

## Лабораторна робота № 3

### Тема «Дослідження чутливості вимірювача температури шкірних покривів з резистивним сенсором»

**Мета роботи:** вивчити принципи побудови вимірювачів із резистивними сенсорами, які працюють із диференціальною схемою посилення

#### 3.1 Короткі теоретичні відомості

Резистивні рецептори знаходять широке застосування в медичній апаратурі. Наприклад при побудові реографів, пневмографів, реоплетизмограф і вимірювачів температури застосовують неврівноважені мости з резистивними сенсорами і диференціальними схемами посилення.

Як сенсори температурних впливів або термометрів опору застосовуються прилади з чистих металів (платина, нікель, мідь) та напівпровідникові терморезистори. Розроблені резистивні датчики, у яких постійна часу становить кілька секунд.

Поширеною схемою підключення резистивних сенсорів є мостова схема змінного струму, рис. 3.1.

Опір сенсора підключено до схеми простого дільника напруги  $E$ . З метою забезпечення високої диференціальної чутливості потрібно вибрати  $R1 \approx R2$ . При цьому напруга на опорі приблизно дорівнює  $E/2$ . З метою отримання характеристики, що проходить через нульову точку, рис. 3.1 б використовують другий дільник напруги  $E$  у вигляді резисторів  $R3R4$ . Напруги на резисторах  $R2$  і  $R4$  при балансі моста однакові та вихідна напруга дорівнює нулю. Величина вихідної напруги моста  $U$  дорівнює:

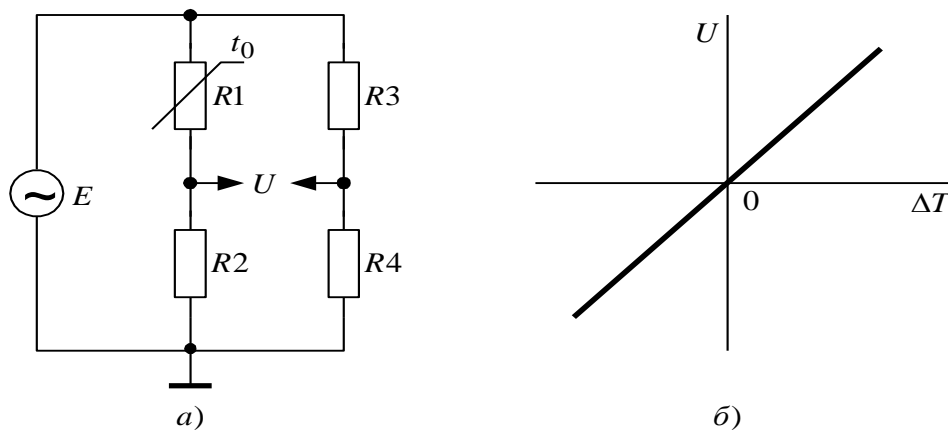


Рисунок 3.1 Мостова схема підключення резистивного сенсора а) та графік напруги на виході б)

$$U = E \cdot \frac{R1 \cdot R4 - R2 \cdot R3}{(R1 + R2) \cdot (R3 + R4)} \quad (3.1)$$

Умова балансу моста відповідає нульовій вихідній напрузі.

$$R1 \cdot R4 - R2 \cdot R3 = 0 \quad \text{або} \quad R1 \cdot R4 = R2 \cdot R3 \quad (3.2)$$

При змінах температури  $\Delta T$  та опорі сенсора  $R1$  щодо деякого значення  $R0$  напруга на виході моста змінюється щодо нуля, рис. 3.1, б.

Справді, опір резистивного сенсора  $R1$  змінюється під впливом температури  $T$  згідно із законом:

$$R1 = R0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) = R0 + R0 \cdot \alpha \cdot T \quad (3.3)$$

Щоб дослідити характеристику вихідної напруги з рис. 3.1 б, коли міст спочатку збалансований за значенням  $R1 = R0$ , введемо його значення (3.3) у формулу (3.2):

$$(R0 + R0 \cdot \alpha \cdot T) \cdot R4 - R2 \cdot R3 = R0 \cdot R4 - R2 \cdot R3 + R0 \cdot \alpha \cdot T \cdot R4 = 0$$

Враховуючи те, що міст був збалансований згідно  $R_0$  з формулами (3.2) та (3.1) можна знайти значення вихідної напруги у вигляді:

$$U \cong E \cdot \frac{\alpha \cdot R_0 \cdot R_4 \cdot T}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} = K_1 \cdot T \quad (3.4)$$

Тут коефіцієнт  $K_1$  визначає постійний множник. Незважно помітити, що зміни вихідної напруги  $\Delta U$  визначаються як:

$$\Delta U = K_1 \cdot \Delta T \quad (3.5)$$

Ця невелика напруга не перевантажує підсилювач за амплітудною характеристикою та дозволяє отримати високе значення підсилення та чутливість приладу.

