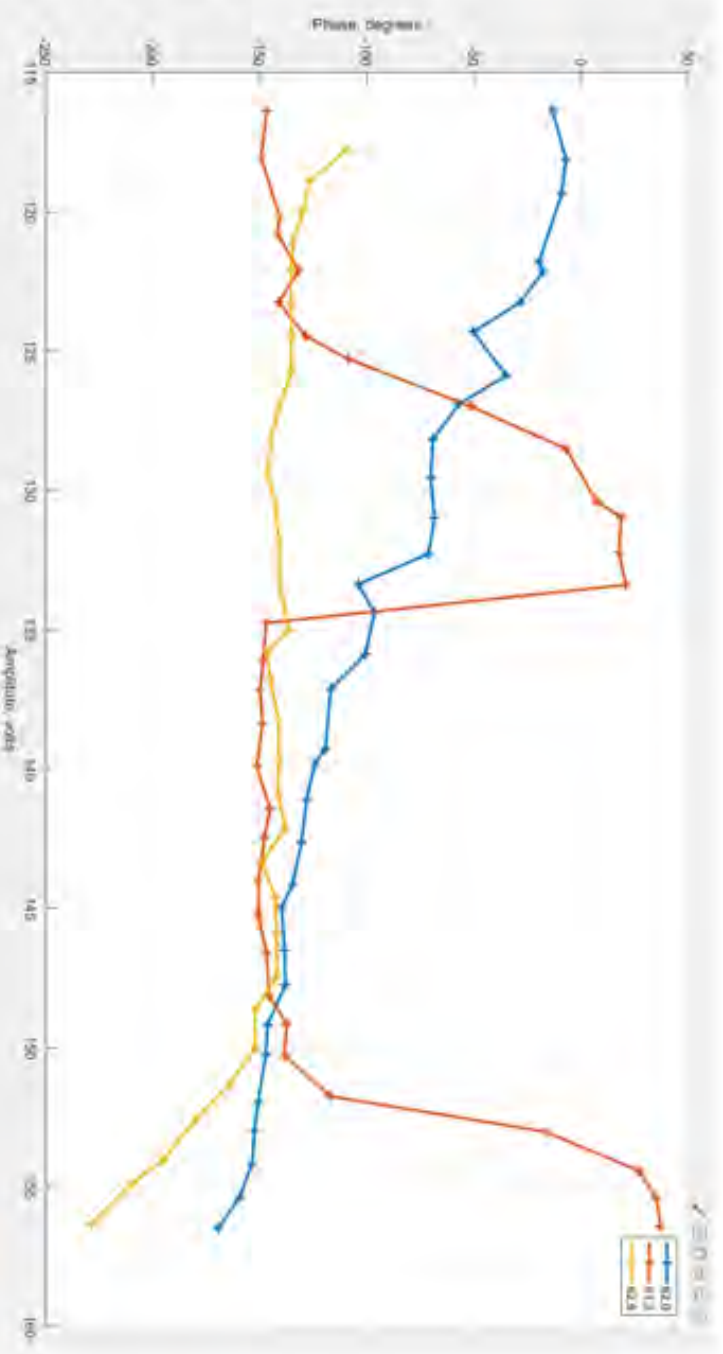
В ході експерименту було досліджено структуру алюмінієвих зразків після його розтігу.

Для експерименту використовувались алюмінієві зразки, оскільки виготовлення подібних зразків з титану досить складне і потребує великих коштів. Також складнощі викликає процес розтігу титану. Враховуючи, що алюміній має схожу структуру з титаном, було прийнято рішення використовувати, для досліджень, саме його.



Розглянувши результати на графіках видно, що найбільші зміни по фазі характерні для вищих гармонік. Особливо наглядним прикладом є графіки дев'ятої гармоніки, де є досить помітна зміна фази на зразку (і 20), що характеризує неоднорідність в їх структурі.

Перші гармоніки не мають явних фазових змін в зразках.



