

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до розрахункової (контрольної) роботи

«Розрахунок резистивного моста термометру електричного опору»

з дисципліни

«Техніка фізичного експерименту»

Розглянуто

на засіданні кафедри «Електронна техніка»  
протокол № 8 від 25. 03. 2008 р.

Затверджено

на засіданні навчально-видавничої ради ДонНТУ  
протокол № 4 від 19. 05. 2008 р.

УДК 536.5. (430.1)

Методичні вказівки до розрахункової роботи «Розрахунок резистивного моста термометру електричного опору» з дисципліни “ТЕХНІКА ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ” (для студентів спеціальностей 7.090803 «Електронні системи», 7.090902 «Наукові, аналітичні і екологічні прилади і системи» всіх форм навчання)/Укладач доц. Коренєв В.Д. - Донецьк: ДонНТУ, 2008- 7 с. (0,58 др. с.).

Містять завдання на розрахункову (контрольну) роботу, основні положення теорії, які використовуються при виконанні роботи, методику і порядок виконання роботи, довідкові матеріали, вимоги до змісту звіту з роботи, перелік рекомендованої літератури. Передбачають застосування ПЕОМ при виконанні розрахунків і оформленні звіту. Призначені для надання допомоги студентам при виконанні індивідуальних розрахункових робіт.

Укладач:

В.Д. Коренєв, доц.

У підготовці методичних вказівок приймав участь студент гр. НАП-04 Іщенко О.О.

Відп. за випуск

А.А. Зорі

Рецензент

О.Л. Редько, доц..

## 1. Завдання на розрахункову роботу

1.1. Виконати розрахунок параметрів елементів схеми неврівноваженого резистивного моста і напруги його джерела живлення з урахуванням градууювальної характеристики заданого типу терморезистора (термоприймача) і похибки виміру температури, що припускається.

1.2. Вихідні дані для виконання розрахункової роботи наступні:

-тип стандартного термоприймача (ТСМ або ТСП) та його номінальна статична характеристика перетворення;

-діапазон вимірювання температури - ( $T_{min}$ ,  $T_{max}$ );

-межа похибки виміру температури від нелінійності статичної характеристики перетворення моста, що припускається -  $\delta_p$ , % (відносна).

1.3. Вихідні дані варіанту роботи вибрати в наведених нижче таблицях 1 і 2 згідно двох останніх цифр номера залікової книжки або студентського квитка ( $\Psi$  - остання цифра,  $\Omega$  - передостання). Основні технічні характеристики (довідкові) стандартних термоприймачів, що застосовуються у роботі, наведено у таблиці 3.

Таблиця 1

$\Omega$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип	ТСП	ТСП	ТСП	ТСП	ТСП	ТСМ	ТСМ	ТСМ	ТСМ	ТСП
СХП	500П	100П	50П	Гр.21	10П	100М	50М	Гр.23	10М	5П
$T_{min}, ^\circ\text{C}$	-250	-200	-0	-50	-200	-200	-50	0	-50	0

Таблиця 2

$\Psi$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{max}, ^\circ\text{C}$	+100	+50	+100	+200	+100	+100	+50	+100	+100	+200
$\delta_p, \pm\%$	1	2	1.5	2.5	1	1,5	2	2,5	0,5	1

Таблиця 3 - Основні характеристики платинових і мідних термоприймачів

Тип	Номінальна СХП	ТКО $\alpha$ , %/°C	Номінальне $R_0$ , Ом	Вимірювана температура	
				від $T_{min}, ^\circ\text{C}$	до $T_{max}, ^\circ\text{C}$
ТСП	5П	0,391	5	-100	+1100
ТСП	10П	0,391	10	-200	+1100
ТСП	Гр. 21	0,391	46	-260	+1000
ТСП	50П	0,391	50	-260	+1000
ТСП	100П	0,391	100	-260	+1000
ТСП	500П	0,391	500	-260	+300
ТСМ	10М	0,428	10	-50	+200
ТСМ	50М	0,428	50	-50	+200
ТСМ	Гр. 23	0,428	53	-50	+180
ТСМ	100М	0,428	100	-200	+200

