

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Приладів і контрольно-вимірювальних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інформаційно-вимірювальна система автономного цифрового  
вимірювача температури для дослідження теплопровідності матеріалів

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РНм

спеціальності 153 Мікро- та наносистемна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Зерук Я.В.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Дубиняк Т.С.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

Наконечний Ю.І.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

Паламар М.І.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Приладів і контрольно-вимірювальних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПВ

Паламар М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«    »                      20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 153 Мікро- та наносистемна техніка  
(шифр і назва спеціальності)

студента Зерука Ярослава Володимировича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно-вимірювальна система автономного цифрового  
вимірювача температури для дослідження теплопровідності матеріалів.

Керівник роботи Дубиняк Тарас .Степанович к.т.н., доц. каф. ПВ  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

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



## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: Інформаційно-вимірювальна система автономного цифрового вимірювача температури для дослідження теплопровідності матеріалів до промисловості технології приладобудування

Об'єкт дослідження нашої роботи - портативні вимірювачі температури, приклади використання їх в експлуатації в стенді для дослідження теплопровідності матеріалів, перевірка вимірювальних перетворювачів температурних датчиків.

Мета роботи – розробка цифрового вимірювального перетворювача та стенду для дослідження теплопровідності матеріалів.

В роботі я провів аналіз пристроїв вимірювання температурних характеристик, вибрав раціональну схему побудови термометра та типу первинного вимірювального перетворювача.

Для виконавчих механізмів, що забезпечують роботу стенду для дослідження теплопровідності матеріалів, приведені конструктивний розрахунок і опис принципу роботи.

Здійснено аналіз похибок вимірювальних каналів і вибрані допустимі значення параметрів і режимів роботи розроблюваних пристроїв.

**ТЕРМОРЕЗИСТИВНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ТЕМПЕРАТУРА, СХЕМА ВКЛЮЧЕННЯ, НАДІЙНІСТЬ, ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ, МІКРОПРОЦЕСОР.**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	8
1.1 Порівняльний аналіз технічних характеристик портативних терморезистивних термометрів з автономним живленням .....	8
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	12
2.1 Порівняльний аналіз схем цифрових портативних термометрів .....	12
2.2 Вибір та обґрунтування схеми проєктованого терморезистивного термометра .....	40
2.3 Вимірювальний стенд з застосуванням терморезистивного термометра .....	45
2.4 Розрахунок зубчастої передачі колесо-рейка.....	46
2.5 Розрахунок надійності .....	46
2.6 Перевірка цифрового терморезистивного термометра .....	48
2.7 Визначення основної похибки вимірювання .....	50
2.8 Оформлення результатів перевірки .....	50
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	52
3.1 Постановка задачі.....	52
3.2 Визначення виду аналітичної залежності і її коефіцієнтів .....	54
4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	59
4.1 Розрахунок генератора струму .....	59
4.2 Розрахунок підсилювача .....	62
4.3 Визначення сталої інтегратора .....	63
4.4 Розрахунок джерела опорної напруги.....	64
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	68
5.1 Вимоги до виробничого освітлення та його нормування .....	68
Фон.....	70
5.2 Характеристика небезпечних зон обладнання і заходи безпеки при роботі.....	71

5.3 Розрахунок плавкої вставки електродвигуна .....	74
5.4 Оцінка стійкості роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях природного характеру.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	83
ДОДАТКИ.....	86

## ВСТУП

Якість продукції, що випускається на машинобудівних підприємствах залежить від кількості і якості вимірювань з допомогою яких контролюються технологічні параметри виробничих процесів, так і параметри, характеристики і властивості одержуваних виробів.

У приладобудуванні до 15% трудових затрат приходиться на виконання вимірювань, які забезпечують якість, надійність і взаємозамінність виробів.

Вдосконалення методів і засобів вимірювань проходить безперервно.

Їх успішне освоєння і використання на виробництві вимагає знань основ технічних вимірювань, знайомства з будовою сучасних вимірювальних приладів і прийомами роботи на них.

Іншими із шляхів вирішення цієї проблеми є підготовка в технічних закладах всесторонньо розвинутих, технічно освічених молодих спеціалістів.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Порівняльний аналіз технічних характеристик портативних терморезистивних термометрів з автономним живленням

Завданням, поставленим для виконання в даній курсовій роботі, є розробка автономного цифрового вимірювача температури та стенду для дослідження теплопровідності матеріалів, в якому вимірювач температури є основним функціональним блоком.

У даний час зарубіжні фірми випускають різні моделі цифрових портативних термометрів з автономним живленням, які працюють у комплекті з різними типами контактних первинних вимірювальних перетворювачів: термоелектричними, терморезистивними перетворювачами, напівпровідниковими термісторами, термодіодами, термотранзисторами і др. Різні моделі відрізняються типом первинного перетворювача, діапазоном вимірювання, точністю, роздільною здатністю, сферою використання, можливістю виконувати певні сервісні функції, конструктивним виконанням.

Розробкою і масовим випуском цифрових термометрів з автономним живленням займаються такі фірми:

США: Omega, Wahl, Cole-Parmer, Keithley, Fluke, RFL Industries Inc., Beckmann Instruments.

Німеччина: Testoterm, Siemens, Motoco, Ahlborn, Denken, Ultrakust, Generalagent Transfer.

Франція: AOIP, EMT, Sopac Thermo controle, Thermo Electric, JUMO, Novodirect.

Австрія: Printtechnic, Tour und Andersson, Norma.

Нідерланди: Philips, Passkorsky mess Electronic.



Англія: Kane-May Instrumentation Ltd., Rototherm, Digitec, Comark.

Японія: Takeda Riken, Anristu Meter Co., Aaron Corporation.

Фінляндія: Vaisgla.

Велика кількість зарубіжних фірм, що випускає ЦПТ (цифрові портативні термометри) свідчить про великий попит на такі прилади.

Така актуальність зумовлена з однієї сторони тим, що більшість технологічних процесів і наукових експериментів вимагають підтримки заданих температурних режимів, а також експрес-оцінки значення вимірної температури. З другої сторони, мале енергоспоживання (100-200мВт), габарити (розміри калькулятора), маса (50-300г) і автономне живлення зробили портативні термометри економічно вигідними.

ЦПТ постачаються у комплекті з первинними вимірювальними перетворювачами температури різного конструктивного виконання, яке визначається діапазоном вимірювання, сферою використання і умовами експлуатації.

Більшість моделей ЦПТ призначена для використання у промислових або польових умовах, що накладає особливі вимоги до конструктивного і технологічного виконання корпусів.

Такі моделі приладів поміщаються у протиударні, пиловодонепроникні корпуси, деякі - в особливі, які захищають прилад не тільки від ударів, вібрації, пилу, вологи, агресивних середовищ, але і від ряду різноманітних випромінювань.

За останні 10 років значно покращилася елементна база приладів, постійно вдосконалюється технологія виготовлення, використовуються найновіші досягнення мікроелектроніки.

Як правило аналого-цифровий перетворювач (АЦП) являє собою велику інтегральну схему з високим ступенем інтеграції. Наприклад, фірма Fluke розробила дві надвеликі інтегральні схеми [6].

На одній з них розміщується АЦП і схема обробки сигналів, друга являє собою спеціальний мікропроцесор (МП), який управляє вимірюванням, автоматичним вибором піддіапазону, виводом даних на індикатор.

Взагалі введення МП, виконаних по КМОП-технології, розширило сервісні функції ЦПТ. Разом з лінеаризацією функції перетворення первинних вимірювальних перетворювачів, МП дозволяє запам'ятовувати мінімальні та максимальні значення вимірюваної величини, здійснювати статистичну обробку результатів вимірювань, проводити автокалібровку приладів.

Як правило портативні цифрові прилади мають 3,5-розрядну індикацію, що забезпечує роздільну здатність ЦПТ 0,1 К або 1 К.

Великі енергопотреби визначили використання індикаторів на рідких кристалах. За останній час все частіше використовуються крім цифрових і дискретно-аналогові індикатори.

На індикаторі, разом з числовим значенням вимірюваної величини, вказується її символ і розмірність, а також різні умовні позначення, що дають інформацію про роботу приладу. Розмірність вимірюваної величини, як правило, індикуються у цифрових мультиметрах і ЦПТ, що використовують різні температурні шкали.

В якості джерела живлення використовуються вмонтовані батареї напругою 9 В з тривалістю роботи 100-200 годин, або нікель-кадмієві акумуляторні батареї з підзарядкою при часі неперервної роботи 8-15 годин.

Особливістю цифрових портативних приладів є багатофункціональність, що свідчить про їхню гнучку структуру.

Разом з цифровими портативними мультиметрами, які вимірюють електричні величини, а інколи і температуру, а також цифровими портативними термометрами, зарубіжні фірми випускають широкий асортимент портативних цифрових приладів: вологомірів, термоанемометрів, мікрометрів, штангенциркулів, кутомірів, тахометрів, концентратомірів, рН-метрів, газоаналізаторів, які вимірюють відповідні неелектричні величини: вологість, швидкість повітряних потоків, швидкість рідин, лінійні і кутові розміри, швидкість обертання механізмів і число обертів, лінійну

швидкість, концентрацію кисню і солей у воді, водневий показник, показник РН і вміст кисню, СО і СО<sub>2</sub> у газовій суміші. Технічні параметри таких приладів, їх функціональні можливості і галузі використання визначаються датчиками, які використовуються.

На жаль, вітчизняна промисловість виробляє лише три типи ЦПТ: ТТЦ-1, ТЕМЦ-2, Щ 455, які за експлуатаційними і метрологічними характеристиками поступаються перед кращими зразками приладів зарубіжних фірм, що заважає їхній конкурентоспроможності на світовому ринку.

Тому зараз ведуться інтенсивні пошуки нових конструкторсько-технологічних, структурно-алгоритмічних і схемотехнічних рішень ЦПТ з метою організації їх масового випуску в нашій країні.

## 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Порівняльний аналіз схем цифрових портативних термометрів

Жорсткі вимоги до технічних характеристик (досить висока точність, низьке енерговикористання, малі габаритні параметри) цифрових портативних термометрів (ЦПТ) накладають значні труднощі при виборі елементної бази, схемотехнічних і конструкторсько-технологічних рішень, в порівнянні з приладами стаціонарного виконання, котрі живляться від мережі.

Найбільший вплив на метрологічні характеристики і енергоспоживання переносних термометрів мають аналого-цифровий перетворювач АЦП інформативних параметрів первинних перетворювачів і пристрої лінеаризації їх статистичних характеристик перетворення. Звичайно, аналого-цифрове перетворення реалізується на базі АЦП двохтактного інтегрування в інтегральному виконанні, а лінеаризація здійснюється по аналоговому або цифро-аналоговому методу.

Проаналізуємо деякі відомі схемотехнічні рішення і технічні характеристики сучасних ЦПТ.

На рисунку 2.1 показана функціональна схема ЦПТ типу Щ 455 і Щ 455/1, серійний випуск яких освоюється на Єреванському заводі "Електроточприбор" [20].

Підключення термоперетворювача опору (ТО) до приладу здійснюється по чотирьох провідниковій схемі. При цьому напруга, яка подається на вхід АЦП для мідного ТО, буде дорівнювати:

$$U_{\text{вд}} = U_{\text{тс}} - U_0 = I_1 \cdot R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) - I_2 \cdot R_1, \quad (2.1)$$

де  $I_1$ -вимірювальний струм через ТО;

$U_0$  і  $U_{\text{тс}}$  - напруга на ТО відповідно при температурі  $0^\circ\text{C}$  і вимірюваній температурі  $\theta$ ;

$R_0$ - опір ТО при  $0=0^\circ\text{C}$ ;

$I_2$ - вимірювальний струм через коло резисторів для компенсації напруги  $U_0$  і формування опорної напруги  $U_{\text{н}}$ ;

$R_1$ - компенсаційний резистор з номінальним опором рівним  $R_0$ ;

$\alpha$  -температурний коефіцієнт мідного ТО .

При дотриманні умови  $I_1 \cdot R_0 = I_2 \cdot R_1$  вираз (2.1) спрощується:

$$U_{\text{вд}} = I_1 \cdot \alpha \cdot R_0 \cdot \theta \quad (2.2)$$

У відповідності до алгоритму роботи інтегрального АЦП типу К572ПВ2

А покази цифрового індикатора ЦІ визначаються виразом

$$N = 1000 \cdot U_{\text{вд}} / U_{\text{н}}$$

З врахуванням виразу (2.2)

$$N = K_{\text{ІД}} \cdot \theta, \text{ де}$$

$$K_{\text{ІД}} = 1000 \cdot I_1 \cdot \alpha \cdot R_0 / U_{\text{оп}} \quad (2.3)$$

Прийнявши ціну одиниці молодшого розряду рівній  $0.1^\circ\text{C}$ , можна отримати  $K_{\text{ІД}} = 10$ .

Тоді з виразу (2.3) неважко знайти:

$$U_{OP} = 100 \cdot I_1 \cdot \alpha \cdot R_0.$$

Для зменшення похибки самонагріву струми через ТО і коло резисторів вибрані рівними  $I_1 = I_2 = 2 \text{ мА}$ .

Для мідного ТО з номінальною статистичною характеристикою перетворювання (НСХП) 50М.

$$R_0 = 50 \hat{\Omega}, \alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C},$$

а, відповідно,  $U_{ij} = 42,6 \hat{\text{В}}$ .

По значенню визначають опір

$$R_{ij} = U_{ij}^2 / I_1^2 = 21,3 \hat{\Omega},$$

який показаний на рисунок 2.1 в вигляді почергового з'єднання резисторів R2 і паралельно з'єднаних резисторів R3 і R4 (з метою більш точної підгонки).

У приладі Щ 455/1 передбачена лінеаризація НСХП платинового ТО, яка здійснюється цифро-аналоговим методом шляхом зміни коефіцієнту перетворювання при вимірюванні напруги  $U_{ij}$  на двох піддіапазонах виміру.

Для цього характеристика ТО на піддіапазонах від -50 до 0 і від 0 до +50°C апроксимується кусково-лінійною залежністю з крутизною перетворення на ділянках апроксимації відповідно  $3,997 \cdot 10^{-3}$  і  $3,948 \cdot 10^{-3}$  Ом/°C.

При цьому значення  $U_{OP}$  на цих піддіапазонах рівне відповідно 79,94 і 78,96 мВ, а максимальна похибка лінеаризації у діапазоні від -50 до +50°C не перевищує 0,08°C.

Зміна значення  $U_{ij}$  здійснюється з допомогою кола резисторів R2, R3 і транзистора VT (Рисунок 1.2) затвор якого під'єднаний через інвертор D знаковим розрядом вихідного кода перетворювача АЦП.

На піддіапазоні вимірювання від  $-50$  до  $0^{\circ}\text{C}$  транзистор закритий (перетворення відбувається з крутизною  $3,997 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$ ), а на піддіапазоні від  $0$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  - відкритий і паралельно до резистора R2 підключається резистор R3 (перетворення відбувається з крутизною  $3,948 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$ ).

Прилад працює від блока акумуляторів, який включає в себе чотири акумулятори типу Д-0,55 Д.

До недоліків приладів типу Щ 455/1 слід віднести вузький діапазон вимірювання ( $-50 \dots +50^{\circ}\text{C}$ ).

Розширення діапазону вимірювання при використанні схеми (Рисунок 2.2) цифро-аналогової лінеаризації можливе шляхом збільшення піддіапазонів вимірювання, вимагає відповідного збільшення ключів VT, інверторів D і резисторів R8, а це, в свою чергу, потягне за собою збільшення енергоспоживання приладів і зниження точності через взаємний вплив струму витікання ключів.

