

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
“МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ, ВИПРОБУВАНЬ ТА
КОНТРОЛЮ”

для студентів спеціальності
152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
денної і заочної форм навчання

2022

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Методи та засоби вимірювань, випробувань та контролю” для студентів спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» денної і заочної форм навчання / Укл.: Г.В. Сніжної. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 72 с.

Укладач: Г.В. Сніжної, доц., канд. фіз.-матем. наук, д-р техн. наук.

Рецензент: В.В. Погосов, проф., д-р фіз.-матем. наук

Відповід. за випуск: А.В. Коротун, доц., канд. фіз.-матем. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
мікро - та наноелектроніки

Протокол №1
від «17» серпня 2021 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
Протокол № 1
від «19» серпня 2021 р.

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Порядок виконання курсової роботи	6
2. Вимоги до змісту курсової роботи	6
3. Вимоги до оформлення курсової роботи	8
4. Тематика та завдання курсових робіт	9
4.1 Методи термоактиваційної спектроскопії для дослідження структури забороненої зони напівпровідників і діелектриків	9
4.1.1 Методи визначення параметрів активних енергетичних рівнів	11
4.1.2 Визначення частотного фактору активних дефектів	16
4.1.3 Похибки різних методів визначення енергії активації	16
4.1.4 Автоматизована експериментальна установка для вимірювання термостимульованих струмів	17
4.1.5 Програмне забезпечення для проведення вимірювань	19
4.1.6 Порядок проведення вимірювань за допомогою автомати- зованої установки “TERMO”	22
4.1.7 Порядок виконання курсової роботи	22
4.2 Вимірювання потенціалу і електричного поля в широкозон- них напівпровідниках і вузькозонних діелектриках	24
4.2.1 Обладнання та метод вимірювання поверхневого потенціалу	25
4.2.2 Порядок виконання курсової роботи	26
4.2.3 Ключові моменти, які відображаються в пояснювальній записці	26
4.3 Вимірювання ВАХ	27
4.4 Магнітні вимірювання: визначення питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту P_α феромагнітної альфа-фази	29
4.4.1 Засіб вимірювання: магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея, метод «нульового відхилення»	32
4.4.2 Автоматизована магнітометрична установка	34
4.4.3 Приклад розрахунку та визначення питомої магнітної сприйнятливості на підставі експериментальних даних	38
4.4.4 Порядок проведення курсової роботи	38
4.4.5 Зміст ПЗ курсової роботи	40

4.4.6 Запитання для самоперевірки і контролю	40
4.5 Автоматична система контролю та регулювання температурного режиму.....	41
4.5.1 Загальні відомості	41
4.5.2 Терморезистор	41
4.5.3 Термопара	42
4.5.4 Металевий терморезистор	43
4.5.5 Пірометр	44
4.5.6. Вимірювачі регулятори технологічні (ВРТ) серії 5922	45
4.5.6.1 Призначення і загальні характеристики приладу ВРТ 5922	45
4.5.6.2 Принцип роботи приладу ВРТ	47
4.5.7 Порядок виконання курсової роботи. Проведення вимірювань за допомогою ВРТ 5501, якій підключено до комп'ютера ...	50
4.5.8. Похибка вимірювання температури приладом ВРТ	52
4.5.9 Порядок виконання курсової роботи. Проведення вимірювань за допомогою приладу РМТ 69L	53
Перелік рекомендованої літератури.....	58
Додаток А Патент «Спосіб визначення ударної в'язкості аустенітних манганових сталей»	60
Додаток Б Патент «Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів»	64
Додаток В Перелік тем курсових робіт	69
Додаток Г ВК2-16 вольтметр постійного струму	72

ВСТУП

Сучасна вимірювальна апаратура призначається не тільки для сприйняття органами чуття людини, але все частіше для автоматичної реєстрації і обробки результатів вимірювання та передачі їх на відстань або для автоматичного керування якими-небудь процесами. У приладах і системах на різних ділянках вимірювальних каналів використовуються механічні, електричні, пневматичні, гідравлічні, оптичні, акустичні сигнали, амплітудна, частотна і фазова модуляції; надзвичайно широко застосовуються імпульсні і цифрові пристрої, системи спостереження. Процес вимірювання сучасними вимірювальними пристроями полягає в цілеспрямованому перетворенні вимірюваної величини в форму, найзручнішу для конкретного використання (сприйняття) людиною або машиною. Розвиток вимірювальної техніки показав, що найзручніше таке перетворення вимірюваних величин, результат якого представляється не як механічні переміщення, а у вигляді електричної величини (струму, напруги, частоти, тривалості імпульсів тощо).

Мета виконання курсової роботи (КР) з курсу “Методи та засоби вимірювань, випробувань та контролю” – розвинути у студентів навички самостійного аналітичного дослідження, принципів побудови засобів вимірювальної техніки, методів вимірювань, критеріїв вибору і застосування засобів вимірювальної техніки для вимірювань електромагнітних і неелектричних величин, знаходження фізичного й інженерного підходу при проектуванні радіоелектронних пристроїв і виборі матеріалів для них. Невід’ємною складовою у функціонуванні будь-якої системи є процеси контролю об’єктів з метою отримання інформації для прийняття рішень. Особливістю функціонування сучасних інформаційних та технічних систем з точки зору моніторингу є значна кількість розподілених у просторі складних об’єктів контролю із значною динамікою різномірних процесів зміни їх положення, стану, властивостей та параметрів. Для цього необхідно застосовувати значну кількість розподілених у просторі і за часом функціонування різномірних джерел інформації – вимірювальних засобів, датчиків, сенсорів тощо. Отримання достовірних первинних даних ускладняється невідзначеністю джерел інформації, складом та типом вихідної інформації, їхньою інформативністю, точністю, достовірністю, оперативністю та повнотою.

1. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Процес виконання курсової роботи включає наступні етапи: вибір теми, ознайомлення з основними її проблемами, складання плану работ, підбір літератури та фактичного матеріалу, написання та оформлення курсової роботи, захист.

1-й етап – вибір теми курсової роботи. Доцільно та вдало підібрана тема значно сприяє швидкому та успішному написанню курсової роботи. При виборі теми враховується фах студента, вже набутий практичний досвід та професійна орієнтація (особливо, для студентів заочної форм навчання).

2-й етап – складання плану. Це досить важливий та відповідальний етап виконання курсової роботи, оскільки від цього значною мірою залежить якість усієї роботи. План повинен висвітлювати вузлові питання теми кількість питань, що розглядаються, може варіюватися від трьох до п'яти, він має бути чітким та логічно послідовним.

3-й етап – підбір та вивчення літератури. На цьому етапі студенти складають бібліографію, в якій виділяють головні й визначальні літературні джерела, вивчення яких необхідне для написання роботи.

4-й етап – написання та оформлення роботи. Зібраний матеріал групують, обробляють та систематизують відповідно до плану. На цьому етапі уточнюються структура курсової роботи та підбирається ілюстративний матеріал. Після цього пишеться чорновий варіант роботи, який піддається літературній обробці та редагуванню.

5-й етап – захист курсової роботи. При захисті курсової роботи студент повинен розкрити зміст теми, продемонструвати добре знання рішення проблеми, відповісти на поставленні запитання. Після захисту курсова робота одержує оцінку, яка ставиться в екзаменаційну відомість та залікову книжку студента.

2. ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Виконуючи курсову роботу (КР) студент повинен провести теоретичні дослідження та практичні розрахунки для рішення поставленої проблеми. Загальні вимоги до структури та правила оформлення курсової роботи наведені в СТП 15-1 «Пояснювальна записка до курсових та дипломних проєктів (робіт)». Структура КР: вступна частина,

основна частина і додатки. Вступна частина містить такі структурні елементи: титульний лист; завдання на КР; реферат; зміст; перелік умовних позначень (символів, одиниць, скорочень і термінів). Основна частина містить такі структурні елементи: вступ, теоретична та практична частини, висновки і перелік посилань. Додатки розміщують після основної частини КР. Перелік посилань і джерел, на які є посилання в основній частині КР наводять у юнці тексту КР, починаючи з нової сторінки. Бібліографічні описи посилань у переліку наводять відповідно до стандартів з бібліографічної справи.

Робота повинна мати чітку та логічну побудову.

У вступі до курсової роботи має бути обґрунтована актуальність обраної теми, коротко охарактеризовані стан проблеми та питання, що вимагають вирішення, чітко сформульовані мета та завдання курсової роботи, визначена методологія дослідження, вказані джерела інформації, що була використана автором при підготовці та написанні курсової роботи.

Теоретична частина передбачає глибоке всебічне розкриття змісту обраної теми, її найважливіших питань та проблем. Головна вимога – показати як висвітлюються проблеми в літературі стосовно методів та засобів вимірювання, випробувань та контролю (МЗВВК), викласти різні точки зору і зробити їх критичний аналіз. Виклад теорії має відповідати сучасному рівню розвитку комп'ютерних систем вимірювання. Рекомендується використовувати лише літературу останніх років видання. Кожну тему курсової роботи необхідно розглядати з позицій сучасності, теоретичні положення супроводжувати аналізом статистичних даних, прикладами з практики. Необхідно продемонструвати вміння самостійно робити висновки на основі вивченої літератури, зібраного, обробленого та узагальненого конкретного матеріалу.

Основний розділ роботи – проектна частина. Характер та зміст запропонованих заходів визначається темою курсової роботи. Розробки повинні витекти з проведеного аналізу, відповідно з тими теоретичними положеннями, які були засвоєнні студентами при вивченні дисциплін учбового плану даної спеціальності. При розробці та опису запропонованих заходів, треба виконувати розрахунки, обґрунтування, приводити докази, використовуючи фактичні дані, нормативні та інші матеріали. При розрахунку ефективності запропонованих заходів, повинні бути показані технічні, технологічні, організаційні, економічні

ні, соціальні та інші перевага прийнятих рішень порівняно з існуючими варіантами.

Проектну частину треба закінчити короткими висновками, які уявляють собою положення та рішення з даної роботи.

У висновках підводять підсумки проведених розробок, показують їх практичну цінність, указуючи область використання та можливості подальшого розвитку.

Складовою частиною курсової роботи являється список використаної літератури, який включає основні джерела, нормативні документи та інші матеріали, використанні в процесі роботи.

Курсова робота може мати в собі додатки, куди включають матеріали, які підтверджують основні положення роботи підприємства.

3. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Загальне оформлення курсової роботи, написання формул, використання скорочень, цитат, посилань, виносок, оформлення таблиць, схем діаграм, додатків, списку літератури виконується відповідно до бібліографічних вимог і стандартів.

Обсяг роботи: ~35 друкованих пронумерованих сторінок (перша сторінка - титульний аркуш). Текст оформлюють на аркушах формату А-4 (210x297), друкують 14 кегль через 1,5 інтервали. Поля: верхнє і нижнє - 20 мм, праве - 10 мм, лівє - 20 мм. Усі ілюстрації, таблиці і формули нумерують арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу. Нумерація складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації (таблиці, формули), відокремлених крапкою (наприклад, 2.2 - другий рисунок другого розділу). Номер і назву ілюстрації розміщують під ілюстрацією: «Рисунок 2.2 - далі назва». Номер і назву таблиці розміщують над таблицею.

Слово «Таблиця» вказують один раз справа над першою частиною таблиці, над іншими частинами тієї самої таблиці, розміщеної на наступних сторінках, пишуть «Продовження таблиці» із зазначенням номера таблиці. Заголовки граф таблиці починаються з великої літери, а підзаголовки - з малої, якщо вони складають одне речення із заголовком. Підзаголовки, що мають самостійне значення, пишуть з великої літери. Заголовки і підзаголовки граф указують в однині. На всі ілюстрації і таблиці, наведені в розділі, мають бути посилання в текстовій частині. Переліки можуть бути наведені всередині пунктів або підпу-

нктів. Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру української абетки з дужкою (другий рівень деталізації). Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу. Другого рівня - з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня.

У тексті не дозволяється скорочувати слова, за винятком загальноприйнятих. Необхідно давати розшифровку означень у формулах і вказувати їх одиниці виміру.

Додатки слід розміщувати в кінці роботи і позначати послідовно великими літерами української абетки, наприклад, «Додаток А», «Додаток Б» тощо. Додатки повинні мати спільну з рештою матеріалу наскрізну нумерацію сторінок.

4. ТЕМАТИКА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВИХ РОБІТ

4.1 Методи термоактиваційної спектроскопії для дослідження структури забороненої зони напівпровідників і діелектриків

В сучасній електроніці, радіотехніці і приладобудуванні діелектрики і напівпровідники займають важливе місце. Для забезпечення надійності і довговічності електронної апаратури застосовувані в ній діелектрики повинні мати дуже низьку електропровідність, високу термостійкість, низькі діелектричні втрати і максимальну електричну міцність. Звичайно електрична поляризація, індукована зовнішнім електричним полем, після вимикання поля зникає - діелектрик у рівноважному стані деполаризований. Однак у деяких випадках поляризований стан зберігається діелектриком тривалий час, тобто після зняття поля має місце залишкова поляризація. До неї може привести, наприклад, "заморожування" деяких механізмів теплової і міграційної поляризації, якщо час релаксації по тим чи іншим причинам різко зростає. Залишкову поляризацію можуть створювати також електричні заряди, впроваджені в матеріал при попередній електризації і захоплені поверхневими чи об'ємними "пастками". Якщо матеріал із залишковою поляризацією не екранований металевими електродами, то він створює в навколишньому просторі електростатичне поле подібне тому, як постійний магніт створює магнітне поле.

Матеріали, що тривалий час зберігають в об'ємі чи на поверхні

електричні заряди і створюють у навколишнім просторі постійне електричне поле, називаються *електретами*. Способи формування електретів різні: звичайно, крім сильного електричного поля, додатково застосовують який-небудь активуючий вплив, що прискорює процес поляризації (орієнтацію диполів, полярних комплексів, радикалів, доменів) чи процес електризації (міграції електронного, діркового чи іонного заряду і його закріплення на пастках).

В залежності від прикладеного до поля активуючого фактору (нагрівання, освітлення, радіація, магнітне поле), електрети класифікують на термо-, фото-, радіо-, магнітоелектрети й ін. Формування залишкової поляризації може відбуватися за двома основними механізмами: за рахунок утворення *гетерозарядів*, знак яких протилежний полярності формуючих електродів, чи шляхом захоплення діелектриком *гомозаряду*, що має той же знак, що і заряд на електроді.

Важливими умовами тривалого існування сформованого електрета є мала провідність вихідного діелектрика і великі енергетичні бар'єри для релаксаторів і захоплених носіїв заряду в ньому. Формування гомозаряду може відбуватися, наприклад, за рахунок інжекції електронів з катода (чи дірок з анода). Гетерозаряд з'являється завдяки різним “домішковим” механізмам поляризації. Інжектований заряд, як правило, захоплюється пастками, тому його поведження надалі схоже на поведження носіїв заряду, захоплених при об'ємно-зарядовій поляризації, однак, інжекція може приводити до порушення електронейтральності об'єкта. Наполяризований об'єкт охолоджується до більш низької температури, в результаті чого поляризаційний стан “заморожується”, тобто різко зростає час релаксації цього стану.

Наступне зняття умов поляризації і закорочування електродів не приведе до помітної деполяризації, тому що нерівноважний стан виявляється метастабільним. Заморожений поляризований об'єкт у закороченому стані нагрівається за визначеним законом (лінійне нагрівання, фракційне очищення). Теплові кванти-фонони надають носіям заряду енергію, необхідну для подолання потенційного бар'єра. Оскільки носії заряду змінюють своє положення в просторі, то в ланцюзі в загальному випадку тече деполяризаційний струм.

Різновидами метода термостимульованого струму (ТСС) є методи термостимульованої провідності (ТСПр) і термостимульованої поляризації (ТСП). ТСПр з'являється при нагріванні з прикладеним електричним полем попередньо збудженого зразка (світло, опромінення),

а термостимульована поляризація – незбудженого зразка. Зазначені розходження приводять до розходження у фізичних явищах, що протікають.

На відміну від струму термостимульованої деполяризації (ТСД), що обумовлена як струмом провідності, так і струмом зсуву, струм термостимульованої провідності обумовлений тільки струмом провідності і, отже, не несе інформації про процеси орієнтації диполів і нагромадження заряду на межі розділу. У випадку ТСД процес міграції заряду відбувається у внутрішньому полі, що самоузгоджено змінюється при нагріванні.

У випадку ТСПр – у постійному зовнішньому полі, у випадку ТСП – у сумарному полі, яке складним змінюється при нагріванні. Методам ТСПр і ТСП властиве високотемпературне наростання темнового струму, зумовленого рівноважною провідністю речовини через наявність зовнішнього електричного поля.

При проведенні експерименту часто використовуються шаруваті структури типу метал-діелектрик-метал і метал-слюда-діелектрик-слюда-метал. Найбільш інформативною є методика, коли вимірюються: залежність струму від температури; залежність ємності, тангенс кута діелектричних втрат, опір від температури; вольт-фарадні і вольт-амперні характеристики; розподіл поля.

4.1.1 Методи визначення параметрів активних енергетичних рівнів

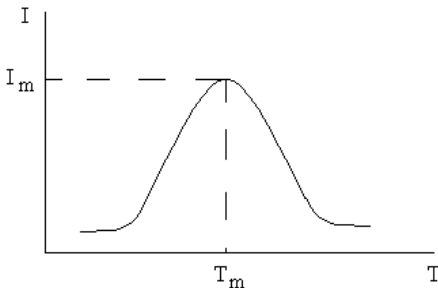


Рисунок 4.1 - Залежність струму від температури

Метод наближеної оцінки енергії активації оснований на співвідношенні:

$$W = AkT_m, \quad (4.1)$$

де T_m – температура максимуму (рис. 2.1); k – стала Больцмана; A – коефіцієнт пропорційності. Коефіцієнт пропорційності A лежить у межах від 10 до 30 в залежності від кінетики процесу і рекомбінації носіїв заряду.

Метод є чисто якісним і дає велику погрішність. У загальному випадку $A=25$. Даний коефіцієнт необхідно скорегувати, припускаючи що метод початкового підйому дає достовірний результат.

