

ТЕМА 1 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

ЛЕКЦІЯ 1 СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

1 Статичні характеристики вимірювальних пристроїв

Режим роботи вимірювального пристрою, при якому значення вхідного X і вихідного Y сигналів не змінюються, називають статичним (стаціонарним чи врівноваженим).

Статичною характеристикою вимірювального пристрою називають функціональну залежність вихідного сигналу від вхідного в статичному режимі роботи зазначеного пристрою. Більш точно статичну характеристику можна визначити як залежність інформативного параметра вихідного сигналу від інформативного параметра його вхідного сигналу в статичному режимі. Статична характеристика описується в загальному випадку деяким нелінійним рівнянням (рівнянням перетворення):

$$Y = f(X) \quad (1)$$

Для вимірювальних перетворювачів, а також вимірювальних приладів з неіменованою шкалою чи зі шкалою, відградуваною в одиницях, відмінних від одиниць вимірювальної величини, статичну характеристику прийнято називати *функцією перетворення*. Для вимірювальних приладів іноді статичну характеристику називають *характеристикою шкали*.

Визначення статичної характеристики пов'язано з виконанням градування, тому для всіх засобів вимірювань використовують поняття градувальної характеристики, під яким розуміють залежність між значеннями величин на виході і вході засобу вимірювань, складену у вигляді таблиці, графіка чи формули.

На рис. 1. показані види статичних характеристик вимірювальних пристроїв. За винятком спеціальних випадків, основна вимога, яка висувається до статичної характеристики вимірювальних пристроїв, зводиться до одержання лінійної залежності між вихідною і вхідною величинами. На

практиці ця вимога реалізується в загальному випадку тільки з деякою прийнятою заздалегідь похибкою.

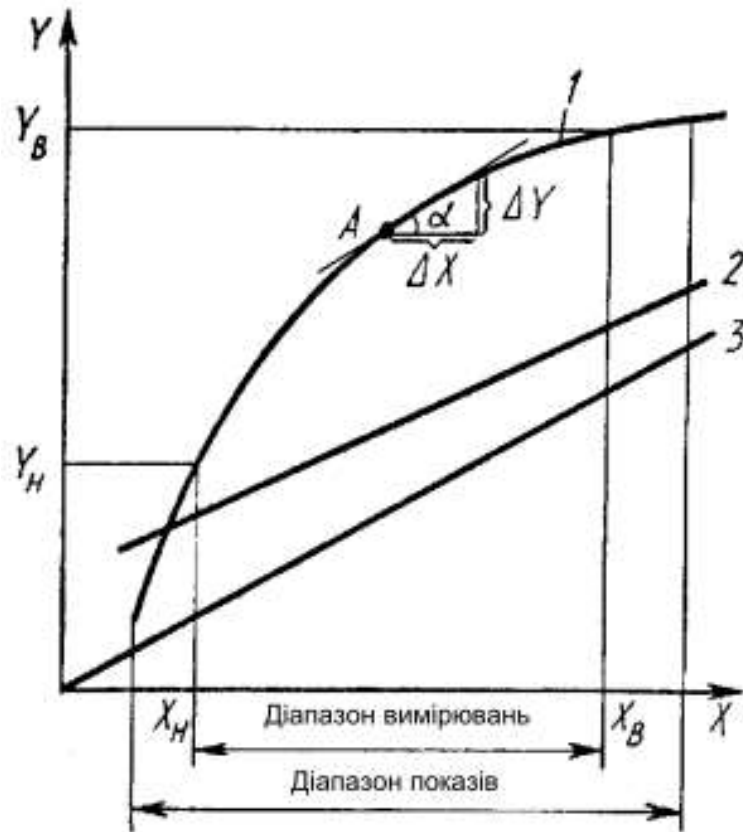


Рисунок 1 Статична характеристика вимірювального пристрою

Крім статичної характеристики для визначення метрологічних властивостей вимірювальних пристроїв використовується ряд параметрів. На рис. 2. на статичній характеристиці 1 графічно представлені поняття діапазону показів, діапазону вимірювань нижньої X_H , Y_H і верхньої X_B , Y_B меж вимірювань.

Діапазон показів — це область значень шкали, обмежена кінцевим і початковим значеннями шкали.

Діапазон вимірювань (робоча частина шкали) — це область значень вимірюваної величини (на шкалі приладу), для якої нормовані допустимі похибки засобів вимірювань. В окремому випадку зазначені діапазони можуть збігатися

вимірювального пристрою діапазони можуть збігатися.

Стосовно вимірювальних пристроїв узагалі діапазон вимірювань часто називають робочим діапазоном перетворень. Верхня межа вимірювань — це

найбільше значення діапазону вимірювань. Нижня межа вимірювань – це найменше значення діапазону вимірювань.

Зі сказаного випливає, що діапазон вимірювань визначається різницею значень верхньої і нижньої меж вимірювань ($Xв-Xн$; $Yв-Yн$). Для кількісної оцінки впливу на вихідний сигнал вимірювального пристрою вхідного сигналу в довільній точці (рис. 1.) статичної характеристики служить межа відношення приросту ΔY вихідного сигналу до приросту ΔX вхідного сигналу, коли останнє прямує до нуля, тобто похідна у вибраній точці:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{dY}{dX}. \quad (2)$$

Стосовно вимірювальних приладів цей параметр називають чутливістю і визначають як відношення зміни сигналу на виході вимірювального приладу до вимірювальної величини, що викликає його зміну. Графічно вона визначається тангенсом кута нахилу α дотичної (рис. 1), проведеної до вибраної точки A статичної характеристики.