## 2. Основні положення теорії неврівноважених резистивних мостів

В гідрофізичних інформаційно-вимірювальних системах використовуються вимірювальні канали температури на основі термометрів опору (ТО). Принцип дії їх заснований на залежності електричного опору чутливого елемента (металевого або напівпровідникового терморезистора) від його температури. При виконанні вимірювань чутливий елемент розміщується в досліджуваному середовищі і вважається, що його температура відповідає температурі середовища. Для одночасного виконання динамічних вимірювань (наприклад, при зондуванні) і вимірювань пульсацій температури в локальному об'ємі водного середовища застосовуються термометри опору на основі неврівноважених мостів. Коло вимірювальних перетворень, що виконуються у схемі термометра опору на основі неврівноваженого моста, наведено на рис. 1.

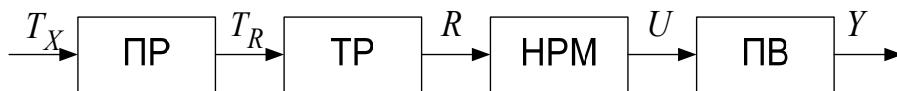


Рисунок 1 – Коло вимірювальних перетворень у схемі термометра опору

Перший вимірювальний перетворювач ПР перетворює вимірювану температуру  $T_X$  середовища в температуру  $T_R$  терморезистора. Терморезистор ТР виконує функції чутливого елемента каналу і перетворює температуру  $T_R$  в зміну свого електричного опору  $R$ . Неврівноважений резистивний міст НРМ перетворює зміну опору  $R$  терморезистора в електричний сигнал (напругу)  $U$ , який зв'язаний однозначною функціональною залежністю з вимірюваною температурою. Четвертий вимірювальний перетворювач ПВ (підсилювач вимірювальний) виконує дві функції: а) підсилення сигналу  $U$  до рівня стандартного вихідного сигналу  $Y$ , б) узгодження ТО з навантаженням. Перетворювач ПР одночасно з перетворенням температури  $T_X$  в температуру  $T_R$  виконує захист терморезистора від дії неінформативних параметрів досліджуваного середовища. Він визначає динаміку роботи вимірювального каналу, є джерелом методичної похибки, але в статичному режимі внесок в інструментальну похибку вимірювального каналу не вносить (тому далі приймаємо  $T_X = T_R = T$ ).

Функції чутливого елемента вимірювального каналу температури гідрофізичної ІВС найчастіше виконує металевий терморезистор ТР (мідний або платиновий, рідше – із нікелю). Такий резистор, виконаний з чистого металу, характеризується високою стабільністю і відтворюваністю фізичних та електричних властивостей і має лінійну залежність електричного опору  $R_T$  від температури  $T$  терморезистора:

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] , \quad (1)$$

де  $R_0$  - значення опору терморезистора при температурі  $T_0$  (найчастіше  $T_0 = 0^\circ\text{C}$  або  $T_0 = 273\text{K}$ );  $\alpha$  - температурний коефіцієнт опору (ТКО) матеріалу терморезистора.

Напівпровідникові терморезистори мають вищий температурний коефіцієнт опору  $\alpha$ , ніж металеві, і менші розміри (аж до точкових). Але в гідрофізичних вимірювальних пристроях вони не застосовуються, оскільки не забезпечують необхідну точність вимірювання середньої температури через нелінійну залежність опору від температури і більшу нестабільності параметрів, ніж у металевих.