Метод Гарліка–Гібсона (метод початкового підйому) є найбільш прийнятним через незалежність розрахунку енергії активації від порядку кінетики і механізму релаксаційного процесу. Нахил прямої, що виходить при побудові початкової ділянки піка струму в координатах Арреніуса ($\ln I$ від $1/(kT)$), дає значення активації, а перетинання цієї прямої з віссю ординат – ефективний частотний фактор електричних активних центрів.

Перевагою описаного способу початкового підйому є його незалежність від порядку кінетики релаксаційного процесу.

Метод Парфіановича-Богуна-Буса (метод варіювання швидкості нагрівання) полягає у наступному. Умова максимуму піків ТСПр, поляризації, розрядки і деполаризації може бути представлена у вигляді:

$$\ln \frac{T_m^2}{b} = \frac{W}{kT_m} + \ln \frac{W}{kw_e} - \ln \left[1 + (m-1) \frac{2kT_m}{W} \right]. \quad (4.2)$$

Отже, якщо знехтувати температурною залежністю ефективного частотного фактора, а також слабким впливом третього члена формули, то впливає, що залежність $\ln(T_m^2 / b)$ від $1/kT_m$, отримана при варіюванні швидкості нагрівання, повинна бути лінійною. Якщо обмежитися тільки двома швидкостями нагрівання, то з (4.2) можна одержати формулу:

$$W = \frac{kT_{m1}kT_{m2}}{T_{m1} - T_{m2}} \ln \frac{b_1}{b_2} \frac{T_{m2}^2}{T_{m1}^2} \quad (4.3)$$

Модифікацією способу варіювання швидкості нагрівання є спосіб визначення енергії активації за нахилом залежності величини максимуму піка термостимульованого струму від температури цього максимуму при різних швидкостях нагрівання, що у координатах Арреніуса лінеаризується.

Метод Гроссвейнера (метод парціальної напівширини піка) полягає в тому, що енергія активації електрично активних дефектів впливає не тільки на температурне положення піка термостимульованого струму (ТСС), але і на температурну ширину цього піка.

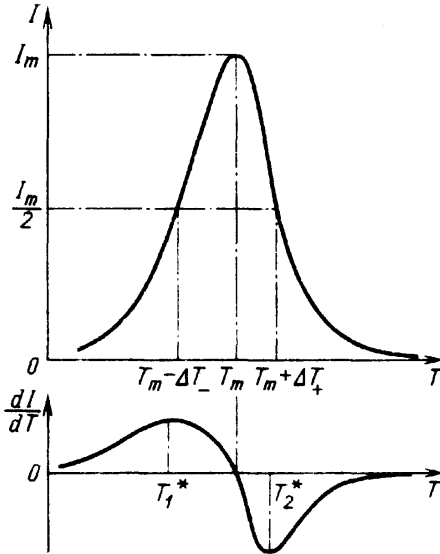


Рисунок 4.2 – Характерні точки кривої термостимульованого струму

Так, можна поставити зворотну задачу визначення енергії активації дефектів за температурною шириною відповідного піка термостимульованого зсуву.

Вперше цю задачу стосовно до термовисвічування вирішив Гроссвейнер. Суть цього методу полягає в наступному. По кривій ТСС поряд з температурою максимуму визначається низькотемпературна (DT_-) і високотемпературна (DT_+) напівширина піка, тобто інтервал температур, у межах яких ТСС більше чи дорівнює половині свого максимального значення (рис. 4.2).

З умови (4.4) можна одержати вираз (4.5) для розрахунку енергії активації методом парціальної напівширини температурного піка.

$$I(T_m - DT_-) = I(T_m - DT_+) = \frac{1}{2} I \cdot T_m, \quad (4.4)$$

$$W = G - \frac{kT_m(T_m - \Delta T_-)}{\Delta T_-} = G + \frac{kT_m(T_m + \Delta T_+)}{\Delta T_+} + \frac{kT_m(T_m + \Delta T_+)}{\Delta T_+}, \quad (4.5)$$

де G_+ , G_- коефіцієнти, величини яких залежать від порядку кінетики релаксацийного процесу і значення ефективного частотного фактора. У випадку кінетики релаксації першого порядку коефіцієнт G_- у формулі (3.5) може приймати значення від 1.42 (при $w_e \gg 10^{12} \text{ c}^{-1}$) до 1.5 (при $w_e \gg 10^8 \text{ c}^{-1}$, тобто слабке пере захоплення).

Формули, що враховують вплив порядку кінетики релаксаційного процесу на величину енергії активації, зумовлену за допомогою способу парціальної напівширини піка, запропонував Лущик:

$$W = \frac{kT_m^2}{DT_+} \quad - \text{при кінетиці першого порядку і} \quad (4.6)$$

$$W = \frac{2kT_m^2}{DT_+} \quad - \text{при кінетиці другого порядку.} \quad (4.7)$$

Формули (4.6), (4.7) свідчать про те, що високотемпературна напівширина може змінюватися в два рази при зміні кінетики релаксаційного процесу.

Свого роду модифікацією способу напівширини піка є спосіб точок перегину. Цей спосіб заснований на вимірюванні поряд з температурою максимуму піка також температур, при яких друга похідна ТСС по температурі дорівнює нулю (рис 4.2). Енергія активації дефектів може бути визначена за формулою

$$W = G_1^* \frac{kT_m T_1^*}{T_m - T_1^*} = G_2^* \frac{kT_m T_2^*}{T_2^* - T_m}, \quad (4.8)$$

де G_1^* , G_2^* – коефіцієнти, величини яких залежать від значення ефективного частотного фактора і кінетики релаксаційного процесу. Основною перевагою способу точок перегину в порівнянні зі способом напівширини піка є те, що на кінцеві результати, одержувані за допомогою способу точок перегину, практично не впливають фонові струми.

Метод варіювання швидкості нагрівання оснований на тому, що варіювання умов попереднього зсуву (поляризації) зразка може впливати не тільки на величину піка ТСС, але і на температурне положення цього піка. Остання обставина пояснюється тим, що у випадку сильного перезахоплення ефективний частотний фактор центрів захоплення пропорційний початковій концентрації носіїв заряду, локалізованих на цих пастках.

Отже, збільшення ступеня початкового заповнення центрів захоплення (про що можна судити по збільшенню відповідного піка ТСС) повинно приводити до зменшення температури максимуму піка.

Якщо ж реалізується слабке пере захоплення, то температура максимуму піка струму не повинна залежати від початкового заповнення пасток.

Температура максимально зміщується з підвищенням швидкості нагрівання, як правило, у бік більш високих температур. Нехай b_1 і b_2 – швидкості нагрівання, тоді енергія активації W_a буде визначатися співвідношенням:

$$W_a = \frac{kT_{m1}T_{m2}}{T_{m1} - T_{m2}} \ln \left(\frac{\beta_1 T_{m2}^\alpha}{\beta_2 T_{m1}^\alpha} \right), \quad (4.9)$$

де a приймає значення від 2 до 3 – показник ступеня.

Для методу ТСД у випадку дипольної поляризації температурна залежність часу релаксації (при кінетиці релаксації першого порядку) знаходиться шляхом інтегрування температурної залежності ТСС.

$$J(T) = \frac{dP}{dt} = -\frac{P(t)}{t(T)} \quad (4.10)$$

З (4.10) одержуємо наступне співвідношення між ТСС і часом релаксації:

$$t(T) = \frac{1}{J(T)} \int_T^\infty \frac{J(T')}{b} dT', \quad (4.11)$$

$$\ln t(T) = \ln \left[\frac{1}{j(T)} \int_T^\infty \frac{j(T')}{b} dT' \right] = \frac{W}{kT} - \ln w. \quad (4.12)$$

Формула лежить в основі методу температурної залежності часу релаксації. Цей метод може бути розповсюджений і на ТСС, зумовлені об'ємно-зарядовою поляризацією, а також на струми ТСПр, якщо реалізується кінетика релаксації першого порядку.

Перший порядок кінетики процесу рекомбінації також називається мономолекулярною рекомбінацією. У цьому випадку час рекомбінації є постійним. Другий порядок рекомбінації носить також назва бімолекулярна рекомбінація, і в цьому випадку час рекомбінації пропорційно зворотному значенню концентрації носіїв заряду, локалізованих на дрібних рівнях захоплення, за умови слабого пере захоплення й електродів, що блокують, у електронейтрального зразка. Порядок

симетрії визначається шляхом порівняння симетрії піка D_i з величиною m_g

$$D_i = \frac{2 + kT_{mi}}{W}, \quad m_g = \frac{T_2 - T_{mi}}{T_2 - T_1} \quad (4.13)$$

При $\mu_g \leq \Delta_i$ – кінетика процесу мономолекулярна, а при $\mu_g \geq \Delta_i$ – кінетика бімолекулярна.

4.1.2 Визначення частотного фактору активних дефектів

Важливим параметром, що поряд з енергією активації характеризує електрично активні чи дефекти процес неізотермічної релаксації заряду, є ефективний частотний фактор w_e . По кривій термоструму в об'єкті з бімолекулярною рекомбінацією носіїв заряду ефективний частотний фактор може бути визначений за формулою

$$w_e = \frac{W^2 b}{2k^2 T_m^3} \exp\left(\frac{W}{kT_m}\right) \quad (4.14)$$

при обов'язковій умові, що має місце сильне перезахоплення. У випадку ж слабого перезахоплення ефективний частотний фактор в принципі не може бути знайдений подібним чином, тому що на кривій ТСТ максимум просто відсутній.

4.1.3 Похибки різних методів визначення енергії активації

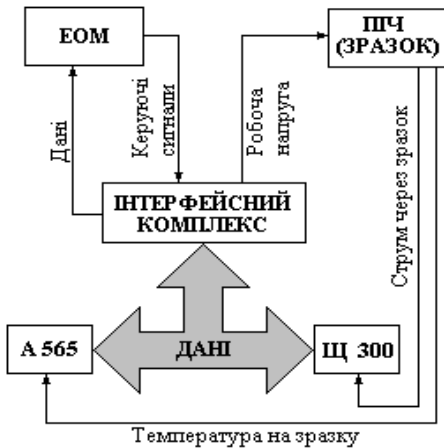
Результати аналізу погрішностей різних способів розрахунку енергії активації електрично активних дефектів за кривими ТСС зведені в табл. 4.1. Зіставлення цих результатів свідчить, зокрема, про те, що інструментальні погрішності розглянутих способів визначення енергії активації, як правило, значно поступаються систематичним погрішностям, зумовленим невірним вибором модельних уявлень і наближеним характером аналітичних виразів для струму.

Таблиця 4.1 – Похибки різних методів

Метод визначення енергії активації	Погрішності визначення, %	
	Інструментальні	Методичні
Температурного положення піка	~1	~100
Початкового підйому	2-3	~1
Низькотемпературної напівширини піка	3-7	5-10
Високотемпературної напівширини піка	3-7	10-20
Варіювання швидкості нагрівання	5-10	~5

4.1.4 Автоматизована експериментальна установка для вимірювання термостимульованих струмів

Для вимірювання ТСС в матеріалах використовується автоматизований вимірювальний комплекс “TERMO”. Прилад живиться від мережі змінного струму 220 В ($\pm 10\%$) частоти 50 Гц ($\pm 10\%$). Максимальна потужність, споживана з мережі, 10 В.



ЕОМ- персональний комп'ютер;
 Щ-300 - вимірювальний прилад;
 А 565 – цифровий термометр; зразок – досліджуваний зразок, що знаходиться в печі

Рисунок 4.3 - Блок - схема вимірювального комплексу

У комплексі використовуються: ЕОМ, прилад комбінований цифровий Щ-300, цифровий термометр А-565. Вибір цього обладнання зумовлений наступними міркуваннями: комбіновані прилади мають цифрові виходи, що дозволяє дистанційно зчитувати дані; універсальні, що дозволяє їх використовувати як для вимірювання температури печі так і для вимірювання сили струму, що тече через зразок; комп'ютер має оптимальні параметри, необхідні для керування комплексом (рис. 4.3).

Комплекс є пристроєм сполучення між вимірювальним приладом Щ-300, цифро-

вим термометром А565 і персональним комп'ютером. Керуючі сигнали – це сигнали, передані з комп'ютера в інтерфейсний модуль для керування нагрівальним елементом (печі). Дані – це сигнали, передані модулем у комп'ютер (температура зразка і струм). Робоча напруга – напруга, що подається на піч модуля. Струм через зразок – поточний струм через зразок у процесі експерименту.

Функціонально комплекс складається з трьох блоків: керування, узгодження і живлення. Блок керування зібраний на двох мікросхемах К155ІР22 (регістр – реле) і К555КП7 (мультиплексор) і призначений для керування блоком узгодження. Під час роботи мікросхема К155ІР22 два рази в секунду переключає блок узгодження або в режим прийому даних із Щ-300 і А-565 або в режим передачі даних у комп'ютер (виходи SHIFT і LOAD). Отже, знімаються значення струму зі зразка напівпровідникової пластини і температура зі зразка.

Блок узгодження зібраний на шести мікросхемах К155ІР10 (восьмирозрядні регістри зсуву з паралельним вводом інформації) і узгодження між Щ-300, А-565 і комп'ютером під час експерименту. Кількість мікросхем обумовлена кількістю знаків, що зчитуються з Щ-300 і А-565 (три на передачу значення струму, три на передачу значення температури). По сигналі високого рівня з блоку керування відбувається рівнобіжне завантаження даних із Щ-300 і А-565 у блок узгодження. За наступним сигналом з блоку керування відбувається послідовна передача даних у комп'ютер для подальшої обробки. Мікросхеми можна виділити в два однакових модулі по трьох мікросхеми. По сигналі з блоку керування відбувається рівнобіжне завантаження даних із Щ-300 у блок узгодження. По наступному сигналі з блоку керування (мікросхема К155ІР22) відбувається послідовна передача даних у комп'ютер для подальшої обробки.

Для зняття термостимульованих струмів у полі, що тягне, застосовується зовнішнє регульоване джерело живлення (0-100 В). До джерела живлення так само підключений тиристор, що має власне живлення, для керування піччю. Цей вузол гальванічне розв'язаний для запобігання улучення виходу комп'ютера з ладу при улученні високої напруги на вхід.

Досліджуваний зразок напівпровідникової пластини вставляється у тримач і поміщається в піч. Піч, в свою чергу, підключається до комплексу із задньої сторони корпусу, а виводи з тримача і зовнішнє джерело живлення підключаються на передній панелі корпусу. Кабе-

лями, що прикладаються до комплексу, відповідні виходи комплексу підключаються до входів Щ-300 і А-565. На задній панелі комплексу знаходяться розніми для підключення комп'ютера за допомогою спеціального кабелю через LPT-порт (кабель додається до комплексу).

На початку експерименту встановлюється значення напруги, що подається на зразок; виставляються діапазони вимірювання струму через зразок, потім у залежності від обраного режиму нагрівання печі (квантування по температурі чи за часом) знімаються дані (через визначені проміжки температури чи часу). За допомогою Щ-300 і А-565 зчитуються значення струму через зразок і температура досліджуваного зразка, і через комплекс дані вводяться у комп'ютер.

По закінченні експерименту необхідно відключити живлення комплексу А 565 і Щ 300, потім від'єднати досліджуваний зразок.

4.1.5 Програмне забезпечення для проведення вимірювань

Для роботи з установкою використовується програмне забезпечення "TERMO". Програма "TERMO", що дозволяє одержати значення термостимульованих струмів зразків напівпровідникових пластин, запускається файлом Termo.EXE. Зовнішній вигляд головного вікна програми представлений на рис.4.4.

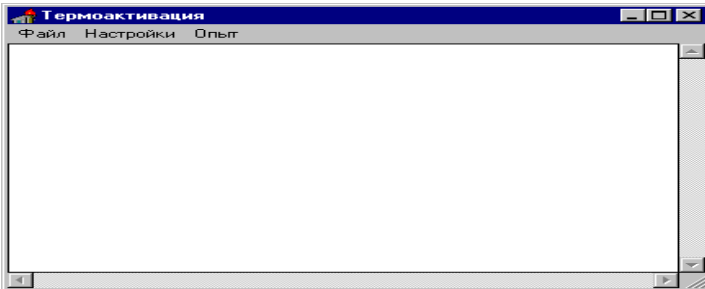


Рисунок 4.4 - Зовнішній вигляд головного вікна програми "TERMO"

Програма дозволяє під час експерименту переглянути дані, отримані з комплексу (рис.4.2) і зберегти в окремий файл для подальшої обробки. Під заголовком вікна розташовується спадаюче меню, у якому розташовані всі органи керування.

Коротка характеристика елементів меню.

Меню **Файл** складається з наступних елементів: **Зберегти як** – дозволяє зберегти отримані дані в окремий файл для подальшої обробки інформації; **Очистити** – очищення попередніх даних; **Позначка** – перед початком експерименту рекомендується ставити позначку, де відображається дата і час одержання даних; **Вихід** – вихід із програми.

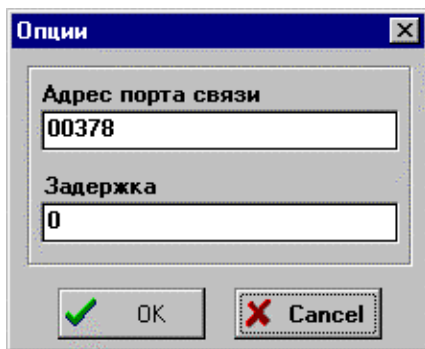


Рисунок 4.5 - Зовнішній вигляд меню "Опції"

Меню **Налаштування** містить наступні елементи: **Опції** – встановлюють адресу порту зв'язку і затримку, яка служить для узгодження апаратної частини з програмною; **Параметри** – встановлюються початкова і кінцева температури, крок за часом і температурою, квантування за часом чи температурою, потужність, похибки й умови переходу, а також режим роботи Щ-300.

Меню **Дослід** складається з: **Запуск** – запуск експерименту; **Зупинка** – припинення експерименту.