Якщо статична характеристика вимірювального приладу нелінійна (крива 1 на рис. 1), то його чутливість буде різною у різних точках характеристики, а шкала приладу – нерівномірною. Прилади з лінійною (пряма 2 на рис. 1) чи пропорційною (пряма 3 на рис. 1) статичної характеристики мають незмінну у будь-якій точці шкали чутливість і рівномірну шкалу.

У вимірювальних перетворювачів статична характеристика, як правило, є лінійною:

$$Y = KX. \quad (3)$$

Тут K – коефіцієнт перетворення (чи при використанні перетворювача в системах автоматичного регулювання – коефіцієнт передачі), який визначений як відношення сигналу на виході вимірювального перетворювача, що відбиває вимірювану величину, до викликаного цього сигналу на вході перетворювача.

Для вимірювальних приладів важливим параметром є *ціна поділки*, яка визначається як різниця значень величин, що відповідають двом сусіднім відміткам шкали. Фізично ціна поділки визначається кількістю одиниць вхідної величини, що містяться в одній поділці шкали вимірювального приладу.

Ціна поділки однозначно пов'язана з числом поділок n шкали вимірювального приладу. Останнє у свою чергу зв'язано з похибкою вимірювального приладу, що зазвичай представляється його класом точності Λ . Число поділок шкали вимірювального приладу, як правило, у першому наближенні визначається зі співвідношення:

$$n \geq 10 / (2\Lambda). \quad (4)$$

При виконанні умови (4) число поділок шкали вибирають таким, щоб ціна поділки складала ціле число одиниць вимірювальної величини.

Порогом чутливості (порогом реагування) вимірювального пристрою розуміють ту найменшу зміну вхідного сигналу, що викликає упевнено фіксовану зміну вихідного сигналу. Як правило, спостерігач, який здійснює вимірювання, упевнено може помітити зсув стрілки на половину поділки шкали, тому поріг чутливості можна вважати рівним половині ціни поділки, а якщо врахувати при цьому співвідношення (4), то у першому наближенні поріг чутливості дорівнює класу точності Λ .

Однією із найважливіших умов одержання коректних результатів вимірювань є врахування взаємодії вимірювальних пристроїв між собою і зоб'єктом вимірювань.

При підключенні вимірювального пристрою чи перетворювача до об'єкта вимірювань останній споживає деяку енергію чи потужність від об'єкта. Аналогічна ситуація має місце при підключенні вимірювального приладу чи перетворювача до виходу попереднього за ланцюгом вимірювання перетворювача. Це визначає необхідність враховувати властивості вимірювальних пристроїв відбирати чи віддавати енергію через свої вхідні чи вихідні ланцюги.

Як характеристику зазначеної властивості прийнято використовувати для вимірювальних пристроїв поняття *вхідного імпедансу* (повного чи удаваного опору), а для вимірювальних перетворювачів – поняття *вхідного і вихідного імпедансів*. У загальному випадку під імпедансом Z розуміють відношення узагальненої сили N до обумовленої нею узагальненої швидкості W :

$$Z = N / W. \quad (5)$$

Сьогодні поняття вхідного і вихідного імпедансів широко використовується для електричних вимірювальних пристроїв. При цьому імпеданс визначається як відношення напруги до струму. Стосовно вимірювальних пристроїв для неелектричних величин у кожному окремому випадку потрібно проведення досліджень для встановлення найбільш доцільної форми представлення вхідного і вихідного імпедансів.

2 Статична характеристика датчика

Датчик - конструктивно закінчений елемент, що складається із чутливого елемента й вимірювальних перетворювачів (ВП). Із введенням уніфікованих сигналів у практику приладобудування ввійшло виробництво датчиків з уніфікованим вихідним сигналом. У цьому випадку датчиком називають об'єднані в одному блоці первинний вимірювальний перетворювач та нормалізуючий перетворювач. ВП служать для перетворення природного сигналу чутливого елемента (первинний перетворювач) у форму, зручну для передачі або обробки. Сучасні датчики містять вузли, що виконують лінеаризацію, коректування й іншу обробку сигналу. Приклад структурної схеми датчика наведений на рис.2.



Рисунок 2 - Структурна схема датчика

Основні характеристики датчика: вхідний параметр, вихідний сигнал, статична характеристика, динамічна характеристика й похибки, конструктивні характеристики.

Статична характеристика датчика (вхід-вихід) відображає функціональну залежність вихідного сигналу від вхідного параметра в режимі, що встановився. Статична характеристика задається: аналітично, графічно, таблично.

