

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ



КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ ТА МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ

ДИСЦИПЛІНА

**ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ
ВЕЛИЧИН ТЕПЛОТЕХНІЧНІ
ВИМІРЮВАННЯ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ
до виконання курсової роботи студентів
першого рівня вищої освіти – бакалавр**

на тему:

**ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЧНОГО
ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ
МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Спеціальність: 153 – МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА

ОДЕСА

Методична розробка кафедри електроніки та мікросистемної техніки Одеської державної академії технічного регулювання та якості

Автори: к.т.н., доцент, Лещенко О.І.;

Методичне видання обговорено та схвалено на засіданні кафедри електроніки та мікросистемної техніки Одеської державної академії технічного регулювання та якості

Протокол № 1 від 01.09.2020 р.

Завідувач кафедри  О. В. Банзак

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Навчальний посібник містить методичні рекомендації до виконання курсової роботи з дисципліни «Вимірювання неелектричних величин. Теплотехнічні вимірювання» на тему «Застосування засобів автоматичного вимірювання температури та визначення їх метрологічних характеристик».

Метою методичних вказівок є допомога студентам в організації і виконанні курсової роботи з дисципліни «Вимірювання неелектричних величин. Теплотехнічні вимірювання».

Набуття навиків визначення метрологічних характеристик засобів автоматичного вимірювання температури є найбільш перспективним в уміннях користуватися сучасними інформаційними системами. Курсова робота є самостійним завданням, метою якого є систематизація, поглиблення теоретичних знань та їх використання при вирішенні практичних завдань з експлуатації датчиків для сучасних мікросистемного обладнання вимірювальних засобів інформаційних систем.

Для виконання за ОПП призначено 90 годин (3 кредита) самостійної роботи студента. Під час виконання курсової роботи студент знайомиться з сучасними методами розрахунку параметрів засобів вимірювальної техніки. Крім того студент набуває навички самостійної роботи з довідковою літературою.

Тема курсової роботи повинна бути актуальною, відповідати потребам сучасного рівня, відображати профіль академії, мати елементи науково-дослідної роботи та містити способи визначення метрологічних характеристик обраного первинного перетворювача. Головною характеристикою будь-якого первинного перетворювача температури є його формула перетворення. Саме такий вигляд функції перетворення використовується сучасними інформаційними системами. Саме за математичною характеристикою в цифрових системах зручно стежити за точністю визначення параметрів, проводити калібрування та своєчасно визначити несправність первинного перетворювача температури. Таки датчики, нажаль, мають не високу стабільність за метрологічними характеристиками, саме тому їх потрібна постійно контролювати. Найкраще, коли система здійснює автоматичну самодіагностику при включенні, або за окремим розкладом.

В роботі пропонується визначення функції перетворення первинного перетворювача температури та визначення її похибок. Студент самостійна, або за допомогою викладача обирає тип первинного перетворювача, схему та прилад в якому він використовується. Для виконання курсової роботи за вибором студента можливо використовувати реальні (лабораторні) і віртуальні (в середовищі LabVIEW) варіанти зняття характеристики первинного перетворювача. Математичне моделювання проводиться в середовищі Excel, можна використовувати Mathcad, Matlab. Свій вибір протягом першого тижня

слід засвідчити у викладача.

Навчальний посібник призначено для студентів технічних вузів, які навчаються за спеціальністю: 153 – МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА. Навчальний посібник використовується при організації навчального процесу з орієнтацією на комп'ютерні системи навчання, включаючи систему дистанційного навчання.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми у результаті вивчення виконання курсового навчальної дисципліни повинні забезпечуватися наступні програмні компетентності:

спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

ФК3 (СК3) Здатність використовувати математичні принципи і методи для проектування та застосування мікросистемної техніки.

ФК5 (СК5) Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікросистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.

ФК9 (СК9) Здатність застосовувати на практиці галузеві стандарти та стандарти якості щодо мікросистемної техніки.

програмні результати навчання:

ПРН-5 (P5) Використовувати інформаційні та комунікаційні технології, прикладні та спеціалізовані програмні продукти для розв'язання задач проектування та налагодження обладнання геліоенергетики, приладів фізичної та біомедичної електроніки, мікросистемної інформаційно-вимірювальної техніки.

ПРН-7 (P7) Досліджувати характеристики і параметри мікро- та наносистемної техніки, приладів фізичної та біомедичної електроніки, мікросистемної вимірювальної техніки з урахуванням цілей дослідження, вимог та специфіки вибраних технічних засобів.

ПРН-12 (P12) Аналізувати нормативно-правові засади впровадження мікро- та наносистемної техніки; оцінювати переваги інженерних розробок, їх екологічність та безпечність.

Методи викладання і навчання та методи оцінювання досягнення ПРН

Символ ПРН	Після успішного завершення цього модуля здобувач вищої освіти буде:	Методи викладання і навчання	Методи оцінювання досягнення ПРН
ПРН-5 (P5)	вміти використовувати інформаційні та комунікаційні технології, прикладні та спеціалізовані програмні продукти для розв'язання задач проектування та	СРС	Консультації, оцінювання самостійної роботи; захист

	налагодження обладнання геліоенергетики, приладів фізичної та біомедичної електроніки, мікросистемної інформаційно-вимірювальної техніки		КР
ПРН-7 (Р7)	володіти знаннями та вміти досліджувати характеристики і параметри мікросистемної техніки, приладів фізичної та біомедичної електроніки, мікросистемної вимірювальної техніки з урахуванням цілей дослідження, вимог та специфіки вибраних технічних засобів	СРС	Консультації, оцінювання самостійної роботи; захист КР
ПРН-12 (Р12)	володіти знаннями та вміти аналізувати нормативно-правові засади впровадження мікросистемної техніки; оцінювати переваги інженерних розробок, їх екологічність та безпечність	СРС	Консультації, оцінювання самостійної роботи; захист КР

До даного видання увійшли методичні рекомендації до лабораторного практикуму з дисципліни «Вимірювання неелектричних величин. Теплотехнічні вимірювання», методичні вказівки до проведення практичного заняття з визначення характеристик первинних неінформативних перетворювачів методом найменших квадратів.