Після підключення комплексу за допомогою файлу Termo.EXE запускається програма. На початку вимірювальної послідовності необхідно виставити адресу порту зв'язку і затримку, а також діапазон вимірювання струму через зразок, початкову і кінцеву температури (вимір у °C), установити режим вимірювання (квантування по температурі чи за часом), крок нагрівання (температуру, °C і час, мілісек) і коефіцієнти поправок у % у розділах опції і параметри спадаючого меню налаштування (рис.4.5, 4.6). Діапазон вимірювання струму необхідно так само виставити вручну на Щ-300.

Початкова і кінцева температури змінюються в межах від 20°C до 300°C з кроком 1°C. Максимальна рекомендована температура 200°C. Крок по температурі змінюється в межах від 1°C до 20°C з кроком 1 °C, мінімальний крок, що рекомендується, 2°C.

Після установлення всіх необхідних даних і переключення Щ-300 у необхідний режим вимірювання запускається виконуюча програма (Дослід/Запуск).

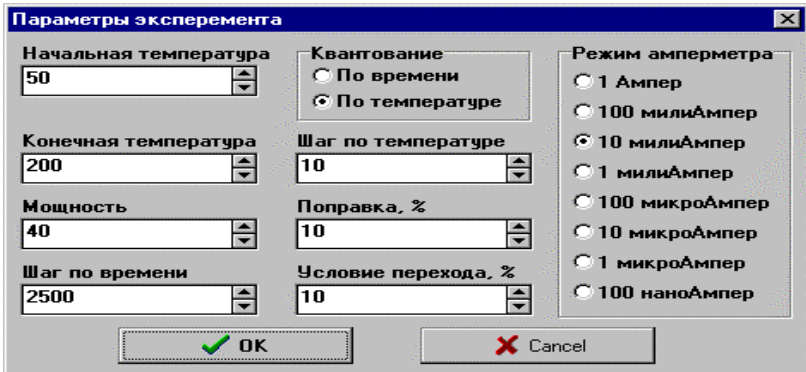


Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд вікна «Параметри експерименту», де встановлюються необхідні значення

Знімаються залежності струму, що тече через зразок і температура зразка. Дані виводяться на екран у три стовпчики: температура, струм і час (рис. 4.7). Для більш детальної обробки дані можна занести в буфер обміну чи зберегти в окремий файл, а потім перенести в необхідний редактор.

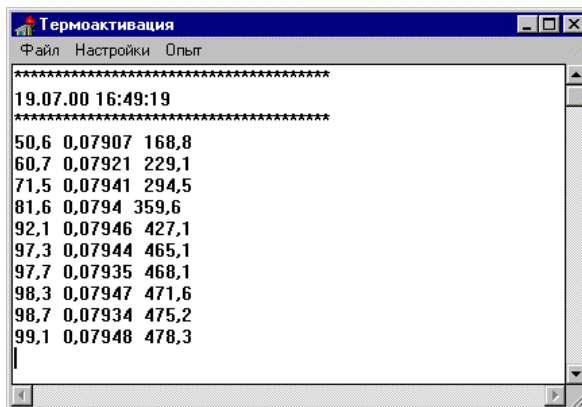


Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд вікна з даними

Для виходу з програми необхідно викликати розділ “Файл/Вихід”. Попередньо дані можна зберегти у файлі з розширенням TXT у розділі “Файл/Зберегти як...”.

4.1.6 Порядок проведення вимірювань за допомогою автоматизованої установки “TERMO”

- Установіть зразок напівпровідникової пластини у тримачі. Опустіть піч так, щоб верхній зонд торкнувся зразка.
- Підключіть піч, зовнішнє джерело живлення (якщо воно потрібне) і виводи зонда до автоматизованого комплексу: джерело до рознімому «Джерело живлення», Щ-300 – розніми «Щ-300», зразок – розніми «Зразок», піч – розніми «Піч» (із зворотної сторони модуля).
- Включіть в мережу змінної напруги 220 В комбіновані цифрові прилади Щ-300, А 565 і комплекс.
- Натисканням мережних кнопок і перемикачів включіть Щ-300, А565 і комплекс.
- Запустіть програму “Termo”. У розділі “Опції” встановіть адреса порту зв'язку і затримку (за вказівкою викладача).
- У розділі “Параметри” встановлюються необхідні значення температур, кроку вимірювань, потужність, режим вимірювання (за часом чи температурою) і режим роботи Щ-300: початкова температура 50 °С, кінцева температура 100 °С, потужність 10% від повної, крок за часом 2500 мілісек, крок по температурі 5 °С, поправка 10 %, умова переходу 5 %, квантування по температурі і Щ – 300 в режим вимірювання 1 А.
- Перед запуском процесу нагрівання очищається вікно даних (Файл/Очистити) і ставиться позначка (Файл/Позначка)
- Після установок необхідних параметрів запустіть процес вимірювання (Дослід/Запуск).
- В процесі нагрівання, якщо змінюються параметри вимірювання на Щ-300, необхідно установити позначку (Файл/Позначка).
- По закінченні вимірювань отримані дані можна зберегти у файлі з розширенням ТХТ (розділ “Файл/Зберегти як...”) чи скопіювати в буфер для подальшої обробки.
- Відключіть прилади і комплекс від мережі.

4.1.7 Порядок виконання курсової роботи

У ході виконання КР необхідно виміряти струми ТСД при різних температурах і умовах поляризації (табл. 4.2) залежно від варіанту.

Необхідно визначити енергію активації, частотний фактор, накопичений у процесі поляризації заряд розглянутими вище методами (п.п. 4.1.1, 4.1.2) і проаналізувати отримані значення, взаємозв'язок, похибку (п.п. 4.1.3).

Отримані дані необхідно представити у вигляді таблиць. Побудувати результати вимірювань $I(T)$, $\ln I(T)$, $\ln I(1/(kT))$, $I(t)$ та графічні залежності температури T_m , заряду Q_m , амплітуди I_m , енергії активації W від умов поляризації U_p , T_p , t_p , I_p .

Таблиця 4.3 – Умови експерименту та номери індивідуальних варіантів

№	Умови поляризації	№ вар.
1	2	3
1	Температурні залежності струмів ТСД для різних швидкостей нагрівання. Умови поляризації: $U_p=100$ В; $T_p=100$ °С; $d=0.5$ мм, $b = 0,05; 0.1; 0.15$ градус/сек.	1 10 19
2	Температурні залежності струмів ТСД для різних значень поляризуючого поля. Умови поляризації: $T_p=30$ °С; $d=0.5$ мм; $U_p = 50$ В, 100 В, 150 В.	2 11 20
3	Температурні залежності струмів ТСД для різних часів поляризації. Умови поляризації: $U_p=75$ В; $T_p=165$ °С; $d=0.3$ мм; $\beta=0.2$ градус/сек; $T_p = 30, 50, 100$ секунд.	3 12 21
4	Температурні залежності струмів ТСД для різних довжин хвиль поляризуючого світла. Умови поляризації: $U_p=100$ В; $T_p=40$ °С; $d=0.25$ мм; $t_p=60$ сек.; $\beta = 0,25$ градус/сек; $I_p = 700$ нм, 950 нм, 1060 нм.	4 13 22
5	Температурні залежності струмів ТСД для різних значень поляризуючого поля. Умови поляризації: $T_p=130$ °С; $d=0.1$ мм; $U_p = 50$ В, 100 В, 150 В.	5 14 23
6	Температурні залежності струмів ТСД для різних температур поляризації. Умови поляризації: $U_p = 75$ В, $t_p=100$ сек.; $d=0,25$ мм; $\beta=0,2$ °С/сек; $T_p=75, 100, 125$ °С.	6 15 24
7	Температурні залежності струмів ТСД для різних довжин хвиль поляризуючого світла. Умови поляризації: $U_p=200$ В; $T_p=150$ °С; $d=0.25$ мм; $t_p=60$ сек.; $\beta = 0,25$ градус/сек; $I_p = 700$ нм, 950 нм, 1060 нм.	7 16 25

Продовження таблиці 4.3

1	2	3
8	Температурні залежності струмів ТСД для різних значень поляризуючого поля. Умови поляризації: $T_p=200\text{ }^{\circ}\text{C}$; $d=0,1\text{ мм}$; $U_p = 150\text{ В}, 200\text{ В}, 350\text{ В}$.	8 17 26
9	Температурні залежності струмів ТСД для різних температур поляризації. Умови поляризації: $U_p=300\text{ В}$; $t_p=100\text{ сек.}$; $d = 0,3\text{ мм}$; $\beta = 0,2\text{ градус/сек.}$ $T_p = 50\text{ }^{\circ}\text{C}, 150\text{ }^{\circ}\text{C}, 200\text{ }^{\circ}\text{C}$.	9 18 27

4.2 Вимірювання потенціалу і електричного поля в широкозонних напівпровідниках і вузькозонних діелектриках

Накладення електричного поля на зразок супроводжується його складним просторовим розподілом. Крім того, за певних умов поляризації можуть бути сформовані термо- і фотоелектретний стан (ТЕС і ФЕС), що характеризуються високою стабільністю. Динаміка перерозподілу поля і характеристики електретного стану тісно пов'язані зі спектром локальних енергетичних рівнів забороненої зони, типом контактів (бар'єрний, інжектуючий та ін.) і природою релаксаторів. У той же час відомо, що особливості розподілу поля впливають на параметри спектрів струмів термостимульованої деполізації (ТСД), що спостерігаються при релаксації ТЕС і ФЕС.

Початковими даними для розрахунків є вимірювання координатних залежностей потенціалу $\psi(x)$, отримані методом потенційного зонда під мікроскопом.

Координатні залежності напруженості поля $E(x)$ і густини заряду $r(x)$ можна розрахувати за допомогою рівняння Пуассона:

$$\frac{d^2Y}{dx^2} = (ee_0)^{-1} r(x), \quad (4.15)$$

де $e_0=8,85 \cdot 10^{-12}\text{ Фм}^{-1}$, e - статична діелектрична проникність матеріалу (обирається згідно варіанту).

Інтегрування залежності $r(x)$ дозволяє визначити величину загального накопиченого в процесі поляризації заряду:

$$Q = \int_a^b r(x) dx, \quad (4.16)$$

де $a=0$, $b=1$ і заряду в прикатодній і прианодній областей у межах інтегрування $a=0$, $b=0.3$ і $a=0.7$, $b=1$, відповідно. Для характеристики розподілу потенціалу, поля та заряду використовуються безрозмірні змінні: $x/x_{\max}$, $\psi/\psi_{\max}$, $E/E_{\max}$, $r/r_{\max}$. Об'ємна величина накопиченого заряду: r/V , Q/V .

4.2.1 Обладнання та метод вимірювання поверхневого потенціалу

Установка для вимірювання поверхневого потенціалу методом зонду передбачає:

- блок живлення,
- електростатичний вольтметр (на основі п'єзоелемента, має великий внутрішній опір),
- систему підсвічування з набором світлофільтрів,
- кристалоутримувач,
- нагрівальний елемент з регулятором температури,
- потенційний зонд.

Контакт зонда із зразком контролюється під мікроскопом, так як деформація поверхні зразка може внести значну похибку в вимірювання. Також з цією метою зонд орієнтований до зразків під кутом, а не перпендикулярно.

Методика вимірювання поверхневого потенціалу

- Встановити зразок в кристалоутримувач.
- Нагріти зразок до заданої температури.
- Прикласти зовнішню електричну напругу (0 на анод, ϕ на катод) до зразка.
- Висвітлити зразок світлом із заданою довжиною хвилі.
- Опустити зонд на прианодну область зразка і виміряти потенціал на поверхні зразка за допомогою електростатичного вольтметра.
- Переміщаючи зонд до катоду виконати наступні вимірювання потенціалу на поверхні зразка.

4.2.2 Порядок виконання курсової роботи

Прикладення електричного поля до кристалу супроводжується зміною внутрішнього електричного поля, яке набуває складного просторового розподілу. Динаміка перерозподілу поля і характеристики електретного стану тісно пов'язані зі спектром локальних енергетичних рівнів забороненої зони, типом контактів і природою релаксаторів.

В процесі виконання курсової роботи потрібно отримати і побудувати графіки розподілу потенціалу, електричного поля і заряду при відповідних зовнішніх умовах (електрична напруга, температура, освітлення). Необхідно визначити наявність високоомних областей, величину накопиченого об'ємного заряду. З метою досконалішого аналізу побудуйте на одному графіку криві залежності потенціала, поля та заряду в відносних одиницях. Вихідні дані: геометричні розміри зразка ($1 \times 5 \times 10 \text{ мм}^3$) та статична діелектрична проникність матеріалу наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Статична діелектрична проникність кристалів

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ϵ	40	42	44	46	48	50	52	54	56
№ варіанта	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ϵ	58	60	41	43	45	47	49	51	53
№ варіанта	19	20	21	22	23	24	25		
ϵ	55	57	59	37	35	33	30		

4.2.3 Ключові моменти, які відображаються в пояснювальній записці

Виконання курсової роботи передбачає відображення в пояснювальній записці наступне:

- Принцип дії і схему просторово-часового модулятора світла (варіанти: 1 – рідкокристалічний, 2 – твердотільний, 3 – поперечна орієнтація вектора електричного поля і оптичного сигналу, 4 – поздовжня орієнтація електричного поля і оптичного сигналу).
- Описати метод потенціального зонду.

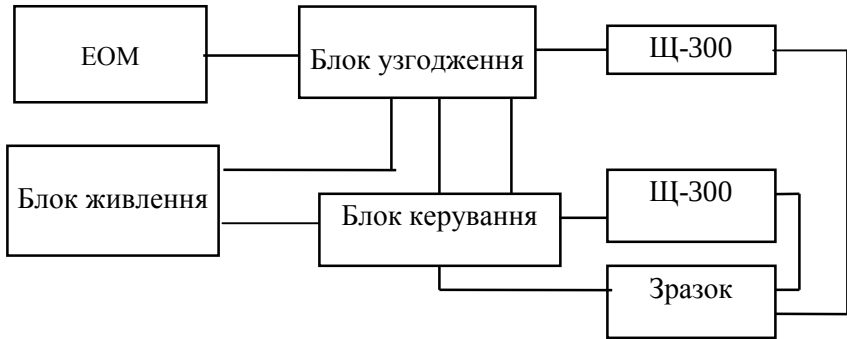
- Навести принцип дії електростатичного вольтметру.
- Виконати вимірювання розподілу потенціалу по поверхні зразка. Отримані експериментальні данні навести у вигляді таблиці. Побудувати координатні залежності потенціалу $\psi(x)$, які отримані засібом потенційного зонда під мікроскопом.
- Виконати розрахунок розподілу внутрішнього електричного поля $E(x)$ и заряду $\rho(x)$ по формулі (4.15, 4.16). Отримані величини навести у вигляді таблиць та графіків.
- Виконати розрахунок накопиченого заряду Q (сумарний заряд, сумарний позитивний заряд, сумарний негативний заряд, прианодний сумарний заряд, прианодний сумарний позитивний заряд, прианодний сумарний негативний заряд, прикатодний сумарний заряд, прикатодний сумарний позитивний заряд, прикатодний сумарний негативний заряд) по формулі визначення площі під кривою методом трапецій.
- Зробити висновок про вид сформованого заряду в зразку (гомозаряд або гетеро заряд, система сендвіч); який контакт метал (Pt)-зразок (омічний контакт, бар'єрний тип контакту, інжекція або ексклюзія) має місце.
- Виконати розрахунок накопиченого об'ємного заряду Q_v діленням отриманих величин Q на об'єм V зразка.
- Виконати розрахунок концентрації носіїв заряду діленням отриманих величин Q_v на заряд електрону.
- Для характеристики розподілу потенціалу, поля та заряду побудувати на одному графіку названі залежності у безрозмірних змінних.
- Побудувати колірну зарядограму (області з позитивним зарядом відображаються червоним кольором, а з негативним – синім).

4.3 Вимірювання ВАХ

Установка для вимірювання ВАХ призначена для зняття залежності струму від напруги на досліджуваному зразку. Прилади живляться від мережі змінного струму $220V \pm 10\%$ частотою $50 \text{ Гц} \pm 10\%$. Максимальна потужність, споживана з мережі, $10W$. Модуль являє собою пристрій зв'язку між вимірювальними приладами Щ-300 і пер-

сональним комп'ютером.

Функціонально модуль складається із трьох блоків (рис.4.8): керування, узгодження і живлення.



ЕОМ – персональний комп'ютер; Щ-300 – цифровий вольтметр

Рисунок 4.8 – Блок-схема підключення модуля інтерфейсу

Блок керування зібраний на мікросхемі K155ЛН1 (інвертор) і призначений для керування модулем узгодження. Під час роботи блок керування два рази в секунду перемикає блок узгодження або в режим прийому даних із Щ-300 або в режим передачі даних у комп'ютер.

Блок узгодження зібраний на чотирьох мікросхемах K155ІР9 (восьмирозрядні регістри зсуву з паралельним введенням інформації) і здійснює узгодження між Щ-300 і комп'ютером під час експерименту. Кількість мікросхем обумовлена кількістю знаків, зчитуваних із Щ-300. За сигналом високого рівня із блоку керування дані із Щ-300 від паралельно завантажуються в блок узгодження. За сигналом низького рівня із блоку керування дані послідовно передаються у комп'ютер для подальшої обробки.

Досліджуванний зразок підключається до виводів на вимірювальному зонді. Зонд, у свою чергу, підключається до входу комплексу на передній панелі корпусу. Кабелями підключають до відповідних входів Щ-300. На задній панелі комплексу є роз'єм для підключення комп'ютера за допомогою спеціального кабелю через LPT-порт. Комплекс і Щ-300 включаються в мережу 220 В.

На початку експерименту програмно задається значення напруги, що подається на зразок; виставляються діапазони вимірювання

струму через зразок і спадання напруги на зразку (такі ж значення виставляються вручну на Щ-300); вибирається вид ВАХ (повна, пряма „гілка”, зворотна „гілка”), потім два рази в секунду за допомогою відповідних Щ-300 знімаються значення струму через зразок і спадання напруги на досліджуваному зразку (дискретному приладі) і через комплекс дані вводяться в комп'ютер.

Для зручності роботи до комплексу додається програмне забезпечення, що складається із програми "ВАХ". Програма написана мовою DELPHI. Програма запускається файлом ВАХ.EXE.