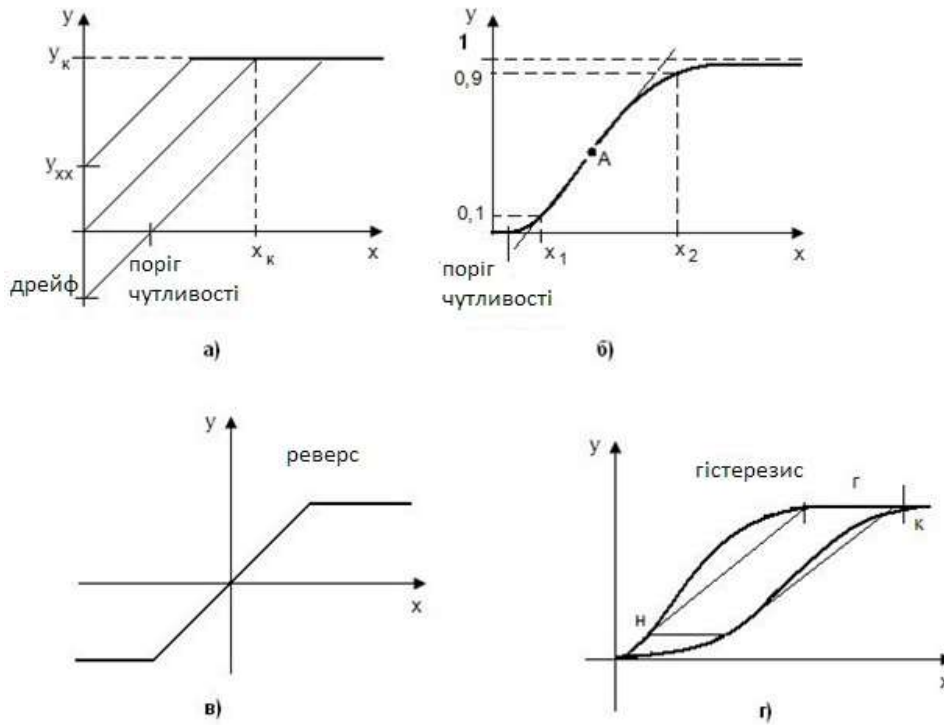


Рисунок 3 - Статичні характеристики датчиків: а) лінійні нереверсивні, б) реальні нелінійні, в) реверсивна, г) гістерезисна.

По цій характеристиці визначаються такі параметри датчика, як чутливість (коефіцієнт перетворення), поріг чутливості, лінійність, величина дрейфу; динамічний діапазон, параметри гістерезису і т.д. Для деяких типів датчиків (термопари) установлені номінальні статичні характеристики (НСХ) і встановлені класи точності відповідно до відсотка відхилень від НСХ.

1) Коефіцієнт перетворення або коефіцієнт передачі - це відношення вихідної величини елемента Y_k до вхідної величини X_k або відношення приросту вихідної величини ($\Delta Y = Y_2 - Y_1, dy$) до приросту вхідної величини ($\Delta X = X_2 - X_1, dx$):

Статичний коефіцієнт перетворення (k, k').

$$k = \frac{Y}{X}, \quad k' = \frac{\Delta Y}{\Delta X}.$$

Значення динамічного коефіцієнта перетворення K_d залежить від вибору робочої точки. (Рис. 3б) точка А).

$$k' = \frac{dy}{dx}.$$

2) Порогом чутливості називається мінімальна величина на вході елемента, яка викликає зміну вихідної величини. При зміні вхідної величини X від 0 до порога вихідна величина Y не змінюється й рівна 0. Рис. 3а, б.

3) Лінійність. Статичні характеристики датчика на робочій ділянці (біля точки A) повинні бути лінійними, відхилення вимірюються в %.

4) Дрейф цей зсув характеристики при зміні зовнішніх умов стосовно стандартних. Рис. 3а.

5) Діапазон вимірювань – область значень вимірюваного сигналу, для якого нормовані вимірювані похибки. Ця область обмежена межами вимірів найбільшими й найменшими значеннями діапазону вимірів. $D=X_{кз} .. X_n$, де $X_{кз}$ - кінцеве значення шкали приладів, X_n - поріг чутливості приладів. Діапазон вимірів може складатися з декількох піддіапазонів. Динамічний діапазон використовують, якщо діапазон дуже великий.

$$Dd=20*Log(X_2/X_1)$$

б) Характеристики багатьох датчиків мають гістерезис: сигнал датчика при прямому й зворотному ході відрізняються, основний показник гістерезису ширина петлі. Рис. 3 г.

7) Реле - це елемент автоматики, у якому при досягненні вхідної величини X певного значення, вихідна величина змінюється стрибком. Залежність $Y=f(X)$ є варіантом гістерезису й має форму петлі. Рис4.

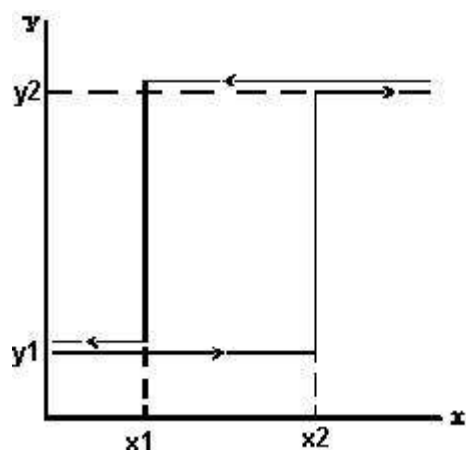


Рис. 3. Характеристика реле

Стрибкоподібна зміна Y у момент $X=X_2$ називається величиною спрацьовування. Стрибкоподібна зміна Y у момент $X=X_1$ називається величиною

відпускання. Відношення величини відпускання X_{21} до величини спрацьовування X_2 називається коефіцієнтом повернення. Зазвичай $X_2 > X_1$, тому $K_B = X_1/X_2 < 1$.

3 Експериментальні дослідження датчика температури методом занурення

У відповідності з вище приведеною методикою були проведені експериментальні дослідження параметрів датчика температури ДТ-1. В процесі досліджень вивчався вплив "старіння" датчика на функцію перетворення та перехідну характеристику датчика. Досліджувались датчики: новий; який був в експлуатації 1 рік; який був в експлуатації 2 роки та який був в експлуатації 3 роки.