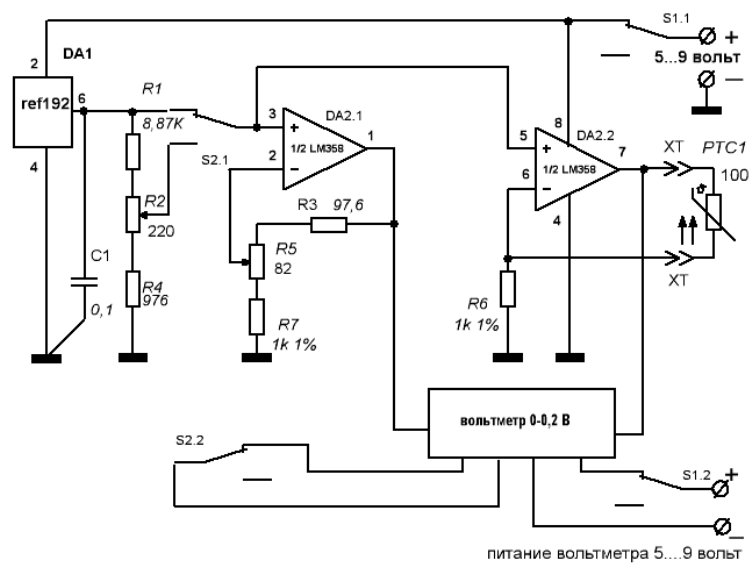


Рисунок 2.1 – Схема цифрового термометра Щ 455

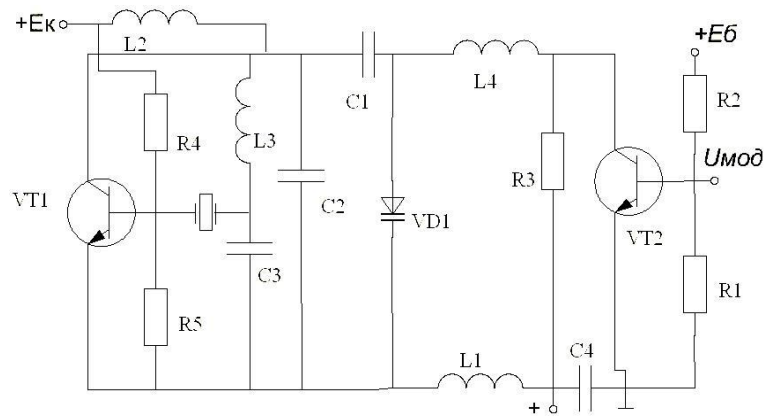


Рисунок 2.2 – Схема параметричної корекції нелінійності

Другим суттєвим недоліком схеми (рис. 2.1) є необхідність використання двох гальванічно розв'язаних стабілізаторів струму, що ускладнює організацію їх живлення і схемну реалізацію, а також збільшують похибку вимірювання внаслідок нестабільності струмів  $I_1$  і  $I_2$  (див. вираз 1.1).

Проаналізуємо роботу ЦПТ, зробленого по схемі, яка зображена на рисунку 1.3 [2].

Струм  $I_0$  через замкнутий контакт зведеного струмового перемикача П від стабілізатора струму СС1 протікає по ТО, а струм  $n \times I_0$  ( $n$ - відношення струмів стабілізаторів струму СС1 і СС2) від СС2 через інший замкнутий контакт перемикача П-по зразковому резистору RЗР. На виході операційного підсилювача ОП формується напруга:

$$U_1 = -I_0 \cdot (R_{\hat{I}} - n \cdot R_{\hat{C}}) + U_{\hat{D}}, \quad (2.4)$$

де  $R_{\hat{I}}$  - опір ТО при вимірюваній температурі  $\hat{I}$ ;

$R_{\hat{C}}$  - опір зразкового резистора

$U_{\hat{D}}$  - дрейф нуля ОП.

У кінці тривалості  $t_1$  першого такту інтегрування напруга на виході інтегратора приймає значення:



$$U_2(t) = \tau_1^{-1} \cdot \int_0^{t_1} U_1 dt = -(I_0 \cdot (R_{\text{ON}} - n \cdot R_{\text{CA}}) \cdot t_1 + U_{\text{AD}} \cdot t_1) / t \quad (2.5)$$

де  $\tau_1$  - постійна часу інтегратора .

У момент  $t_1$  формувач часових інтервалів ФЧІ починає формування часового інтервалу  $t_0$  і дає команду для переводу струмового перемикача П, при якому струм  $I_0$  від СТ1 тече по зразковому опорі  $R_{\text{ЗР}}$ , а струм  $n I_0$  від СТ2 тече по ТО, створюючи на виході сигнал другого інтегрування:

$$U_2 = I_0 \cdot (R_{\text{CD}} - n \cdot R_{\text{OI}}) + U_{\text{AD}} \quad (2.6)$$

Вихідний сигнал починає падати до моменту рівності його вихідної напруги нулю, який фіксується нуль-органом НО.

Виходячи з (1.5) маємо:

$$(I_0 \cdot (R_{\text{ON}} - n \cdot R_{\text{CA}}) \cdot t_1 + U_{\text{AD}} \cdot t_1) / \tau_1 + \tau_1^{-1} \cdot \int_{t_1}^{t_1+t_0} (I_0 \cdot (R_{\text{ON}} - n \cdot R_{\text{CA}}) + U_{\text{AD}} \cdot t_1) dt = 0$$

звідки

$$-I_0 \cdot (R_{\text{ON}} - n \cdot R_{\text{CA}}) \cdot t_1 + U_{\text{AD}} \cdot t_1 + I_0 \cdot (R_{\text{CA}} - n \cdot R_{\text{ON}}) \cdot t_0 + U_{\text{AD}} \cdot t_0 = 0$$

і

$$t_0 = (R_{\text{ON}} - n \cdot R_{\text{CA}}) \cdot t_1 / (R_{\text{CA}} - n \cdot R_{\text{ON}}) - U_{\text{AD}} \cdot (t_1 - t_0) / I_0 \cdot (R_{\text{CA}} - n \cdot R_{\text{ON}}) \quad (2.7)$$

Складова

$$Z_1 = -U_{\text{AD}} \cdot (t_1 - t_0) / I_0 \cdot (R_{\text{CA}} - n \cdot R_{\text{ON}})$$

визначає похибку вимірювання, викликану нерівністю нулю  $U_{\Delta 0}$ .

У ФЧІ віднімаємо часовий інтервал:

$$t_{00} = (R_0 - n \cdot R_{\hat{C}}) \cdot t_1 / (R_{\hat{C}} - n \cdot R_0)$$

з виразу (1.7), внаслідок чого покази термометра стають рівними:

$$N = f_0 \cdot [(R_0 - n \cdot R_{\hat{C}}) \cdot t_1 / (R_{\hat{C}} - n \cdot R_0) - (R_0 - n \cdot R_E) / (R_E - n \cdot R_0)] - U_{\Delta 0} \cdot (t_1 - t_0) / I_0 \cdot (R_{\hat{C}} - n \cdot R_0) \quad (2.8)$$

де  $R_0$  - опір ТО при  $0=0^\circ\text{C}$ .

Вибором числового значення  $n$  при  $U_{\Delta 0} = 0$  результат перетворення пропорційний значенню вимірюваної температури у певному температурному діапазоні.

Недоліком ЦПТ (Рисунок 2.3) низька завадостійкість внаслідок використання звичайного підсилювача замість диференційного, а також вплив дрейфу нуля підсилювача на результат вимірювання і забезпечення задовільної роботи схеми у вузькому діапазоні вимірюваних температур.

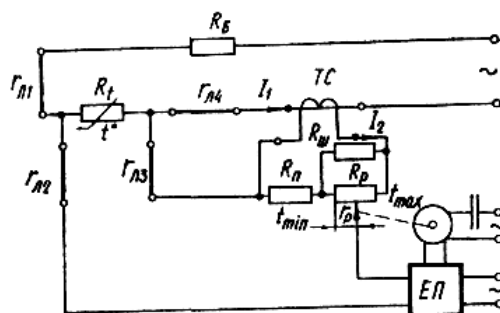


Рисунок 2.3 – Схема цифрового портативного терморезистивного термометра з часовим розділенням каналів

Представляє інтерес схема зображена на Рисунку 1.4 [3].

Схема містить ТО, джерело постійного струму ДПС (резистори R, стабілітрон D), диференційний стабілізатор струму ДСС (резистори R1...R4, операційний підсилювач A1), подільник напруги ПН1 (резистори R9...R11), подільник напруги ПН2 (резистори R12...R14), інвертуючий підсилювач напруги П1 (резистори R5, R6, операційний підсилювач A2, повторювач напруги A4), неінвертуючий підсилювач П2 (резистори R7, R8, операційний підсилювач A3) і інтегруючий АЦП в інтегральному виконанні.

Коефіцієнти передачі ДСС, П1, П2, АЦП позначимо відповідно через K2, K6, K7, K9.

Для виводу рівняння вимірювання скористуємося доведенням [4], що у схемі ДСС  $R1=R3$ ,  $R2=R4$ , причому  $R2=N \cdot R1$  (де N - число, що приймає певне значення). У цьому випадку дрейф нуля ДСС буде рівний нулю.

Нехтуючи дрейфами нуля на виходах П1 і П2, визначаємо струм через ТО:

$$I_0 = U_0/R_1 + I_{\theta} \cdot b \cdot R_{TC}/R_1,$$

або

$$I_0 = U_0 / (R_1 - b \cdot R_{TC}) \quad (2.9)$$

де  $U_0$  - вихідна напруга ДПН;  $R_{TO}$  - опір ТО при вимірюванні температури;  $b = R_6/R_5$  - коефіцієнт зворотнього зв'язку П1.



$$=K_7 \cdot [R_{TC}/(R_1 - \beta \cdot R_{TC}) - R_{TC}(0)/(R_1 - \beta \cdot R_{TC}(0))] / K_4 \quad (2.11)$$

де  $R_{TO}(0)$  - значення опору  $R_{TO}$  при  $t = 0^\circ\text{C}$ ;

$K_4$  - коефіцієнт ділення дільника напруги ДН2;

$U_0$  - опорна напруга, яка знімається з ДН2 і подається на АЦП по опірному каналі.

Вибором числових значень  $K_4$ ,  $K_7$  результат  $N$  пропорційний значенню вимірювальної  $t^\circ$ .

Похибка вище описаного ЦПТ в значній степені залежить від діапазону вимірюваних  $t^\circ$  і значення  $\beta$ .

Для

$$\beta = 100\text{Е}/265\text{Е} = 0.377,$$

$R_{1=1K}$  розподіл похибки лінеаризації в діапазоні  $-200\dots+200^\circ\text{C}$  показано на рисунку 1.5.

З графіку видно, що такий ЦПТ задовільно працює в вузькому діапазоні температур.

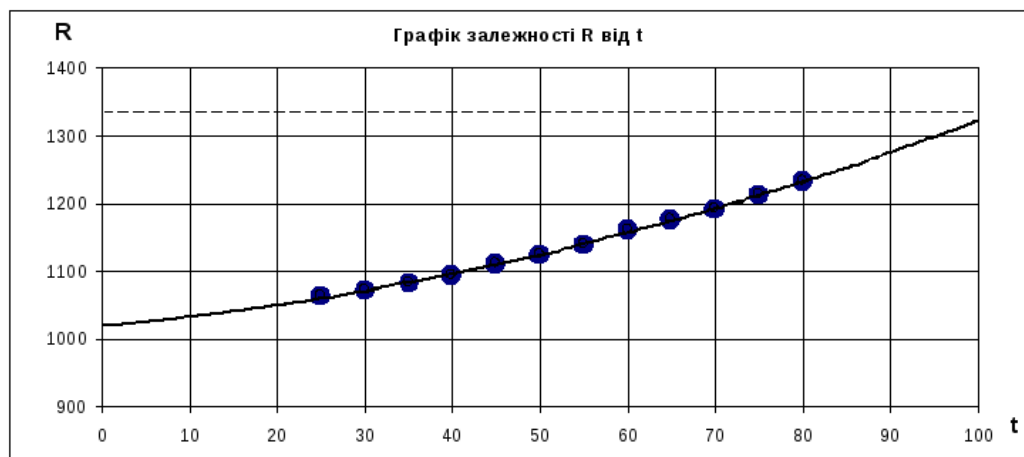


Рисунок 2.5 – Методична похибка цифрового вимірювання температури

Недоліком описаного ЦПТ є низька точність в розширеному діапазоні температур і завадозахищеність через застосування звичайного

інвертуючого підсилювача в колі корекції нелінійності і неінвертуючого підсилювача в колі підсилення сигналу.

У якості матеріалу давача використовують платину, мідь або нікель. З них найкращими технічними характеристиками володіють платинові термометри опору типу Pt 100 [24].

Дані елементи мають достатньо широкий діапазон вимірювання (-200...+850°C), високу стійкість до корозійного і хімічного середовища, високу стабільність передавальної характеристики і хороші технологічні властивості.

Передавальна характеристика платинового термометра опору в загальному випадку є нелінійною (температурний коефіцієнт опору при 0°C дорівнює 0.4%, а при 800°C - 0.3%), однак в більшості галузей визначають точність вимірювання без лінеаризації характеристики в процесі вимірювань.

Якщо через такий термометр опору пропустити постійний струм, то спад напруги на ньому буде прямопропорційний зміні опору, а відповідно і зміні температури.

При підключенні джерела струму до термометра опору необхідно звернути увагу на те, щоб значення цього струму було достатньо малим, так як в зворотньому випадку спотворюється результат вимірювання за рахунок власного розігріву вимірювального перетворювача.

Найпростіші схеми такого типу реалізуються на основі звичайного джерела струму і буферного підсилювача.

Недоліком такої схеми є вплив опору з'єднувальних провідників на результат вимірювання при достатньо великому віддаленні первинного перетворювача від власної вимірювальної схеми.

Цей недолік виключається при використанні трьохпровідної схеми включення первинного вимірювального перетворювача (рис. 1.6), де Pt 100 - термометр опору.

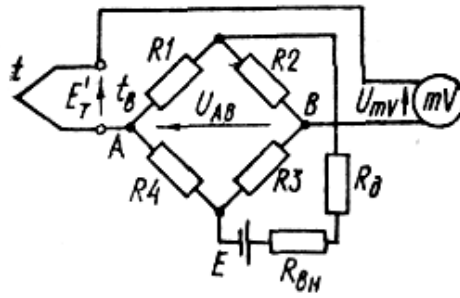


Рисунок 2.6 – Трьохпровідна схема включення вимірювального перетворювача

Принципи дії даної схеми оснований на тому, що вимірюється як опір чутливого елемента, так і опір третього з'єднувального провідника, а потім за допомогою сумуючого підсилювача VS напруга  $U_{AB}$ , пропорційна опору провідника, віднімається від корисної напруги, що пропорційна опору первинного перетворювача і опору з'єднувальних провідників ( $U_{AB} \cdot R_0 + 2 \cdot U_{AB} \cdot R_L$ ).

При цьому коефіцієнт підсилення  $V_2$  повинен бути рівний 2.

У деяких випадках крім подальшої обробки значень, що одержанні в процесі вимірювання температури, необхідно індукувати дані результати в аналоговій або цифровій формі безпосередньо.

Для цього найчастіше застосовують різні цифрові або аналогові вольтметри.

У якості прикладу розглянемо схему (рисунок 2.7), де показана принципова схема цифрового термометра, побудованого на основі платинового термометра опору Pt 100 і цифрового вольтметра типу AD 2037 фірми Analog Devices.

Роздільча здатність такого пристрою складає  $0.1^\circ\text{C}$ .

Трьохпровідна схема включення термометра опору живиться постійним струмом 1.5mA.

За допомогою зовнішніх наладок вольтметра (встановлення нуля і калібровки) забезпечується безпосередній відлік температури в  $^\circ\text{C}$ .