4.4 Магнітні вимірювання: визначення питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту P_α феромагнітної альфа-фази

Мета – освоїти вимірювання питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту P_α феромагнітної α -фази в конструкційних матеріалах.

Матеріали, обладнання: магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея, зразки хромо-нікелєвих сталей: 08X18H10, 12X18H10T, AISI 304, AISI 321 і сплаву ЭИ 943; високомарганцевих сталей: Г6Л, Г8Л, Г10Л, Г13Л, Г18Л та хромомарганцеві сталі: 140ХГ7, 130Х2Г7, 130Х4Г7.

Прогрес у сфері підвищення конкурентоспроможності, тобто оперативного й більш економічно вигідного контролю механічних і корозійних властивостей, потребує нових підходів до дослідження аустенітних сталей. Оскільки основну об'ємну частину цих сталей становить парамагнітний аустеніт, а при певному хімічному складі або гартуванні його кількість може досягати 100 %, то перспективним є дослідити вказані сталі з позицій атомно-магнітного стану. Тобто розглядати аустеніт передусім як парамагнетик, який характеризується своєрідною електронною будовою, для якого надчутливим параметром є питома парамагнітна сприйнятливість χ_0 (сумарний магнітний момент одиниці маси аустеніту при одиничному значенні магнітного поля). При цьому, параметр χ_0 є інтегральною характеристикою сформованого аустеніту внаслідок різноманітних факторів (хімічний склад, умови виплавлення, деформація, термообробка та ін.). Слід зауважити, що більшість досліджень присвячено вивченню магнітної сприй-

нятливості χ сталі (а не χ_0 аустеніту), яка може містити одночасно аустеніт і α -фазу (δ -ферит, мартенсит).

Поширеним методом регулювання структури і властивостей сталей аустенітних сталей на основі заліза є метод визначення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту, який містить або не містить низьку кількість феромагнітної α -фази (δ -ферит, α' -мартенсит деформації).

Аустенітна сталь розглядається як суміш двох середовищ:

- парамагнітне середовище (аустеніт),
- феромагнітне середовище (α -фаза).

Відповідно до цього загальну намагніченість зразка J можна вважати як суму намагніченостей обох середовищ, а саме:

$$J = J_0 + J_f, \quad (4.17)$$

де J_0 і J_f – намагніченість парамагнітного і феромагнітного середовищ.

Закон наближення намагніченості до насичення для досліджуваних зразків у кінцевому випадку має такий вигляд:

$$J = \chi_0 \cdot H + (J_s + \chi_p \cdot H), \quad (4.18)$$

де J – загальна намагніченість насичення зразка в магнітному полі H ,

J_s – спонтанна намагніченість насичення α -фази,

$\chi_p \cdot H$ – парапроцесна складова намагніченості насичення α -фази зразка,

$\chi_0 \cdot H$ – парамагнітна складова намагніченості зразка,

χ_p і χ_0 – відповідно об'ємні (безрозмірні) магнітні сприйнятливості парапроцесу і аустенітної матриці.

Якщо перейти до питомого намагнічення (ділимо на густину ρ речовини), одержуємо:

$$\sigma = \sigma_m + \chi_0 \cdot H + \chi_p \cdot H \quad (4.19)$$

де σ – загальна питома намагніченість зразка,

σ_m – феромагнітна складова питомої намагніченості α -фази зразка,

H – напруженість магнітного поля,

χ_0 – парамагнітна складова питомої сприйнятливості аустеніту зразка,

χ_p – парапроцесна складова питомої сприйнятливості α -фази зразка.

Позначимо результуючу питому магнітну сприйнятливість парапроцесу й аустенітного середовища зразка через χ_∞ :

$$\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p \quad (4.20)$$

З формули (4.19) для питомої магнітної сприйнятливості зразка маємо:

$$\chi = \frac{s_m}{H} + \chi_\infty \quad (4.21)$$

Кількість феромагнітної α -фази в об'ємних відсотках визначали за формулою:

$$P_a = \frac{s_m}{s_a} \cdot 100 = \frac{[c - (c_0 + c_p)] \cdot H}{s_a} \cdot 100\% = \frac{[c - c_\infty] \cdot H}{s_a} \cdot 100\% \quad (4.22)$$

де σ_m – феромагнітна складова питомої намагніченості насичення зразка, який містить α -фазу у кількості x % ((А·м²)/кг);

σ_α – питома намагніченість насичення зразка, який містить α -фазу в кількості 100 % ((А·м²)/кг);

χ – загальна питома магнітна сприйнятливість зразка;

χ_0 і χ_p – парамагнітна і парапроцесна складові питомої сприйнятливості аустеніту і α -фази зразка;

$\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p$ – результуюча питома магнітна сприйнятливість (χ_0 – парамагнітна сприйнятливість аустеніту зразка,

χ_p – сприйнятливість парапроцесу α -фази зразка);

H – напруженість магнітного поля.

Величину χ в області полів насичення визначають експериментально на магнітометричних терезах. За експериментальними лінійними залежностями $\chi(1/H)$ методом екстраполяції ($H \rightarrow \infty$, $1/H \rightarrow 0$) визначають χ_∞ і за вказаною вище формулою – кількість феромагнітної

фази в об'ємних відсотках. Для визначення питомої намагніченості σ_α феромагнітної α -фази використовують формули С.Д. Ентіна, О.П. Гуляєва і І.Б. Черненко.

Питому магнітну сприйнятливості аустеніту χ_0 , або питому намагніченість σ_0 аустеніту визначали з графічної залежності $\chi=f(P_\alpha)$, або $\sigma=f(P_\alpha)$ при екстраполяції $P_\alpha \rightarrow 0$. Якщо вираз (4.22) привести до вигляду

$$c = \frac{P_a S_a}{H} + c_0 + c_p, \quad (4.23)$$

то формула (4.23) при $P_\alpha \rightarrow 0$ ($\chi_p = 0$) для постійного H набуває вигляду $\chi = \chi_0$.

Значення χ_0 можна також знайти за графічними залежностями $\chi(P_\alpha)$. При продовженні прямих до перетину з віссю ординат ($P_\alpha \rightarrow 0$, $\chi_p \rightarrow 0$), одержано числове значення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 . Нахил прямих обумовлений пропорційною залежністю загальної питомої сприйнятливості χ від кількості феритної складової P_α . При цьому рівняння (4.23) набуває вигляду:

$$c = \frac{P_a \cdot S_a}{H} + c_\infty. \quad (4.24)$$

4.4.1 Засіб вимірювання: магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея, метод «нульового відхилення»

Існує достатньо велика кількість методів вимірювання магнітних властивостей слабомагнітних сталей та сплавів, кожен з яких має низку переваг і недоліків. Для вимірювання магнітної сприйнятливості широко використовують метод Фарадея. Досліджуваний зразок при цьому розміщують в зону постійного градієнта магнітного поля і вимірюють силу, яка діє на зразок. Найчастіше для вимірювання сили використовують маятникові магнітні терези, в яких зразок при його взаємодії з градієнтним магнітним полем електромагніту переміщується в горизонтальному напрямку. Особливістю установок є спосіб реєстрації відхилення від нульового положення зразка, наприклад, магнітометричні терези з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми або з фотоелектричною реєстрацією.

єю нульового положення. Зміна величини магнітного поля, що діє на зразок, реєстрація нульового положення (електромагнітна компенсація) здійснюються вручну або автоматизованою системою управління експериментом з реєстрацією вимірювань в електронному вигляді.

Установка представлена магнітометричними терезами з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми (рис. 4.9). Магнітометрична установка містить: кварцовий стержень 1, підвішений на біфілярі 2, уніполярний магнетик 3 з лезом 4, дзеркало 5, ампулу 6 для розміщення еталонного і досліджуваних зразків сталі; демпфера 7, компенсаційну котушку 8 з магнітиком 9, шкали 10 з освітлювачем 11, підвісу 12. Уніполярний магнетик 3 є однополюсний магнітик, що представляє собою два магнітних паралелепіпеда, які з'єднані однаковими полюсами з метою уникнення впливу зовнішніх магнітних полів.

Спосіб дії установки: ампула 6 зі зразком масою $m_{зр}$ розміщується в постійному градієнтному магнітному полі. Під дією магнітного поля H ампула 6 зі зразком зміщується. Поступальний рух стрижня 1 через магнітне зчеплення леза 4 з магнітиком 3 переходить в обертальний рух підвісу 12, на якому розташоване дзеркало 5. Від освітлювача 11 падає промінь світла на дзеркало 5, від якого відбивається на шкалу 10. Для повернення світлового променя на шкалі в нульове положення використовують компенсаційну котушку 8, в якій знаходиться магнітик 9, прикріплений до стрижня 1. При цьому вимірюється величина компенсаційного струму $I_{зр}$, який подається на компенсаційну котушку 8.

Питому магнітну сприйнятливість визначали відносним методом за формулою:

$$c = \frac{I_{зр} \cdot m_{ет}}{I_{ет} \cdot m_{зр}} c_{ет}, \quad (4.24)$$

де $I_{зр}$ і $I_{ет}$ – відповідно компенсаційні струми для зразка і еталону,
 $m_{зр}$ і $m_{ет}$ – відповідно маса зразка і еталону,
 $\chi_{ет}$ – магнітна сприйнятливість еталону.

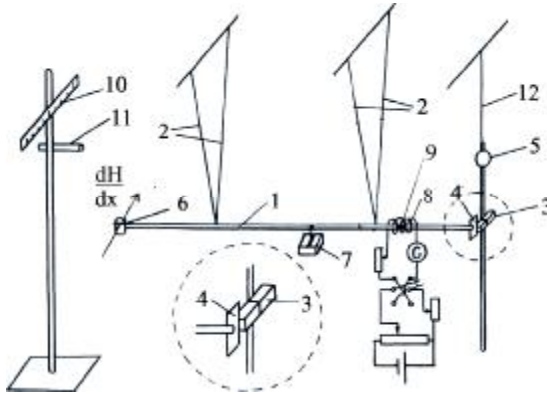


Рисунок 4.9 – Магнітометрична установка для визначення парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості

При вимірах χ досліджуваних зразків враховувалась поправка на компенсаційний струм пустої ампулки (і кінця стрижня), а саме

$$I_{\text{зр}} = I'_{\text{зр}} \pm I_{\text{амп}}, I_{\text{ет}} = I'_{\text{ет}} \pm I_{\text{амп}}, \quad (4.25)$$

де $I'_{\text{зр}}$ і $I'_{\text{ет}}$ відповідно сумарні компенсаційні струми зразка і еталону; знак “+” чи “-” обирається залежно від матеріалу ампулки (діамагнетик чи парамагнетик).

Для градуювання магнітометричної установки обрано стандартну речовину – сіль Мора ($\text{Fe}_2\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), для якої відома питома магнітна сприйнятливість. так для $T = 293 \text{ K}$ $\chi_{\text{ет}} = 3,23 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

4.4.2 Автоматизована магнітометрична установка

Автоматизації підлягали спосіб реєстрації величини відхилення від нульового положення зразка, керування струмом компенсації та величиною магнітного поля діючого на зразок. Визначення зміщення стрижня виконується безконтактно – на основі зміни частоти LC-генератора 5 (рис. 4.10). Роль датчика зміщення зразка виконує осердя 3 котушки індуктивності 4, яке закріплене на рухомому стрижні 1. Виконавчий пристрій здійснює поступову зміну силового магнітного поля, залежно від зміни частоти, яка відповідає зміщенню стрижня від

положення рівноваги та подає сигнал «компенсації зміщення» на компенсаційну котушку 8.

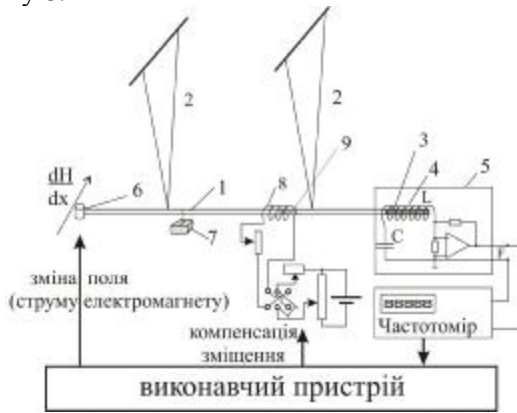


Рисунок 4.10 – Автоматизована магнітометрична установка

Функціональна блок-схема автоматизованої установки для вимірювання магнітної сприйнятливості наведено на рис. 4.11.

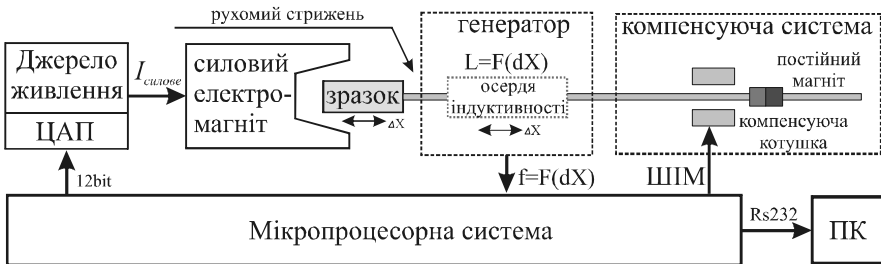


Рисунок 4.11 – Функціональна блок-схема установки для автоматичного управління процесом вимірювання магнітної сприйнятливості

Основою установки є мікропроцесорна система (МПС), що базується на восьмирозрядних мікроконтролерах AVR фірми ATMEЛ, яка забезпечує автоматичну зміну струму обмотки силового магніту, підбір струму обмотки котушки для компенсації зміщення зразка від положення рівноваги та передачу цих значень на комп'ютер. Силовий електромагніт дозволяє створювати в щілині для зразків напруженість магнітного поля до 10^6 А/м. Величина струму силового магніту зада-

ється МПС (за допомогою 12-бітного цифрового коду). Точність задання струму $\pm 0,024\%$, що складає $\pm 4,8$ мА для максимального струму 20 А.

Алгоритм роботи установки наведено на рис. 4.12. На початку роботи МПС виконує ініціалізацію початкового стану, а саме встановлює струми силового електромагніта і компенсуючої котушки на нульовому рівні заданням цифрового коду $DAC=0$ для ЦАП та сигналу $PWM=0$ для компенсуючої котушки.

Інтерфейс користувача наведено на рис. 4.13. На початковому етапі експерименту установка розпочинає збільшувати струм силового електромагніту поступовою зміною цифрового коду для ЦАП. Під дією магнітного поля зразок, залежно від його магнітних властивостей, втягується або виштовхується із зазору магніту. На першому кроці зміни струму $I_{\text{силове}}$ система визначає полярність напруги на компенсуючій котушці. При частоті генератора 300 кГц чутливість датчика складає ~ 250 Гц/мкм.

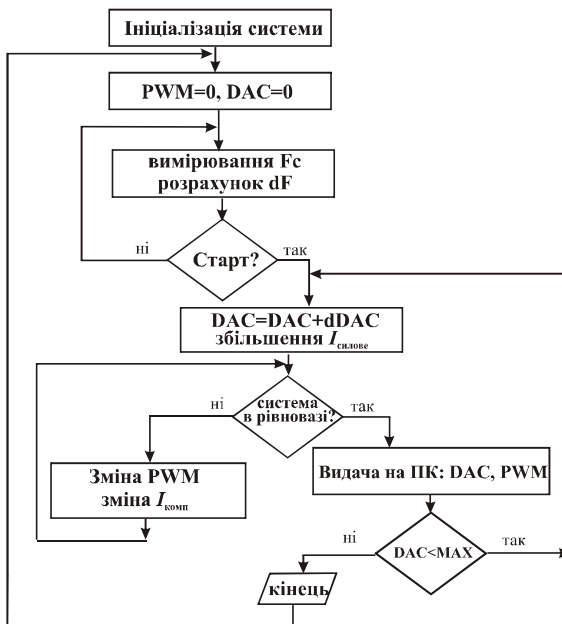
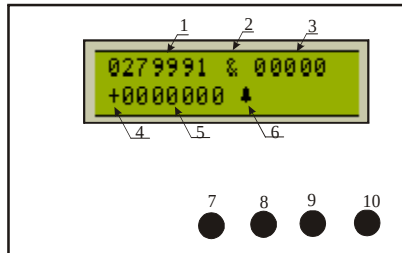


Рисунок 4.12 – Алгоритм роботи мікропроцесорної системи

Залежно від величини та знаку зміни поточної частоти генератора F_c від зразкової частоти, яка відповідає нульовому положенню, МПС формує сигнал для встановлення необхідної полярності напруги та широтно-імпульсний сигнал ШІМ (8 КГц) для задання величини компенсуючої напруги в котушці. При досяганні положення рівноваги зразка, МПС виконує посилку даних на комп'ютер для запису даних у текстовий файл.

Далі МПС збільшує поточне значення струму $I_{\text{силове}}$ через збільшення сигналу DAC, і увесь процес повторюється. Після досягнення максимального заданого струму $I_{\text{силове}}$ система переходить у початковий стан через плавну зміну струму до нуля. МПС передає дані на ПК через систему узгодження рівнів сигналів, виконану на перетворювачі фірми MAXIM. Для системи компенсації розроблена модель генератора квазі-ШІМ сигналів, яка перетворює ШІМ-сигнал в амплітудно-модульований сигнал.



- 1 – значення поточної частоти генератора (F_c); 2 – розділювач; 3 – значення сигналу ШІМ (від 0 до 2000); 4 – знак «+» або «-», який означає напрямок зрушення;
 5 – значення різниці частот ($F_c - F_m$); 6 – символ початку роботи;
 7 – кнопка «Старт/Стоп/Плюс»; 8 – кнопка «ОК»; 9 – кнопка «Пам'ять/Мінус»; 10 – кнопка «Налаштування».

Рисунок 4.13 – Інтерфейс користувача

Розроблена установка дозволяє автоматично отримувати залежність струму компенсації зміщення зразка від струму силового магніту у вигляді файлу на комп'ютері. Час отримання сукупності експериментальних даних залежить від кількості точок, діапазону вимірювання і складає 5...10 секунд на одне вимірювання.