Результати дослідження функції перетворення датчика температури ДТ-1 приведені на рисунках 4-11.

На рисунку 4 зображено сімейство з 4 функцій перетворень $R_1 = f(t^{\circ}C)$ для датчика ДТ-1, який був в експлуатації 1 рік.

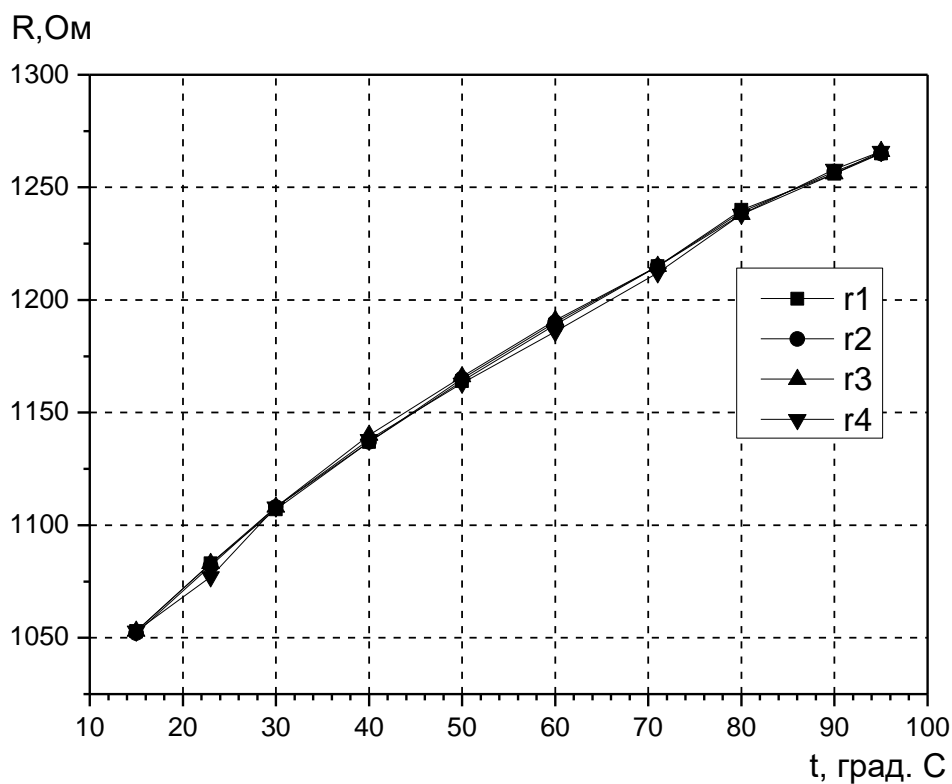
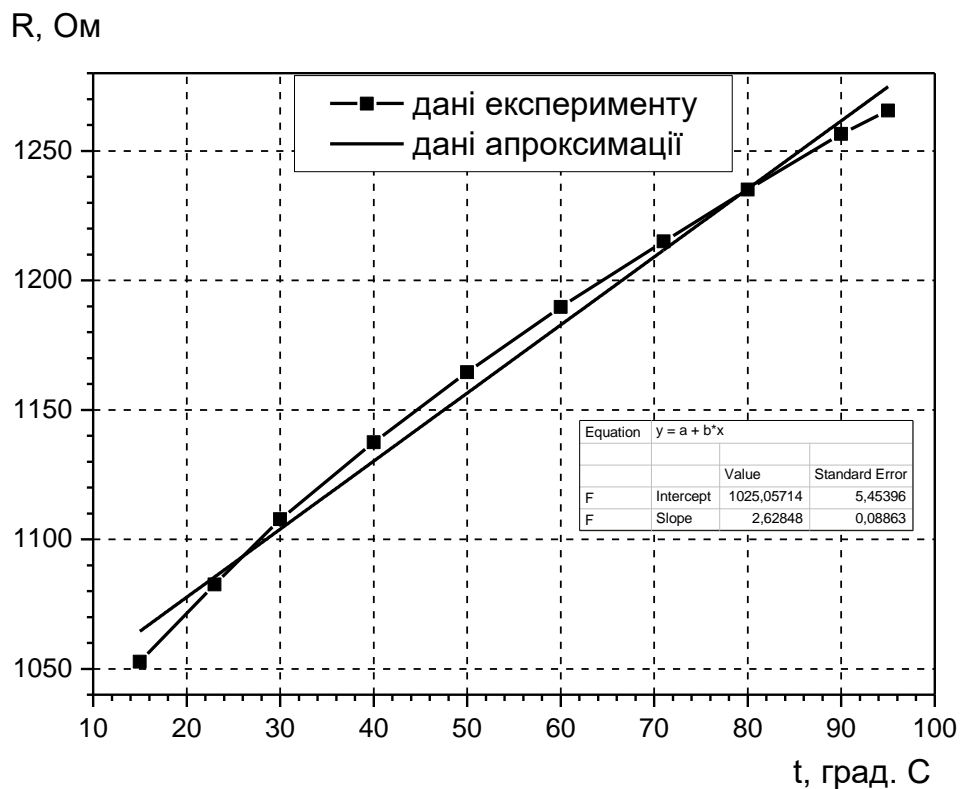


Рисунок 4 - Функції перетворення $R_1 = f(t^{\circ}C)$ датчика ДТ-1, який був в експлуатації 1 рік

В подальшому ці дані усереднювались і порівнювались з еталонною функцією перетворення. В якості еталонної функції перетворення було взято апроксимаційний вираз для функції перетворення приведений в технічних характеристиках на датчик ДТ-1 заводом виготовлювачем:

$$R_0(t^{\circ}C) = 1025.05714 + 2.62848 \cdot t^{\circ}C . \quad (6)$$

Слід відмітити, що функція перетворення нового датчика температури практично повністю співпадає з кривою описуваною виразом (6). На рисунку 5 зображена усереднена та еталонна функції перетворення ДТ-1, який пропрацював 1 рік.