Об'єктом контролю виступає блок титану марки BT-4 з вирізаними отворами з різною глибиною та діаметром 2 мм.

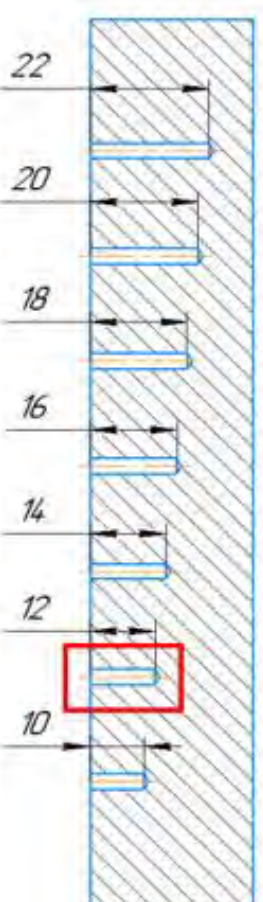
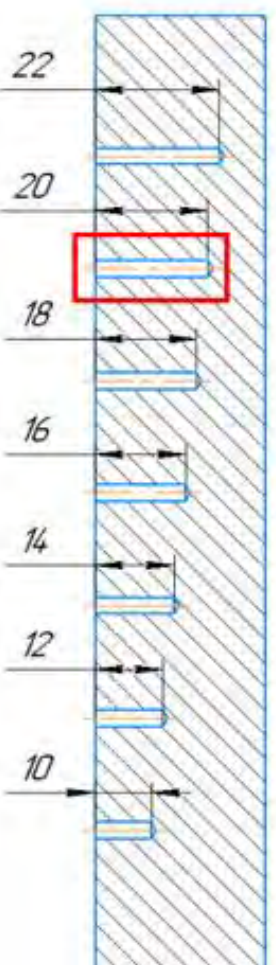
Контроль проводився датчиком ЦТС-19 з частотою 2.5МГц і діаметром 12мм. Контролювання здійснювалось з протилежної сторони від отворів.