Температурний модуль забезпечує автоматичну зміну (в режимі лінійного нагрівання, 1...20 К/хв.) або підтримку заданої температури

(± 0.1 K). При досягненні заданої температури мікропроцесорна система автоматично виконує посилку даних на комп'ютер.

4.4.3 Приклад розрахунку та визначення питомої магнітної сприйнятливості на підставі експериментальних даних

Наприклад, для сталі 140ХГ7 еталонний зразок мав масу $m_{zp}=147.9$ мг. Під дією магнітного поля $H=2.55 \cdot 10^5$ А/м він змістився і для його повернення у вихідне положення був прикладений компенсаційний струм $i_{zp}=9.4$ мА. Для знаходження парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості c_0 еталонного зразка використовували відоме для солі Мора табличне значення магнітної сприйнятливості $c_m=3.2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

Для солі Мора масою $m_m=65$ мг компенсаційний струм становив $i_m=3.78$ мА. Відносна похибка вимірювань складала $2 \div 3\%$.

Використовуючи наступні вирази для еталонного зразка сталі 140ХГ7 і солі Мора: $i_{zp} = m_{zp} \cdot c_0 \cdot H \frac{dH}{dx}$, $i_m = m_m \cdot c_m \cdot H \frac{dH}{dx}$, отримаємо формулу для розрахунку парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості χ_0 сталі 140ХГ7:

$$c_0 = \frac{i_{zp}}{i_m} \cdot \frac{m_m}{m_{zp}} \cdot c_m = \frac{9.4}{3.78} \cdot \frac{65.0}{147.9} \cdot 3.2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{mA}{mA} \cdot \frac{mг}{mг} \cdot \frac{m^3}{кг} \right) = 3.5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Відносна похибка вимірювань питомої магнітної сприйнятливості складала $2 \div 3\%$. Тому, питома магнітна сприйнятливість сталі 140ХГ7 $\chi = (3,497 \pm 0,087) \cdot 10^{-8}$ м³/кг.

4.4.4 Порядок проведення курсової роботи

- Виміряти геометричні розміри і масу досліджуваного зразка конструкційної аустенітної сталі.
- Встановити зразок в кварцову ампулу і помістити її між полюсами електромагніту.

– Змінюючи величину вбрані магнітного поля в межах $H=(1,16\dots6,17)\cdot 10^5$ А/м виміряти струм компенсації (10-12 вимірів).

– Виконати розрахунок для визначення питомої магнітної сприйнятливості.

– Побудувати експериментальну залежність $\chi(1/H)$. У випадку відсутності нахилу (наприклад, рис. 4.14, пряма 3), зафіксувати питому парамагнітну сприйнятливість χ_0 аустеніту.

– У випадку наявності нахилу, що свідчить о наявності феромагнітної α -фази (наприклад, рис. 4.14, прямі 1 і 2) з експериментальної залежності $\chi(1/H)$ екстраполяцією знайти χ_∞ і за формулою (4.22) визначити кількість P_c .

– Зробити висновок такого зміста (на прикладі рис. 4.14).

Наявність феромагнітних карбідів у початковому стані сталей 110Г8Л і 110Г10Л підтверджується нахилом прямих експериментальних залежностей питомої магнітної сприйнятливості χ від оберненої величини магнітного поля H (рис. 4.14, прямі 1 і 2). Екстраполюючи ($H \rightarrow \infty$) ці прямі на вісь χ , знаходили значення χ_∞ і визначали кількість феромагнітних карбідів заліза (Fe_3C).

Сталі 110Г8Л і 110Г10Л містили кількість карбідів 0,071 % і 0,028 %. У сталі 110Г13Л наявність феромагнітних карбідів незафіксована ($P_c = 0$).

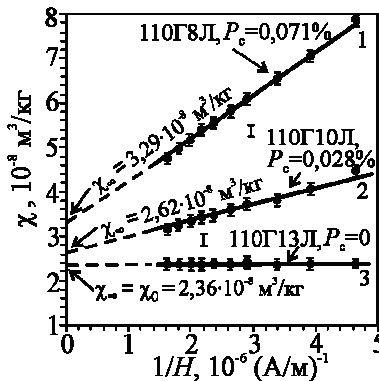


Рисунок 4.14 – Залежність питомої магнітної сприйнятливості χ досліджуваних сталей (до деформації) 110Г8Л, 110Г10Л, 110Г13Л від оберненої напруженості магнітного поля H

Сталь 110Г13Л була повністю аустенізована, що підтверджується горизонтальною лінією $\chi(1/H)$ (рис. 4.14, пряма 3). Для цієї сталі питома магнітна сприйнятливість парамагнітного аустеніту: $\chi_0 = 2,36 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

4.4.5 Зміст ПЗ курсової роботи

- Коротке викладання основних положень теорії та експериментального обладнання. Описання методики вимірювання намагніченості і схем установки та її описання.
- Заповнена таблиця з експериментальними донними: зовнішнє магнітне поле, струм компенсації.
- Розрахунок питомої магнітної сприйнятливості. Побудований графік залежності $\chi(1/H)$.
- Розрахунок кількості феромагнітної α -фази в об'ємних відсотках.
- Використовуючи додатки А і Б зробити висновок про якість механічних та корозійних властивостей досліджуваних сталей

4.4.6 Запитання для самоперевірки і контролю

- а. Формула для визначення кількості феромагнітної α -фази в об'ємних відсотках.
- б. Яким чином можливо визначити результуючу питому магнітну сприйнятливість χ_∞ .
- в. Магнітометричне обладнання типу терезів Фарадея. В чому полягає принцип «нульового відхилення».
- г. Навіщо використання еталонних зразків при визначенні χ .
- д. Які переваги автоматизації вимірювань χ .
- е. Про що свідчить горизонтальна лінія залежності $\chi(1/H)$?
- ж. Про що свідчить наявність нахилу залежності $\chi(1/H)$?
- з. Яким чином виключивши інформацію о магнітному стані аустеніту можливо отримати відомості про механічні та корозійні властивості аустенітних конструкційних сталей?
- и. Визначення питомої парамагнітної сприйнятливості: сталі χ , аустеніту χ_0 .

4.5 АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ

4.5.1 Загальні відомості

Контроль температури необхідний для забезпечення належної роботи різних установок, коли необхідно мати точне уявлення про температуру різних окремих частин і вузлів електромашин, трансформаторів та інших пристроїв. При виробництві пуско-налагоджувальних випробувань здійснюються також визначення температур для уточнення інформації про: опір постійному струму; діелектричних втра-тах; стані ізоляції.

Серед найбільш поширених методів контролю температури варто виділити т. зв. метод термометра, коли дослідження проводяться за допомогою спеціального приладу, у вигляді складається з запаяної колби (варіант - балончик з капіляром) і відповідної шкали термометра (спиртового, ртутного і ін.). При визначеннях цим методом чутливий елемент (або ж резервуар) термометра повинен безпосередньо контактувати з поверхнею вимірюваного об'єкта.

Важливо розуміти, що такий метод непридатний, коли температура нагріву досліджуваного апарату або вузла може істотно змінитися через присутність термометра. Для таких випадків передбачається застосування термопар. Існують і інші методи контролю температури, наприклад, метод вимірювань опору.

4.5.2 Терморезистор

Терморезистор - напівпровідниковий резистор, в якому використовується залежність електричного опору напівпровідникового матеріалу від температури (рис. 4.15).

Для терморезистора характерні великий температурний коефіцієнт опору (ТКО) (в десятки разів, що перевищує цей коефіцієнт у металів), простота пристрою, здатність працювати в різних кліматичних умовах при значних механічних навантаженнях, відносно невисока довготривала стабільність характеристик. Терморезистор виготовляють у вигляді стрижнів, трубок, дисків, шайб, бусинок і тонких пластинок переважно методами порошкової металургії. Їх розміри можуть варіюватися в межах від 1-10 мкм до 1-2 см.

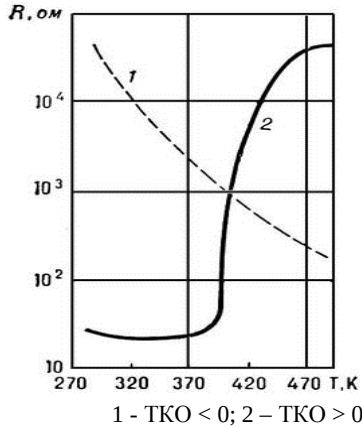


Рисунок 4.15 - Залежність опору терморезистора від температури

Основними параметрами терморезистора є: номінальний опір, температурний коефіцієнт опору, інтервал робочих температур, максимально допустима потужність розсіювання. Терморезистор був винайдений Самюелем Рубеном в 1930 році. Розрізняють терморезистори з негативним (термістори) і позитивним (позистора) ТКС. Їх ще називають NTC-термістори (Negative temperature coefficient) і PTC-термістори (Positive temperature coefficient) відповідно. У позисторов з ростом температури зростає опір, а у термісторів - навпаки: при збільшенні температури опір падає.

4.5.3 Термопара

Термопара (термоелектричний перетворювач) - пристрій, що застосовується для вимірювання температури в промисловості, наукових дослідженнях, медицині, в системах автоматики. Міжнародний стандарт на термопари МЕК 60584 дає наступне визначення термопари: Термопара - пара провідників з різних матеріалів, з'єднаних на одному кінці і формують частину пристрою, що використовує термоелектричний ефект для вимірювання температури.

Принцип дії заснований на ефекті Зеебека або, інакше, термоелектричному ефекті. Між з'єднаними провідниками є контактна різниця потенціалів; якщо стики пов'язаних в кільце провідників знаходять-

ся при однаковій температурі, сума таких різниць потенціалів дорівнює нулю. Коли ж стики знаходяться при різних температурах, різниця потенціалів між ними залежить від різниці температур. Коефіцієнт пропорційності в цій залежності називають коефіцієнтом термо-ЕРС. У різних металів коефіцієнт термо-ЕРС різний і, відповідно, різниця потенціалів, що виникає між кінцями різних провідників, буде різна. Помістивши спай з металів з відмінними коефіцієнтами термо-ЕРС в середу з температурою T_1 , ми отримаємо напругу між протилежними контактами, які перебувають при іншій температурі T_2 , яке буде пропорційно різниці температур T_1 і T_2 .

Переваги термопар:

- висока точність вимірювання значень температури (аж до $\pm 0,01$ °C);
- великий температурний діапазон виміру: від -250 °C до 2500 °C;
- простота;
- дешевизна;
- надійність.

Недоліки:

- ефект Пельтьє (в момент зняття показань, необхідно виключити протікання струму через термопару, так як струм, що протікає через неї, охолоджує гарячий спай і розігріває холодний);
- залежність ТЕДС від температури нелінійна. Це створює труднощі при розробці вторинних перетворювачів сигналу;
- виникнення термоелектричної неоднорідності в результаті різних перепадів температур, механічних напружень, корозії і хімічних процесів в провідниках призводить до зміни градуовальної характеристики і похибок до 5 K.

4.5.4 Металевий терморезистор

Являє собою резистор, виконаний з металевого дроту або плівки і має відому залежність електричного опору від температури. Найбільш поширений тип термометрів опору - платинові термометри. Це пояснюється тим, що платина має стабільну і добре вивчену залежність опору від температури і високу стійкість до окислення, що забезпечує їх високу відтворюваність. Еталонні термометри виготовляються з платини високої чистоти з температурним коефіцієнтом

0,003925. В якості робочих засобів вимірювань застосовуються також мідні і нікелеві термометри. Початкове опір виготовленого терморезистора може бути будь-яким. Промислові платинові термометри опору в більшості випадків вважаються мають стандартну залежність опір-температура (НСХ), що обумовлює похибка не більше $0,1^{\circ}\text{C}$ (клас АА при 0°C). Термометри опору, виготовлені у вигляді напилень на підкладку плівки, відрізняються підвищеною віброміцністю, але меншим діапазоном робочих температур. Максимальний діапазон, в якому встановлені класи допуску платинових термометрів для дротяних чутливих елементів становить 660°C (клас С), для плівкових 600°C (клас С).

Переваги термометрів опорів:

- висока точність вимірювань (зазвичай краще $\pm 1^{\circ}\text{C}$), може доходити до 0,13 тисячних $^{\circ}\text{C}$ (0,00013);
- можливість виключення впливу зміни опору ліній зв'язку на результат вимірювання при використанні 3-х або 4-х провідної схеми вимірювань;
- практично лінійна характеристика.

Недоліки термометрів опорів:

- малий діапазон вимірювань (в порівнянні з термопарами);
- дорожнеча (в порівнянні з термопарами з неблагородних металів, для платинових термометрів опору типу ТСП);
- потрібно додаткове джерело живлення для завдання струму через датчик.

4.5.5 Пірометр

Пірометр - прилад для безконтактного вимірювання температури тіл. Принцип дії заснований на вимірюванні потужності теплового випромінювання об'єкта вимірювання переважно в діапазонах інфрачервоного випромінювання і видимого світла.

Пірометри застосовують для дистанційного визначення температури об'єктів в промисловості, побуті, сфері ЖКГ, на підприємствах, де велике значення набуває контроль температур на різних технологічних етапах виробництва (сталеливарна промисловість, нафтопереробна галузь). Пірометри можуть виступати в ролі засобу безпечного дистанційного вимірювання температур розпечених об'єктів, що робить їх незамінними для забезпечення належного контролю у випад-

ках, коли фізична взаємодія з контрольованим об'єктом неможливо через високі температури. Їх можна застосовувати в якості теплолокаторів (вдосконалені моделі), для визначення областей критичних температур в різних виробничих сферах.

Пірометри можна розділити за кількома основними ознаками:

- Оптичні. Дозволяють візуально визначати, як правило, без використання спеціальних пристроїв, температуру нагрітого тіла, шляхом порівняння його кольору з кольором еталонної нитки;

- Радіаційні. Оцінюють температуру за допомогою перерахованого показника потужності теплового випромінювання. Якщо пірометр вимірює в широкій смузі спектрального випромінювання, то такий пірометр називають пірометром повного випромінювання;

- Кольорові (інші назви: мультиспектральні, спектрального відношення) - дозволяють робити висновок про температуру об'єкта, ґрунтуючись на результатах порівняння його теплового випромінювання в різних діапазонах;

- Низькотемпературні. Мають здатність показувати температури об'єктів, що володіють навіть від'ємними значеннями цього параметра;

- Високотемпературні. Оцінюють лише температуру сильно нагрітих тіл, коли визначення «на око» неможливо. Зазвичай мають сильне зміщення на користь «верхнього» межі вимірювання.

4.5.6. Вимірювачі регулятори технологічні (ВРТ) серії 5922

4.5.6.1 Призначення і загальні характеристики приладу ВРТ 5922

ВРТ призначені для вимірювання, контролю та регулювання температури та інших неелектричних величин, перетворених в електричні сигнали сили, напруги постійного струму і активний опір постійному струму. ВРТ можуть бути використані в різних технологічних процесах промисловості. ВРТ є мікропроцесорними, переконфігуруємими споживачем приладами, з індикацією поточних значень перетворюються величин і призначені для функціонування, як в автономному режимі, так і спільно з іншими приладами, об'єднаними в локальну комп'ютерну мережу. Перегляд і зміна параметрів конфігурації

ВРТ проводиться як з кнопкової клавіатури, так і за допомогою програми «Налаштування приладів серії ВРТ 5900 і ІПМ 0399» при підключенні приладів до комп'ютера.

Зв'язок приладу з комп'ютером здійснюється по інтерфейсу RS 232 або RS 485, тип інтерфейсу вказується при замовленні приладу. Індикація вимірюваних величин в ІРТ відбувається на основному світлодіодному індикаторі (СД-індикаторі). На додатковому чотирьохрядном СД-індикаторі може відображатися одна з трьох уставок або значення параметра конфігурації. Індикація спрацьовування реле здійснюється за допомогою одиничних СД-індикаторів. ВРТ здійснюють контроль достовірності вхідних сигналів (рис. 4.16).

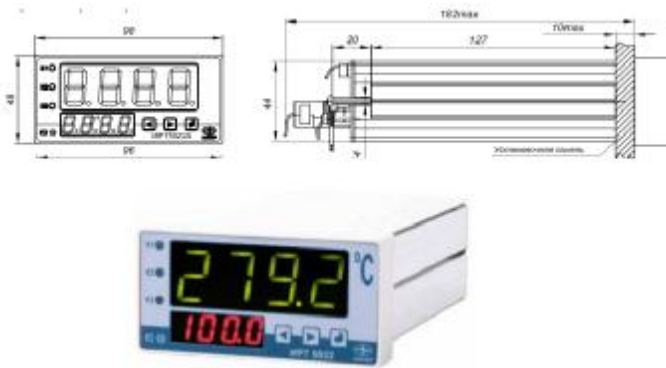


Рисунок 4.16 - Загальний вигляд і габаритні розміри приладу ВРТ

ВРТ призначені для роботи з уніфікованими вхідними електричними сигналами у вигляді постійного струму 0...5, 0...20 або 4...20 мА, з термоперетворювачами опору (ТО) і перетворювачами термоелектричними (ТП), а також для вимірювання напруги постійного струму до 100 мВ і опору постійному струму до 320 Ом.

До складу ВРТ входить вбудований джерело напруги 24 В, призначений для живлення первинних перетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом постійного струму.

ВРТ мають:

- три уставки (можливість зміни уставок захищена від несанкціонованого доступу);
- три канали управління електричними ланцюгами.

ВРТ стійкі і міцні до впливу температури навколишнього повітря від мінус 10 до плюс 50 ° С. ВРТ стійкі і міцні до впливу вологості до 95-98 % при температурі навколишнього повітря +35 °С відповідно. ВРТ стійкі і міцні до впливу синусоїдальної вібрації в діапазоні частот від 1 до 100 Гц при амплітуді віброприскорення 20 м/с². ВРТ не мають конструктивних елементів і вузлів з резонансними частотами від 5 до 25 Гц. ВРТ стійкі і міцні до впливу механічних ударів одиночної дії з піковим ударним прискоренням 20 м/с², тривалістю ударного імпульсу від 2 до 20 мс і загальною кількістю ударів 30. ВРТ стійкі і міцні до впливу механічних ударів багаторазової дії з піковим ударним прискоренням 30 м/с², з кращою тривалістю дії ударного прискорення 10 мс (допускається тривалість - від 2 до 20 мс) і кількістю ударів в кожному напрямку 20.