2 ОБСЯГ І ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Обсяг курсової роботи має бути визначений до моменту видачі завдання студенту і виходячи з наявного в даному семестрі часу для самостійної роботи.

Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки і слайдів презентації. Загальний обсяг пояснювальної записки - не менш ніж 20 сторінок друкованого тексту формату А4. Пояснювальна записка повинна містити рисунки, схеми, таблиці, які допоможуть краще засвоїти хід розв'язання задачі. До захисту роботи студент готує презентацію. Кількість слайдів презентації визначається студентом, але не менш ніж 7:

- 1) титул;
- 2) постановка завдання;
- 3) призначення приладу, де використовується обраний первинний перетворювач;
- 4) функціональна електрична схема включення первинного перетворювача;
- 5) спосіб визначення функції перетворення;

б) визначення похибки математичної моделі (вибір моделі за критерієм мінімальної похибки)

7) висновки.

Пояснювальна записка повинна бути виконана у відповідності з вимогами нормативної документації. Пояснювальна записка включає :

- титульний аркуш;
- завдання на курсову роботу на бланку встановленого зразка;
- анотації українською та англійською мовами;
- зміст;
- вступ;
- основна текстова частина пояснювальної записки;
- висновки;
- список використаних джерел;
- додатки (за необхідністю).

По тексту пояснювальної записки повинні бути посилання на використану літературу.

3 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсова робота виконується студентом під керівництвом викладача кафедри. Перед початком роботи проводиться вступне заняття, на якому роз'яснюються завдання курсової роботи, приводиться зразковий план пояснювальної записки. Кожен студент отримує індивідуальне завдання і розписується в завданні про терміни виконання курсової роботи. Викладач пояснює порядок виконання індивідуального завдання, вимоги до оформлення пояснювальної записки, оказує допомогу в обиранні теми, первинного перетворювача. За курсовою роботою проводяться консультації, що допомагають організувати і направити роботу студентів над відповідною частиною курсового проекту.

Закінчені курсові роботи здають керівникові. Він перевіряє якість роботи і її відповідність об'єму, вказаному в завданні, правильність виконання креслень і пояснювальної записки. Після цього проект підписується, повертається студентові для ознайомлення з виправленнями і вказівками викладача і студент допускається до захисту курсової роботи. Захист курсової роботи здійснюється в кінці семестру на комісії, затвердженій завідувачем кафедри і яка складається з двох – трьох викладачів кафедри.

При захисті студентові відводиться 5 хвилин для доповіді і деякий час для відповідей на питання членів комісії. Оцінюється курсова робота по 100-бальній системі за загальноприйнятими критеріями навчального закладу.

Показник успішності студента (бали)	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	Критерії оцінювання
		Захист КР	
90–100	A	Відмінно	Повна, ґрунтовна доповідь з використанням слайдів PowerPoint. Розкрито тему, методів дослідження характеристик, на додаткові питання лише з незначною кількістю помилок. Об'єм та якість пояснювальної записки відповідають методичним вказівкам.
82–89	B	Добре	Повна, ґрунтовна доповідь з використанням слайдів PowerPoint. Розкрито тему, методів дослідження характеристик, на додаткові питання лише з незначною кількістю помилок. Об'єм та якість пояснювальної записки відповідають методичним вказівкам. На додаткові питання є незначні помилки.
75–81	C		Доповідь з використанням слайдів PowerPoint. Недостатньо розкрито тему, методів дослідження характеристик, на додаткові питання лише з незначною кількістю помилок. Об'єм та якість пояснювальної записки відповідають методичним вказівкам, незначні помилки в оформленні записки. Порухення затвердженого графіку виконання роботи. На додаткові питання є значні помилки.
64–74	D	Задовільно	Доповідь з використанням слайдів PowerPoint але вони не підкреслюють сутність роботи. Не розкрито тему, метод дослідження характеристик обраний невірно, на додаткові питання відповіді були з значними помилками. Об'єм та якість пояснювальної записки відповідають методичним вказівкам, значні помилки в оформленні записки. Порухення затвердженого графіку виконання роботи. На додаткові питання є значні помилки.
60–63	E		Доповідь з використанням слайдів PowerPoint але вони не підкреслюють сутність роботи або зовсім відсутні. Не розкрито тему, метод дослідження характеристик обраний невірно, не на всі додаткові питання були відповіді. Об'єм та якість пояснювальної записки відповідають методичним вказівкам, значні помилки в оформленні записки. Порухення затвердженого графіку виконання роботи. На додаткові питання є значні помилки.
35–59	FX	Незадовільно	Доповідь без використання слайдів PowerPoint. Не розкрито тему, метод дослідження характеристик обраний невірно, Практично на всі додаткові питання не було вірних відповідей. Об'єм та якість пояснювальної записки не відповідають методичним вказівкам, значні помилки в оформленні записки. Порухення затвердженого графіку виконання роботи. На додаткові питання є значні помилки.
1–34	F		Повна невідповідність роботи, порушення графіку консультацій, Пояснювальна записка оформлена не за відповідними вимогами.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Вступ. У вступі в загальних рисах окреслюється сучасний стан та тенденції розвитку напрямів науки, техніки, виробництва, де застосовуються первинні перетворювачі засобів вимірювальної техніки та автоматизованих систем, підкреслюється їх роль у забезпеченні прогресу цього напрямку. Визначається актуальність роботи. В загальних рисах подається постановка задачі на дослідження і шляхи її вирішення. Подається короткий огляд змісту розділів курсової роботи.

Основна частина пояснювальної записки.

Аналіз існуючих методів розв'язування поставленої задачі.

В першому розділі пояснювальної записки визначається прилад або автоматизована система описується їх призначення, основні параметри, роль, місце та призначення температурного датчика.

Другий розділ присвячується визначенням функціональної електричної схеми, описанням принципу її роботи, призначенню окремих елементів.