В загальному випадку вольтметр AD 2037 може використовуватися для одночасних вимірювань температури в шести точках, підключення вимірювальних каналів при цьому може здійснюватися як вручну перемикачем на передній панелі, так і автоматично з блоку керування вольтметром.

Передбачений також режим циклічного опитування всіх датчиків з наступною індикацією результатів на передній панелі приладу і вивід інформації через вбудований інтерфейс в двійково-десятковому коді на зовнішні пристрої.

У статті Білька [2] розглянуті вимірювання температури і різниці температур з допомогою термометрів опору і електронних схем із зворотнім зв'язком по струму.

Розглянемо деякі схеми.

Платинові термометри опору використовуються для вимірювання різниці температур так, як їх вихідний сигнал пропорційний різниці температур, а також використовуються диференційні термометри, які побудовані на термометрах опору в якості первинного перетворювача.

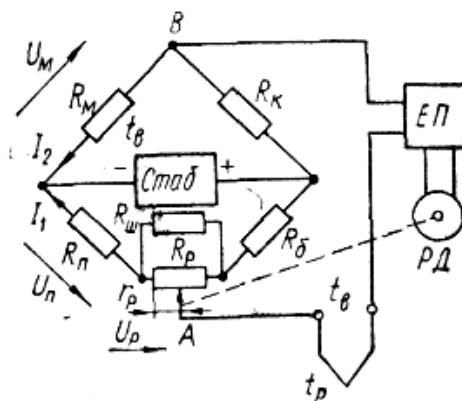


Рисунок 2.7 – Схема цифрового термометра

У статті Білька [2] розглянуті вимірювання температури і різниці температур з допомогою термометрів опору і електронних схем із зворотнім зв'язком по струму.

Розглянемо деякі схеми.



Платинові термометри опору використовуються для вимірювання різниці температур так, як їх вихідний сигнал пропорційний різниці температур, а також використовуються диференційні термометри, які побудовані на термометрах опору в якості первинного перетворювача.

Спрощена структурна схема вимірювального перетворювача із зворотнім зв'язком по струму показана на рисунку 1.8, де ОВ-операційний підсилювач, S-допоміжний резистор, включений послідовно з резисторами R і N.

Полярність джерела струму вибирається таким чином, щоб через резистор S протікав струм в протилежному напрямку і компенсував опорний струм в вихідному стані.

При цьому потенціали точок P2 і P4 виявляються рівними, а відповідно величина вихідної напруги визначається виразом:

$$U_a = (N - K) \cdot I \quad (2.12)$$

У якості основних переваг такої схеми можна назвати наступні:

- вихідна напруга лінійно залежить від різниці опорів резисторів R і N ;
- стабільність нульової точки практично не залежить від опорного струму;
- не має впливу опорів з'єднувальних провідників і перехідних опорів на результат вимірювання;
- в схемі передбачається використання лише одного високоточного і високостабільного елемента.

Параметри допоміжного резистора S не впливають на точність вимірювань, як і коефіцієнт подавлення синфазних сигналів ОП (операційного підсилювача).

Однак вхідний струм і напруга зміщення ОП вносять відповідні похибки в результат вимірювання.

Коефіцієнт підсилення ОП в розімкненому вигляді повинен бути достатньо великим, щоб можна були знехтувати різницею потенціалів (P2-P4). Переключування опорного струму, тобто двохкратне вимірювання одного і того ж самого значення температури, при різних зовнішніх умовах, часто

застосовується для підвищення точності вимірювань, так як при цьому усувається вплив термперс на результат вимірювання.

У випадку використання схеми (рис. 1.8) для вимірювання температури з допомогою термометра опору, вимірювальний перетворювач включається замість резистора  $R$ , а резистор  $N$  є опорним.

В принципі резистори  $R$  і  $N$  взаємозамінні, однак розглянутий вище спосіб більш прийнятний з точки зору лінеаризації передавальної характеристики перетворювача.

В якості опорного використовується високоточний резистор з малим ТКО і опором, що рівний опору термометра опору при  $0^{\circ}\text{C}$ .

Для збільшення чутливості вимірювача температури опорний струм повинен бути максимально великим, однак з другої сторони його величина обмежена саморозігрівом ТО (термометра опору), який допускається.

По можливості рівень струму  $I$  узгоджується із значенням ТКО термометра опору, щоб чисельне значення вихідної напруги співпадало з чисельним значенням температури, що вимірюється.

Тим самим полегшується практична реалізація схеми вторинної обробки сформованого електричного сигналу.

При необхідності вимірювання тільки відхилення від заданої температури  $t_s$ , опір резистора  $N$  вибирається рівним  $R(t_s)$ .

Якщо забезпечення заданої лінійності або роздільної здатності в приладі передбачено декілька границь вимірювання, то виникає необхідність використання відповідної кількості номінальних опорів опорного резистора  $N$ .

Вибір границі часто здійснюється звичайним перемикачем, до якого не ставиться ніяких вимог, за виключенням досить високого опору в розімкненому стані.

В різних системах і приладах використовуються ТО із стандартними параметрами, які можуть змінюватися в певних межах і які визначаються точністю виготовлення.

При цьому існує визначений розкид характеристик від екземпляра до екземпляра, а власне, номінальних опорів ТО і їх ТКО. Тому в електронних

схемах передбачається можливість регулювання спеціальним резистором, який включається паралельно або послідовно до опорного резистора  $N$ .

Опорний струм  $I$  частіше всього формується за допомогою джерела стабільної напруги і високо стабільного резистора відповідного номіналу.

Такий перетворювач із зворотнім зв'язком має наступні переваги, порівняно з мостовими схемами:

1 Стабільність нуля мостової схеми обмежена ТКО і довготривалим дрейфом опору допоміжних резисторів в плечах моста, в той час як в схемах із зворотнім зв'язком (струмовим) вплив температурного дрейфу напруги зміщення і вхідного струму ОП можна практично повністю виключити переключуванням джерела опорного струму.

2 В струмових схемах практично виключається вплив опору з'єднувальних провідників на результат вимірювання.

3 Основною перевагою такої схеми є використання лише одного джерела опорного струму до стабільності якого ставляться більш низькі вимоги, так як його характеристики практично не впливають на стабільність нуля вимірювального перетворювача.

Вихідна напруга  $U_a$  лінійно залежить від опору  $R$ , однак для любого типу ТО характерна нелінійність залежності опору від температури.

Це приводить до необхідності лінеаризації загальної передавальної характеристики вимірювального перетворювача, що дуже просто здійснюється шляхом підключення паралельно до ТО  $R$  і допоміжного резистора  $P$  (рис. 1.9).

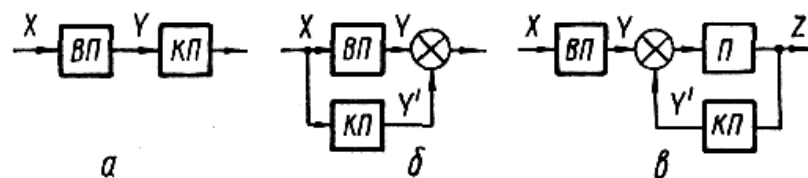


Рисунок 2.8 – Схеми вимірювального перетворювача з зворотнім зв'язком по струму

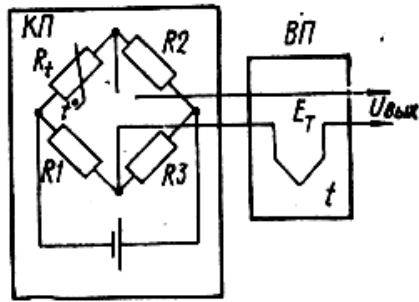


Рисунок 2.9 – Схема лінеаризації передавальної характеристики вимірювального перетворювача

У платинових ТО ТКО зменшується із збільшенням температури, тобто для дінеаризації характеристики потрібний від'ємний опір  $R$ .

Такий від'ємний опір  $R$  можна змоделювати за допомогою вимірювального ОП, в коло зворотнього зв'язку якого включається резистор з опором .

Для цього можна використати вимірювальний підсилювач, призначений для підсилення вимірювального сигналу з виходу ОП.

Опір допоміжного резистора  $R$  для оптимальної лінеаризації передавальної характеристики ТО визначається виразом:

$$\Phi = Y/Z, \quad (1.13)$$

$$\text{де } Y = H \bullet (M - L) - L \bullet (H - M) \quad (1.14)$$

$$Z = H + L - 2 \bullet M \quad (2.15)$$

$H$  і  $L$  - значення опору ТО  $R$  при максимальній  $h$  і мінімальній  $l$  температурах діапазону вимірювання;

$M$  - значення опору  $R$  в середній точці діапазону;

$$m=(h+l)/2,$$

При цьому

$$\left. \begin{array}{l} M = R(h) \\ M = R(m) \\ b = R(l) \end{array} \right\} \quad (1.16)$$

Якщо  $P^*$  приймає від'ємне значення, що характерно для платинових ТО, то замість нього вибирають опір  $P^*$ , де

$$\mathcal{D}^* = -k \cdot P \quad (2.17)$$

де  $k$ -коефіцієнт підсилення вимірювального перетворювача  $MV$ .

Тоді через резистор протікає струм пропорційний напрузі  $U$ , а відповідно спостерігається ефект аналогічний дії від'ємного опору.

З рисунка 1.9 можна вивести співвідношення для вихідної напруги підсилювача  $MV$ :

$$U(t) = k \cdot \{I \cdot [N - R(t)] + i \cdot R(t)\} \quad (2.18)$$

Так як потенціал точки  $P4$  практично рівний нулю, то:

$$^3 = \lambda \cdot U(t) = U(t)/P^* \quad (2.19)$$

причому  $\lambda = \text{const}$ . Із (1.18) і (1.19) отримаємо :

$$U(t) = k \cdot I \cdot (N - R(t)) / (1 - \lambda \cdot k \cdot R(t)) \quad (2.20)$$

Враховуючи, що залежність вигляду  $U(t)$  у першому наближенні є лінійною, відповідно:

$$U(h)-U(m)=U(m)-U(l) \quad (2.21)$$

Із (1.16),( 1.20),( 1.21) можна вивести наступне рівняння:

$$(N-H)/(1-\lambda \cdot k \cdot H)+(N-L)/(1-\lambda \cdot k \cdot L)-2 \cdot (N-M)/(1-\lambda \cdot k \cdot M)=0 \quad (2.22)$$

або після відповідних перетворень :

$$k^2 \cdot \gamma \cdot N \cdot \lambda^2 + k \cdot (N \cdot z - \gamma) \cdot \lambda - z = 0 \quad (2.23)$$

із ( 1.12 ) отримують кінцеве співвідношення для  $\lambda$ :

$$(k \cdot N \cdot \lambda - 1)(k \cdot \gamma \cdot \lambda + z) = 0 \quad (2.24)$$

$$\lambda = -z/k \cdot \gamma \quad (2.25)$$

або враховуючи (2.13 ):

$$\lambda = -1/k \cdot P \quad (2.26)$$

Ефективність даного способу лінеаризації тим вища, чим менший діапазон вимірювання температури і чим вища лінійність первинного перетворювача.

Так для стандартних платинових ТО що відповідають вимогам стандарта DIN43760, в діапазоні температур від 0 °С до 100 °С залишкова нелінійність після під'єднання відповідного допоміжного резистора обмежена значенням 0.001 К.

Очевидно, що вихідну схему (рисунок 1.8) можна використати для вимірювання температури, тобто різниці температур, якщо опорний резистор замінити аналогічним ТО (рис. 1.10).

Тоді вихідна напруга ОП визначається виразом:

$$U_A = [R_1(t_1) - R_2(t_2)] \cdot I \quad (2.27)$$

Якщо два ТО, що використовуються, повністю ідентичні і лінійні, то вихідна напруга  $U_A$  прямо пропорційна різниці температур  $(t_1 - t_2)$ .

При ідентичності ТО і нелінійності їх характеристик коефіцієнт пропорційності між  $U_A$  і  $(t_1 - t_2)$  залежить від вимірюваної температури.

Для платинових термометрів опору при температурі вище нуля залежність опору від температури описується виразом:

$$R(t) = R(0) \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2) \quad (2.28)$$

Із (2.28) випливає:

$$R(t_1) - R(t_2) = R(0) \cdot (\alpha + 2\beta \cdot t_M) \cdot (t_1 - t_2) \quad (2.29)$$

де

$$t_M = (t_1 + t_2) / 2 \quad (2.30)$$

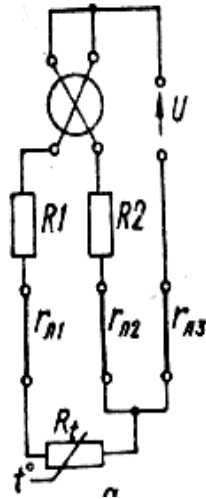


Рисунок 2.10 – Схема для вимірювання різниці температур

Таким чином при використанні схеми (рисунок 1.8) відпадає основна перевага термоелектричних перетворювачів по відношенню до ТО, так як у даній схемі безпосередньо вимірюється різниця температур.

При необхідності вимірювання різниці температур з високою роздільною здатністю застосування ТО є більш бажаним.

Описані у цій роботі [2] пристрої для вимірювання температури або різниці температур мають високу точність, не потребують великих апаратних і економічних затрат, а відповідно можуть знайти широке застосування в різних галузях науки і техніки.

Можливі галузі застосування пристроїв такого типу:

- 1 Побудова термометрів на основі платинових ТО для вимірювання температури в окремих точках з високою точністю.
- 2 Вимірювання температури в багатоканальних системах відповідного призначення.
- 3 Застосування в ІВС, що керуються за допомогою мікропроцесорних пристроїв.
- 4 Безпосереднє вимірювання різниці температур.
- 5 Вимірювання кількості тепла в нагрівних установках різного типу.

У роботі Карінса [2] розглянута багатоточкова схема вимірювання температур для платинових 100-омних термометрів жару з лінеаризацією.



У цій статті розглянуто три схеми.

У першій приводяться результати досліджень мостової схеми, у якій компенсація розбалансу моста і лінеаризації вихідного сигналу здійснюється одним прецизійним операційним підсилювачем.

Другий операційний підсилювач використовується для компенсації опору вивідних провідників.

Платина використовується для виготовлення вимірювальних перетворювачів, що застосовуються у широкому діапазоні температур від -220 до +750 С.

Згідно DIN 43760 для платинових термометрів опору нормується значенням опору при 0 °С в 100 Ом з невідтворюваністю +0.1%.

У цьому ж стандарті встановлені допустимі значення похибок при вимірюванні температури.

Аналогічні основні положення нормуються Британським стандартом (BS 1904, 1964).

Градуювальна крива ПТО (платинового термометра опору) описується поліномом другого ступеня:

$$R = A + B \cdot T + C \cdot T^2 \quad (2.31)$$

При  $A=100$  Ом;  $B=0.3908$  Ом/ °С;  $C=-0.58$  Ом/100 °С в діапазоні температур від -15 до 800 °С можна одержати відхилення  $\Delta R$  від стандартизованих DIN 43760 значень, що рівні або менші ніж 1/10 показаних в DIN похибок.

У діапазоні від -220 до 0 °С коефіцієнти А, В, С мають інші значення, причому  $T > -180$  °С,  $C < 0$ . Коли  $C > 0$ , то градувальна характеристика платинового ТО може бути лінеаризована шляхом паралельного включення резисторів з визначеним значенням опорів, а при  $C < 0$  потрібно включити від'ємний постійний опір, який імітується вимірювальним підсилювачем.

На рисунку 2.11 зображена мостова схема включення термометра опору  $R_{\delta}$ . Розбаланс моста  $UB - UB'$  компенсується струмом  $IF$ , а зворотній зв'язок

служить для лінеаризації передавальної функції  $U_T = f(T)$  за допомогою струму  $I_N$ .