Рисунк 5 - Усереднена та еталонна функції перетворення ДТ-1

Як видно з рисунка 5 експериментально отримана функція перетворення датчика температури, який був в експлуатації рік відрізняється від еталонної функції перетворення. Експериментально отримана функція перетворення

датчика температури носить нелінійний характер. Графік різниці $\Delta R_F = R_1(t^{\circ}C) - R_0(t^{\circ}C)$ приведений на рисунку 6.

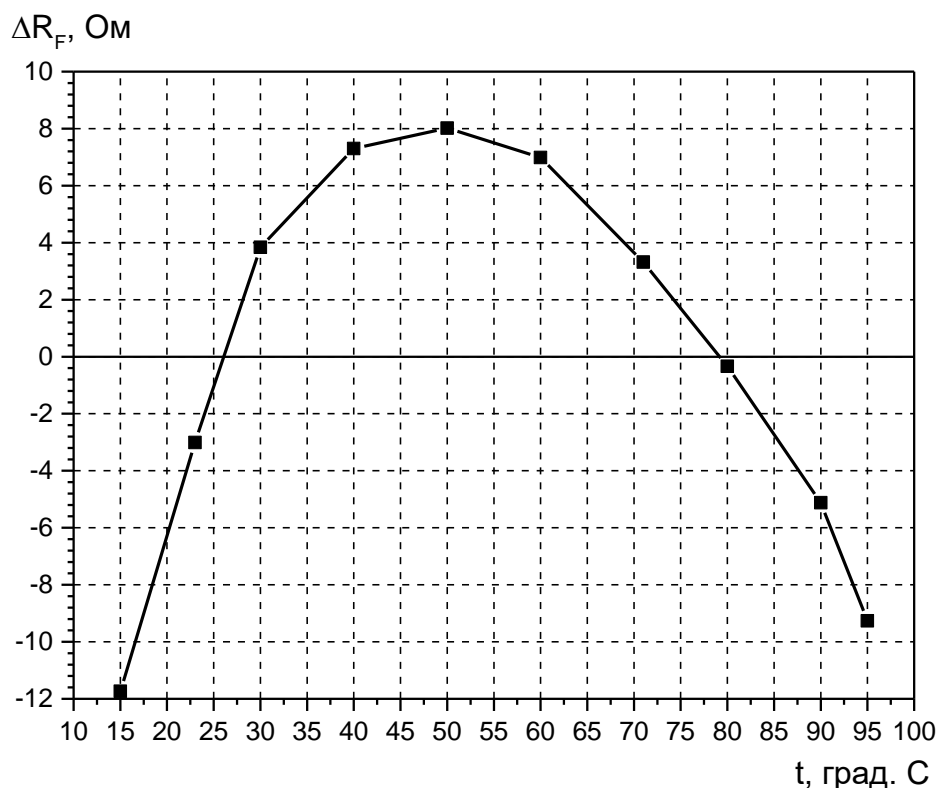


Рисунок 6 – Графік різниці між експериментально отриманою та еталонною функцією перетворення датчика температури

Відхилення функції перетворення від лінійності приводить до похибок вимірювання температури на краях робочого діапазону датчика температури в 5-7° С. Цю похибку необхідно коректувати в процесі калібровки датчика. Лінійна функція (6) для цього не підходить, тому в процесі калібровки необхідно визначати калібровочні коефіцієнти майже через 1° С, а це значно підвищує трудозатрати. З метою зменшення трудозатрат і підвищення точності калібровки датчика ДТ-1 пропонується визначати калібровочні коефіцієнти за апроксимацією функції перетворення датчика нелінійною функцією виду:

$$y(x) = A_1 \cdot \exp\left(\frac{-x}{t_1}\right) + y_0. \quad (7)$$

Для пошуку апроксимаційного виразу використовувався пакет MicrocalOrigin та дані експериментальних досліджень датчика ДТ-1 з річним терміном експлуатації. Приклад використання приведений на рисунку 7.