В третьому розділі розглядаються існуючі методи та методики визначення параметрів температурного датчика засобу вимірювальної техніки або автоматизованої інформаційної системи. Для третього розділу студентом обирається схема застосування та тип первинного вимірювального перетворювача температури одного з варіанта, подається короткий опис методики, можливості, особливості, обмеження з подальшим аналізом, орієнтованим на можливість використання для вирішення поставленої в роботі задачі. При цьому визначаються позитивні та негативні наслідки такого використання. Аналізу підлягають основні метрологічні показники, надлишковість чи недостатність математичної моделі функції перетворення.

Розгляд кожного варіанта закінчується обґрунтованим висновком про можливість (неможливість) його використання для вирішення поставленої задачі. Результатом аналізу повинен бути обґрунтований вибір одного з кількох варіантів, які могли б максимально задовольнити вимоги, поставлені у завданні на курсову роботу. Вони приймаються як базові для подальшого розрахунку математичної моделі обраного первинного перетворювача. Результат аналізу оформлюється як загальний висновок до розділу або як окремий розділ.

Висновки. Аналізуються основні підсумки курсової роботи. У вигляді коротких тез наводяться перспективи удосконалення об'єкта розробки чи розвитку методів досліджень.

Список використаних джерел повинен включати тільки ті літературні джерела, які використовувалися в курсовій роботі і записується в порядку посилання на неї в тексті. Літературу записують мовою оригіналу.

Додатки. Рисунки, таблиці, тексти допоміжного характеру, схеми можна оформляти у додатках. Додатки оформляють як продовження документа на його наступних сторінках, розташовуючи в порядку посилань на них у тексті пояснювальної записки (роздруковані слайди презентації). Додатки позначають послідовно великими українськими буквами, за винятком букв *І, Є, З, І, Й, О, Ч, Ь*.

5 ВХІДНІ ДАННІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

ВРІАНТ 1: *ТЕРМОРЕЗИСТОРНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ*

Відомості, необхідні для виконання роботи

Повторіть питання обробки і представлення результатів прямих і непрямих вимірювань і, використовуючи рекомендовану літературу, даний опис і додаток 1, ознайомтеся з наступними питаннями:

- Основні характеристики вимірювальних перетворювачів.
- Принцип дії, пристрій і характеристики терморезисторних перетворювачів.
- Методи вимірювання опору.
- Причини виникнення і способи виключення або обліку похибок при вимірюванні опору.
- Схеми включення і вимірювальні кола терморезисторних перетворювачів.
- Пристрої та характеристики засобів вимірювальної техніки, які використовуються при виконанні даної роботи.

Терморезистором називається параметричний вимірювальний перетворювач, активний опір якого змінюється при зміні температури. Терморезисторні перетворювачі бувають металеві і напівпровідникові. останні називаються *термісторами*.

Чутливим елементом металевого терморезистора є тонка мідна або платинова дрiт. Дрiт бифілярно намотується па каркас з ізоляційного і теплостійкого матеріалу. Чутливий елемент поміщається в металеву захисну гільзу (трубку з запаяним кінцем). Для підключення перетворювача до відповідного вторинного приладу є спеціальні затиски.

Вимірювачі температури з терморезисторами називаються термометрами опору. Платинові терморезистори використовуються для вимірювання температури в діапазоні від – 200 °С до 650 °С, мідні – в діапазоні від – 50 °С до 180 °С. Функції перетворення мідних і платинових терморезисторів стандартизовані і задаються градуовальною таблицею. Опір терморезисторов при 0 °С дорівнює 10, 50 або 100 Ом, що відбивається в позначенні терморезисторов, а саме: ТСМ10, ТСМ50 і ТСМ100. Мідні терморезистори дешеві і мають майже лінійну залежність опору R_t від температури t , відображену формулою:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha t) \quad (1.1)$$

де R_0 – опір перетворювача при 0°С,

α – температурний коефіцієнт, що дорівнює $4,28 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$.

Термістори є композицією різних окислів металів, що мають велике питомий опір, яке сильно залежить від температури. Композиція окисидів

запікається у вигляді бусинки, кульки або стрижня, до них приварюються вивідні дроти. Для запобігання від атмосферного впливу намистинки або стрижні покриваються фарбою або поміщаються в металевий корпус.

Термістори виготовляються з номінальним опором (при 20 °С) от 1 до 200 кОм. Залежно від типу вони можуть застосовуватися для вимірювання температури від – 100 °С до 120 ÷ 600 °С. Їх чутливість в 6 ÷ 10 разів більше, ніж у металевих терморезисторів. Функція перетворення – залежність опору термістору R_t від його температури T °К – може бути виражена формулою:

$$R_t = A \cdot \exp(B/T) \quad (1.2)$$

Коефіцієнти A і B - постійні величини, що залежать від матеріалу термістора і технології його виготовлення.

Термістори мають малі габарити, вага і теплоємність, внаслідок цього вони можуть використовуватися для вимірювання температури об'єктів, що мають малі розміри і малу теплоємність. Мала теплоємність обумовлює їх малу інерційність.

Недоліком термісторів є нелінійність функції перетворення і великий розкид параметрів A і B . Тому прилади з термісторами доводиться градувати індивідуально.

Недоліком термісторів є також зміна в часі (старіння) та деяка нестабільність електричних характеристик. Однак після старіння, яке зазвичай триває 2 - 4 місяці, подальша зміна опору відбувається повільно і не перевищує 0,2% в рік.

Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд уявляє собою LabVIEW комп'ютерну модель, що розташовується на робочому столі персонального комп'ютера. На стенде (рис. 1.1) знаходяться моделі водяного термостата, цифрового термометра и цифрового мультиметра.

Моделі засобів вимірювань при виконанні роботи використовуються для вирішення наступних задач. Модель термостата служить для завдання температурного режиму, необхідного для дослідження характеристик моделі термістора.

Модель цифрового мультиметра забезпечує вимірювання опору термістора.

За допомогою моделі цифрового термометра, забезпеченого термоелектричним перетворювачем, проводиться зразкове вимір температури. Модель персонального комп'ютера здійснює збір даних з засобів вимірювань і запис їх у файли.

Схема з'єднання приладів при виконанні роботи №1 приведено на рис. 1.1. Як персонального комп'ютера, зображеного на малюнку, використовується комп'ютер, на якому виконується робота.