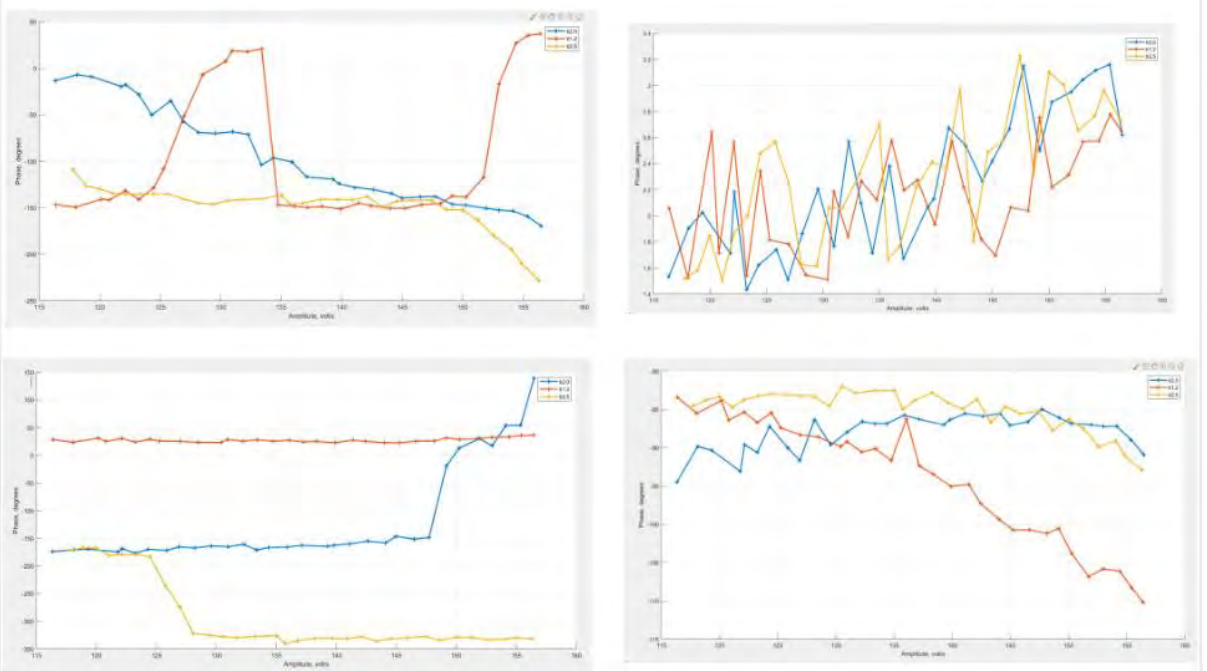
УД 3-71



Була спроба проведення структуроскопії зразка титану, але точності вимірювання приладу була недостатня для детектування зміни швидкості поширення ультразвуку в залежності від зміни структури в матеріалі. Тому була проведена дефектоскопія штучно виготовлених дефектів у вигляді отворів різної глибини. Але ультразвук в титані має досить високе загушення із-за чого деякі з контрольованих отворів були майже непомітні.



Результати дослідження



ІСНОВКИ

Для вищих гармонік є досить ефективною. Завдяки , що може вказувати на неоднорідність в структурі

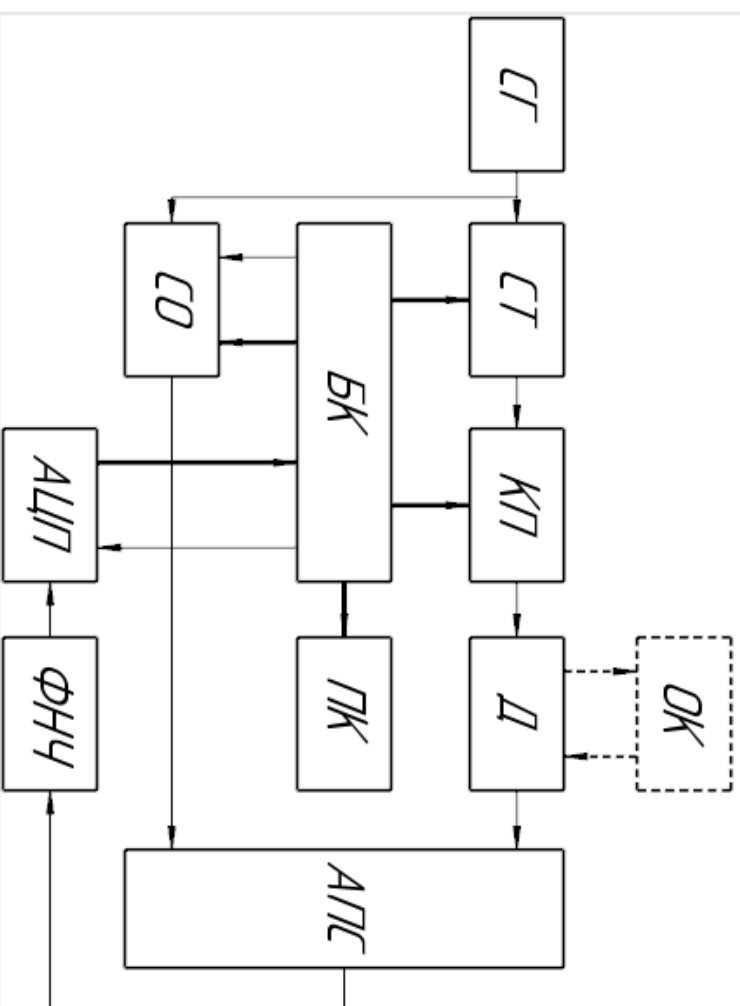
зміна фази характерна лише для вищих гармонік. літати, що запропонована система є цифровою, що тової індустріальної революції і може бути іазі та сучасних мікроконтролерах, також може ом, що є важливим у період діджиталізації та світі. І саме головне, що комп'ютерна система може бути використана безпосередньо в цехових