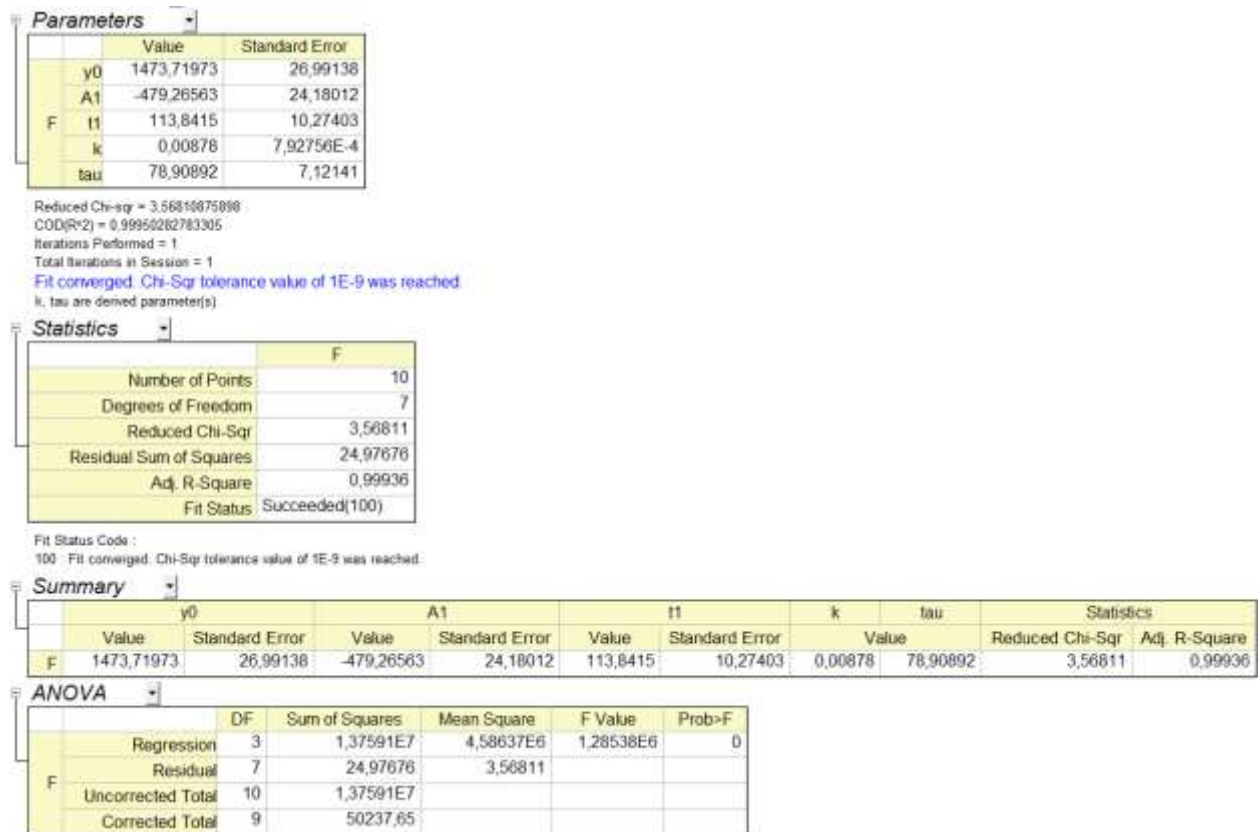


Рисунок 7 – Результати апроксимації експериментально отриманої функції перетворення ДТ-1 за алгоритмом Левенберга Маркуарда

Достовірність апроксимації перевірялась згідно критерію χ^2 і становить 0.99936 (рисунок 7).

На рисунку 8 приведена знайдена за результатами експериментів апроксимована згідно **Ошибка! Источник ссылки не найден.** функція перетворення ДТ-1 яка описується виразом:

$$R_1'(t^{\circ}C) = -479.2653 \cdot \exp\left(\frac{-t^{\circ}C}{113.8415}\right) + 1473.71973. \quad (8)$$

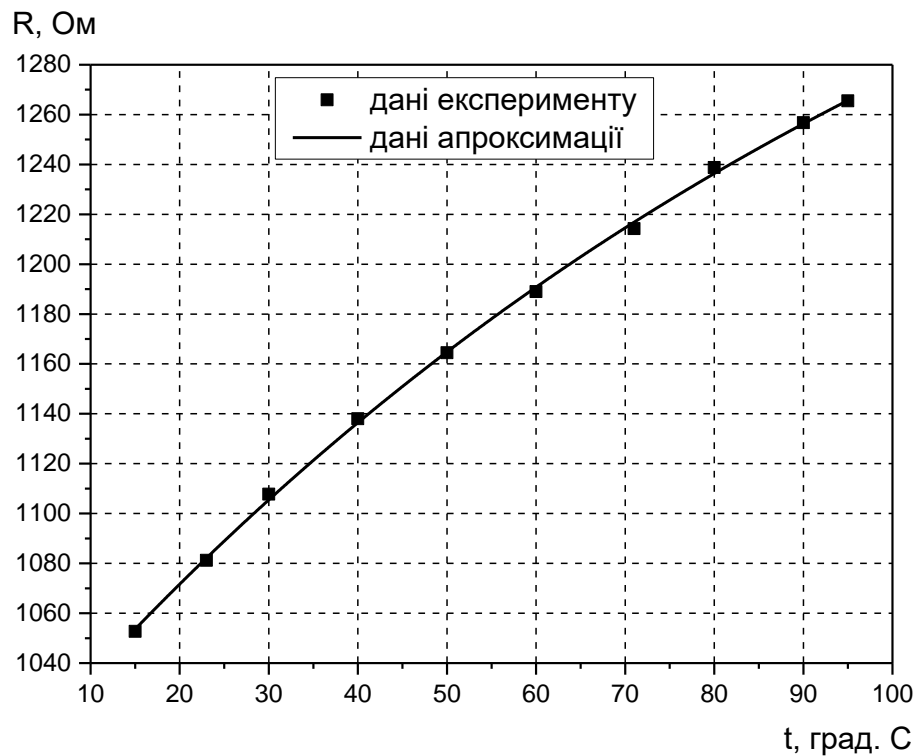


Рисунок 8– Нелінійна апроксимація функції перетворення датчика ДТ-1

Графік помилки апроксимації $\Delta R'_F = R'_1(t^\circ C) - R_1(t^\circ C)$ приведений на рисунку 9. Точність апроксимації не перевищує 3 Ом, що відповідає точності вимірювання температури $\Delta t = \pm 0.12^\circ C$.