Резистори  $R_1, R_2, R_K, R_d$  створюють звичайну мостову схему;  $R_\delta$  - звичайний платиновий ТО.

Схема живиться постійною напругою  $U_0$ . В цю частину схеми може бути включений операційний підсилювач в неінвертованому включенні з коефіцієнтом підсилення, що дорівнює  $(1+R_F/R_K)$ , причому нульове положення вихідного сигналу  $U$  зміщується струмом  $I_2$ .

Вихідну напругу  $U_T$  у першому наближенні можна рахувати лінійною функцією  $I_1 \cdot R_\delta$ .

Лінійне зменшення диференційованих температурних коефіцієнтів  $R_\delta$  можна компенсувати підвищенням вимірювального струму  $I_1$  пропорційно до температури з допомогою другого зворотнього зв'язку, в який увімкнено  $R_N$ .

Перехідна функція схеми, що на рисунку 1.11 при умові використання ідеального операційного підсилювача (тобто  $I_{B0}=0, U_B = U_B'$  підсилення  $\rightarrow \infty$ ), може бути визначена за таким рівнянням :

$$U_T = U_0 \cdot \frac{[R_K \cdot R_F \cdot R_1 \cdot (R_N + R_\delta) - R_\delta \cdot R_N \cdot R_2 \cdot (R_F + R_K)]}{[R_\delta \cdot R_F \cdot R_1 \cdot (R_2 + R_K) - (R_N \cdot R_2 \cdot R_K \cdot (R_1 + R_\delta))]} \quad (2.32)$$

Врівноваження здійснюється при  $U_T=0$  для  $T_0$ , тобто  $R(T_0)=R_0$ , і тоді :

$$R_2/R_1 = R_K/R_0 - (1+R_0/R_N) \cdot (1+R_K/R_F)^{-1} \quad (2.33)$$

і рівняння (2.31) може бути перетворено в:

$$R_\delta = R_0(B + C \cdot T_0) \cdot (T - T_0) + C \cdot (T - T_0)^2 \quad (2.34)$$

Якщо підставити рівняння (1.33) і (1.34) у рівняння (1.32)  $U_T$  може бути виражено через степеневий ряд  $(T-T_0)$ :

$$U_T = U_0 \cdot \Delta \cdot (T-T_0) \cdot \left[ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot (T-T_0)^n \right] \quad (2.35)$$

Лінійний коефіцієнт підсилення  $L$  визначається рівнянням:

$$L = (R_F \cdot R_1 / R_0 \cdot R_2) \cdot (B + C \cdot T_0) \cdot [R_1 \cdot (1 - R_0 \cdot R_F / R_K \cdot R_N) + R_0 \cdot (1 - R_1 \cdot R_F / R_2 \cdot R_N)]^{-1} \quad (2.36)$$

В перший лінійний член рівняння (1.35) входить  $a_1 (T-T_0)$ , де

$$a_1 = \tilde{N} \cdot (\hat{A} + \tilde{N} \cdot \hat{O}_0)^{-1} \cdot (\hat{A} + 2 \cdot \tilde{N} \cdot \hat{O}_0) \cdot P \cdot i^{-1} \quad (2.37)$$

Вирази для  $P$  і  $M$  можна скоротити так як

$$P = R_2 \cdot R_N \cdot R_K - R_1 \cdot R_F \cdot (R_2 + R_K) \quad (2.38)$$

$$M = R_2 \cdot R_N \cdot R_K \cdot (R_1 + R_0) - R_0 \cdot R_1 \cdot R_F \cdot (R_2 + R_K) \quad (2.39)$$

Лінеаризація реалізується, коли  $a_1 = 0$ , тобто вираз для  $R_N$  має вигляд:

$$R_N = R_1 \cdot R_F \cdot (R_K + R_2) \cdot [(B + 2 \cdot C \cdot T_0)^2 - R_0 \cdot C] / [R_2 \cdot R_K \cdot [(B + 2 \cdot C \cdot T_0)^2 - C \cdot (R_0 + R_1)]] \quad (2.40)$$

Остання нелінійність функції може бути зменшена шляхом оцінки наступних складових рівняння (2.35), беручи до уваги рівняння (2.40):

$$\dot{a}_2 = -\dot{N}^2 / (\hat{A} + 2\dot{N} \bullet \dot{O}_0)^2 \quad (2.41a)$$

$$\dot{a}_3 = \dot{N}^3 / (\hat{A} + 2\dot{N} \bullet \dot{O}_0)^3 \quad (2.41a)$$

Схема спаду напруги на струмових підвідних провідниках зображена на рисунку 1.12.

Компенсація здійснюється на струмових підвідних провідниках резисторів  $R_L$  і  $R_{L'}$ , де 1- врівноваження.

Три провідники, що ідуть до вимірювального перетворювача  $R_\delta$  мають опір  $R_L$ ,  $R_{L'}$ , і  $R_L''$ .

На вихід ОП подається вимірювальний струм  $i$  з опором кола зовнішнього зв'язку  $R_M$ . Вхід знаходиться під потенціалом  $U_g$ .

Додатковий затискач входу під'єднаний до подільника напруги, що складається з двох однакових опорів.

Спад напруги на  $R_L$  дорівнює:

$$U_L = i \bullet R_L \quad (2.42)$$

Величина потенціалу  $U_B$ , що подається на додатній вхід підсилювача визначається таким рівнянням:

$$U_B = R_\delta \bullet i + (R_L - R_{L'}) \bullet i \quad (2.43)$$

При рівності опорів двох підвідних провідників  $R_L$  і  $R_{L'}$  їх вплив на  $U_B$  компенсується, тому вони підганяються з великою точністю.

Величини опорів  $R_L$  і  $R_{L'}$  вибираються такими, щоб вихідний струм ОП викликав на них якнайменший спад напруги.

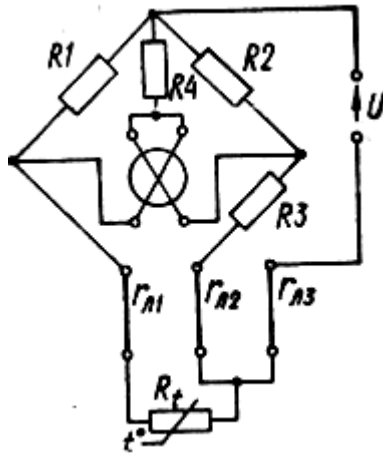


Рисунок 2.11 – Мостова схема включення термометра опору

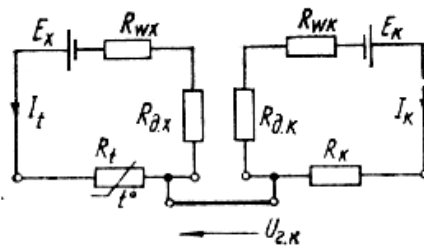


Рисунок 2.12 – Схема компенсації спаду напруги

Опір  $R_M$  повинен бути настільки великим, щоб при проходженні провідників з опорами  $R_L$  щоби обмежити вихідний струм ОП, крім того такий великий опір  $R_M$  підвищує чутливість при зрівноваженні.

На рисунку 2.13 зображено схему вимірювання температури в трьох точках.

Мостова схема рисунку 2.11 і схема компенсації опору підвідних провідників підключається до точок за допомогою трьох перемикачів.

В якості перемикачів  $S_3$  і  $S_4$  можуть використовуватися польові транзистори або багатоканальний аналоговий комутатор.

У схемі використовується підсилювач типу МА 714 С. Максимальний вхідний струм у діапазоні температур від 0 до 70 °С дорівнює 9мА, він не викликає похибки, яка перевищувала б 1/3 похибки, що нормується стандартом.

Для встановлення вхідного струму підсилювача  $A_1$  використовується резистор  $R_A=2.2 \text{ МОм}$ .

Найбільші напруги при перемиканні  $S_3 S_4$ , що виникали на вході підсилювачів  $A_1$  і  $A_2$ , зменшувались за допомогою конденсатора  $C=4.7 \text{ мкф}$ .

Перемикач  $S_2$  має невеликий вхідний опір  $R_g$ .

Зміна  $R_g$  на  $+0.2 \text{ Ом}$  при  $R_1=5 \text{ кОм}$  приводить до похибки  $U_T$  при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , що відповідає  $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для такого регулювання відношення  $R_2/R_1$  є потенціометр  $P_3$ .

Допоміжна схема для стабілізації напруги  $U_0$  складається з опорного діода  $D1$  і ОП  $A_3$ , увімкненого в неінвертованому режимі.

Напругу живлення моста  $U_0$  можна переключати перемикачем  $S1$ .

Для зрівноваження схеми включають ПТО  $R^\delta$  з допомогою  $P_3$  встановлюється  $U_T=0$ , а зрівноваження при повному відхиленні здійснюється потенціометром  $P_4$ .

Дрейф нуля не повинен перевищувати  $0.01 \text{ С}$ . Великий дрейф нуля спричиняє виникнення температурної залежності вхідної напруги підсилювачів  $A_1$  і  $A_2$ .

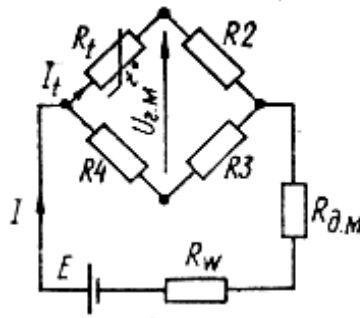


Рисунок 2.13 – Схема вимірювання температури у трьох точках

Більш надійний - малий дрейф - можна одержати при застосуванні ОП типу  $MA 714$  або підвищуючи струм через ПТО до  $4-5 \text{ мА}$ . Дрейф коефіцієнта підсилення залежить від дрейфу  $U_0$  і  $R_F$ .

Тому необхідно використовувати резистори і опорні діоди з температурним коефіцієнтом  $TK 10 10^{-6} \text{ С}^{-1}$ .

Дослідження показали теоретичний вплив похибки RN на якість лінеаризації.

Із рівняння (1.37) похибка біля точки зрівноваження виражається так:

$$(\partial a_1 / \partial R_N) \cdot \Delta R_N = (B^* / R_1) \cdot (1 - R_0 C / B^{*2}) \cdot [1 - C \cdot (R_0 + R_1) / B^{*2}] \cdot \Delta R_N / R_N$$

де

$$\hat{A}^* = \hat{A} + 2 \cdot \tilde{N} \cdot \hat{O} \hat{i}. \quad (2.44)$$

## 2.2 Вибір та обґрунтування схеми проектного терморезистивного термометра

З вище приведеного аналізу методів корекції активної складової похибки тракту аналого-цифрового перетворення видно, що найбільш перспективним до використання являється метод комутаційного інвертування.

Тому цікаво було б його використати для вимірювання температури при допомозі терморезистивного перетворювача.

Для здійснення уніфікації розробки, приймаємо до уваги, що відома схема термоелектричного термометра ЦР 7003, який реалізує метод комутаційного інвертування.

До складу цього термометра входить блок живлення і генератор струму для компенсаційної схеми, які мають землю, гальванічно відділену від спільної шини тракту аналого - цифрового перетворення.

Тому поряд з перемикачем полярності, було б дуже зручно використати їх для зміни полярності струму, що протікає через терморезистивний перетворювач  $R(\theta)$ .

Перетворивши термоопір в напругу, решту схеми можна взяти такою ж, як і в термометрі ЦР 7003, що приведе як до здешевлення розробки, так і до прискорення можливого її впровадження, оскільки технологія виготовлення ЦР 7003 буде аналогічною технології виготовлення проектного приладу.

На основі вище сказаного синтезована структурна схема проектного термометра.

Схема містить наступні вузли:

ДПС1, ДПС2 - генератори постійного струму;

ПП - перемикач полярності;

$R(0)$  – магістральний резистор, значення якого дорівнює значенню опору  $R(\theta)$  при  $0^\circ\text{C}$ ; П - підсилювач;

ДОН - джерело опорної напруги;

SW - перемикач;



Інт - інтегратор;  
 НО - нуль-орган;  
 БУ - блок управління;  
 ГЗ× - генератор зразкової частоти;  
 Лс - селектор;  
 Сп - схема перепису;  
 Лч - лічильник;  
 РЛч - реверсивний лічильник;  
 ЦСЛ - цифрова схема лінеаризації;  
 ПВ - пристрій відліку;  
 ДНЗ - джерело напруги зміщення.

У вихідному стані Лч і РЛч знаходяться в нулі. По сигналу БУ ПП знаходиться в положенні, при якому на терморезисторі  $R(\theta)$  маємо напругу  $-I \cdot R(\theta)$ . Тоді на вхід підсилювача П поступить напруга:

$$U_1 = U_{\zeta} - I \cdot \{R(\theta) + R(0)\} = U_{\zeta} - \Delta R(\theta),$$

де  $R(\theta) = R(\theta) - R(0)$  - приріст опору термоопору відносно  $R(0)$ .

Значення напруги  $U_{\zeta}$  вибирається з умови  $U_{\zeta}^2 > I \cdot \Delta R(Q)$  в усьому температурному діапазоні.

Тоді на вході П буде завжди додатня напруга.

По сигналу БУ на час  $T_0 = t_1 - t_0$  перемикач SW переводиться у верхнє положення. Вихідна напруга підсилювача П:

$$U_{i1} = \hat{E} \cdot \{ U_{\zeta} - I \cdot R(\theta) \} + U_{\text{ДНЗ}}$$

Інтегрується в інтеграторі Інт з постійною часу. В момент  $t_1$  БУ переводить SW в нижнє положення і напруга  $U_0$  ДОН, протилежна до полярності УП1, починає розряджати інтегратор Інт до моменту  $t_2$  спрацювання НО. При цьому БУ виділяє часовий інтервал  $t_2 - t_1 = t_{\text{D1}}$  і

включає селектор Лс, з виходу якого імпульси N1 з частотою слідування  $f_0$  ГЗ× поступають на вхід Лч. Запишемо баланс зарядів і розрядів на інтеграторі:

$$(1/\tau) \cdot \int_{t_0}^{t_1} \{K \cdot [U_{\zeta} - 2 \cdot \Delta R(\theta)] + U_{\ddot{\Delta}}\} dt - (1/\tau) \cdot \int_{t_1}^{t_2} U_0 dt = U_{\dot{i}}$$

де  $U_{\text{др}}$  - дрейф нуля П;  $U_{\text{П}}$  - поріг спрацювання НО;

$\tau$  - постійна часу

інтегратора. Знаходимо значення

$$t_{\ddot{O}1} = t_2 - t_1$$

-

$$t_{\ddot{O}1} = [(K \cdot U_{\zeta} + U_{\ddot{\Delta}}) \cdot T_0 - U_{\dot{i}} \cdot \tau] / U_0 - I \cdot K \cdot T_0 \cdot \Delta R(\theta) / U_0$$

Код числа N1 дорівнює

$$N_1 = f_0 \cdot t_{\chi 1} = f_0 \cdot [(K \cdot U_{\zeta} + U_{\ddot{\Delta}}) \cdot T_0 - U_{\dot{i}} \cdot \tau] / U_0 - f_0 \cdot I \cdot K \cdot T_0 \cdot \Delta R(\theta) / U_0 \quad (2.45)$$

В момент  $t_2$  код числа N1 переписується в РЛЧ, а ЛЧ скидається в нульовий стан.

В другому циклі перетворення по сигналу БІ в момент  $t_1$  ПП переводиться в протилежний стан.