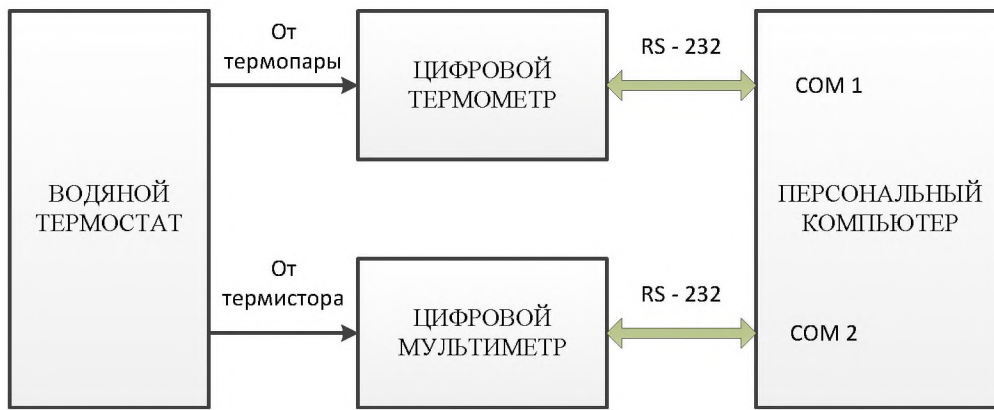


Рис. 1.1. Схема з'єднання приладів при виконанні роботи

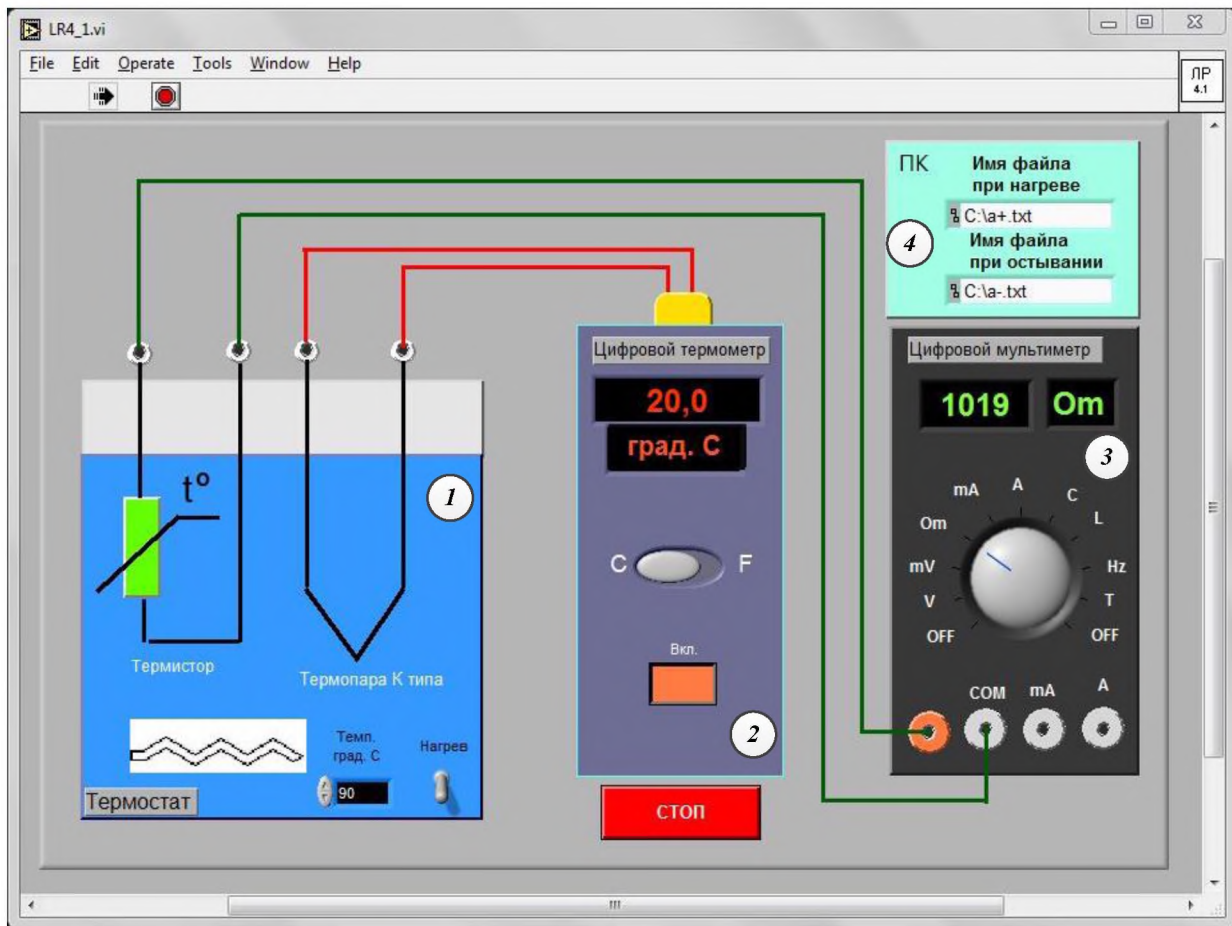


Рисунок 1.2. Вид моделі стенду на робочому столі комп'ютера при виконанні дослідження (1 - водяний термостат з встановленими термістором і термопарою, 2 - цифровий термометр, 3 - цифровий мультиметр, 4 - персональний комп'ютер)

В термостат поміщені термоелектричний перетворювач, який є вимірювальним перетворювачем цифрового термометра, і термістор, характеристики якого експериментально визначаються в даній лабораторній роботі. Опір термістора вимірюється цифровим мультиметром.

Цифровий мультиметр вимірює постійний і змінний струм і напруга, опір, частоту, період, ємність, температуру і може працювати в режимі з автоматичним вибором допустимі межі. Цифрова шкала - трьох- або Чотирирозрядний за вибором. Оскільки в даній лабораторній роботі

досліджується функція перетворення термистора, модель мультиметра працює в режимі вимірювання опору з автоматичним вибором діапазону.