Таким чином з врахуванням апроксимації (8) калібраційні коефіцієнти для датчика ДТ-1 з річним терміном експлуатації можна визначити як:

$$\Delta R_F = R'_1(t^\circ C) - R_0(t^\circ C),$$

$$\Delta R_F = 448.6626 - 479.2653 \cdot e^{-0.0088t} - 2.62848 \cdot t. \quad (9)$$

Для вивчення впливу часу експлуатації датчика ДТ-1 на його функцію перетворення досліджувались однотипні датчики з різним терміном експлуатації – новий, 1 рік, 2 роки та 3 роки. Результати досліджень приведені на рисунках 10-12.

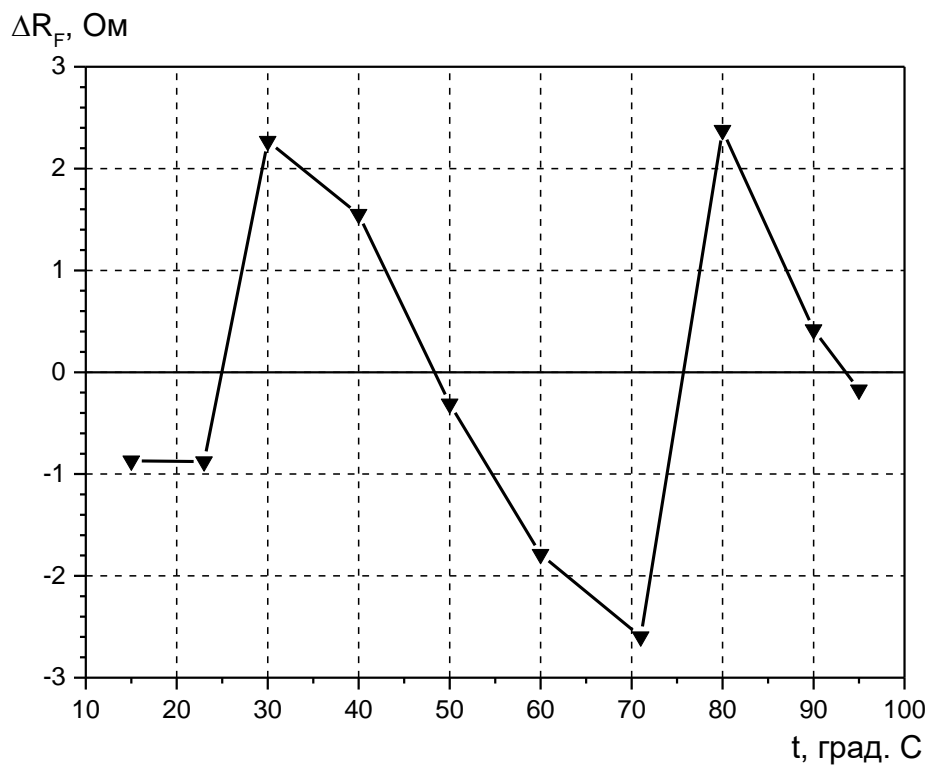


Рисунок 9– Графік помилки апроксимації $\Delta R'_F = R'_1(t^{\circ}C) - R_1(t^{\circ}C)$

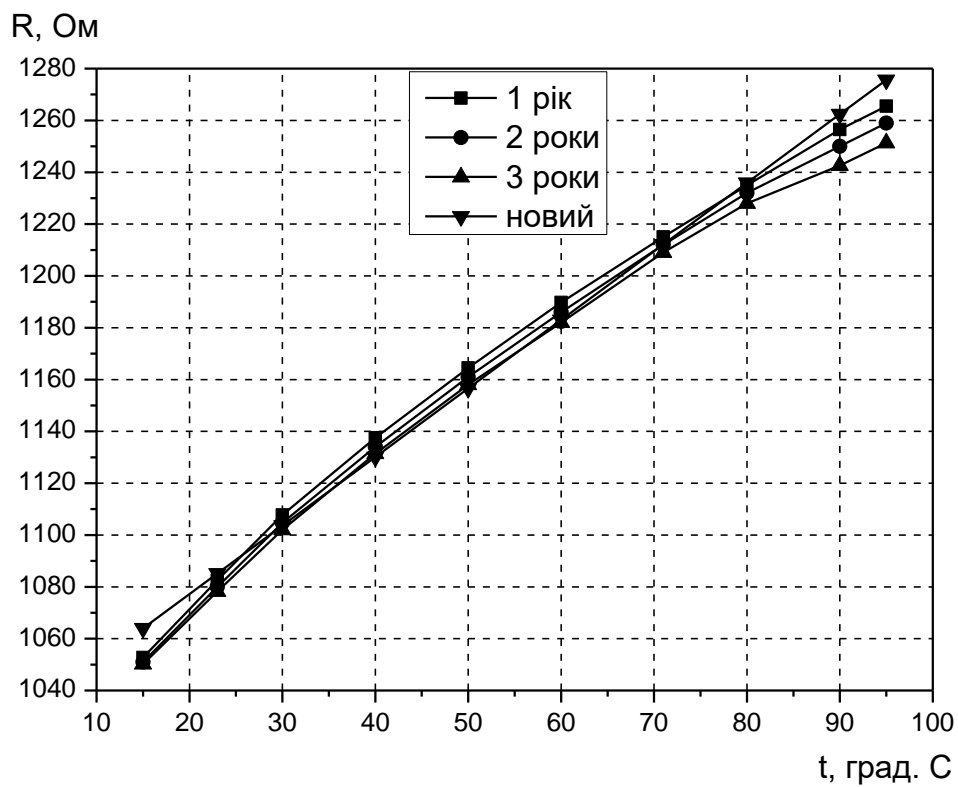


Рисунок 10 - Усереднені функції перетворення датчиків ДТ-1 з різним терміном експлуатації