При цьому змінюється напрям струму  $I$  через резистор  $R(\theta)$  і  $R(0)$ . Напруга на вході П стає рівною

$$U_2 = U_{\zeta} + I \cdot \Delta R(\theta),$$

а напруга на виході П

$$U_{\dot{i}2} = \hat{E} \cdot [U_{\zeta} + I \cdot \Delta R(\theta)] + U_{\ddot{\Delta}P};$$

Перетворення УП2 в код відбувається аналогічно, як перетворення УП1. При цьому  $T_0 = t_4 - t_3$ .

$$(1/\tau) \cdot \int_{t_3}^{t_4} \{K \cdot [U_{\zeta}]^{-2} \cdot \Delta R(\theta)] + U \ddot{\Delta} \Phi\} dt - (1/\tau) \cdot \int_{t_4}^{t_5} U_0 dt = U \ddot{\Phi}$$

$$t_{\ddot{\Phi}2} = t_5 - t_4 = [(K \cdot U_{\zeta}] + U \ddot{\Delta} \Phi) \cdot T_0 - U \ddot{\Phi} \cdot \tau] / U_0 - I \cdot K \cdot T_0 \cdot \Delta R(\theta) / U_0$$

$$N_2 = f_0 \cdot t_{\ddot{\Phi}2} = f_0 \cdot [(K \cdot U_{\zeta}] + U \ddot{\Delta} \Phi) \cdot T_0 - U \ddot{\Phi} \cdot \tau] / U_0 - I \cdot K \cdot T_0 \cdot \Delta R(\theta) / U_0 \quad (2.46)$$

Число імпульсів  $N_2$  поступає на ЛЧ і від'ємний вхід РЛЧ. З приходом  $N_{\ddot{\Phi}}$  імпульсів числа  $N_2$  ( $N_2 > N_1$ ) РЛЧ переходить в нульовий стан і решта імпульсів числа  $N_2$  поступають на додатковий вхід РЛЧ.

В момент  $t_5$  в схему записується код числа:

$$N_2 - N_1 = 2 \cdot f_0 \cdot I \cdot K \cdot T_0 / U_0 \cdot \Delta R(\theta) \quad (2.47)$$

і не залежить від значень  $U_{3M}$ ,  $U_{DP}$ ,  $U_P$ ,  $t$ , що підвищує точність вимірювання. Оскільки код числа  $(N_2 - N_1)$  пропорційний  $R(\theta)$ , яке нелінійно залежить від температури, то, як і в ЦР 7003, в даному приладі використовується ЦСЛ, в який двійковий код  $(N_2 - N_1)$  переводиться в показ температури. ЦСЛ побудована на базі постійного запатентованого пристрою, в якому на шину управління поступає код числа  $N_2 - N_1$ , а в пам'яті записані відповідні йому коди температури  $N_0$ . В третьому циклі перетворення на вхід Л $\times$  поступить код числа  $N_1$ , а в РЛУ буде до поступлення  $N_7$  записано код числа  $N_2$ .

Оскільки  $N_1 - N_2$ , то до моменту закінчення  $N_1$  в РЛ $\times$  залишиться код числа  $N_2 - N_1$ . З закінченням поступання  $N_1$  ЦСЛ переводить код числа  $N_2 - N_1$  в покази температури. Таким чином, в кожному циклі перетворення, за винятком першого, результат вимірювання виноситься на ПВ, що дало можливість при комутаційному інвертуванні не втратити швидкодію.



## 2.3 Вимірювальний стенд з застосуванням терморезистивного термометра

На сучасному етапі розвитку техніки все більше постає питання використання металів і сплавів з високими якісними показниками. До таких показників належить тепло- і електропровідність металів і сплавів.

Для вирішення цієї проблеми і призначений розроблюваний стенд. Основою створення установки послужив новий метод вимірювання теплопровідності, у відповідності з яким тепловий потік у циліндричному зразку створюється внаслідок пропускання електричного струму через диски-нагрівачі, розміщені між зразком і торцями струмопідводів.

Електричний опір шайби вибирається набагато більшим опору зразка, тому при пропусканні струму вздовж зразка їх об'ємний електронагрів малий у порівнянні з тепловими потоками на торцях.

Вибір двигуна приводу переміщення виконавчих органів стенду.

На струмопідводах змонтовані рухомі холодильники, які забезпечують тепловідвід з можливістю його регулювання.

Для кращої роботи холодильної установки проводимо механізацію поступального руху холодильника. В якості приводу використовуємо кроковий двигун ДІР-1А з такими параметрами:

Кутова дискрета  $36^\circ$

Число фаз 4

Мном 40 Н·мм

Частота 50 Гц

Напруга живлення 27 В

Маса 0,160 кг.

Необхідність використання такого двигуна пов'язана з неможливістю використання редукторного двигуна, так як в цьому випадку при поступальному русі холодильника більше буде охолоджуватись центральна частина струмопроводу, а периферійні частини будуть охолоджуватись менше.

## 2.4 Розрахунок зубчастої передачі колесо-рейка

Для перетворення обертового руху двигуна в поступальний рух холодильника використовуємо передачу циліндричне зубчасте колесо – рейка.

Виходячи з умови непадіння зубів ( $z \geq 17$ ) приймаємо кількість зубів зубчастого колеса  $z=20$ .

Користуючись ГОСТ9563-80 із стандартного ряду модулів вибираємо модуль зубчастого колеса  $m=2,5$  мм.

За формулами приведення розраховуємо параметри зачеплення:

- висота головки зуба  $h_a = m = 2,5$  мм;
- висота ніжки зуба  $h_f = 1,25 m = 3,125$  мм;
- висота зуба  $h = 5,625$  мм;
- радіальний зазор  $\tilde{N} = 0,25 m = 0,625$  мм.

Кількість зубців рейки вибираємо, виходячи з умови:

$$Z_p = L / m, \quad (4.1)$$

де  $L$  – довжина подачі, мм;  $m$  – модуль.

Для конструктивно прийомного значення

$$L = 80 \text{ мм} \quad Z_p = 80 / 2,5 = 32.$$

## 2.5 Розрахунок надійності

Виконання вимог по надійності здійснюється шляхом розрахунку ймовірності безвідмовної роботи  $P(t)$ . Її попередній розрахунок надійності починають з встановлення норми напрацювання  $t_0$  до першої відмови і відповідної їй ймовірності безвідмовної роботи  $P(t_0)$

$$P(t_0) = e^{-t_0 \sum_{i=1}^N \lambda_i}$$

де  $P(t_0)$  - ймовірність безвідмовної роботи;  $t_0$  - норма напрацювання, год.;

- °  $i$ - параметр потоку відмови  $i$ -го елемента , год-1 ;
- °  $N$  - кількість елементів .

Тоді інтенсивність відмов об'єкту :

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$$

- ° Вплив умов експлуатації враховується приблизно коефіцієнтом  $k$  , причому

$$\lambda_j = k\lambda \cdot \lambda_{jc} ,$$

де  $\lambda_{jc}$  - інтенсивність відказів у лабораторних умовах;

$k$  - вибираємо з таблиці. [ 2 ]

Значення інтенсивності відмов окремих елементів приведені у таблиці [1].

Середня сумарна інтенсивність відмов всього приладу складає :

$$T_{op} = 1/\sum n_j \lambda$$

Розрахунок надійності проводиться за допомогою програмного пакета Math CAD .

$$i = 1 \dots 15$$

$$L1 = 0,1 \cdot 10^{-6} \quad n1 = 22 \quad K10-17$$

$$L2 = 2 \cdot 10^{-6} \quad n2 = 5 \quad K53-18$$

$$L3 = 0,1 \cdot 10^{-6} \quad n3 = 2 \quad K73-16$$

$$L4 = 0,1 \cdot 10^{-6} \quad n4 = 1 \quad KT4-21B$$

$$L5 = 0,3 \cdot 10^{-6} \quad n5 = 3 \quad KR590KN2$$

$$L6 = 0,3 \cdot 10^{-6} \quad n6 = 9 \quad KR140UD14$$

$$L7 = 0,1 \cdot 10^{-6} \quad n7 = 30 \quad Digital$$

$$L8 = 0,5 \cdot 10^{-6} \quad n8 = 6 \quad SP5-38a$$

$$L9 = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot n9 = 24 \text{ S2-29V}$$

$$L10 = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot n10 = 18 \text{ S2-33N}$$

$$L11 = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot n11 = 1 \text{ SP3-19a}$$

$$L12 = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot n12 = 2 \text{ 2S162A}$$

$$L13 = 0,05 \cdot 10^{-6} \cdot n13 = 12 \text{ 2D522B}$$

$$L14 = 0,05 \cdot 10^{-6} \cdot n14 = 6 \text{ 2D510A}$$

$$L15 = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot n15 = 5 \text{ Transistors}$$

$$K = 10$$

$$Lki = KLi$$

$$Lksum = 4,5 \cdot 10^{-5}$$

$$T = 1 / Lksum$$

$$T = 2,222 \cdot 10^4$$

$$t = 1000$$

$$P(t) = \exp(-Lksum \cdot t)$$

$$P(t) = 0,956$$

## 2.6 Перевірка цифрового терморезистивного термометра

При проведенні перевірки повинні використовуватися операції і засоби перевірки, вказані у таблиці 2.1.

При проведенні перевірки повинні виконуватися наступні умови:

температура повітря -  $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ ;

відносна вологість повітря 30-80 %;

атмосферний тиск - 630 - 800 мм.рт.ст.;

відхилення напруги живлення від номінального значення  $\pm 2\%$ ;

частота мережі живлення  $(50 \pm 0,5) \text{ Гц}$ .

Приміщення, в якому проводиться перевірка не повинно мати вібрації і коливань, в ньому не повинно бути джерел сильних електромагнітних полів.

Зразковий термометр і засоби перевірки підготовляють до роботи у відповідності до ОД на них.



Таблиця 2.1- Операції і засоби перевірки

Найменування операції.	Номер пункту.	Засоби перевірки і їх нормативно-технічні характеристики.
Зовнішній огляд.	5.3.3.1	
Випробування.	5.3.3.2.	Магазин опору Д4831: клас
		точності 0,02; кількість декад - 7; діапазон зміни опору від 0 до 1111,1 Ом ступеннями через 0,01 Ом.
Визначення основної похибки вимірювання	5.3.3.3.	Магазин опору Д4831

При проведенні зовнішнього огляду має бути встановлена відповідність приладу наступним вимогам:

- комплектність приладу відповідає ОД на термометр;
- збереження мітки підприємства виробника;
- відсутність механічних пошкоджень, що впливають на точність приладу;
- чистота роз'ємів і з'єднувальних клем; - чіткість маркування.

Прилад не допускається до подальшої перевірки, якщо при його зовнішньому огляді знайдені дефекти:

- відсутні або пошкоджені зовнішні частини;
- всередині приладу знаходяться незакріплені деталі чи сторонні предмети;
- є тріщини та інші пошкодження.

Випробування роботи приладу проводиться наступним чином:

зібрати схему для перевірки приладу;

змінюючи її вхідний сигнал, переконатися у тому, що у кожному із розрядів цифрового табло може бути включений кожен із передбачених у ньому символів.

мірою  $\hat{I}$  змінити полярність вхідного сигналу на від'ємну і переконатись у тому, що з'явиться знак "-" в старшому розряді цифрового табло.

## 2.7 Визначення основної похибки вимірювання

Встановити мірою  $\hat{I}$  номінальне значення вхідного сигналу  $R\tilde{O}\acute{I}$ , яке відповідає номінальному значенню температури  $\tilde{O}\acute{I}$  в контрольованій точці.

Таблиця 2.2

Номінальне значення температури вхідного сигналу		Межа допустимої абсолютної похибки	
$\tilde{O}\acute{I}$ , $\tilde{N}$	$R\tilde{O}\acute{I}$ , Ом	$\hat{I}_m$	$\tilde{N}$
-150	19,399	+0,215	+1,0
200	88,516		
500	283,760		
800	489,859		

Значення основної абсолютної похибки вимірювання визначається по формулі:

$$\delta = \delta_D - \tilde{O}\acute{I} \quad (2.49)$$

Прилад признають придатним, якщо обчислене за формулою (2.49) значення  $\delta$  не перевищує значення  $\delta_D$ , що приведене у табл. 2.2.

## 2.8 Оформлення результатів перевірки

При додатніх результатах перевірки робиться відповідний запис в паспорті приладу, завіреним підписом перевірювача.

Позитивні результати періодичної, позачергової, інспекційної та експертної перевірок оформляються заповненням в розділі 5 протокола всіх передбачених пунктів з вказанням терміну дії перевірки, завіреної підписом перевірювача.

Термін дії перевірки встановлює організація-перевірювач з врахуванням інтенсивності експлуатації приладу не більше одного року .

При негативних результатах перевірки прилад до застосування не допускається і відправляється в ремонт.

## 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 3.1 Постановка задачі

Для обробки результатів вимірювання температури з використанням терморезистора необхідно мати його номінальну статичну характеристику, на основі якої за значенням вимірюваного опору терморезистора можна визначити шукану температуру і внести відповідні поправки.

Для подальшого опрацювання результатів вимірювання часто буває необхідно представити градульовальну характеристику в аналітичній формі залежності, що пов'язує деякі змінні величини.

Такий вираз дозволяє робити висновки не тільки про характер взаємозв'язку опору і температури, але й кількісно визначити значення одного з них по заданому значенню іншого.

У ряді випадків вигляд залежності між змінними величинами може бути відомим на основі тих чи інших теоретичних міркувань.

Але нерідко зустрічаються ситуації, коли характер залежності між змінними попередньо невідомий і по даних експерименту необхідно встановити математичний вираз залежності між ними. Якщо характер залежності між змінними величинами відомий, то задача зводиться до визначення постійних коефіцієнтів в рівнянні зв'язку методом найменших квадратів.

Згідно цього методу на основі експериментально встановленого взаємозв'язку між двома змінними величинами отримують залежність між ними представлену у дискретній формі.

Оптимальним способом апроксимації дискретних даних неперервною лінією вважають такий, щоб сума квадратів відхилень дослідних даних, отриманих в результаті експерименту, від цієї лінії була мінімальною.

Якщо характер взаємозв'язку виражений рівнянням

$$\bar{y} = f(x), \quad (3.1)$$



де  $a_0, a_1$  - постійні коефіцієнти, то умова (3.2) буде мати вигляд:

$$Q = \sum_1^N (y - \bar{y}_x)^2 = \sum_1^N (\bar{y}_i - a_1 x_i - a_0)^2 = \min. \quad (3.5)$$

Взявши перші похідні від функції (3.5) по коефіцієнтах  $a_0, a_1$  і прирівнявши їх до нуля, після ряду нескладних перетворень отримаємо систему, що складається з двох рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_1^N y_i = a_1 \sum_1^N x_i + a_0 N; \\ \sum_1^N y_i x_i = a_1 \sum_1^N x_i^2 + a_0 \sum_1^N x_i. \end{cases} \quad (3.6)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (3.6), визначимо коефіцієнти  $a_0$  і  $a_1$ .

Якщо проведеній апроксимуючій кривій відповідає декілька рівнянь, то визначаючи постійні коефіцієнти в кожному з цих рівнянь методом найменших квадратів і оцінюючи адекватність отриманих залежностей, вибирають те рівняння, яке найбільш точно описує шукану залежність.

### 3.2 Визначення виду аналітичної залежності і її коефіцієнтів

В якості прикладу розглянемо обробку даних, отриманих з довідкової літератури для номінальної статичної характеристики перетворення мідних терморезисторів типу ТСМ з номінальним опором 50 Ом при 0°.