Мостова схема дозволяє зменшити вплив опору  $r$  з'єднувальних проводів на похибки вимірювань під час використання трипроводної схеми підключення резистивного сенсора. Така схема показана на рис. 3.2.

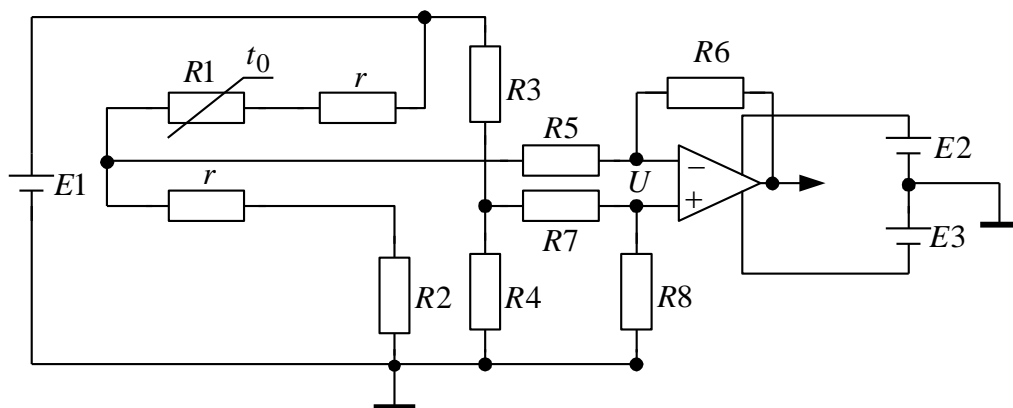


Рисунок 3.2- Схема підключення сенсора

Тут резистори  $r$  підключені в два різні плечі моста, компенсуючи вплив двох проводів підключення, третій провід підключений у діагональ і має невеликий вплив на точність. Крім того, мостова схема забезпечує зменшення впливу нестабільності напруги живлення  $E$  на вихідний сигнал. Це добре видно з формули (3.1) при балансі моста.

Чутливість схеми  $\xi$  можна знайти за такою формулою:

$$\xi = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{\Delta R_{\text{сен}}} \quad (3.6)$$

Далі на підставі формули (3.3) слід перейти від зміни опору сенсора  $\Delta R_{\text{сен}}$  до зміни температури  $\Delta T$  та підставити у формулу (3.6).

Вихідний сигнал підсилювача подається на вхід АЦП або схеми індикації.

### 3.2 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему, показану на рис. 3.3 в програмному середовищі Electronics Workbench, Every Circuit (<https://everycircuit.com/app/>), Falstad (<https://www.falstad.com/circuit/circuitjs.html>), або іншому середовищі для побудови електричних схем.
2. Схема містить міст  $R1...R4$ . Для зручності зміни опору сенсора введено потенціометр  $R5$ . Міст живиться синусоїдальною напругою  $E$ . Для вимірювання напруги на плечах моста застосовані вольтметри  $V1$  і  $V2$ . Вихідна напруга розбалансу вимірюється вольтметром  $V3$ . Ця напруга подається на операційний підсилювач  $DA1$ , коефіцієнт посилення якого визначається формулою:

$$K_U = -\frac{R7}{R6} \quad (3.7)$$

Вихідна напруга ОП вимірюється вольтметром  $V4$ . Для зручності контролю та спостереження перевероту фази вихідного сигналу

застосований двоканальний осцилограф, підключений до джерела живлення та виходу схеми.

Спостереження АЧХ виконується за допомогою вимірювача ВЧХ.