Цифровий термометр і цифровий мультиметр, моделі яких використовуються в даній роботі, мають вбудовані стандартні комп'ютерні інтерфейси RS-232, що дозволяє підключати ці прилади до комп'ютера і автоматизувати процес вимірювань. Тому експериментальні дані, отримані під час проведення вимірювань, автоматично збираються і записуються в файли для подальшої обробки.

Робоче завдання

1. Запустіть програму і виберіть роботу №1 «Терморезисторні вимірювальні перетворювачі. Вимірювання температури» в групі робіт «Вимірювання неелектричних величин». На робочому столі комп'ютера автоматично з'являться модель лабораторного стенду з моделями засобів вимірювань та допоміжних пристроїв (Рис. 1.2) і вікно створеного в середовищі MS Excel лабораторного журналу, який служить для формування звіту за результатами виконання лабораторної роботи.

2. Ознайомтеся з розташуванням моделей окремих засобів вимірювальної техніки та інших пристроїв на робочому столі. Увімкніть моделі засобів вимірів і випробуйте їх органи управління. Поспостерігайте за видом моделей.

3. Приготуйте до роботи перевірений на відсутність вірусів мобільний носій інформації і підключіть його до комп'ютера.

У відповідних елементах інтерфейсу користувача правильно задайте імена файлів, призначених для запису даних при нагріванні і охолодженні термостата. За замовчуванням дані пишуться на жорсткий диск комп'ютера, в кореневій каталог основного диска, як правило це C: при нагріванні – у файл C:\a+.txt, а при остиганні – у файл C:\a-.txt. Обидва файли мають текстовий формат. В назву файлу слід додати Ваше прізвище, наприклад: C:\a+petrenko.txt, C:\a- petrenko.txt.

Розпочніть виконання роботи.

Завдання 1. Дослідне визначення функції перетворення термистора

1. Увімкніть цифровий термометр і цифровий мультиметр, встановивши останній в режим вимірювання опору.

2. Переконайтеся, що імена файлів для запису даних введені правильно.

3. На водяному термостаті встановіть відповідно до вказівок викладача максимальну температуру нагрівання.

4. Увімкніть термостат і спостерігайте за процесами його нагріву та охолодження. При нагріванні опір термістора падає, а при охолодженні - зростає. Дочекайтеся закінчення цих процесів. Всі отримані дані вимірювань будуть збережені в файлах.

Завдання 2. Обробка експериментальних даних

Обробка експериментальних даних, збережених у файлах, проводиться в лабораторному журналі засобами MS Excel.

а. На листі **Нагрів** лабораторного журналу в осередку стовпців **Температура в термостаті t , град. С** та **Виміряне значення опору термістору $R_{т\kappa\sigma\mu+}$ Ом** (див. табл. 1.1) помістіть дані двовимірного масиву, ліченого з файлу **$a+.txt$** .

б. Заповніть наступні два стовпці вказаної таблиці, перейти до температурної шкали Кельвіна $T = t \text{ }^\circ\text{C} + 273 \text{ }^\circ\text{C}$ і знайти зворотні значення $1/T$, побудуйте експериментальну залежність опору термістора від зворотного значення температури $1/T$ при нагріванні водяного термостата.

в. Побудувати на тій же діаграмі залежність виду $R_{tm+} = A_+ \cdot \exp(B_+ \cdot x)$, де $x = 1/T$, використовуючи пункт меню **Діаграма/Додати лінію тренду**.

г. Визначити за отриманими даними параметри функції перетворення A_+ і B_+ термістору. Для цього серед параметрів лінії тренду виділити галочкою пункт **Показувати рівняння на діаграмі**, тоді на діаграмі з'явиться рівняння моделі.

д. Відповідно до отриманого рівняння моделі заповнити останній рядок таблиці **Пораховані з математичної моделі значення опору термістора R_{tm+} , Ом**.

е. Побудувати на іншій діаграмі залежності $R_{т\kappa\sigma\mu+}$ і R_{tm+} от температури $t \text{ }^\circ\text{C}$.

ж. На аркуші **Остигання** лабораторного журналу в осередку стовпців **Температура у термостаті t , град. С** і **Виміряне значення опору термістору $R_{т\kappa\sigma\mu-}$, Ом** (див. табл. 1.2) помістити дані двовимірного масиву, ліченого з файлу **$a-.txt$** .

з. Відповідно п. б заповнити наступні два стовпці вказаної таблиці і побудувати експериментальну залежність опору термістора від зворотного значення температури $1/T$ при охолодженні водяного термостата, де $T = t \text{ }^\circ\text{C} + 273 \text{ }^\circ\text{C}$ – абсолютна температура.

и. Побудувати на діаграмі залежність виду $R_{tm-} = A_- \cdot \exp(B_- \cdot x)$, де $x=1/T$, використовуючи пункт меню **Діаграма/Додати лінію тренду**. Копіювати збережений файл на окремий лист MS Excel і вивчіть отримані дані.

й. Визначити за отриманими даними параметри функції перетворення A_- і B_- термістору.

к. Побудувати на той же діаграмі залежність $R_{т\kappa\sigma\mu-}$ та R_{tm-} від температури $t \text{ }^\circ\text{C}$.

л. Визначити максимальну і мінімальну чутливості термістора.

м. Визначити максимальну і мінімальну відносні похибки вимірювання температури, вважаючи, що вимірює опір проводиться з похибкою, що лежить в межах $\pm 0,1$ Ом.

п. Сформулювати і записати висновки про виконану роботу. Збережіть результати.