Дискретні експериментальні дані і результати визначення допоміжних коефіцієнтів, що входять в рівняння (3.6), представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані для визначення коефіцієнтів рівняння

Номер точки	Температура $T_i, \text{A}$	Опір $R_i, \text{Ом}$	$T_i \cdot R_i$	$T_i^2$
1	0	50.000	0.000	0

2	10	52.140	521.40	100
3	20	54.281	1085.62	400
4	30	56.422	1692.66	900
5	40	58.562	2342.48	1600
6	50	60.702	3035.10	2500
7	60	62.842	3770.52	3600
8	70	64.981	4548.67	4900
9	80	67.121	5369.68	6400
10	90	69.261	6233.49	8100
11	100	71.400	7140.00	10000
N=11	$\Sigma T_i=550$	$\Sigma R_i=667.712$	$\Sigma T_i R_i=35739.62$	$\Sigma T_i^2=38500$

Враховуючи дані таблиці 3.1 система рівнянь (3.6) приймає вигляд:

$$667.712 = a_1 \cdot 550 + a_0 \cdot 11 \quad (3.7)$$

$$35739.62 = a_1 \cdot 38500 + a_0 \cdot 550$$

Розв'язок системи (3.7) :

$$a_1 = 0.213825 ; a_0 = 50.00984$$

Тоді статична характеристика характеристика мідного терморезистора типу ТСМ буде мати вигляд:

$$R = 0,213825 \cdot T + 50,00984 \quad (3.8)$$

Результати розрахунку апроксимованої характеристики та їх відхилення від експериментальних даних показані в таблиці 3.2, виконаній з використанням пакету Excel.

Граничне відхилення апроксимованих даних від експериментальних не перевищує 0,00984 Ом, що складає 0.02 % від номінального значення.

Сучасні засоби комп'ютерного опрацювання даних містять пакети прикладних програм, які дозволяють виконувати вищеприведені процедури в автоматичному режимі.

Як, наприклад, опції Basic Fitting в пакеті Tools для опрацювання графічної інформації в середовищі MATLAB.

Таблиця 3.2- Результати розрахунку апроксимованої характеристики та їх відхилення від експериментальних даних

T	R	TR	T * T	Rтеорет.	Rt-Re
0	50	0	0	50,00984	0,00984
10	52,14	521,4	100	52,14809	0,00809
20	54,281	1085,62	400	54,28634	0,00534
30	56,422	1692,66	900	56,42459	0,00259
40	58,562	2342,48	1600	58,56284	0,00084
50	60,702	3035,1	2500	60,70109	-0,00091
60	62,842	3770,52	3600	62,83934	-0,00266
70	64,981	4548,67	4900	64,97759	-0,00341
80	67,121	5369,68	6400	67,11584	-0,00516
90	69,261	6233,49	8100	69,25409	-0,00691
100	71,4	7140	10000	71,39234	-0,00766
550	667,712	35739,62	38500		

Зокрема, за експериментальними даними встановлена аналітична форма квадратичної залежності опору від температури виду

$$R=r_0(1+k_1(t-T_0)+k_2(t-T_0)^2), (3.9)$$

де  $r_0$  – опір за початкової температури  $T_0$ ,

$k_1, k_2$  – температурні коефіцієнти, характерні для конкретного матеріалу.

Для випадків, коли вимірювання проводяться в конкретних температурних інтервалах, для яких можна в межах заданої точності



використовувати лінійну градууювальну характеристику, дану залежність можна апроксимувати лінійною.

На рис.3. 1 приведено результати такої апроксимації з використанням опції Basic Fitting.

```
clear all
```

```
%вплив зміни температури на зміну опору
```

```
T0=20;
```

```
r0=50;
```

```
t=[T0:10:T0+10*T0];
```

```
k1=.001;
```

```
k2=.000005;
```

```
R=r0*(1+k1*(t-T0)+k2*(t-T0).^2);
```

```
plot(t,R-r0,'o'),grid
```

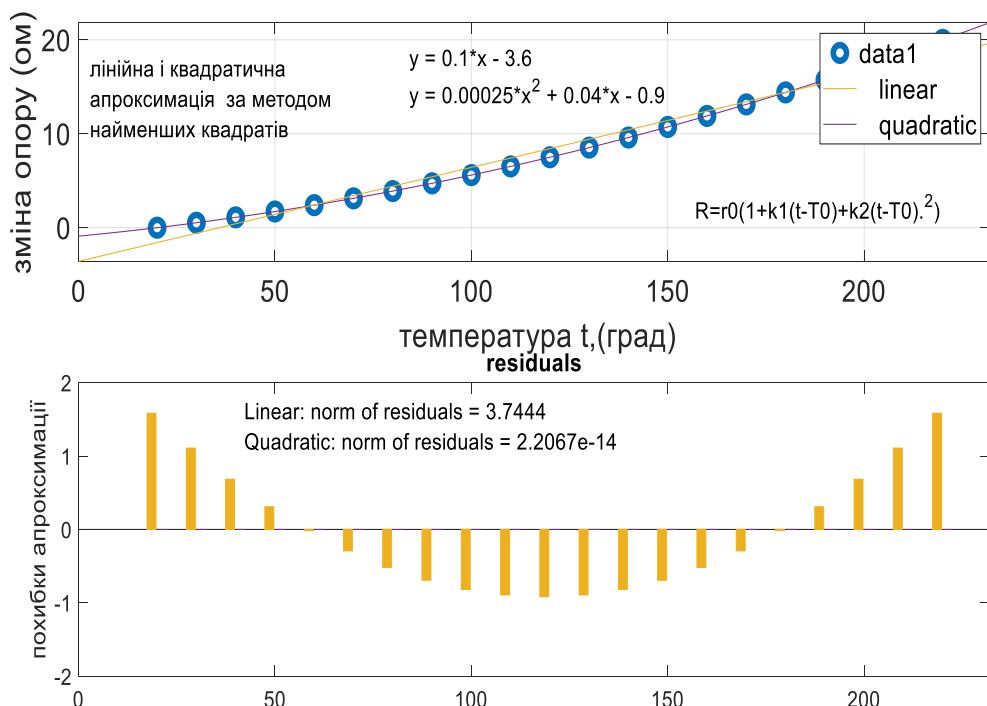


Рисунок 3.1 Приклад лінійної і квадратичної апроксимації за методом найменших квадратів з використанням опції Basic Fitting

Математичний апарат методу найменших квадратів є дієвим інструментом опрацювання експериментальних даних вимірювання, представлених в дискретній формі, а наявне програмне забезпечення суттєво полегшує їх застосування.

## 4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок генератора струму

Для формування струму через резистор компенсації вводимо в схему генератор струму .

На трансформаторі Т1 намотуємо обмотку 11-12 з параметрами дроту і кількістю витків аналогічними до обмотки 9-10. Напряга живлення ДА12-30В (з характеристик ДА12).

Вибираємо кремнієвий стабілітрон 26 16 4 М-1 [31]. Він призначений для використання в якості джерела опорної напруги в герметизованій апаратурі і є прецизійним.

Його параметри:

- напряга стабілізації при температурі 213-398 К -6...6.7 В;
- температурний коефіцієнт стабілізації при температурі 213-398 К 0.005 % 1/К;
- часова нестабільність напруги стабілізації + 0.1%;
- мінімальний струм стабілізації - 0.5 мА;
- максимальний струм стабілізації - 3мА ( 213-308 К );
- максимальний струм стабілізації - 1.5мА ( 308-398 К ).

Розрахуємо похибку від ТКН за формулою :

$$\Delta E_{0t} = +\varepsilon \Delta t ,$$

де  $\varepsilon$  - температурний коефіцієнт напруги стабілізації .

$\Delta t$  - зміна температури, К  $\Delta t = + 5$  К.

$$\Delta E_{0t} = 0,005 \cdot 60 \cdot 5 / 100 = +0,0015 \text{ В}$$

Розрахуємо резистор  $R_{44}$  за формулою

$$R_{44} = (U_{\text{ж}} - U_{\text{СТ}}) / I_{\text{СТ}}$$

$$R_{44} = (30\text{В} - 6,4\text{В}) / 10 \cdot 10^{-3}\text{А} = 2360 \text{ Ом}$$

$$P_{K44} = (U_{\text{ж}} - U_{\text{СТ}})^2 / R_{44}$$

$$P_{K44} = (30 - 6,4)^2 / 2360 = 0,24 \text{ Вт}$$

$$(R_{45} + R_{46} + R_{47}) = U_{\text{СТ}} / I_{\text{П}} = 6,4\text{В} / 0,1\text{мА} = 64 \text{ кОм}$$

Виберемо напругу на виході подільника 2В. Регулювання напруги забезпечимо в межах +10%.

$$U_{\text{ПМІН}} = U_{\text{П}} \cdot (1 - \Delta / 100) = 2 \cdot (1 - 10 / 100) = 1,8 \text{ В}$$

$$U_{\text{ПМАХ}} = U_{\text{П}} \cdot (1 + \Delta / 100) = 2 \cdot (1 + 10 / 100) = 2,2 \text{ В}$$

$$R_{46} = U_{\text{ПМІН}} / I_{\text{П}}$$

$$R_{46} = 1,8 \text{ В} / 0,1 \text{ мА} = 18 \text{ кОм}$$

Вибираємо R46- C2- 29В- 0,125- 18кОм [31]

Тоді :

$$R_{45} = (U_{\text{СТ}} - U_{\text{ПМАХ}}) / I_{\text{П}} = (6,4 \text{ В} - 2,2 \text{ В}) / 0,1\text{мА} = 42 \text{ кОм}$$

R45- C2- 29В- 0,125- 39с [31]

$$R_{48} = (R_{45} + R_{46} + R_{47}) - R_{45} - R_{46} = 64 \text{ кОм} - 39 \text{ кОм} = 7 \text{ кОм}$$

Вибираємо  $R_{48}$ -  $C_{ПЗ}$ - 36- 10 кОм.

Перевіримо напруги подільника.

$$U'_{ПМІН}=U_{ОП} \cdot R_{46}/(R_{45}+R_{46}+R_{48});$$

$$U'_{ПМАХ}=U_{ОП} \cdot (R_{48}+R_{46})/(R_{45}+R_{46}+R_{48});$$

Підставивши значення у формули:

$$U'_{ПМІН}=6.4В \cdot \frac{18\text{к}\Omega}{64\text{к}\Omega}=1.72В < U_{ПМІН};$$

$$U'_{ПМАХ}=6.4В \cdot \frac{28\text{к}\Omega}{64\text{к}\Omega}=2.68В < U_{ПМАХ};$$

можна зробити висновок, що подільник розраховано правильно.

Резистор  $R_{49}$  -використовується для зміщення нуля (тобто для компенсації початкового значення на терморезисторі при  $0^{\circ}\text{C}$ ).

$$I_{R_{44}}=1\text{мА}.$$

$R_{49}$  вибираємо рівним опорю давача.

$$R_{49} -C_2-29В-0,125-50\text{Ом} +0,1 \% [ 31 ]$$

ДА12-К140УД12-його харктеристики:

$$I_{Ж}=0.003\text{ мА};$$

$$U_{Ж}=+15В;$$

$$K_{Н}=50000.$$

Розрахуємо діод  $VD_{15}$ :

$$\text{Струм } I_{VD15}=I_{ЖДА12}+I_{Н}+I_{СТ}=0,03\text{ мА} + 10\text{ мА} + 0,1\text{ мА} =10,13\text{ мА}$$

Вибираємо КД522А:

$$I_{ПР}=0,1\text{ А}; U_{ЗВОР}=250\text{ В}; f_{МАХ}=5\text{ кГц} [ 31 ]$$

$$C_{21}-К10-17-16-Н1500-1000\text{pF}+20\%-В [ 31 ]$$

$$C_{22}-К10-17-16-Н47-18\text{pF}$$

Вибираємо резистор R47

$$R_{47} = U_n / I_{R49} = 2\text{В} / 1\text{мА} = 2\text{кОм}.$$

$$R_{47} - C_2 - 29\text{В} - 0,125 - 2\text{кОм}.$$

#### 4.2 Розрахунок підсилювача

Вхідний підсилювач включає два операційних підсилювача (ОП) ДА3 і ДА5. Коефіцієнт передачі ДА3 визначається резисторами R9 і R10 в колі зворотнього зв'язку.

Коефіцієнт передачі ДА5 визначається відношенням R16, R15, R14. У залежності від пік-фактора за допомогою резисторів в колі зворотнього зв'язку мікросхем ДА3 і ДА5 вибирається необхідний загальний коефіцієнт підсилення.

Перимикання коефіцієнта передачі проводиться за допомогою аналогових ключів (мікросхема ДА4).

Управління ключами здійснюється ПФ на передній панелі.

Сумарний коефіцієнт підсилення визначається за формулою:

$$K_n = K_{\text{ДА3}} \times K_{\text{ДА5}}.$$

На основі попередніх розрахунків, виходячи із значення струму, що протікає через давач  $I = 1\text{мА}$  і градуовальної характеристики термоперетворювача Pt 50 встановимо, що для роздільчої здатності 1С  $K_n$  вхідного підсилювача повинен бути рівний 4,1, а при роздільчій здатності 0,1С-20,787.

Отже, розрахуємо  $K_{\text{ДА5}}$ .

Опір R16 виберемо рівним 8,16 кОм.

$$R_{15} + R_{14} = 8,16 / 3,1 = 2,63\text{кОм}$$

Опір резистора R15 виберемо рівним 2,61 кОм.

Тоді  $R_{14}=R_{16}-R_{15}=20\text{Ом}$ -виберемо з таблиці значення опору  $47\text{Ом}$ .

Перевіримо межі регулювання коефіцієнта підсилення :

$$K_{DA5\min} = 1 + R_{16}/(R_{14} + R_{15}) = 1 + 8,16/2,61 + 0,047 = 4,07$$

$$K_{DA5\max} = 1 + (R_{16} + R_{14})/R_{15} = 1 + (8,16 + 0,047)/2,61 = 4,14$$

Розрахуємо  $K_{DA3}$ :

$$K_{DA3} = K_n/K_{DA5} = 20,787/4,1 = 5,07$$

$$K_{DA3} = 1 + R_{10}/R_9$$

$$R_{10}/R_9 = 5,07 - 1 = 4,07$$

Опір резистора  $R_9$  виберемо рівним  $1\text{кОм}$  .

$$R_9 - \text{СП5-3ВА-0,5Вт-1кОм+10\%}$$

$$\text{Отже } R_{10} = 4,07 \cdot 1 = 4,07\text{кОм} .$$

$$R_{10} = \text{C2-29А-0,125-4,07кОм}.$$

#### 4.3 Визначення сталої інтегратора

Значення сталої інтегратора визначаємо з нерівності :

$$\frac{I}{\tau} \cdot \int_0^T (U_{xm} + U_3) dt \leq 5B$$

де  $\tau$  - стала інтегратора, мс;

$T$  - період інтегрування, с;

$U_X$  - невідома напруга, що подається на вхід інтегратора, В;

$U_Z$  - напруга зміщення, В.

Підставляючи значення  $U_X$ ,  $T$ , знайдемо

$$\tau = 22 \text{ мс}$$

$$\tau = R \cdot C, (2.48)$$

де  $R$  - опір резистора, Ом;

$C$  - ємність конденсатора, Ф.

Вибираємо керамічний конденсатор типу К73-16 ємністю 0,047 мкФ.

Тоді опір резистора визначається з (2.1)

$$R = \frac{\tau}{C};$$

$$R = \frac{22 \text{ мс}}{0.047 \mu \text{ ф}} = 470 \text{ кОм.}$$

#### 4.4 Розрахунок джерела опорної напруги

Джерело опорної напруги в аналоговій частині складається з двох подільників напруги, побудованих на ОП.

Визначимо  $U_0$ , що подається на підсилювач. Операційний підсилювач увімкнено в режимі повторювача напруги для такої схеми:  $U_{ВІХ} = U_{ВХ} = 1 \text{ В}$  і використовується як перетворювач імпедансів при під'єднанні високоомного джерела сигналу до низькоомного навантаження, оскільки в нього  $R_{ВХ} \rightarrow \infty$ , а  $R_{ВІХ} \rightarrow 0$ . Виходячи з того, що на вхід інтегратора через комутатор подається 1 В з джерела опорної напруги і коефіцієнт підсилення 1,  $U_0 = 1 \text{ В}$ .