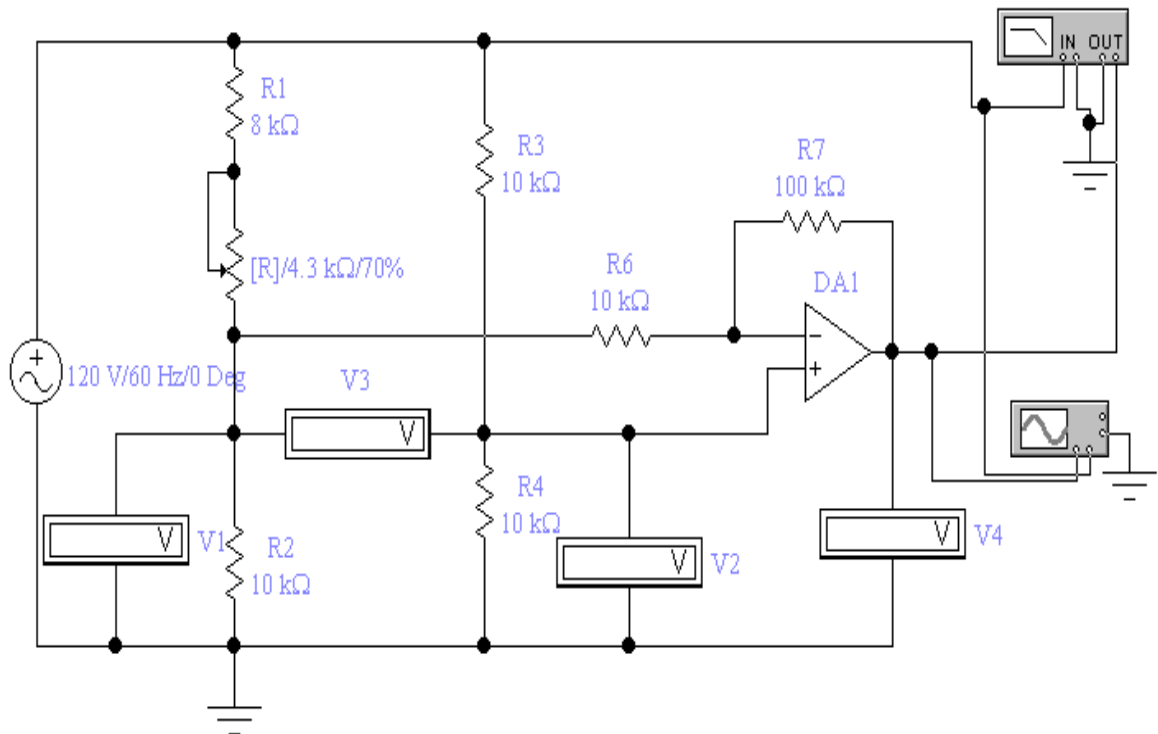


Рисунок 3.3 - Схема для проведення експерименту

3. Встановити наступні значення параметрів схеми:  $R_2 = R_3 = R_4 = 10\text{кОм}$ ,  $R_1 = 8\text{кОм}$ ,  $R_5 = 4,3\text{кОм}$ ,  $R_6 = 10\text{кОм}$ ,  $R_7 = 200\text{кОм}$ ,  $C = 100\text{нФ}$ . Встановити частоту  $f$  та напругу джерела живлення мосту  $f = 500\text{Гц}$ ,  $E = 10\text{В}$ .
4. Викликати панель ІЧХ та перевірити відповідність частоти  $f$  робочій смузі підсилювача сигналу. Межі смуги пропускання записати.
5. Викликати панель вольтметра  $V_3$  та збалансувати міст. Для цього змінювати опір  $R_5$  до положення, при якому  $V_3 = V_4 = 0$ . Значення опору  $R_5$  записати та підрахувати величину опору плеча  $R_1, R_5$  при балансі.

Виміряти та зіставити напруги  $V1$  та  $V2$ . Спостерігати сигнали на осцилографі.

- Виміряти зміни напруги  $V3$ ,  $V4$  на вході та виході при зміні опоры сенсора. Для цього змінювати  $R5$  проходячи точку балансу. Результати вимірів занести до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Зміни напруги на вході та виході схеми при зміні опоры

Напруга, В	Значення опоры $R5$ , $\kappa\Omega$									Доповнення
	0,5	1	1,5	1,8	2	2,2	2,5	3	3,5	
$U1$										Баланс при $R5 =$ $K_U =$
$U2$										
$U3$										
$U4$										

- Збільшити посилення до 100, встановивши  $R7 = 1M\Omega$ . Повторити випробування за пунктом 4.
- Спостерігати за ВЧХ звуження смуги пропускання зі збільшенням ємності фільтра, встановивши  $C = 0,01\mu\Phi$ .

### 3.3. Контрольні питання

- Як розрахувати диференційну чутливість схеми?
- Як розрахувати диференційну чутливість сенсора?
- Як залежить діапазон вимірюваних температур від коефіцієнта посилення схеми?
- Які види помилок та фактори впливають на точність виміру?
- Як можна і необхідно вимірювати смугу пропускання частотою?