Неврівноважений міст ТР (рис. 2) утворений резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R'_3$ ,  $R''_3$  і терморезистором  $R_T$ ;  $U_{II}$  — напруга живлення моста. Суттєвий недолік мостової схеми перетворення опору  $R_T$  терморезистора в напругу  $U$  полягає в нелінійності статичної характеристики перетворення (СХП) моста по температурі  $T$  чутливого елемента термоприймача. Дійсно, навіть якщо залежність опору  $R_T$  терморезистора від температури  $T$  відповідно до (1) лінійна, залежність вихідної напруги ненавантаженого мосту  $U(T)$  від температури  $T$  суттєво нелінійна і має наступний вигляд:

$$U(T) = U_{II} \cdot \left[ \frac{R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)}{R_1 + R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right]. \quad (2)$$

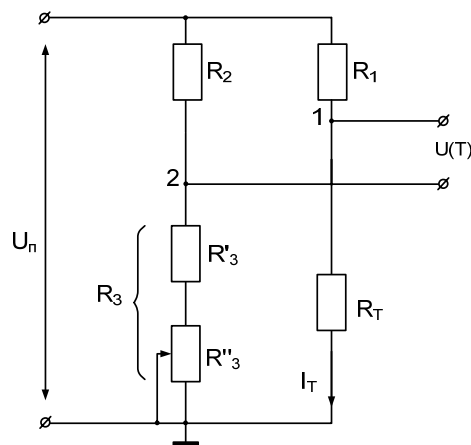


Рисунок 2 - Схема неврівноваженого резистивного моста.

У якості номінальної СХП вимірювального каналу температури (відповідно і моста) часто приймається лінійна залежність  $Y=f(T)$ , що обумовлює появу систематичної складової похибки виміру температури за рахунок нелінійності характеристика перетворення моста. Аналіз формули (2) показує, що нелінійність СХП моста, а відповідно і похибка виміру, зменшуються з ростом відношення опорів  $R_1/R_T$ . При застосуванні такого способу зменшення похибки для збереження незмінної чутливості моста до температури слід одночасно із збільшенням відношення  $R_1/R_T$  забезпечити незмінність номінального струму терморезистора при  $T=0$  °С шляхом підвищення напруги живлення моста  $U_{II}$  (потужність, яку розсіює резистор  $R_1$ , при цьому збільшується).

Таким чином, вибором  $R_1 > R_T$  у схемі моста при одночасному збереженні його незмінної чутливості, при відповідному значенні відношення  $R_1/R_T$  можна зменшити похибку виміру температури, обумовлену нелінійністю характеристика перетворення моста, до рівня, що припускається, в заданому діапазоні вимірювання температури.

Номінальний струм конкретного типу термоприймача при  $T=0$  °С згідно Технічних Вимог (ТВ) його розробника можна обирати із рекомендованого в ТВ діапазону ( $I_{n \min}$ ,  $I_{n \max}$ ) відповідно до заданої мінімальної температури і межі похибки вимірювання, що припускається. При цьому, чим ближче мінімальна температура заданого діапазону вимірювання до нижньої межі дозволеного температурного діапазону застосування термоприймача, тим менше значення номінального струму чутливого елемента термоприймача слід обирати. Також рекомендується знижувати номінальний струм чутливого елемента термоприймача при зменшенні межі похибки виміру, що припускається.

### 3. Порядок виконання роботи

3.1. Надати принципову електричну схему неврівноваженого резистивного моста, який застосовується в ТО для перетворення зміни опору терморезистора в електричний сигнал; передбачити в схемі параметричний стабілізатор напруги у якості джерела живлення моста.

3.2. Вивести формулу для СХП моста - залежності вихідної напруги ненавантаженого моста  $U(T)$  від температури  $T$  чутливого елемента (терморезистора) термоприймача (формулу 2).

3.3. Виконати розрахунок параметрів елементів схеми моста ( $R_1, R_2, R'_3, R''_3$ ) і напруги живлення  $U_{II}$  з урахуванням градувальної характеристики терморезистора і значення похибки виміру температури від нелінійності характеристики перетворення моста  $\delta_p$ , що припускається, в заданому діапазоні вимірювання від  $T_{min}$  до  $T_{max}$ . Порядок розрахунків наступний:

3.3.1. Обрати номінальний струм терморезистора (термоприймача) відповідно до наведених рекомендацій.