ВРТ 5922 з додаванням в шифрі індексу «А», «А/Д» або «А/М» (підвищеної надійності) виконані у виконанні для АЕС, використовуються в складі систем управління технологічними процесами атомних електростанцій (АЕС).

4.5.6.2 Принцип роботи приладу ВРТ

До складу ВРТ входять модулі:

- модуль імпульсного блоку живлення (з гальванічною розв'язкою від мережі) і комутації, з трьома реле каналів сигналізації;
- модуль індикації та клавіатури;
- модуль АЦП;
- модуль ПВІ з гальванічною розв'язкою;
- модуль інтерфейсів RS 232 або 485 з гальванічною розв'язкою;
- блок реле;
- мікропроцесорний блок управління.

Модуль імпульсного блоку живлення перетворює мережеве напруга 220 В частотою 50 Гц в постійні стабілізовані напруги для живлення модулів індикації і клавіатури, АЦП, інтерфейсів RS 232/485, блоку реле, блоку управління. Кнопка виключення живлення не передбачена, так як ВРТ призначений для роботи в безперервному режимі.

Модуль індикації та клавіатури призначений для:

- візуалізації результатів вимірювань і параметрів конфігурації ВРТ;

- виведення цифрової і символної інформації про поточний стан приладу;
- керування роботою приладу за допомогою кнопок, розташованих на лицьовій панелі.

Модуль АЦП призначений для перетворення вхідного аналогового сигналу від різних типів первинних перетворювачів в цифровий код і передачі його в мікропроцесорний блок управління. На платі модуля АЦП знаходиться вбудований стабілізатор напруги 24 В (з гальванічною розв'язкою), який забезпечує живлення вимірювальних перетворювачів.

Модуль ПВІ призначений для перетворення цифрового коду, що надходить від мікроконтролера управління через оптронна розв'язку в уніфікований сигнал постійного струму. значення якого може здаватися в трьох діапазонах 0 до 5,4 мА, 0 до 21,5 мА, 3,5 до 21,5 мА.

Модуль інтерфейсу RS 232 або RS 485 призначений для зв'язку з комп'ютером і забезпечує двосторонній обмін даними з зовнішніми пристроями через стандартні інтерфейси RS 232 або RS 485. Схеми підключення IPT до комп'ютера наведені на рис. 4.17.

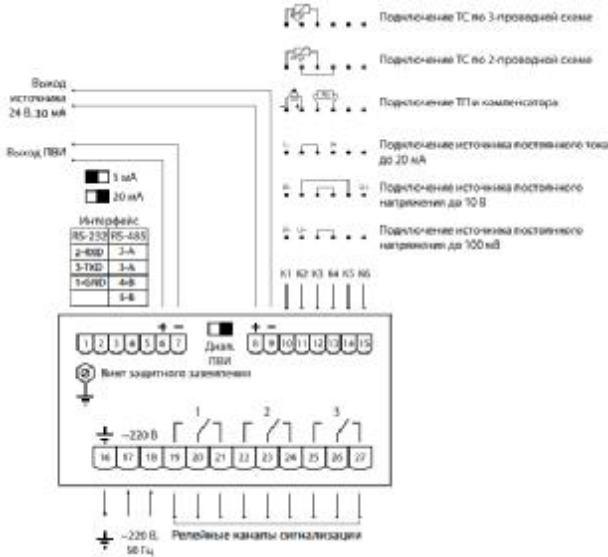


Рисунок 4.17 – Схема електричних підключень приладу ВРТ

Блок реле містить три виконавчих реле («K1», «K2», «K3») і призначений для управління зовнішніми виконавчими пристроями, підключеними до приладу.

Мікропроцесорний блок управління містить мікроконтролер, ППЗУ з програмним забезпеченням, незалежне пристрій і виконує наступні функції:

- перетворення цифрового коду у відповідне значення вимірюваної величини (масштабування, витяг квадратного кореня, лінеаризацію);
- аналіз результату поточного вимірювання в режимі реального часу;
- управління процесами взаємодії між модулями IPT;
- управління станом реле за результатами вимірювань;
- висновок поточного значення вимірюваної величини або значень уставок на індикатори;
- опитування клавіатури;
- управління модулем інтерфейсів RS 232 або 485.

На лицьовій панелі BPT знаходяться:

- основний СД-семісегментний індикатор з висотою символів 14 мм;
- чотирихрозрядний зеленого світіння для BPT 5922, BPT 5922A;
- чотирихрозрядний зеленого / червоного / жовтого світіння для IPT 5922Д, IPT 5922A/Д;
- п'ятирозрядний зеленого світіння для IPT 5922М, BPT 5922A/М;
- додатковий чотирихрозрядний семісегментний СД-індикатор червоного світіння, з висотою символів 8 мм;
- індикатор «K1» - одиничний СД-індикатор стану 1-го реле;
- індикатор «K2» - одиничний СД-індикатор стану 2-го реле;
- індикатор «K3» - одиничний СД-індикатор стану 3-го реле.

У режимі вимірювання на основному індикаторі відображається поточне значення вимірюваного параметра, на додатковому індикаторі відображається одна з трьох можливих уставок. Числові значення виводяться на індикатор з плаваючою десятковою крапкою, розрядність перемикається автоматично.

У режимі програмування на основному індикаторі відображається значення параметрів, що задаються, мнемонічне позначення яких висвічується на додатковому індикаторі.

Індикатори «K1», «K2», «K3» відображають стан реле комутованих каналів сигналізації. Сяючі індикатори інформують про включеному стані реле.

На задній панелі ІРТ розташовані:

- роз'ємні клемні колодки для підключення електроживлення, ланцюгів комутації, первинних перетворювачів, струмових навантажень і кабелю;
- перемикач діапазону вихідного сигналу ПВІ;
- затиск захисного заземлення.

Прилади ІРТ серії 5922 успішно пройшли всі перевірки і отримали відповідні сертифікати (дозвіл на виготовленні, сертифікат затвердження типу, сертифікат відповідності).

4.5.7 Порядок виконання курсової роботи. Проведення вимірювань за допомогою ВРТ 5501, якій підключено до комп'ютера

Під час виконання курсової роботи потрібно провести ряд випробувань за допомогою ВРТ 5501.

Зробити настройку, використовуючи пункти меню реєстратора:

- Через пункт меню «Налаштування уставок» налаштували уставки вхідного каналу: уставку 1 на 80С, уставку 2 на 60С, уставку 3 на 75С, гістерезис на 5С. Для завдання уставок і гістерезиса були виконані наступні дії:

- включення ІРТ натисканням на ^, або на «↵ »;
- введення пароля "0000";
- вибираємо «ТЕМП1», натискаємо підтвердити і налагоджуємо необхідні значення температури, вказане в завданні, підтверджуємо обрані значення. Таким же способом встановлюються «ТЕМП2» і «ТЕМП3».

При необхідності здійснюється скидання параметрів, паролем «0001» або введенням пароля неправильно 2 рази. Через пункт меню «Налаштування» вхідний канал налаштували відповідно до типу датчика.

Для зв'язку реєстратора з комп'ютером необхідна програма роботи з реєстратором ІРТ 5501 "irt.exe". Контроль даних за допомогою кнопки «Читання» всіх налаштувань, що представлено на рис. 4.18.



Рисунок 4.18 - Зчитування заданих параметрів за допомогою програми "irt.exe"

У програмі "irt.exe" в закладці «Вимірювання» можна отримати графік нагріву. Для зручності вибираємо відповідний масштаб вимірювання і час. Крива нагріву представлена на рис. 4.19.

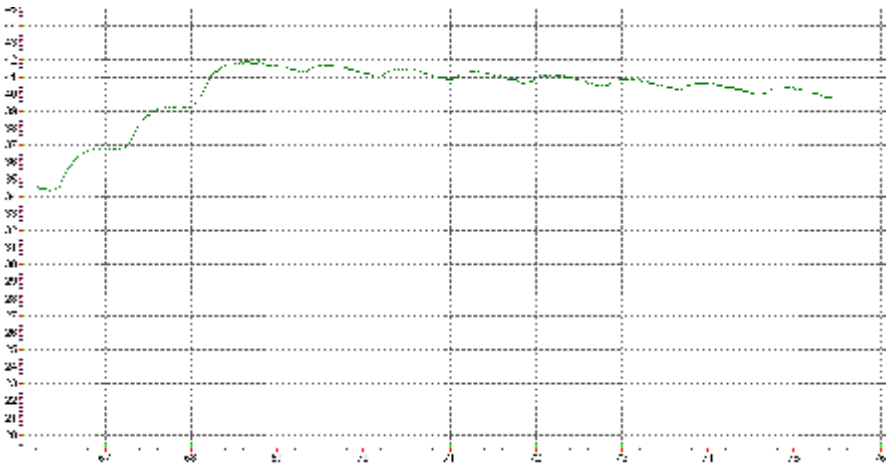


Рисунок 4.19 - Зчитування «Крива нагріву» ($P_{max} = 50\%$)

При отриманні кривої необхідно розрахувати коефіцієнти настройки для різних видів регулятора. Використовуючи отриманий графік вибираємо амплітуду коливань $A=0.45^{\circ}\text{C}$, час коливань $t_c=0.65$ сек.

для П-регулятора $K = 0,45 / A$, (1)

$$K = 0,45 / 0,45 = 1;$$

для ПД-регулятора $K = 0,45 / A$, $T_d = 0,05 * t_c$, (2)

$$K = 0,45 / 0,45 = 1, T_d = 0,05 * 0,65 = 0,0325;$$

для ПІ-регулятора $K = 0,4 / A$, $T_i = 0,8 * t_c$, (3)

$$K = 0,4 / 0,45 = 0,8889, T_i = 0,8 * 0,65 = 0,52;$$

для ПІД-регулятора $K = 0,55 / A$, $T_i = 0,5 * t_c$, $T_d = 0,12 * t_c$,

$$K = 0,55 / 0,45 = 1,2222, T_i = 0,5 * 0,65 = 0,325, T_d = 0,12 * 0,65 = 0,078.$$

Але, для отримання кращого результату, зменшення осциляцій, амплітуди і приблизно одного діапазону температур, збільшимо значення P_{max} до 100%. Тоді ми отримуємо графік який наведено нижче (рис. 4.20).

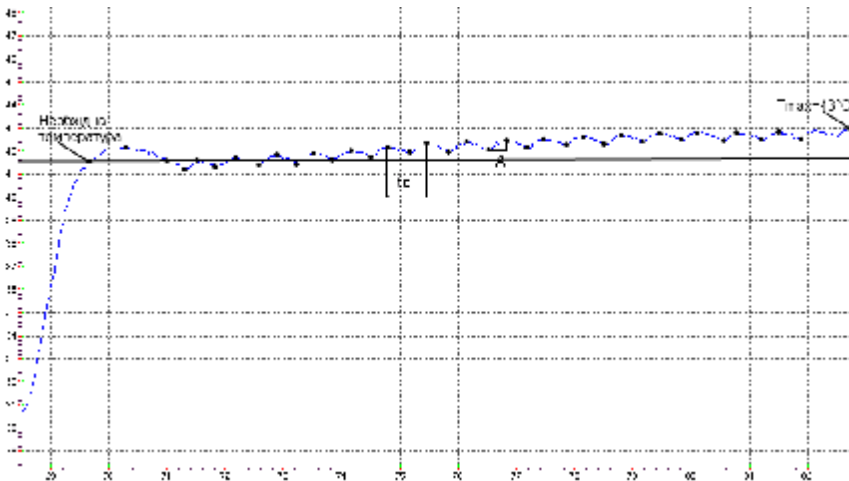


Рисунок 4.20 - Крива нагрівання при збільшенні максимальної потужності в 2 рази ($P_{max} = 100\%$)

4.5.8. Похибка вимірювання температури приладом ВРТ

Відповідно до отриманої графіком маємо розрахунок похибки нагріву. Результати представлені в таблиці 4.5

Далі проводимо аналогічний попередньому розрахунок коефіцієнтів настройки для різних видів регулятора.

Таблиця 4.5 – Похибка вимірювання температури нагріву

№	Температура, °C	Час, хв.	Похибка, °C
1	41.5	69.6	0
2	42.2	70.3	+0.7
3	41.5	71	0
4	41.1	71.3	-0.4
5	41.6	71.5	+0.1
6	41.3	71.8	-0.2
7	41.7	72.2	+0.2
9	41.4	72.5	-0.1
10	41.8	72.9	+0.3
11	41.45	73.3	-0.05
12	41.55	73.8	+0.05
13	42.1	74.3	+0.6

Використовуючи отриманий графік вибираємо амплітуду коливань $A = 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, час коливань $t_c = 0.6\text{ сек.}$..

для П-регулятора $K = 0.45 / A$, тоді $K = 0.45 / 0.5 = 0.9$;

для ПД-регулятора $K = 0.45 / A$, $T_d = 0.05 * t_c$,

$K = 0.45 / 0.5 = 0.9$, $T_d = 0.05 * 0.6 = 0.03$;

для ПІ-регулятора $K = 0.4 / A$, $T_i = 0.8 * t_c$,

$K = 0.4 / 0.5 = 0.8$, $T_i = 0.8 * 0.6 = 0.46$;

для ПІД-регулятора $K = 0.55 / A$, $T_i = 0.5 * t_c$, $T_d = 0.12 * t_c$,

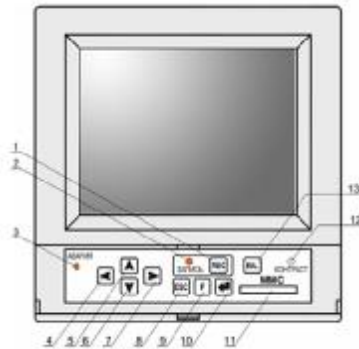
$K = 0.55 / 0.5 = 1.1$, $T_i = 0.5 * 0.6 = 0.3$, $T_d = 0.12 * 0.6 = 0.072$.

4.5.9 Порядок виконання курсової роботи. Проведення вимірювань за допомогою приладу PMT 69L

PMT 69L призначений для вимірювання, реєстрації та контролю температури та інших неелектричних величин, перетворених в електричні сигнали сили і напруги постійного струму або активний опір. PMT 69L використовується в технологічних процесах промисловості та енергетиці. На лицьовій панелі під відкидною панеллю розташована панель управління з кнопками (рис. 4.21), що дозволяють керувати режимами приладу і виробляти необхідні налаштування. PMT 69L може перебувати в наступних основних режимах:

- режим відображення поточних значень;

- режим меню;
- режим перегляду архіву.



1 - "REC" кнопка включення/ виключення запису в архів; 2 - одиничний індикатор включення режиму запису в архів; 3 - одиничний індикатор "АВАРІЯ"; 4, 5, 6, 7 - кнопки вліво "◀", вгору "▲", вниз "▼", вправо "▶"; 8 - кнопка входу і повернення з меню "ESC"; 9 - кнопка виклику спеціальних функцій "F"; 10 - кнопка вводу " "; 11 - приймач MMC-карти; 12 - резистор регулювання контрастності дисплея; 13 - кнопка включення / виключення підсвічування дисплея.

Рисунок 4.21 – Елементи управління PMT 69L

В інші режими (запис на MMC-карту, редагування параметрів, тестування уставок і реле і т.д.) прилад переходить при виконанні завдань, визначених користувачем в режимі меню.

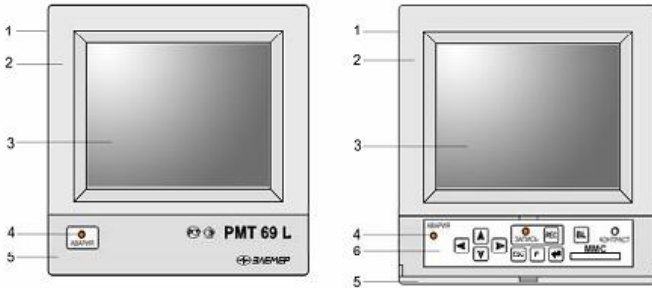
Незалежно від поточного режиму, PMT 69L виконує наступні основні функції:

- вимірювання поточних значень по шести аналогових входів (каналів);
- перетворення вимірюваних значень у відповідні фізичні величини.

PMT 69L конфігурується по типу вхідного сигналу, діапазонів вимірюваної величини і типу шкали з допомогою клавіатури, послідовного інтерфейсу або з Multimediacard (MMC-карти) зі збереженням параметрів конфігурації при відключенні PMT 69L від мережі живлення.

На рисунку 4.22 представлений загальний вигляд приладу спереду в двох варіантах: з закритою (малюнок ліворуч) і з відкритою відкидний декоративною панеллю.

PMT 69L здійснює функцію сигналізації й автоматичного регулювання контрольованих параметрів. Кількість уставок в кожному каналі – 2. Процедура зміни уставок захищена від несанкціонованого доступу паролем.



1 - корпус; 2 - лицьова панель; 3 - рідкокристалічний дисплей; 4 - індикатор "АВАРІЯ"; 5 - відкидна декоративна панель; 6 - панель управління.

Рисунок 4.22 – Загальний вигляд приладу спереду в двох варіантах: з закритою (малюнок ліворуч) і з відкритою відкидний декоративною панеллю

Виконавчі реле каналів сигналізації забезпечують комутацію:

- змінного струму частоти:мережний
- при напрузі 250 В, 5 А на активне навантаження,
- при напрузі 250 В, 2 А на індуктивну навантаження ($\cos\phi \geq 0,4$);
- постійного струму:
- при напрузі 250 до 0,1 А на активну та індуктивне навантаження,
- при напрузі 30 до 2 А на активну та індуктивне навантаження.
 - мінімальне комутоване напруга 5 при струмі ≥ 10 мА.

PMT 69L має загальнопромислове виконання:

- з модулем живлення 24 В;
- з модулем живлення 36 В;
- без модуля живлення.