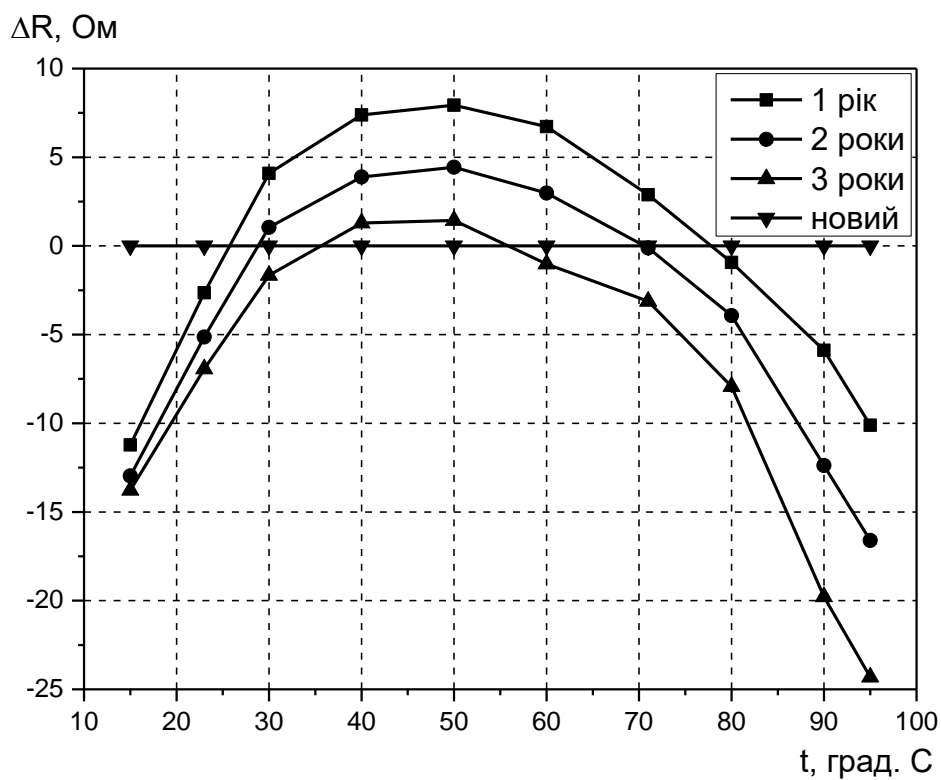


Рисунок 11 – Графіки різниці між експериментально отриманими та еталонною функціями перетворення датчика ДТ-1

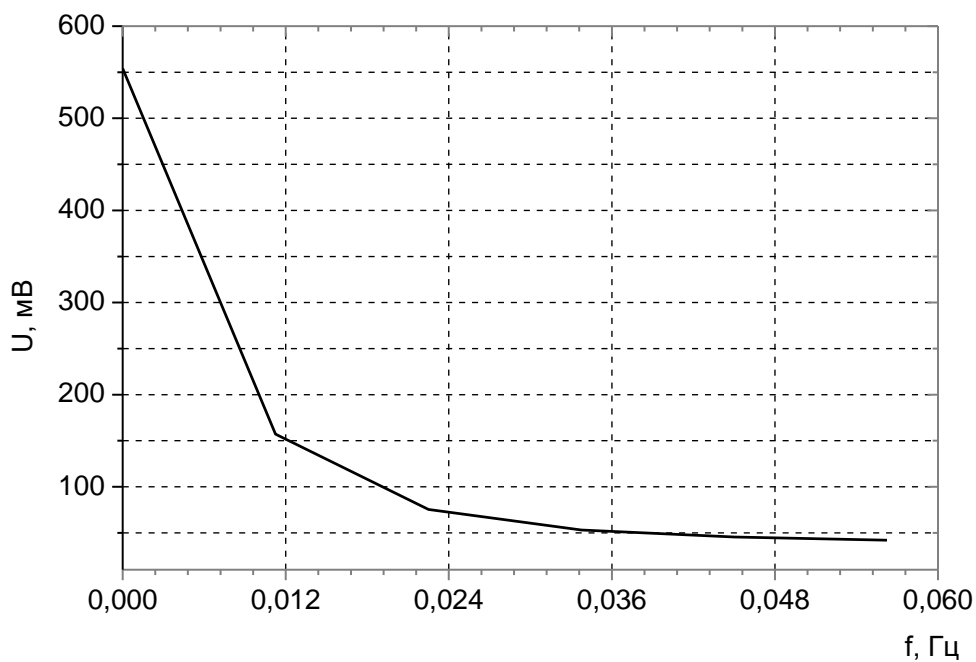


Рисунок 12- Амплітудно-частотна характеристика датчика

ВИСНОВКИ

Таким чином, дуже важливо для забезпечення необхідної точності вимірювань необхідно правильно вибирати робочу точку