Таблиця 1.1. Дослідження характеристики терморезистора при нагріванні термостата

Температура в термостаті $t, ^\circ\text{C}$	Виміряне значення опору термістора $R_{\text{експ+}}, \text{Ом}$	Температура в термостаті T, K	$1/T$	Пораховані з математичної моделі значення опору термістора $R_{\text{тм+}}, \text{Ом}$

Таблиця 1.2. Дослідження характеристики терморезистора при остиганні термостата

Температура в термостаті $t, ^\circ\text{C}$	Виміряне значення опору термістора $R_{\text{експ-}}, \text{Ом}$	Температура в термостаті T, K	$1/T$	Пораховані з математичної моделі значення опору термістора $R_{\text{тм-}}, \text{Ом}$

В роботі показати:

- відомості про мету і порядок виконання роботи;
- відомості про використані методи вимірювань;
- відомості про характеристики використаних засобів вимірювань;
- необхідні електричні схеми;
- дані розрахунків, що проводилися при виборі засобів і діапазонів вимірювань, при виконанні відповідних пунктів завдання;
- експериментальні дані;
- повністю заповнені таблиці звіту, додати приклади розрахунків, що виконувалися під час заповнення таблиці;
- графіки та діаграми;
- аналіз отриманих результатів і висновки про особливості і якості проведених вимірювань і в цілому за результатами виконаної роботи.

ВАРІАНТ 2: ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ВИМІР ТЕМПЕРАТУРИ

Відомості, необхідні для виконання роботи

Повторіть питання обробки і представлення результатів прямих і непрямих вимірювань і, використовуючи літературу, даний опис і додаток 1, ознайомтеся з наступними питаннями:

- Основні характеристики вимірювальних перетворювачів
- Принцип дії, пристрій і характеристики термоелектричних перетворювачів
- Методи вимірювання напруги постійного струму
- Причини виникнення і способи виключення або обліку похибок при вимірі напруги
- Порядок перевірки вимірювальних приладів.
- Схеми включення і вимірювальні ланцюга термоелектричних перетворювачів.
- Пристрої та характеристики засобів вимірювальної техніки, які використовуються при виконанні даної роботи.

Термоелектричний перетворювач є генераторним вимірювальним перетворювачем і являє собою ланцюг, що складається з двох різних провідників P і θ , з'єднаних між собою в двох точках (спаях), один з цих спаїв прийнято називати вільним спаєм, а інший робочим спаєм термопари (див. рис. 4.1).

Якщо температуру θ_1 одного спаю зробити відмінною від температури θ_2 другого спаю, то через коло потече струм під дією ЕРС E_{12} , що називається термоелектрорушійну силу (термо ЕРС) і представляє собою різницю функцій температур місць з'єднання провідників:

$$E_{12}(\theta_1, \theta_2) = f(\theta_1) - f(\theta_2). \quad (4.1)$$

Якщо в колі, що наведено на рис. 4.1, температури в точках 1 і 2 однакові, то термо ЕРС також дорівнює нулю. Із (4.1) витикає, що ЕРС термопари є функцією двох незалежних температур $E = E(\theta_1, \theta_2)$, які є температурами її спаїв, и не залежать від температур других точок термопари. При невеликому перепаді температур між спаями термо ЕРС в першому наближенні можна рахувати як пропорційну різницю температур та рівною $E_{12}(\theta_1, \theta_2) = S_{AB}\Delta\theta$. Для визначення температури, що вимірюється θ_1 за значенням термо ЕРС слід або зафіксувати температуру θ_2 , або до вимірів θ_1 додавати поправку розрахунковим шляхом або автоматично. Розрахункове введення поправки ґрунтується на наступній властивості.

Якщо термопара має температури спаїв θ_1 і θ_0 , то її термо ЕРС дорівнює алгебраїчної сумі двох ЕРС, одна із котрих генерується при температурі спаїв θ_1 і θ_2 , друга – при температурах θ_2 , і θ_0 :

$$E(\theta_1, \theta_0) = E(\theta_1, \theta_2) + E(\theta_2, \theta_0). \quad (4.2)$$

Це властивість і використовується при вимірюванні температури спаю θ_1 . Для цього визначають функцію $E(\theta_1; 0)$ при $\theta_0 = 0$ °С та використовують отриману залежність в якості номінальної статичної характеристики (НСХ) даної термопар, так як за нею можна визначити температуру θ_1 , якщо звісно значення термо ЕРС $E(Q_1; 0)$. Якщо ж температура вільного спаю θ_2 відрізняється від температури $\theta_2 = 0$ °С, при котрої було проведено градування термопар, то значення $E(\theta_1, 0)$ визначається за формулою (4.2). При цьому значення $E(\theta_1, \theta_2)$ визначається експериментально, а значення $E(\theta_2, 0)$ – по значенню температури θ_2 за допомогою НСХ. За розрахованому значенню $E(\theta_1, 0)$ завдяки той же НСХ визначається вимірювальна температура θ_1 .

Промисловістю випускається широка номенклатура термопар У табл 4.1 наведені відомості з Міждержавного стандарту ГОСТ 6616-94 «Перетворювачі термоелектричні» про термоелектричних перетворювачах з металевими термопарами, призначених для вимірювання температури від – 270 до +2500 °С.

НСХ часто представляється у вигляді градуювальної таблиці. У додатку 6 приведена градуювальна таблиця термопарі J типу, що використовується в даній роботі в якості зразкового вимірювального перетворювача.

Таким чином, термоелектричні перетворювачі використовуються для вимірювального перетворення температури в ЕРС. Відомості про характеристики найбільш широко використовуваних термопар наведені в табл. 4.2. Залежно від конструктивного виконання термопарі діапазон вимірюваної температури може дещо відрізнятися від наведеного в таблиці.

Промислова термопара влаштована таким чином. Термоелектроди ізолюються один від одного керамічними намистом або керамічними трубками. Одні кінці термоелектродів зварюються, а інші приєднуються до клем головки, що служить для підключення зовнішніх проводів. Чохол, в який поміщаються термоелектроди, робиться з жароміцної сталі, а при вимірі дуже високих температур - з кераміки або кварцу.