Напруга на вході ДА1 :

$$U_{ВХ ДА1} = 1В.$$

Струм подільника R1-R2-R3 виберемо рівним 0,5 мА.

Тоді загальний опір подільника:

$$R1+R2+R3 = U_{СТ}/I_{ПОД1} = 6,4В/0,5мА = 12,8 Ом .$$

Опір R3 приймаємо рівним 12кОм.

Розрахуємо R1+R2.

$$R1+R2/R1+R2+R3 = U_{ОП}/U_{СТ}-U_{СТ} ,$$

де U<sub>ОП</sub> - опорна напруга, В

U<sub>СТ</sub> - напруга стабілізації, В;

$$U_{СТ} = 6,4 В$$

$$U_{СТ} = U_{СТ} 10\%/100\% = 0,64 В.$$

Отже ,

$$R1+R2/R1+R2+R3 = 1В/6,4В-0,64В = 0,174В;$$

$$R1+R2 = 0,174 \cdot ( R1+ R2 + R3 ),$$

$$R1+R2 ( 1 - 0,174 ) = 0,173 R3 ,$$

$$R1 +R2 = 0,174/(1 - 0,174) 12 = 2,52 кОм$$

Опір резистора R1 приймаємо на 10% меншим (R1 +R2) для забезпечення регулювання.

$$R1 = (R1 + R2) \cdot 0,9 = 2,52 \cdot 0,9 = 2,27 \text{ кОм}$$

R1 вибираємо рівним 2,21 кОм;

$$R1 - C2 - 29B - 0,125 - 2,21 \text{ кОм} \pm 0,05\%$$

.

Тоді

$$R2 = 2,52 - 2,21 = 310 \text{ Ом.}$$

Виберемо резистор

$$R2 - СП5 - 3BA - 0,5W - 100\text{Ом} \pm 10\%.$$

$$R4 = R1R3 / (R1 + R3) = 2,21 \cdot 12 / (2,21 + 12) = 1,86 \text{ кОм} .$$

Резистор R4 вибираємо опором 1,8 кОм.

Напруга зміщення повинна бути в два рази меншою за опорну напругу, тому вона рівна 0,5 В.

Струм подільника

$$I_{\text{ПОД2}} = 60 \text{ мкА.}$$

Тоді, загальний опір подільника:

$$R5 + R6 + R7 = U_{\text{ОП}} / I_{\text{ПОД2}} = 1\text{В} / 60\text{мкА} = 16,6 \text{ кОм.}$$

$$R5 = R7 = (R5 + R6 + R7) / 2 = 16,6\text{кОм} / 2 = 8,33 \text{ кОм.}$$

Резистори R5 і R7 виберемо опором 8,25 кОм.

$$R5, R7 - C2 - 29B - 0,125 - 8,25\text{кОм} \pm 0,05\%.$$

Регулювання напруги зміщення забезпечимо в межах 0,1%.

Тоді,

$$R_6 = R_5 \cdot 0,1\% / 100\% = 82,5 \text{ Ом.}$$

З ряду Е6 вибираємо регулівний резистор R6 опором 100Ом типу СП5-3ВА-0,5W-100Ом±10%.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Вимоги до виробничого освітлення та його нормування

Освітленість у виробничій діяльності має велике значення в зниженні виробничого травматизму, створює нормальні умови для роботи органів зору і підвищує загальну працездатність. Світло забезпечує зв'язок організму з зовнішнім середовищем, володіє високою біологічною і тонізуючою дією. Зір — головний “інформатор” людини; біля 90% всієї інформації про зовнішній світ поступає в наш мозок через очі.

Виробниче освітлення, правильно спроектоване і виконане, призначено для рішення наступних питань: воно поліпшує умови зорової роботи, знижує втомність, сприяє збільшенню продуктивності праці; добре впливає на виробниче середовище, здійснюючи позитивну психологічну дію на працівника; підвищує безпеку праці і знижує травматизми на виробництві.

До теперішнього виробничого освітлення ставляться високі вимоги не тільки гігієнічного, але і техніко-економічного характеру.

Для освітлення виробничих приміщень використовують природне і штучне освітлення.

Створення сприятливих умов праці, які виключають скору втому зору, виникнення нещасних випадків і сприяючих збільшенню продуктивності праці, можливо тільки освітлювальною установкою, яка відповідає наступним вимогам:

а) освітленість на робочому місці повинна відповідати зоровим умовам праці відповідно до гігієнічних норм;

б) необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні, а також в границях навколишнього середовища;

в) на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;

г) в околі зору повинний бути відсутній прямий і відбитий блиск. Блиск— збільшена яскравість поверхні, який викликає порушення зорових функцій;

д) величина освітленості повинна бути постійною в часі;

е) треба вибрати оптимальну направленість світлового потоку, що дозволяє в одних випадках розглядати внутрішні поверхні деталей, в других — розрізняти рельєфність елементів робочої поверхні;

є) необхідно вибрати необхідний спектральний склад світла;

ж) освітлювальна установка не повинна бути джерелом додаткової небезпеки і шкідливості. Необхідно звести до мінімуму тепловиділення, небезпеку ураження струмом і її пожежонебезпечність;

з) установка повинна бути зручною, надійною і простою в експлуатації.

В діючих нормах штучного освітлення в виробничих приміщеннях (СНиП II-4-79 “Естественное и штучное освещение”) задаються як кількісні (величина мінімальної освітленості, допустима яскравість в околі зору), так і якісні характеристики (показник осліпленості, глибина пульсації освітленості), які важливі для створення нормальних умов праці.

Для освітлення виробничих приміщень в першу чергу слід застосовувати газорозрядні лампи незалежно від прийнятої системи освітлення у зв'язку з великою перевагою їх перед лампами розжарювання економічного і світлотехнічного характеру.

Використання ламп розжарювання можливе тільки в випадках неможливості використання газорозрядних ламп.

Прийнято роздільне нормування освітленості в залежності від застосованого джерела світла і системи освітлення. Величина мінімальної освітленості встановлюється відповідно умовам зорової роботи, які визначаються найменшим розміром об'єкта розпізнавання, контрастністю об'єкта з фоном і характеристикою фона.

При визначенні норми освітленості необхідно враховувати ряд вимог, які викликають необхідність збільшення рівня освітленості, вибраного по точності зорової роботи.

При роботі на приладі зорової роботи відносимо до III розряду, тому що прилад призначений для контролю торцевого биття, і покази потрібно знімати досить точно, бо від цього залежить похибка вимірювання. Величина мінімальної освітленості для III розряду зорової роботи приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Найменша освітленість на робочій поверхні в виробничих приміщеннях

Розмір об'єкту розпізнання	Розряд роботи	Під-розряд	Контраст об'єкту з фоном	Фон	Найменша освітленість, лк			
					при газорозрядних лампах		при лампах розжарювання	
					комбіноване	одне спільне	комбіноване	одне спільне
Від 0,3 до 0,5	<i>III</i>	а	Малий	темний	2000	500	1500	300
		б	Малий	середній	1000	300	750	200
		в	Середній	темний	750	300	600	200
		г	Малий	світлий	400	200	400	150
			Середній	середній				
			Великий	темний				
			Середній	світлий				
			Великий	середній				

Підвищення освітленості потрібно передбачати також в приміщеннях з недостатнім по нормам природного світла, яке при бічному освітленні складає менше 80% нормуючого значення, а при верхньому не менше 60%. В деяких випадках необхідно зменшувати нормуючі освітленості, наприклад: тимчасове перебування людей в приміщенні.

В приведених нормах для газорозрядних ламп значення нормованої освітленості вище, чим для ламп розжарювання, в наслідок великої світловіддачі цих ламп. Система комбінованого освітлення, як більш економічна, має норми освітленості вище, чим для спільного освітлення. Таким чином, в норми закладена тенденція підвищення освітленості у всіх випадках, коли її можна збільшити за рахунок підвищення економічності установки. Для виключення частково переадаптації зору із-за нерівномірного освітлення в приміщенні при системі комбінованого освітлення необхідно, щоб світильники загального освітлення створювали не більше 10% нормованої освітленості.

Для обмеження осліплюючої дії світильників загального освітлення в виробничих приміщеннях показник осліпленості не повинен перевищувати 20-80 одиниць в залежності від часу роботи і її зорового розряду.

При освітленні виробничих приміщень газорозрядними лампами, які живляться змінним струмом промислової частоти 50 Гц, необхідно обмежити

глибину пульсації освітленості. Допустимий коефіцієнт пульсації в залежності від системи освітленості і характеру виконуваної роботи не повинні перевищувати 10-20%.

## 5.2 Характеристика небезпечних зон обладнання і заходи безпеки при роботі

Сучасні машинобудівні заводи обладнані самими різними видами технологічного обладнання. Його використання полегшує працю людини, робить її продуктивнішою. Однак в ряді випадків робота цього обладнання пов'язана з виробничою небезпекою, тобто можливістю дії на працюючих небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Основними вимогами, які ставляться з точки зору охорони праці при проектуванні машин і механізмів, є: безпека для здоров'я та життя людини, надійність, зручність експлуатації.

Безпечна робота виробничого обладнання забезпечується правильним вибором принципів його дії, кінематичних схем, конструктивних рішень, робочих тіл, параметрів робочих процесів, використанням різних захисних засобів.

Зовнішні контури захисних засобів повинні вписуватись в контури основного обладнання. Необхідно старатись, щоб ці захисні засоби дозволяли вирішувати декілька задач одночасно і по можливості конструктивно суміщались з машинами і агрегатами, являючись їх складовою частиною. При наявності в агрегатів електроприводу останній повинен бути виконаний в відповідності з Правилами побудови електричних установок.

Надійність машин і механізмів визначається ймовірністю порушення нормальної роботи обладнання. Такого роду порушення можуть стати причиною аварій і, в кінцевому результаті, травм.

Велике значення в забезпеченні надійності роботи машин і механізмів має наявність необхідних контрольно-вимірювальних приладів і пристроїв автоматичного керування і регулювання.

При відмові автоматики надійність роботи технологічного обладнання визначається ефективністю дій осіб, які його обслуговують. Однак це, в свою чергу, залежить від того, в яких умовах проходить робота людей, чи відповідають ці умови можливостям людського організму. Тому виробниче обладнання повинно проектуватись з врахуванням фізіологічних і психологічних можливостей людини, а також з врахуванням його антропологічних даних. Врахування останніх також необхідно і при організації робочого місця. Всі види технологічного обладнання повинні бути зручними для огляду, змащування, розборки, наладки, прибирання, транспортування, встановлення і керування ними в роботі.

Небезпечна зона – це простір, в якому діють постійно або виникають періодично фактори, які є небезпечними для життя або здоров'я людини.

Небезпечна зона локалізована в просторі навколо будь-яких рухомих елементів, ріжучого інструменту, оброблюваних деталей, планшайб, зубчастих, пасових і ланцюгових передач, зубчастих зачеплень, робочих столів верстатів, підйомно-транспортних машин, вантажів і т. п. В всіх вказаних випадках присутня небезпека травмування осіб, які обслуговують обладнання, рухомими частинами останнього. Особлива небезпека виникає в випадку, коли можливий захват одягу або волосся працюючого робочими частинами обладнання.

Наявність небезпечної зони може бути пов'язано з небезпекою ураження електричним струмом, з дією теплових, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, а також з дією шуму, вібрації, ультразвуку, шкідливих парів, газів, пилу, з можливістю травмування відлітаючими частинами матеріалу заготовки та інструменту при обробці, з вилітанням оброблюваної деталі через погане її закріплення або поломки.

Габарити небезпечної зони в просторі можуть бути постійними (зона між пасом і шківом і т. п.) і перемінним (прокатне поле прокатних станів, зона різання при зміні характеру обробки, параметрів обробки, ріжучого інструменту і т. п.).

При проектуванні технологічного обладнання в машинобудуванні і його експлуатації необхідно враховувати застосування пристроїв, які або



виключають можливість контакту людини з небезпечною зоною, або знижують небезпеку контакту.

Такого роду пристроями є засоби захисту працюючих, використовувані для попередження або зменшення впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Засоби захисту класифікуються на дві великі групи:

- а) колективні, які забезпечують безпеку виробничого обладнання;
- б) індивідуальні, які забезпечують безпеку виробничих процесів.

Всі використовувані в машинобудуванні захисні засоби можна розділити на наступні основні групи: огорожувальні, запобіжні, блокуючі, сигналізуючі, а також системи дистанційного керування машинами і спеціальні пристрої.

Огороджувальні пристрої – засоби захисту, які обмежують доступ людини в небезпечну зону. Їх поділяють на три основні груп: стаціонарні (нез'ємні), рухомі (з'ємні) і переносні.

Запобіжні захисні засоби призначені для автоматичного відключення агрегатів і машин при відхиленні якого-небудь параметру, який характеризує режим роботи обладнання, за межі допустимих значень.

Сигнальні пристрої – це засоби інформації про роботу технологічного обладнання, а також про небезпечні і шкідливі фактори, які при цьому виникають.

По призначенню системи сигналізації поділяють на три групи: оперативна, попереджувальна і опізнавальна. По методу інформації розрізняють сигналізацію: звукову, візуальну, комбіновану (світло-звукову) і одоризаційну (по запаху).

Аналізуючи проектувану установку можна виділити наступні небезпечні зони:

- а) електродвигун і блок керування – можливість ураження електричним струмом;
- б) завантажувальна і сортувальна частини установки – виникає можливість травмування в моменти завантаження рухомими частинами завантажувача;

в) електродвигун, рука-маніпулятор, кінематичні пари гвинт-гайка – створюють небезпеку обертовими рухами, так як виникає можливість намотування одягу і травмування;

Для виключення можливості ураження електричним струмом в установці використано захисне заземлення струмопровідних частин. Редуктори і кінематичні пари гвинт-гайка виконані в корпусах, які закривають їх рухомі елементи.

Тип і метод кріплення електродвигуна закривають його вал від випадкового дотику рукою, одягом чи іншими речами.

Для виключення попадання людини в інші небезпечні зони доцільно використати стаціонарну огорожу по обидві сторони установки з попереджувальними знаками.

Пульт керування та індикації зроблено дистанційним для збільшення зручності робити оператора і виключення необхідності його перебування в небезпечній зоні.

### 5.3 Розрахунок плавкої вставки електродвигуна

В системах електрозабезпечення можуть виникати режими, які характеризуються електричними, механічними, тепловими навантаженнями нормального режиму роботи. При значному перевантаженні електричних приладів струмами або при короткому замиканні, виділяється велика кількість теплової енергії, яка загрожує збереженню установки і можливості виникнення пожегів.

Основним видом аварій в системах електрозабезпечення, являється коротке замикання, через це апарат відключення повинен володіти відповідною відключаючою можливістю.

В вигляді таких апаратів можуть примінятися плавкі запобіжники НЧ (низької напруги), автоматичні вимикачі, ін.

По застосованих апаратах системи електричного захисту в електропроводках можуть розділятися на дві групи:

- 1) захист плавкими запобіжниками;
- 2) автоматичними вимикачами.

Характерною величиною для плавкого запобіжника являється його номінальний струм, який запобіжник повинен витримувати невизначно довгий час не перегораючи.

Плавкий запобіжник повинен надійно захищати проводи установки від небезпечної перегрузки, а також він повинен витримувати короткочасні поштовхи струму при запусках двигунів.

Через це при виборі запобіжника необхідно знати не тільки номінальний струм навантаження лінії, але і її характер.

Якщо лінія живить двигуни, то за основу для вибору запобіжника потрібно брати середнє значення пускового струму двигуна.

Тривалість пускового процесу часто складає біля 5 – 10 сек, на протязі цього часу запобіжник повинен витримувати струм, перебільшуючи його номінальне  $I_n$  значення приблизно в 2,5 рази.