титану не дало позитивних результатів, оскільки недостатньо для детектування зміни швидкості зміни структури в матеріалі. Тому була проведена ефектів у вигляді отворів різної глибини. Але тухання із-за чого деякі з контрольованих отворів

ДОДАТОК Б

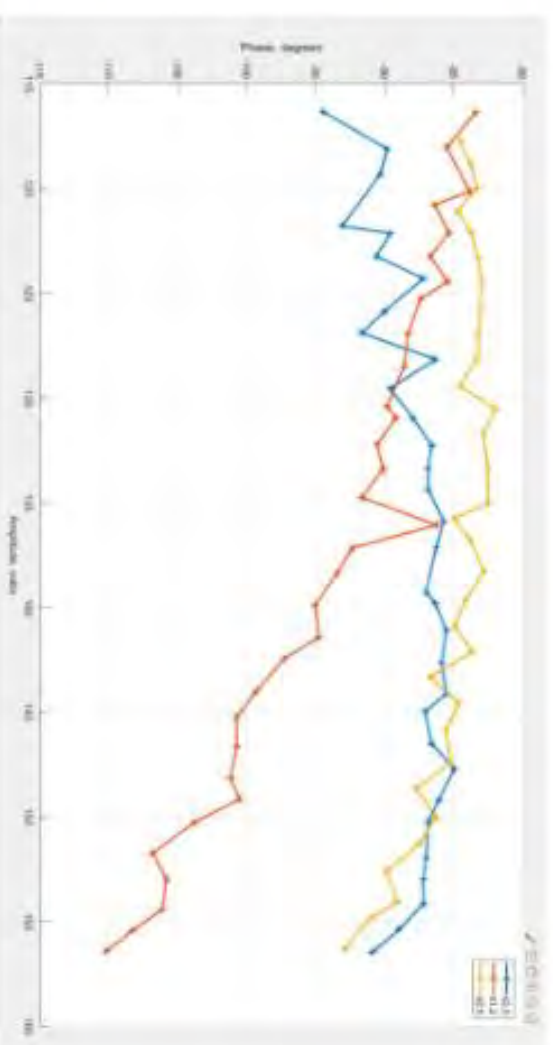
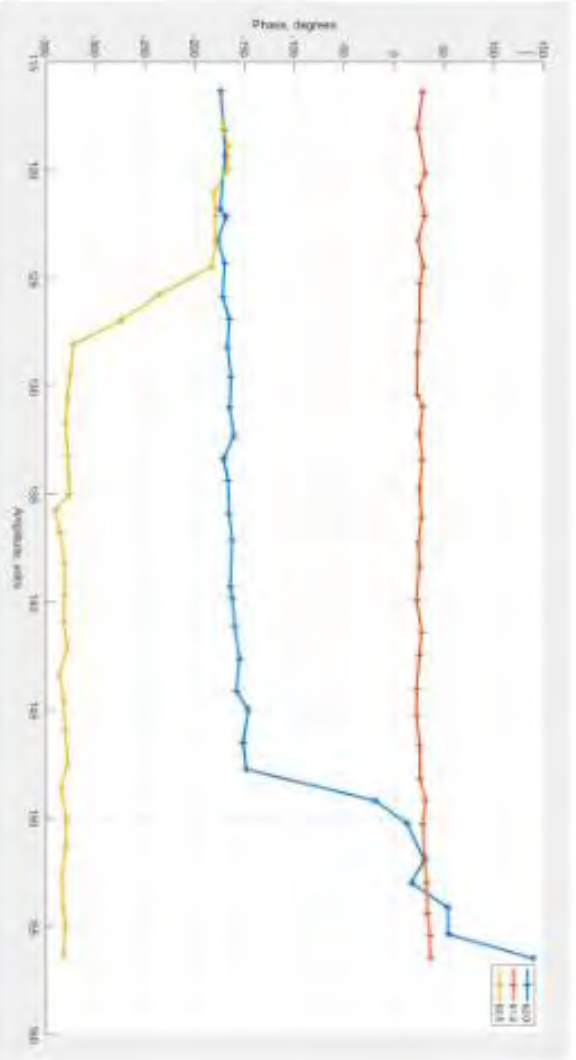
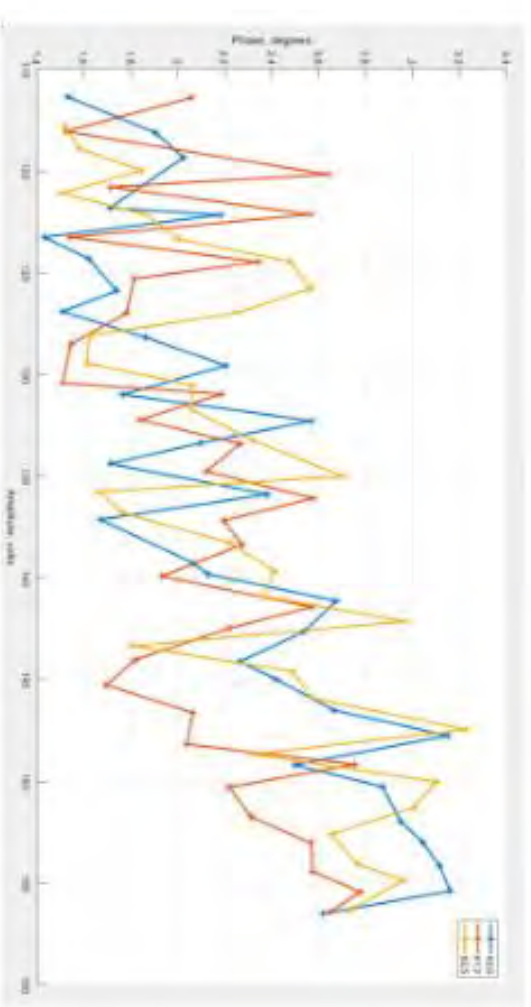
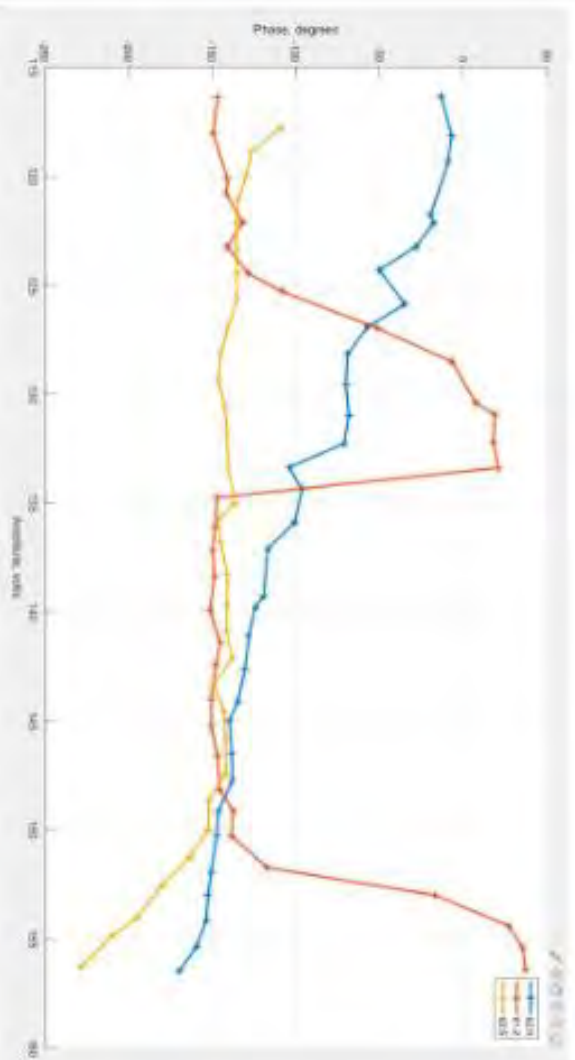
Плакати