Вимірювальні канали PMT 69L призначені для роботи з уніфікованими вхідними електричними сигналами у вигляді постійного струму 0...5, 0...20 або 4...20мА, з термоперетворювачами опору (ТЗ) і термоелектричними перетворювачами (ТП), а також для вимірювання напруги постійного струму від 0 до100 мВ і опору постійному струму від 0 до 320 Ом.

Залежність вимірюваної величини від вхідного сигналу РМТ 69L може бути лінійна, з функцією усереднення (демпфування), з функцією обчислення різниці двох сигналів, а для вхідного уніфікованого сигналу також і з функцією вилучення квадратного кореня.

До складу РМТ 69 входять:

- модуль живлення з вузлом інтерфейсу;
- модуль шестиканального АЦП (канали АЦП гальванічно розв'язані);
- модуль реле і дискретних входів;
- модуль індикації;
- кольоровий рідкокристалічний дисплей;
- приймач ММС-карти.

Імпульсний блок живлення перетворює сіткова напруга 220 В частотою 50 гц постійні стабілізовані напруги +7 +24 В для живлення модулів індикації, АЦП, реле і дискретних входів. Вимкнення живлення не передбачено, оскільки РМТ 69 призначений для роботи в безперервному режимі. Розміщений на модулі живлення вузол інтерфейсу призначений для зв'язку з персональним комп'ютером і забезпечує двосторонній обмін даними з зовнішніми пристроями через комбіновані стандартні інтерфейси RS 232 або RS 485. Схеми підключення РМТ 69 до комп'ютера відповідають наведеним у додатку.

Модуль шестиканального АЦП призначений для перетворення вхідних аналогових сигналів в цифровий код, перерахунку коду в фізичну величину згідно з обраним типом датчика і одиницею виміру, передачі вимірюваних величин в модуль індикації по командам запиту даних.

Модуль реле і дискретних входів управляє включенням вимиканням реле по командам від модуля індикації, опитує стан дискретних входів і отриману інформацію про їх стан передає в модуль індикації. Кожен вхід дозволяє перевіряти стан сухого контакту. Стан сухого контакту перевіряється вбудованим джерелом напруги. При цьому в перевіряється ланцюга виникає струм не більше 20 мА.

Модуль індикації є головним керуючим пристроєм РМТ 69. У його склад входять мікроконтролер, оперативне запам'ятовуючий пристрій, таймер реального часу, який можна перепрограмувати електрично пральні пристрій зберігання службової інформації, флеш-пам'ять вимірюваних даних на 64 Мб, контролер з кольоровим рідкокристалічним дисплеєм, лінійні стабілізатори живлення, імпульсний перетво-

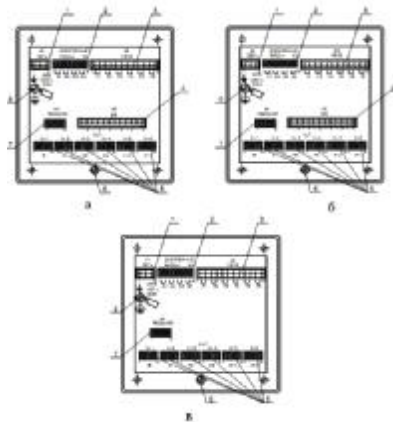
рювач напруги, перетворювач RS 485, поодинокі світлодіодні індикатори, кнопкова клавіатура.

Кольоровий рідкокристалічний дисплей має розмірність 320x240 пікселів (точок). На ньому відображається службова інформація про режими роботи PMT 69, виміряні дані, вміст архіву даних.

PMT 69 має дві незалежні установки на кожен вимірювальний канал, які можуть бути як верхніми і нижніми і можуть бути пов'язані з будь-яким виконавчим реле. Виконавчі реле працюють відповідно до внутрішньої таблиці зв'язків реле й установок каналів, що редагується користувачем.

Модуль інтерфейсу призначений для зв'язку EOM і забезпечує двосторонній обмін даними з зовнішніми пристроями через комбіновані стандартні інтерфейси RS 232 або RS 485.

Основні конструктивні та керуючі елементи приладу, а також роз'єми, доступні користувачеві, розташовані на передній і задній панелях приладу. На рисунку 4.23 представлений вид задньої панелі PMT 69L для трьох варіантів конструктивного виконання відповідно: з модулями живлення 24, 32 В і без модулів напруги.



1 - клемна колодка для підключення живлення; 2 - клемна колодка дискретних входів для підключення 4-х зовнішніх замикають контактів; 3 - клемна колодка для підключення шести релейних виходів; 4 - клемна колодка 6-ти каналного джерела живлення +24 Або + 36 В; 5- шість клемних колодок Кн1-Кн6 для підключення первинних перетворювачів; 6 - місце для пломбування; 7 - клемна колодка інтерфейсу RS 232/ RS 485; 8 - гвинт захисного заземлення.

Рисунок 4.23 – Вид задньої панелі PMT 69L для варіантів конструктивного виконання: а) з модулями живлення 24 В; б) з модулями живлення 32 В; в) без модуля живлення

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008. (Із змінами, внесеними згідно із Законом № 124-VIII від 15.01.2015, ВВР, 2015, № 14, ст.96).
2. Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ІСО 5725-1:2005 (ГОСТ ІСО 5725-1:2003, IDT). - [Чинний від 2005-30-12]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 29 с. - (Національний стандарт України).
3. **Величко, О. М.** Основи стандартизації та сертифікації : підручник / О. М. Величко, В. Ю. Кучерук, Т. Б. Гордієнко, В. М. Севастьянов. – Київ, 2012. – 362 с.
4. **Кухарчук, В. В.** Основи метрології та електричних вимірювань: підручник: підручник. / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 522 с.
5. **Поліщук, Є. С.** Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С.Поліщук, М.М.Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г.Бойко: Львів: Вид-во “Бескид Біт”, 2003. – 544 с.
6. **Петльований, Є. О.** Методи та засоби інформаційно-вимірювальної техніки, випробувань і контролю: підручник. Дніпро: Свідлер А.Л., 2018. – 191 с.
7. **Чорноіваненко, К. О.** Метрологія, забезпечення єдності вимірювань та еталони одиниць фізичних величин : підручник. / К. О. Чорноіваненко, А.М. Должанський, Є.О. Петльований, О.А. Бондаренко, І.М. Ломов Дніпро: Свідлер А.Л., 2018. – 164 с.
8. **Бубела, Т.З.** Методи та засоби визначення показників якості продукції: навчальний посібник /Т.З. Бубела, П.Г. Столярчук, Є.В. Походило та ін. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2012. – 292 с.
9. **Дорожовець, М.** Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник для вузів в двох томах/ М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін.; За ред. професора Б.І. Стадника. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. - 2005. - Т2. Вимірювальна техніка. – 656 с.
10. **Величко, О. М.** Основи стандартизації та сертифікації : підручник. / О. М. Величко, В. Ю. Кучерук, Т. Б. Гордієнко, В. М. Сева-

стьянов. Херсон: Олді-плюс, 2013. – 364с.

Нестерчук, Д. М. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д. М. Нестерчук, С. О. Квітка, С. В. Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

11. **Володарський, Є. Т.** Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219с.

12. **Ігнаткін, В. У.** Основи метрології: навч. посіб. / В. У. Ігнаткін, О. В. Томашевський, В. М. Матюшин – Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2017. – 119 с.

13. **Гнусов, Ю. В.** Метрологія та вимірювання: навчальний посібник / Ю. В. Гнусов, В. В. Тулупов, В. М. Пересічанський; Харк. нац. ун-т внутр. справ, 2019. – 125 с.

14. **Войтенко, С. С.** Використання комп'ютерних засобів вимірювання при підготовці фахівців-метрологів. / С. С.Войтенко, С. В. Герасимов // Системи обробки інформації. 2009. № 6(80). С. 156-158.

15. **Паламар, М.** Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів: навчальний посібник / М. Паламар, М. Стрембіцький, А. Паламар. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – 150 с.

16. **Снежной, Г. В.** Автоматизированная установка для исследования релаксационных процессов и ВАХ в диэлектриках и полупроводниках / Г. В. Снежной, А. В. Кондратьев // Радиотехника, информатика, управление.-1999. – №2. – С.44-46.

17. **Сніжної, Г. В.** Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та стопів / Г. В. Сніжної, Є. Л. Жавжаров // збірник наукових праць "Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування". – 2012. – № 49. – С. 136-141.

Додаток А

Патент «Спосіб визначення ударної в'язкості аустенітних манганових сталей»



ДЕРЖАВНА СПЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **73517**

(13) **U**

(51) МПК

G01N 27/76 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 03264 (22) Дата подання заявки: 20.03.2012 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.09.2012 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2012, Бюл.№ 18	(72) Винахідник(и): Сніжний Геннадій Валентинович (UA), Сажнев Володимир Миколайович (UA) (73) Власник(и): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Жуковського, 64, м.Запоріжжя, 69063 (UA) (74) Представник: Висоцька Наталя Іванівна, начальник патентно-інформаційного відділу НДЧ ЗНТУ, реєстр. №0
--	---

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ АУСТЕНІТНИХ МАНГАНОВИХ СТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Спосіб визначення ударної в'язкості аустенітних манганових сталей полягає в тому, що із сталевих матеріалів виготовляють еталонні зразки, які піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють градувальну залежність між ударною в'язкістю і магнетним параметром. Досліджувані зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр. За допомогою градувальної залежності цього магнетного параметра від ударної в'язкості визначають ударну в'язкість досліджуваного матеріалу. Як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливості сталевих матеріалів.

UA 73517 U

UA 73517 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і металургії, а саме до способів визначення ударної в'язкості аустенітних мнганових сталей.

Відомий спосіб визначення механічних властивостей сталі з феромагнетних матеріалів [1], який полягає в тому, що вимірюються магнетні параметри (коерцитивна сила, магнетна проникність), а потім за залежністю цих параметрів від механічних властивостей для еталонних сталей визначають механічні властивості досліджуваної сталі.

Недоліком цього способу є можливість його використання лише для феромагнетних матеріалів, яким властиві ці магнетні параметри. Це значно звужує область використання способу, бо більшість матеріалів є слабомагнетними (парамагнетики, діамгнетики).

Найбільш близьким до пропонованої корисної моделі є спосіб визначення ударної в'язкості металічних виробів [2], прийнятий за прототип, в якому для визначення ударної в'язкості матеріалу конструкції встановлюють тарировальну залежність між ударною в'язкістю матеріалу зразків, які піддаються деформаційному старінню різного ступеня, та їх магнето-шумовим сигналом.

До недоліків даного методу слід віднести наявність впливу власних шумів перетворювача, теплових шумів системи реєстрації сигналу і зовнішніх електромагнетних завад на форму та амплітуду магнето-шумового сигналу, що впливає на якість визначення ударної в'язкості.

Задачею корисної моделі є:

- створення способу визначення ударної в'язкості сталевих матеріалів аустенітного класу (парамагнетиків);
- підвищення достовірності і точності вимірювання ударної в'язкості для вищезазначених сталей.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення ударної в'язкості аустенітних мнганових сталей, який полягає в тому, що із сталевих матеріалів виготовляють еталонні зразки, які піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють градувальну залежність між ударною в'язкістю і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та за допомогою градувальної залежності цього магнетного параметра від ударної в'язкості визначають ударну в'язкість досліджуваного матеріалу. За магнетний параметр приймають парамагнетну питому магнетну сприйнятливість сталевих матеріалів.

Технічний результат полягає в можливості використання способу для визначення ударної в'язкості мнганових сталей, які належать до аустенітного класу, і в підвищенні достовірності та точності визначення завдяки використанню магнетного параметру - парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту та дозволяє використовувати пропонований спосіб для визначення з підвищеною якістю ударної в'язкості аустенітних мнганових сталей.

Відмінними ознаками є використання структурно-чутливого параметру парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту, що підвищує достовірність і точність визначення ударної в'язкості.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію „Новизна” та приводить до нових технічних результатів.

На фіг. 1 подано залежність ударної в'язкості KCU від парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 для еталонних аустенітних мнганових сталей.

Спосіб здійснюється так.

Для визначення ударної в'язкості досліджуваної сталі 110Г13Л (пл. 6) запропонованим способом побудована градувальна залежність «парамагнетна питома сприйнятливість - ударна в'язкість» з використанням еталонних зразків зі сталей 110Г8Л (пл. 1, 2), 110Г10Л (пл. 3, 4) і 110Г13Л (пл. 5). Для повної аустенізації зразки загартовували у воду від 1050 °С і визначали ударну в'язкість KCU та парамагнетну питому сприйнятливість χ_0 . Хімічний склад сталей в залежності від плавки і марки наведено у таблиці 1. Вміст мнгану варіювався від 8,43 до 13,8 % мас. Вміст інших елементів витримувався в межах хімічного складу для сталі 110Г13Л згідно з стандарту ГОСТ 977-88. Ударна в'язкість KCU визначалась згідно з ГОСТ 9454-78.

Таблиця 1

Хімічний склад еталонних та досліджуваної сталей

№ плавки	Марка сталі	Елемент, % мас.						
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Al
1	110Г8Л	1,34	8,43	0,80	0,140	0,092	0,060	0,019
2	110Г8Л	1,14	8,60	0,66	0,040	0,088	0,100	0,019
3	110Г10Л	1,39	10,42	0,56	0,014	0,110	0,001	0,025
4	110Г10Л	1,30	10,70	0,87	0,014	0,084	0,100	0,021
5	110Г13Л	1,16	13,80	0,76	0,016	0,092	0,100	0,018
6	110Г13Л	1,35	12,91	0,76	0,009	0,090	0,180	0,018

На магнетометричній установці [3] вимірювався компенсаційний струм еталонних зразків $i_{зр}$ для визначення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 . Так, наприклад, для сталі 110Г13Л (пл. 5) еталонний зразок мав масу $m_{зр}=128,74$ мг. Під дією магнетного поля $H=2,55 \cdot 10^5$ А/м він змістився і для його повернення у вихідне положення був прикладений компенсаційний струм $i_{зр}=5,54$ мА.

Для знаходження парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 еталонного зразка використовували відоме для солі Мора табличне значення магнетної сприйнятливості $\chi_m=3,2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг. Для солі Мора масою $m_m=65,0$ мг компенсаційний струм становив $i_m=3,78$ мА. Відносна похибка вимірювань складала 2÷3 %.

Використовуючи наступні вирази [4] для еталонного зразка сталі 110Г13Л (пл. 5) і солі Мора:

$$i_{зр} = m_{зр} \cdot \chi_0 \cdot H \cdot \frac{dH}{dx} \quad (1),$$

$$i_m = m_m \cdot \chi_m \cdot H \cdot \frac{dH}{dx} \quad (2)$$

отримаємо формулу для розрахунку парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 сталі 110Г13Л (пл. 5):

$$\chi_0 = \frac{i_{зр}}{i_m} \cdot \frac{m_m}{m_{зр}} \cdot \chi_m = \frac{5,54}{3,78} \cdot \frac{65,0}{128,74} \cdot 3,2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\text{мА}}{\text{мА}} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{мг}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) = 2,37 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Аналогічно були визначені значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 і для інших еталонних зразків сталей: 110Г8Л (пл. 1, 2), 110Г10Л (пл. 3, 4). Ударну в'язкість і значення парамагнетної питомої сприйнятливості згаданих сталей вказано у табл. 2.

На підставі даних табл. 2 побудовано градувальну залежність «парамагнетна питома сприйнятливості - ударна в'язкість» для еталонних матеріалів (Фіг. 1).

Таблиця 2

Значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 ,
вміст мангану Mn і ударної в'язкості KCU еталонних сталей

№ плавки	Марка сталі	Mn, % мас.	$\chi_0, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	KCU, Дж/см ²
1	110Г8Л	8,43	3,92	79
2	110Г8Л	8,60	3,90	84
3	110Г10Л	10,42	2,88	176
4	110Г10Л	10,70	2,81	190
5	110Г13Л	13,80	2,37	223

Потім визначали за допомогою магнетометричної установки парамагнетну питому магнетну сприйнятливості досліджуваної сталі 110Г13Л (пл. 6), яка дорівнює $2,67 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, і за отриманою раніше залежністю для еталонних матеріалів за градувальним графіком «парамагнетна сприйнятливості - ударна в'язкість» (Фіг. 1) знаходили величину ударної в'язкості досліджуваного матеріалу, яка дорівнює 200 Дж/см^2 . Ударна в'язкість цієї сталі, яка була визначена згідно з ГОСТ 9454-78 (випробування на ударний вигин), дорівнювала 204 Дж/см^2 . Отже розбіжність результатів знаходиться в межах 2÷3 %, що є цілком допустимим і прийнятним.

Продовження Додатку А

UA 73517 U

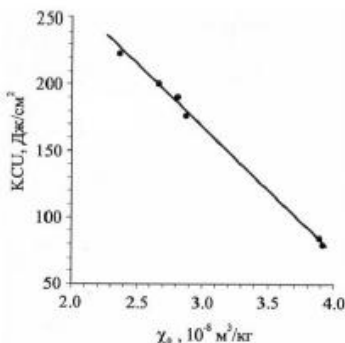
Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок про те, що технічне рішення, яке заявляється, задовольняє критерію «Промислове застосування».