Місце з'єднання термоелектродів називається гарячим, або робочим, спаєм. Протилежні кінці називаються холодними, або вільними. Зазвичай в місці вільного спаю термопар розімкнуті. ЕРС термопарі найчастіше не перевищує 50 мВ. Робочий кінець термопарі занурюється в середу, температуру якої потрібно виміряти. Вільні кінці підключаються до вторинного приладу. Якщо температура вільних кінців постійна, то підключення може бути зроблено мідним дротом, а якщо непостійна, то воно виконується спеціальними подовжувальними (компенсаційними) проводами. В якості останніх використовуються два дроти з різних матеріалів. Провід підбираються так, щоб при температурі вільних спаїв і в парі між собою вони мали такі ж термоелектричні властивості, як і робоча

термопара. При приєднанні до термопарі компенсаційні дроти подовжують її і дають можливість відвести холодний спай утвореної складовою термопари в таке місце, де температура залишається постійною.

Вторинними перетворювачами, що вимірюють напругу термопари і градуйованими в одиницях вимірюваної величини - температури, служать магнітоелектричні пірометричні мілівольтметри, потенціометри постійного струму, а останнім часом - цифрові засоби вимірювань. У лабораторній практиці використовуються потенціометри з ручною компенсацією, а у виробничій - автоматичні потенціометри.

Одним з джерел похибок при вимірюванні температури з використанням термопар є невідповідність температури їх вільних кінців температурі, при якій проводилася градування. Щоб усунути цю похибку, необхідно вводити поправку, що робиться або вручну, або автоматично.

Крім того, можлива поява похибки термоелектричного термометра внаслідок зміни опору вимірювального ланцюга. Правда, термометр з потенціометром вільний від зазначеної похибки, оскільки в момент компенсації по зовнішньому ланцюзі струм не тече і на її опір відсутній падіння напруги. Навпаки, показання пірометричного мілівольтметра залежать від опору джерела термоЕРС і опору сполучних проводів. Тому пірометричний мілівольтметр повинен працювати з таким джерелом і такими сполучними проводами, при яких він градуйованим.

Опис лабораторного стенду

Лабораторний стенд являє собою LabVIEW комп'ютерну модель, що розташовується на робочому столі персонального комп'ютера

На стенді (Рис 4.2) знаходяться моделі потенціометра постійного струму, пірометричного мілівольтметра (пірометра), термометра, а також модель електричної печі з поміщеними в неї двома термопарами - зразковою J-типу (залізо-константановій) і повіряємої К-типу (хромель- алюмелеві), що входить в комплект перевіряється приладу.

Моделі засобів вимірювальної техніки (див. Додаток 1) при виконанні роботи використовуються для вирішення наступних завдань. За допомогою моделі електричної печі проводиться імітація регульованого зміни температури, під час якого здійснюється перевірка комплексу пірометра і термопари. Модель потенціометра в комплекті з зразковою термопарою J-типу забезпечує вимір термо-ЕРС з зразковою точністю. Модель пірометричного мілівольтметра (пірометра) служить вивіреном засобом вимірювань в складі комплексу «термопара К-типу - пірометричний мілівольтметр».

Модель термометра служить для визначення температури вільних кінців зразковою термопари з метою внесення необхідної поправки.

Схема з'єднань приладів при виконанні роботи ясна з Рис. 4.2. Повіряти термопара з дотриманням полярності підключена до пірометричні

мілівольтметру. Зразкова термопара підключена до потенціометра, до його клем «X», «mV» з дотриманням полярності.

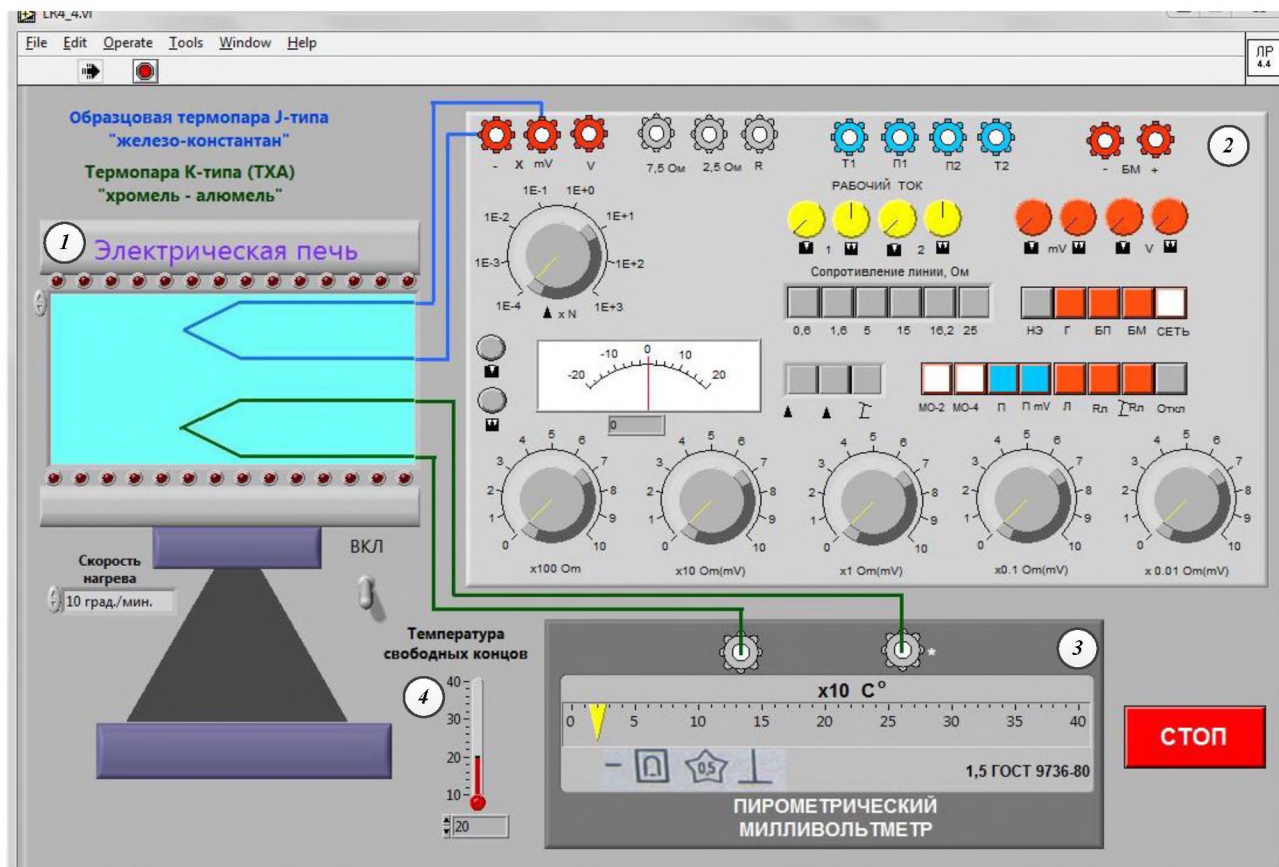


Рисунок 2. Модель дослідного стенду на робочому столі (1 - електрична піч з встановленими термопарами J-типу і K-типу, 2 - потенціометр постійного струму, 3 - пірометричний мілівольтметр, 4 - термометр)