3.3.2. Прийняти  $R_I > R_T(0)$  і розрахувати  $R_2, R_3, i$   $U_{II}$  при обраному значенні номінального струму чутливого елемента термоприймача.

3.3.3. Розрахувати за формулою (2) значення напруги  $U(T_j)$  на виході моста для (5...7) значень температури  $T_j$ , рівномірно розподілених у діапазоні від  $T_{min}$  до  $T_{max}$  (увага: не приймати  $T=0$  °C);

3.3.4. Прийняти у якості номінальної СХП моста лінійну залежність

$$U_H(T) = k \cdot T + b; \quad (3)$$

визначити параметри  $k$  і  $b$  залежності (3) методом найменших квадратів із застосуванням отриманих у пункті 3.3.3 значень  $T_j$  і  $U(T_j)$ .

3.3.5. Розрахувати за приведеною нижче формулою значення відносної похибки  $\delta$ , що виникає внаслідок нелінійності СХП моста, для (5...7) значень температури  $T_j$ , рівномірно розподілених у діапазоні від  $T_{min}$  до  $T_{max}$ :

$$\delta_j, \% = \frac{U(T_j) - U_H(T_j)}{U_H(T_j)} \cdot 100\%,$$

де  $U(T_j)$  і  $U_H(T_j)$  - значення напруги на виході моста при температурі  $T_j$ , що обчислені за формулами (2) і (3), відповідно.

3.3.6. Повторити розрахунки за пунктами 3.3.2...3.3.5, прийнявши інше (більше) значення  $R_I$ , якщо максимальна похибка  $\delta_j$  у діапазоні вимірювання перевищує похибку  $\delta_p$ , що припускається згідно завдання.

3.3.7. Вважати розрахунки за пунктами 3.3.2...3.3.5 прийнятними, якщо максимальна похибка  $\delta_j$ , визначена у пункті 3.3.5, задовольняє умові  $0,5\delta_p < \delta_j < \delta_p$ .

3.4. Вибрати напівпровідниковий стабілітрон для параметричного стабілізатора напруги живлення моста або обґрунтувати необхідність застосування компенсаційного стабілізатора напруги у якості джерела живлення моста. В останньому випадку потрібне значення вихідної напруги стабілізатора (напруги живлення  $U_{II}$ ) вибрати із стандартного ряду [...4; 5; 6; (6,3); 9; (10); 12; (12,6); 15; 20; 24В...].

#### 4. Зміст звіту

- 4.1. Принципова схема нерівноважного резистивного моста згідно п. 3.1.
- 4.2. Вивод формули (2) згідно п. 3.2.
- 4.3. Обґрунтування вибору номінального струму термоприймача згідно п. 3.3.1.
- 4.4. Результати розрахунку параметрів елементів схеми моста ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R'_3$ ,  $R''_3$ ) і напруги живлення  $U_{II}$  згідно пп. 3.3.1...3.3.7.
- 4.5. Результати розрахунку пристрою живлення моста згідно п. 3.4.

#### Рекомендована література

1. Підвищення точності вимірювальних систем: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів/ В.І. Бойко, А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов; під ред. проф. Зорі А.А. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2005. -252с.
2. Геращенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И. и др. Температурные измерения. Справочник. – Киев, Наукова думка, 1984. - 494с.
3. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320с.
4. Измерения в промышленности: Справочное издание. В 3-х кн. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallургия, 1990. – 384с.

#### Зміст

	стор.
1. Завдання на розрахункову роботу.....	3
2. Основні положення теорії неврівноважених резистивних мостів.....	4
3. Порядок виконання роботи.....	6
4. Зміст звіту.....	7
Рекомендована література.....	7