Джерела інформації:

1. Пат. № 5679887 США. МПК⁸ G01N27/80, G01N33/20, G01R33/12, G01R033/12, B23Q017/20, G01N003/00. Method of estimating mechanical hardness of steel from its magnetic properties [Електронний ресурс] / Z.S. Salmasi, H.J. Stanbury, T. Meydan, A.J. Moses, O.P. Page, P. Beckley - № PCT/GB94/02337; заявл. 19.06.1996; опубл. 21.10.1997. Режим доступу: <http://patft.uspto.gov/netaol/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=mTOFF&p=1&u=%2Fmetahtml%2FPTO2%2Fsearch-bool.html&r=1&f=G&l=50&col=AND&d=PTXT&sl=5679887&OS=5679887&RS=5679887>
- 10 2. Пат. № 2108560 Российской Федерации. МПК⁸ G01N3/00, G01N3/30. Способ определения остаточного ресурса конструкции [Електронний ресурс] / Ю.И. Пашков, Л.Л. Ситников, В.В. Ершов, В.С. Волков, М.В. Демаков - № 95115924/28; заявл. 13.09.1995; опубл. 10.04.1998. Режим доступу: <http://www.fips.ru/cdf/Fips2009.dll/CurrDoc?SessionKey=L6F8RQEGFEWCCCLDSUGW&GotoDoc=1&Query=3>
- 15 3. Мирошниченко Ф.Д. Магнитометрические весы с униполярной аstaticеской системой и механико-магнитным зацеплением призмы [Текст] / Ф.Д. Мирошниченко, В.Л. Снежной// Приборостроение. Межведомственный научно-технический сб. № 2; К.: Техника.- 1986. - с. 48.
- 20 4. Чечерников, В.И. Магнитные измерения [Текст] / В.И. Чечерников. - М.: Изд-во Московского университета. - 1969. - с. 128.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 25 Спосіб визначення ударної в'язкості аустенітних мнганових сталей, який полягає в тому, що із сталевих матеріалів виготовляють еталонні зразки, які піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють градієнтальну залежність між ударною в'язкістю і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та за допомогою градієнтальної залежності цього магнетного параметра від ударної в'язкості визначають ударну в'язкість досліджуваного матеріалу, який відрізняється тим, що як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливості сталевго матеріалу.
- 30



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український Інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток Б

Патент «Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів»



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **78117** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
G01N 17/00
G01N 27/76 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 10212 (22) Дата подання заявки: 28.08.2012 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.03.2013 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2013, Бюл.№ 5	(72) Винахідник(и): Сніжний Геннадій Валентинович (UA) (73) Власник(и): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063 (UA)
---	--

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

(57) Реферат:

Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів полягає в тому, що еталонні зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють залежність між швидкістю корозії і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів також піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та по отриманій раніше залежності цього магнетного параметра від швидкості корозії для еталонних зразків визначають швидкість корозії досліджуваних зразків. Як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливість сталевих матеріалів.

UA 78117 U

Продовження Додатку Б

Корисна модель належить до галузі машинобудування і металургії, а саме до способів визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів в агресивних середовищах.

Відомий спосіб визначення швидкості корозії металевих конструкцій [1], який полягає в тому, що в металевій об'єкті, який знаходиться у корозійному середовищі, збуджують поверхневу електромагнетну хвилю. За величиною зміни сповільнення електромагнетної хвилі визначають швидкість корозії.

Недоліком цього способу є відносна низька точність вимірювання, внаслідок суттєвого впливу агресивного середовища на величину затухання поверхневої хвилі, а також низька чутливість вимірювань внаслідок великих електродинамічних втрат під час збудження та реєстрації сповільненої хвилі у досліджуваному матеріалі.

Найбільш близьким до пропонованої корисної моделі є спосіб визначення швидкості корозії [2], прийнятий за прототип, в якому встановлюють залежність між величиною електричної напруги (розбалансу електричного моста, до різних плечей якого підключені намагнечуючі пристрої) і досліджуваній феромагнетний матеріал, та товщиною досліджуваного матеріалу. Потім за величиною зменшення товщини матеріалу визначали швидкість корозії.

Недоліком цього способу є можливість його використання лише для феромагнітних матеріалів. Це значно звужує область використання способу, бо значна кількість корозійностійких сталей і сплавів є аустенітними, тобто парамагнітними. Також до недоліків даного методу слід віднести низьку точність вимірів, яка зумовлена наявністю складових похибок під час вимірювання електричної напруги при різних частотах, електричного опору та використання коректуючих алгоритмів, що впливає на точність визначення швидкості корозії.

Задачею корисної моделі є:

- створення способу визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів (парамагнетиків);

- підвищення достовірності і точності вимірювання швидкості корозії для вищезазначених матеріалів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів, який полягає в тому, що еталонні зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють залежність між швидкістю корозії і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів також піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та по отриманій раніше залежності цього магнетного параметра від швидкості корозії для еталонних зразків визначають швидкість корозії досліджуваних зразків.

За магнетний параметр приймають парамагнетну питому магнетну сприйнятливість сталевих матеріалів.

Технічний результат полягає в можливості використання способу для визначення швидкості корозії мanganових сталей, які відносяться до аустенітного класу, і в підвищенні достовірності та точності визначення завдяки використанню магнетного параметра - парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту та дозволяє використовувати пропонований спосіб для визначення з підвищеною якістю швидкість корозії аустенітних сталей і сплавів.

Відмінними ознаками є використання структурно-чутливого параметру парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості аустеніту, що підвищує достовірність і точність визначення швидкості корозії.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію "Новизна" та приводить до нових технічних результатів.

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняються від прототипу, не знайдені, рішення явним чином не впливає з рівня техніки.

На кресленні (Fig.) подано залежність швидкості корозії від парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 для еталонних аустенітних сталей.

Спосіб здійснюється так. Для визначення швидкості корозії досліджуваної сталі типу 08X18H10T (зразок № 1) запропонованим способом побудована залежність "парамагнетна питома сприйнятливості - швидкість корозії" з використанням еталонних зразків зі сталей 08X18H10T (зразки № 2, 3, 4, 5, 6). Хімічний склад сталей в залежності від зразка наведено в таблиці 1. Вміст елементів витримувався в межах хімічного складу для сталі 08X18H10T згідно стандарту ГОСТ 5632-72. Сталь 08X18H10T була промислового виробництва у вигляді листової поставки товщиною 1 мм.

Продовження Додатку Б

Таблиця 1

Хімічний склад еталонних (зразки № 2, 3, 4, 5, 6) та досліджуваної (зразок 1) сталей типу 08X18H10T

№ зразка	Елемент, % мас.								
	C	N	Ni	Mn	Cr	Si	Ti	S	P
1	0,035	0,012	9,10	1,66	17,10	0,54	0,32	0,001	0,026
2	0,060	0,011	9,14	1,59	16,43	0,66	0,34	0,002	0,027
3	0,064	0,012	9,70	1,22	17,43	0,52	0,41	0,001	0,026
4	0,030	0,013	9,24	1,62	17,41	0,41	0,31	0,002	0,028
5	0,040	0,013	9,10	1,70	17,70	0,49	0,35	0,001	0,026
6	0,070	-	10,46	1,70	17,97	0,49	0,46	0,007	0,027

Швидкість корозії визначалась згідно стандарту ГОСТ 9.908-85. Корозійні втрати визначали зважуванням, а швидкість корозії K розраховували згідно формули:

$$K = \frac{(m_0 - m_1)}{S} \cdot \tau, (1)$$

де m_0 і m_1 - маса зразка до і після випробувань у хлоридовмісному розчині з рН 8 (r);

S - площа поверхні зразка (м^2);

τ - час випробувань (год).

Таблиця 2

Швидкість корозії K еталонних зразків сталей типу 08X18H10T у хлоридовмісному розчині

№ зразка	2	3	4	5	6
K, г/м ² год	98,6	89,9	76,8	126,1	165,2

На магнетометричній установці [3] вимірювався компенсаційний струм еталонних зразків і для визначення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 . Так, наприклад, еталонний зразок 2 мав масу $m_0=107,7$ мг. Під дією магнетного поля $H=2,55 \cdot 10^5$ А/м він змістився і для його повернення у вихідне положення був прикладений компенсаційний струм $i_{\text{св}}=5,01$ мА.

Для знаходження парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 еталонного зразка використовували відоме для солі Мора табличне значення магнетної сприйнятливості $\chi_M=3,2 \cdot 10^{-8}$ м³/кг. Для солі Мора масою $m_M=65,0$ мг компенсаційний струм становив $i_M=3,78$ мА. Відносна похибка вимірювань складала 2÷3 %.

Використовуючи наступні вирази [4] для еталонного зразка 2 сталі і солі Мора:

$$i_{\text{зр}} = m_{\text{зр}} \cdot \chi_0 \cdot H \frac{dH}{dx}, (2),$$

$$i_M = m_M \cdot \chi_M \cdot H \frac{dH}{dx}, (3),$$

отримаємо формулу для розрахунку парамагнетної питомої магнетної сприйнятливості χ_0 сталі для зразка 2:

$$\chi_0 = \frac{i_{\text{зр}}}{i_M} \cdot \frac{m_M}{m_{\text{зр}}} \cdot \chi_M = \frac{5,01}{3,78} \cdot \frac{65,0}{107,7} \cdot 3,2 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\text{мА}}{\text{мА}} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{мг}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right) = 2,56 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Аналогічно були визначені значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_0 і для інших еталонних зразків сталей (зразки 3, 4, 5, 6). Значення парамагнетної питомої сприйнятливості згаданих сталей вказано у табл. 3.

На підставі даних табл. 2 і табл. 3 побудовано залежність "парамагнетна питома сприйнятливості - швидкість корозії" для еталонних зразків (Фіг.).

Продовження Додатку Б

UA 78117 U

Таблиця 3

Значення парамагнетної питомої сприйнятливості χ_D еталонних зразків

№ зразка	2	3	4	5	6
$\chi_D, 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$	2,56	2,59	2,68	2,54	2,52

Потім визначали за допомогою магнетометричної установки парамагнетну питому магнетну сприйнятливості досліджуваної сталі (зразок 1), яка дорівнює $2,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$, і за отриманою раніше залежністю для еталонних зразків за графіком "парамагнетна сприйнятливості-швидкість корозії" (Фіг.) знаходили величину швидкості корозії досліджуваного матеріалу, яка дорівнює $110 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$. Швидкість корозії цієї сталі, яка була визначена згідно формули (1), дорівнювала $113 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$. Отже розбіжність результатів знаходиться в межах $2-3 \%$, що є цілком допустимим і прийнятним.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок про те, що технічне рішення, яке заявляється, задовольняє критерію "Промислова придатність".

Джерела інформації:

1. Пат. № 2110784 Российская Федерация, МПК⁶ G01N17/00. Способ контроля скорости коррозии металлических объектов [Електронний ресурс] / Ю.Н. Пчельников, Р.М. Дымшиц, А.Д. Сулимин, Г.М. Федичкин, З.Т. Галиуллин, В.Д. Сулимин, С.В. Карпов - № 95119931/28; заявл. 21.11.1995; опубл. 10.05.1998. Режим доступу: <http://www.fips.ru/odfi/Fips2009.dll/CurrDoc?SessionKey=IR1R1NMQK5SWUFPRVY2I&GotoDoc=1&Query=1>.

2. Пат. № 2193182 Российская Федерация, МПК⁷ G01N17/00. Способ определения скорости коррозии [Електронний ресурс] / В.Ф. Новиков, Г.В. Крылов, В.Ф. Быков, А.А. Болотов - № 2000101941/28; заявл. 28.01.2000; опубл. 20.11.2002. Режим доступу: <http://www.fips.ru/odfi/Fips2009.dll/CurrDoc?SessionKey=IR1R1NMQK5SWUFPRVY2I&GotoDoc=1&Query=2>.

3. Сніжної, Г.В. Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та сталей [Текст] / Г.В. Сніжної, Є.Л. Жавжаров // збірник наукових праць "Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія - Радіотехніка. Радіоапаробудування". - 2012. - № 49. - С. 136-141.

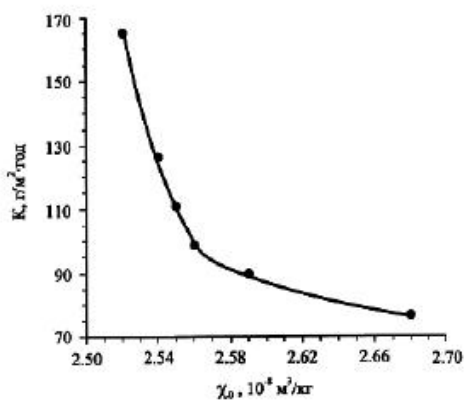
4. Чечерников, В.И. Магнитные измерения [Текст] / В.И. Чечерников. - М.: Изд-во Московского университета. - 1969. - С. 128.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення швидкості корозії аустенітних сталей і сплавів, який полягає в тому, що еталонні зразки із сталевих матеріалів піддають магнетуванню, розміщуючи їх в постійному магнетному полі, вимірюють магнетний параметр, встановлюють залежність між швидкістю корозії і магнетним параметром, потім досліджувані зразки із сталевих матеріалів також піддають магнетуванню і визначають магнетний параметр та по отриманій раніше залежності цього магнетного параметра від швидкості корозії для еталонних зразків визначають швидкість корозії досліджуваних зразків, який відрізняється тим, що як магнетний параметр вимірюють парамагнетну питому магнетну сприйнятливості сталевих матеріалів.

Продовження Додатку Б

UA 78117 U



Фіг.

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток В

Перелік тем курсових робіт

1. Методи термоактиваційної спектроскопії для дослідження структури забороненої зони напівпровідників і діелектриків (див. п.п. 4.1).

2. Вимірювання потенціалу і електричного поля в широкозонних напівпровідниках і вузькозонних діелектриках (див. п.п. 4.2).

3. Вимірювання ВАХ (див. п.п. 4.3).

4. Магнітні вимірювання: визначення питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та низького вмісту P_α феромагнітної альфа-фази (див. п.п. 4.4).

5. Автоматична система контролю та регулювання температурним режимом (див. п.п. 4.5).

6. Мікропроцесорні контролери – важлива частина інформаційно-вимірювальних і управляючих систем.

Класифікація і структура контролерів. Контролери модульні, каркасні. Мікроконтролери. Класифікація мікропроцесорів.

7. Програмне забезпечення інформаційно-вимірювальних і управляючих систем.

SCADA-системи. MES-системи, ERP-системи, OLAP-системи. Програмне забезпечення автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП).

8. Вимоги до пристроїв відображення графічної інформації з погляду людино-машиного інтерфейсу.

Аналіз вимог до пристроїв відображення графічної інформації. Відтворення інформації як процес моделювання реального об'єкта. Діапазони функціональних параметрів пристроїв відображення графічної інформації.

9. Математичне моделювання процесу вимірювання.

Математичні моделі. Приклади розробки математичної моделі.

10. Особливості метрологічного забезпечення інформаційно-вимірювальних і управляючих систем.

Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС). Призначення і види ІВС. Особливості метрологічного забезпечення ІВС.

11. Методи визначення метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальних систем.

Принципи та особливості нормування метрологічних характеристик. Експериментальне визначення метрологічних характеристик. Алгоритм обробки результату вимірювань (приклад).

12. Основні вимоги до сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС).

Особливості сучасних багатоканальних ІВС. Технічний рівень ІВС. Концепція ІВС. Склад ІВС. Склад мережних засобів. Засоби проектування. Архітектура. Фізична структура ІВС.

13. Інформаційний масштаб ІВС.

Операторська станція. Архівна станція. Станція аналізу. Розрахункова станція. Інженерна станція. Приладова станція. Самодіагностика і резервування.

14. Класифікація аналогово-цифрових перетворювачів та їх характерні особливості.

Області застосування АЦП. Порозрядні АЦП для систем збору і обробки даних. АЦП для прецизійних промислових систем і вимірювальної апаратури. АЦП для телефонії і аудіосистем.

15. Інтерфейси ІВС.

Класифікація інтерфейсів між оператором і комп'ютером. Інтерфейси передачі даних. Послідовний інтерфейс USB. Інтерфейс RS-232. Інтерфейс RS-485.

16. ІВС в робототехніці.

17. ІВС в системах управління технологічними процесами.

18. Промислові контролери в ІВС, розвиток, перспективи.

19. ІВС як частина САК (систем автоматичного керування).

20. Вимірювальні технології в машинобудівному виробництві.

21. Вимірювальні технології в транспортних системах.

22. Вимірювальні технології в лабораторії контролю якості.

23. Вимірювальні технології в авіації.

24. Вимірювальні технології в напівапровідниковій індустрії.

25. Вимірювальні технології в медицині та біотехнологіях.

26. Вимірювальні технології в наукових дослідженнях.

27. Вимірювальні технології в енергетиці.

28. Вимірювальні технології в нафтогазовій галузі.

29. Вимірювальні технології в харчовій промисловості.

30. Вимірювальні технології в хімічній промисловості.

31. Вимірювальні технології в телекомунікаціях.
32. Вимірювальні технології в робототехніці.
33. Вимірювальні технології в охороні навколишнього середовища.
34. Вимірювальні технології в електронній промисловості.
35. Випробування діелектричних засобів захисту.
36. Випробування світлосигнальних показників пошкодження кабелів.
37. Норми електричних приймально-здавальних випробувань засобів захисту.
38. Контроль параметрів шуму, вимірювальні прилади. Методи та засоби колективного та індивідуального захисту від шуму.
39. Прилади контролю навколишнього середовища
40. Регулювання і контроль параметрів електромеханічних вузлів.

Загальні відомості про електромеханічні вузли, їх призначення і використання. Приклади електромеханічних вузлів, їх конструктивне виконання, особливості складання і монтажу. Технічна документація на електромеханічні вузли, необхідні інструменти та обладнання для регулювання. Основні параметри і характеристики електромеханічних вузлів, типові регулювання і випробування. Вимоги до організації робочого місця і безпеки праці при роботі з електромеханічними вузлами.

41. Регулювання і контроль параметрів джерел електроживлення радіоелектронної апаратури.

Технічні вимоги до джерел електроживлення. Класифікація джерел електроживлення. Характеристики і параметри випрямлячів. Методика контролю режимів роботи, визначення параметрів і зняття характеристик. Структурні схеми вимірювань, засоби вимірювань.

42. Регулювання і контроль параметрів підсилювачів.

Підсилювачі сигналів. Підсилювачі звукових частот, їх застосування в радіоелектронній апаратурі. Приклади типових підсилювачів звукових частот, їх схеми, елементна база, конструктивне виконання. Основні характеристики підсилювачів: діапазон робочих частот, коефіцієнт підсилення, вихідна потужність, амплітудна і амплітудно-частотна характеристика, нелінійні спотворення, рівень власних шумів і фону, робочі напруги і струми.

Додаток Г
ВК2-16 вольтметр-амперметр постійного струму



Короткий технічний опис :

Діапазон напруги – від 100 мкВ до 30 В.

Діапазон струму - від $2 \cdot 10^{-16}$ А до $3 \cdot 10^{-7}$ А.

Діапазон електричного заряду – від 5 мКл до 3 нКл.