Структурна схема

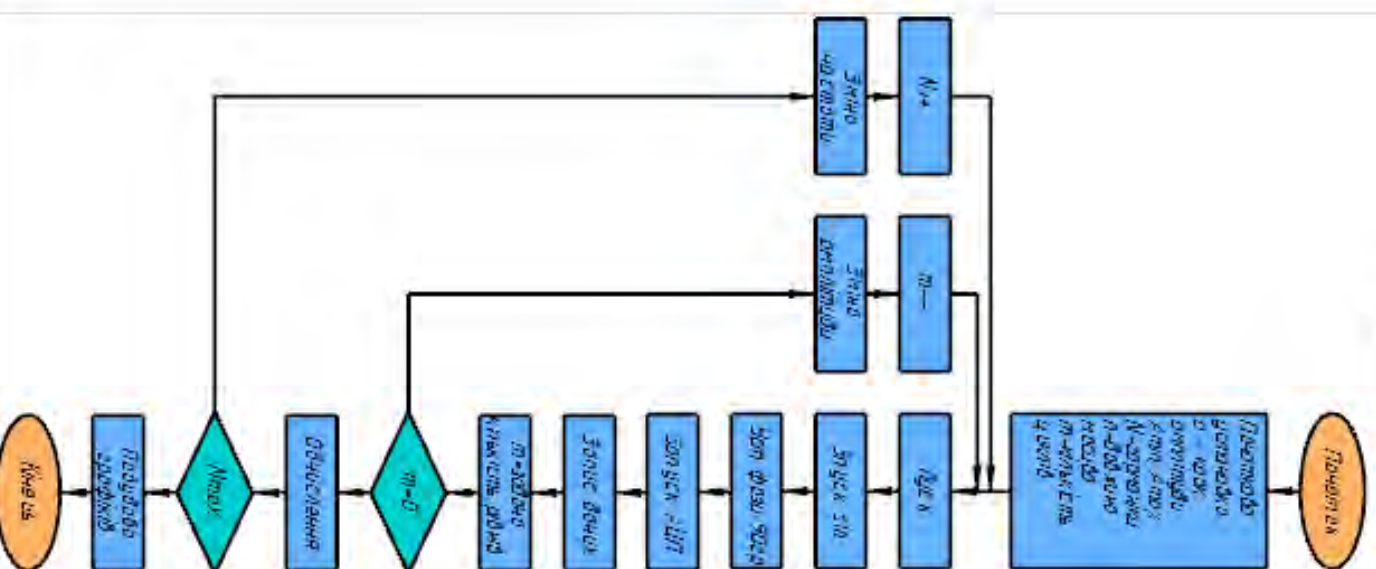


СТ – синхронізатор опорної частоти
 СТ – синтезатор тестового сигналу
 СО – синтезатор опорного сигналу гармонік
 КП – керований підсилювач
 Д – датчик
 АПС – аналоговий помножувач сигналів
 ФНЧ – фільтр нижніх частот
 АЦП – аналого-цифровий перетворювач
 БК – блок керування

Результати дослідження



Алгоритм подсчета



$$b_n(t) = B \sin(\omega t + \phi)$$

$$|a(t) \cdot b_n(t) = A \sin(\omega t) \cdot B \sin(\omega t + \phi) = \frac{1}{2} AB [\cos(\phi) - \cos(2\omega t + \phi)]$$

$$|A_i = \sqrt{a_{sl}^2 + a_{cl}^2}$$

$$\varphi_l = \arctg \frac{a_{sl}}{a_{cl}}$$

Список наукових праць

Φ. № 3.3

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Лагутін Є.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

[illegible]

Автор

(підпис)

Євген ЛАГУТІН

(прізвище, ім'я, по батькові)

Зав. каф. ПСНК

(підпис)

Анатолій ПРОТАСОВ