Отже номінальний струм плавкої вставки запобіжника рівний

$$I_n = I_{\text{пуск}} / 2,5, \text{ A}$$

В установці використовується двигун типу ДШ 80-0,16-22,5 з такими основними характеристиками:

- потужність двигуна (P) – 62 Вт;
- напруга живлення (U) – 27 В;
- пусковий струм ( $I_{\text{пуск}}$ ) – 3,2 А.

Використавши ці дані, розрахуємо номінальний струм плавкого запобіжника:

$$I_n = 3,2 / 2,5 = 1,3 \text{ A}$$

Серед стандартних плавких запобіжників вибираємо ПН2, ст15 [ ].

В той же час необхідно врахувати наступні недоліки плавких запобіжників:

- незалежну роботу запобіжників кожної фази внаслідок чого можливі відключення одної або двох фаз і продовження роботи приймачів в неповнофазних режимах;

- одноразове спрацювання запобіжника і в наслідок цього істотні затрати часу на встановлення живлення споживачів шляхом заміни запобіжників;

- складність забезпечення захисту провідників і електротехнічних приладів по всьому діапазону можливих зверх струмів;

- можливих помилкових операцій з запобіжниками при їх заміні або при включенні лінії шляхом виймання запобіжника;

- відносну складність приладів дистанційної сигналізації про спрацювання;

- неможливість перевірки захисних властивостей без перегорання запобіжника.

Існують спеціальні модифікації запобіжників, вільні від цих недоліків.

До основних переваг запобіжників відносяться: швидкодійність, струмообмеженість, здатність швидко відключати установку.

#### 5.4 Оцінка стійкості роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях природного характеру.

Кожний об'єкт в залежності від особливості його виробництва і інших характеристик має свою специфіку. Але об'єкти мають багато спільного: виробничий процес здійснюється, як правило, в середині споруд і будівель, самі споруди випадків виконані з уніфікованих елементів, територія об'єкту насичена інженерними, комунальними і енергетичними лініями, окремо розташовані технологічні установки, мережа внутрішнього транспорту, системи зв'язку і управління, складське господарство, різноманітні будівлі і споруди адміністративного, побутового і господарського призначення.

Принципами стійкості промислового підприємства в надзвичайних ситуаціях є єдина нормативна і директивна база, яка включає:

- Конституцію України;
- закон про цивільну оборону України;
- положення ЦО;
- нормативні документи по стійкості об'єктів;
- директиви начальника штабу ЦО України.

Стійкість роботи промислового підприємства складається із:

- стійкості інженерно-технічного комплексу (будівель, споруд, систем енерго-, газо-, водозабезпечення, технологічного обладнання і.т.п.) до дії зовнішніх факторів при аваріях, катастрофах, стихійному лихові, а також при застосуванні щодо них сучасної зброї;
- стійкості виробничої діяльності (захист виробничого персоналу, надійність системи управління, постачання поновлення роботи в найкоротші терміни).

Фактори, від яких залежить стійкість роботи об'єктів в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу:

1. надійність захисту робітників і службовців;
2. безпечність розташування об'єкту відносно зон можливих руйнувань;
3. можливість інженерно-технічного комплексу протистояти ударній хвилі будь-якого вибуху і вражаючим діям ядерної зброї;
4. безперервність постачання електроенергією, паливом, сировиною, газом і всім необхідним для випуску продукції;
5. надійність керування виробництвом силами і засобами цивільної оборони;
6. підготовленість підприємства до поновлення виробництва.

Для всіх виробничих об'єктів незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні запальні фактори, які впливають на підготовку об'єкта до роботи в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу. До цих факторів належать район розміщення об'єкту, внутрішнє планування і забудова території об'єкту, системи енергопостачання, технологічний процес, виробничий зв'язок

об'єкту, системи управління, підготовленість об'єкту до відбудови виробництва і інше.

Район розміщення об'єкта вивчається за картою (планами). Проводиться аналіз топографічного розміщення об'єкту:

- характер забудови території яка оточує об'єкти (структура, густота, тип забудови);

- наявність на цій території підприємств, які можуть бути джерелами виникнення вторинних факторів ураження;

- природні умови навколишньої місцевості.

З'ясовуються метеорологічні умови району. При вивченні споруд і будівель об'єкту дається характеристика споруд основного і допоміжного виробництва, споруд, які не будуть використані у виробництві основної продукції в надзвичайних ситуаціях. Встановлюються основні особливості їх конструкції, вказують технічні дані, необхідні для розрахунків дії ударної хвилі, світлового випромінювання і можливих вторинних факторів ураження. А власне: конструкція, поверхня, довжина і висота, вид каркасу, світлові отвори, покрівля, перекриття. Вказується кількість працівників і службовців, які одночасно перебувають у будівлі, наявність вбудованих і близько розміщених сховищ.

При оцінці території об'єкту визначається вплив густоти і типу забудови, можливість виникнення і розповсюдження пожежі створення завалів входів у сховища.

Вивчення технологічного процесу проводиться з розрахунком специфіки виробництва і змін у виробничому процесі в надзвичайних ситуаціях.

На підприємствах зв'язаних із застосуванням значної кількості сильнодіючих отруйних і горючих речовин, встановлюється їх кількість, оцінюються токсичні властивості, надійність їх зберігання. Визначається їх необхідний мінімум запасів цих речовин, які можуть перебувати на території об'єкту.

Особливу увагу приділяють дослідженню систем газопостачання, оскільки газ з джерела енергії може перетворитись у дуже агресивний вторинний фактор ураження.

Дослідження системи управління об'єктів проводиться на основі вивчення стану пунктів управління і вузлів зв'язку, надійності системи управління виробництвом, розстановки сил. Визначаються також джерела поповнення робочої сили, аналізуються можливості взаємозаміни керівного складу об'єкту. Особлива увага приділяється вивченню системи оповіщення.

При аналізі системи матеріально-технічного постачання дається коротка характеристика цієї системи в нормальних умовах і можливих змін у зв'язку з переходом на випуск нової продукції, оцінюються наявні і планові запаси і можливі продовження строки роботи без постачання.

Підготовка об'єкту до відбудови виробництва визначається на основі вивчення характеру виробництва, складності його устаткування матеріалів.

З системою забезпечення стійкості роботи важливих виробничих підприємств в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу завчасно проводиться комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів цивільної оборони, спрямованих на забезпечення захисту населення та підвищення стійкості роботи об'єкту, на утворення необхідних умов для безперебійної роботи.

Під стійкістю роботи промислових підприємств розуміють їх можливість в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу виробляти продукцію в запланованому обсязі і номенклатурі, а при слабких пошкодженнях відновлювати виробництво в мінімальні терміни.

Нові промислові підприємства повинні будуватись з врахуванням вимог, виконання яких сприяє підвищенню стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкту.

Будівлі і споруди на об'єкти необхідно розміщувати розсереджено. Відстань між будівлями повинна забезпечувати протипожежні розриви. Ширина протипожежного розриву  $\alpha_p$  визначається за формулою:

$$\alpha_p = H_1 + H_2 + 15\text{м};$$

де  $H_1$  і  $H_2$  – висоти сусідніх будинків.

Висока стійкість до дії ударної хвилі властива залізобетонній будівлі з металевими каркасами.

Для підвищення стійкості до пожеж в будівлях повинні застосовуватись вогнестійкі конструкції, а також вогнетривка обробка горючих елементів будівлі. В складських приміщеннях повинно бути якомога менше вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин повинні розміщуватись в окремих блоках заглиблено або напівзаглиблено біля кордонів об'єкту або за його межами.

Дороги на території об'єкту повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручний і найкоротший шлях між виробничими будівлями, спорудами і складами; в'їздів на територію об'єктів повинно бути не менше двох з різних напрямків.

Системи побутової і виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків в міську каналізаційну мережу і пристосування для аварійних викидів.

Електрозабезпечення повинно здійснюватись від енергосистеми, до складу якої входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Великі електростанції потрібно розташовувати одну від одної і від великих міст на відстані, не менше двох радіусів зон можливих руйнувань.

Електроенергію на ділянки належить подавати по належних кабелях, прокладених в землі на глибині 0,8 – 1,2 м.

Для підвищення стійкості постачання об'єктів водою необхідно, щоб система водопостачання[об'єктів] здійснювалась не менше ніж від двох незалежних джерел.

На багатьох виробничих об'єктах газ використовується як паливо, а на хімічних підприємствах і як вихідна сировина. Газопровідні станції необхідно розташовувати за межами міста з різних сторін. Газова мережа закольцовується і прокладається під землею на глибині 0,6 – 1,7 м.



На газовій мережі у визначених місцях повинні бути встановленні автоматичні відключаючі пристрої, які спрацьовують від надлишкового тиску ударної хвилі.

Висновок: виконання вимог, норм проектування, інженерно-технічних заходів цивільної оборони сприяє нормальному функціонуванню промислових підприємств і забезпеченню робітників і службовців не тільки в надзвичайних умовах мирного і воєнного часу, але і покращує умови праці і проживання людей.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Об'єкт дослідження нашої роботи - портативні вимірювачі температури, приклади використання їх в експлуатації в стенді для дослідження теплопровідності матеріалів, повірка вимірювальних перетворювачів температурних датчиків.

В роботі проведена розробка цифрового вимірювального перетворювача та стенду для дослідження теплопровідності матеріалів.

В роботі я провів аналіз пристроїв вимірювання температурних характеристик, вибрав раціональну схему побудови термометра та типу первинного вимірювального перетворювача.

Для виконавчих механізмів, що забезпечують роботу стенду для дослідження теплопровідності матеріалів, приведені конструктивний розрахунок і опис принципу роботи.

Здійснено аналіз похибок вимірювальних каналів і вибрані допустимі значення параметрів і режимів роботи розроблюваних пристроїв

Математичний апарат методу найменших квадратів є дієвим інструментом опрацювання експериментальних даних вимірювання, представлених в дискретній формі, а наявне програмне забезпечення суттєво полегшує їх застосування.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойковський В. М., Саркісова А. Г. Портативні цифрові вимірювальні прилади на міжнародній виставці "Mesukora-Phisique" Прилади і системи управління. 1987. №4 с. 44-47.
2. Complete temperature measurement hand book and encyclopedia. OMEGA, 1986.
3. Cole-Parmer Instrument Company. Catalog 1987-1988.
4. Wahl Temperature Measurement Instruments. Catalog 1983.
5. Keithley. Catalog and Buyer's Guide, 1983-1984.
6. Давтян Г. В., Тер-Мартirosян М. Г., Шахкамян А. С., і інші. Цифровий портативний термометричний прилад типу Щ 455. Прилади і системи управління. 1987. №4. с. 25-26.
7. Testoterm. Elektronik Measuring Instruments for HVAC and Energy Management Service.  
Catalog, 1985.
8. Testoterm. Програмний огляд. Електронна вимірювальна техніка.
9. Ultrakust. Продукційна програма. Загальний перелік.
10. Digitales Temperaturme bgerat hoher Genauigkeit "Regelungstechn. Prax"., 1976, 18, 10, 291292.
11. Digitales Temperaturme bgerat "Kalte- und Klima-Fachmaun. 1977, 10, 12, 22.
12. Thermometre numerique de poche type PN2. "Entropie", 1977, 13, 76, 52.
13. Neues Tragbares, digitales Temperaturmessinstrument sur Ni Cr-Ni-Thermoelemente. "Temp. Techn.", 1979, 17, 6, 143.
14. Digital. Thermometer sur Schnellmessungen. "Fachber. Huttenprax. Metallwriterverarb" 1977, 15, 9, 789.
15. Thermometres numeriques portables. "Inter. electron", 1978, №255, 68.
16. Термоелектричний цифровий термометр DP-21C. Kasahara Norihiko, Sudo Hisso. "Кейсоку гедзюцу, Instrum. and Automat", 1978, 6, №9, 90-91.
17. Цифровий термометр TR 2112/2113. Miyagos Masatery. "KGIA", 1978, 6, №9, 92-93.

18. Temperatur Digital Pocket Tester "Praktiker" (Osterr), 1979, 35, №22, 31.
19. Digitale thermometers "Lab. instrum.", 1979, 15, №10, 370-373.
20. Давтян Г. В., Тер-Мартirosян М. Г., Шахкамян А. С. і ін. Цифровий портативний терморезистивний прилад типу Щ 455. Прилади і системи управління. 1987, №4 с. 25-26.
21. А. С. 590616 (СРСР), С 01К7\16. Цифровий вимірювач температур.
22. White D.R. The linearisation of resistance thermometers. J. Phys E. Sei Instrum, Vol. 17. 1984.
23. Марше Ж. Операційні підсилювачі і їх застосування. Пер. з фран. Л., Енергія, 1974.
24. Агрис Ю. В., Алдерс М. Р., Іванов Б. І. і ін. Аналого-цифровий перетворювач К 572 ПВ 2. Електронна промисловість. 1983, №4, с.52-53.
25. Обозовський С.С. Елементи теорії багаточленних похибок засобів вимірювань. -Львів. : ЛПІ,1981 р.
26. Обозовский С.С., Обозовская О.С., Чайковский О.И. Погрешности аналого-цифрового преобразования методом двух-тактного интегрирования. - Измерительная техника 1974 г. №3.
27. ГОСТ 6654-84 Термопреобразователи сопротивления ТСП . Общие технические требования .
28. ГОСТ 8504-84 Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ТСП. Общие методы оценки и контроля.
29. Козлов Б.И., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. -М.: Сов. радио, 1975
30. Половко А.М. Сборник задач по теории надежности. -М.: Сов. радио, 1972.
31. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры/  
А.И.Горобец,  
А.И.Степаненко, В.М.Коронкевич.-К.:Техніка, 1985. -312с.
32. Артемьев Б.Г., Голубев С.М.Справочное пособие для работников метрологических служб: В 2-х кн.-М.:Изд-во стандартов , 1990.

33. ГОСТ 23662-79 Отримання заготовок, фіксуючих і технологічних отворів друкованих плат. Технічні вимоги.
34. ГОСТ 23663-79 Механічна зачистка поверхні друкованих плат. Технічні вимоги.
35. ГОСТ 23664-79 Отримання металізованих і монтажних отворів друкованих плат. Технічні вимоги.
36. ГОСТ 23665-79 Обробка контуру друкованих плат. Технічні вимоги.
37. Козлов Б.И., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики . М. Сов. радио , 1975
38. Половко А.М. Сборник задач по теории надежности. М. Сов. радио, 1972.
39. Давтян Г. В., Тер-Мартirosян М. Г., Шахкамян А. С. і ін. Цифровий портативний терморезистивний прилад типу Щ 455. Прилади і системи управління. 1987, №4 с. 25-26.
40. А. с. 590616 (СРСР), С 01К7\16. Цифровий вимірювач температур.
41. White D.R. The linearisation of resistance thermometers. J. Phys E. Sei Instrum, Vol. 17. 1984.
42. Марше Ж. Операційні підсилювачі і їх застосування. Пер. з фран. Л., Енергія, 1974.
43. Агрис Ю. В., Алдерс М. Р., Іванов Б. І. і ін. Аналого-цифровий перетворювач К 572 ПВ 2. Електронна промисловість. 1983, №4, с.52-53.
44. Обозовський С.С. Елементи теорії багаточленних похибок засобів вимірювань. -Львів: ЛПІ. 1981 р.
45. Обозовский С.С., Обозовская О.С., Чайковский О.И. Погрешности аналого-цифрового преобразования методом двухтактного интегрирования - Измерительная техника 1974 г. №3.
46. ГОСТ 6654-84 Термопреобразователи сопротивления ТСП. Общие технические требования .
47. ГОСТ 8504-84 Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ТСП. Общие методы оценки и контроля.

## ДОДАТКИ