Робоче завдання

1. Запустити програму і виберіть роботу №4 «Термоелектричні вимірювальні перетворювачі. Вимірювання температури» в групі робіт «Вимірювання неелектричних величин». На робочому столі комп'ютера автоматично з'являться модель стенду з моделями засобів вимірювань та допоміжних пристроїв (Рис. 4.2) і вікно створеного в середовищі MS Excel журналу, який служить для формування звіту за результатами виконання дослідження.
2. Ознайомтесь з розташуванням моделей окремих засобів вимірювальної техніки та інших пристроїв на робочому столі.
3. Ознайомтесь з пристроєм і порядком роботи з моделлю потенціометра постійного струму за додатком 1 та опису роботи «Вимірювання постійної напруги методом компенсації». Моделі потенціометра постійного струму даної роботи моделюють режим «Вимірювання ЕРС і напруги».
4. Після ознайомлення з моделлю потенціометра встановіть робочі струми в його першому і другому контурах.

Для цього виконати такі дії.

- Включити модель за допомогою кнопки «СЕТЬ».
- Перевести модель в режим потенціометра натиснув кнопки «П».
- Підключить до схеми потенціометра вбудовані гальванометр, батареї живлення та нормальний елемент, натиснув, відповідно, на кнопки «Г», «БП», «НЭ».
- Натисніть кнопку ▲1 – гальванометр включиться у коло першого контуру.
- Встановить робочий струм першого контуру, для чого, обертаючи ручки «робочий струм к 1» та «робочий струм 2» спочатку при натиснутої кнопки ▼ (грубо), а далі при натиснутої кнопки ▼▼ (точно), установите стрілку гальванометра на нульову відмітку.
- Натиснути кнопку ▲2 – гальванометр включиться у коло другого контуру.
- Встановити робочий струм другого контуру, для чого, обертаючи ручки «робочий струм 1» та «робочий струм 2» спочатку при натиснутої кнопки ▼ (грубо), а далі при натиснутої кнопки ▼▼ (точно), установите стрілку гальванометра на нульову відмітку.

1. Вивчити модель пірометричного мілівольтметра за додатком 1 та опису даної роботи. Зверніть увагу, що шкала пірометра градуйована в градусах Цельсія, хоча його вхідний величиною є напруга, що знімається з термопар. Тому в загальному випадку необхідно знати відповідність значень вхідної напруги показаннями приладу. Необхідну відповідність дається номінальною за градуювальною характеристикою, пов'язаної з типом застосовуваної термопар. Реальна характеристика може відрізнитися від номінальної, що призводить до похибок вимірювання температури. Ці похибки виключаються введенням поправки, значення якої знаходиться за допомогою перевірки градуювання. Однак при виконанні даної лабораторної роботи визначати і вводити поправку не потрібно, так як передбачається, що реальна градуювальна характеристика не відрізняється від номінальної.

2. Вивчити модель електричної печі за додатком 1 та опису даної роботи. Виберіть швидкість нагріву електричної печі так, щоб ви встигали під час одного кроку зростання температури виконати один вимір термо-ЕРС і одну запис свідчень потенціометра в лабораторний журнал Швидкість нагріву 10 град / хв відповідає тривалості одного кроку, рівній 1 хв, швидкість 5 град / хв - 2 хв, швидкість 20 град / хв - 0,5 хв Встановити обрану швидкість, використовуючи перемикач електричної печі «Швидкість нагріву» Приготуйте до роботи перевірений на відсутність вірусів мобільний носій інформації і підключіть його до комп'ютера.

3. Приступите до виконання роботи.

Завдання 1. Комплексна перевірка пірометричного мілівольтметра з термопарою К-типу (ТХА)

а. Використовуючи модель термометра, встановіть за вказівкою викладача значення температури θ_2 вільних кінців термопар (кімнатну температуру) Запишіть цю температуру в усі осередки стовбця **Температура вільних кінців θ_2 , °C** (стовбця В) табл. 4.3.

б. Включити електричну піч.

с. Стежити за вимірювальними показаннями пірометра. Як тільки здійсниться збільшення температури та стрілка встановиться на наступному діленні, проведіть вимір за допомогою потенціометра термо-ЕРС. Для цього виконати наступні дії:

- За допомогою кнопки \uparrow перевести потенціометр в режим вимірювання;
- добитися компенсації вимірювальної напруги компенсаційною напругою, для чого:

- натиснути кнопку \blacktriangledown (грубо) та, обертаючи ручки декадних перемикачів «x10 Ом(мВ)» и «x1 Ом(мВ)», встановить стрілку гальванометра на нуль;

- натиснути кнопку $\blacktriangledown\blacktriangledown$ (точно) та, обертаючи ручки декадних перемикачів «x0,1 Ом(мВ)» та «x0,01 Ом(мВ)», знов встановить стрілку гальванометра на нуль;

- зняти показання потенціометра (значення вимірюваної напруги в мілівольтах дорівнюватиме сумі показань декад регульовального опору потенціометра).

е. Записати показання потенціометра в відповідний осередок стовбця **Показання зразкового потенціометра $E(\theta_1, \theta_2)$, мВ** (стовбця D) табл. 4.3.

ф. Повторити п.п. с, d до досягнення ділення пірометра, відповідного 400 °C, включно.

г. Якщо стався збій або помилка при проведенні будь-якого вимірювання, виконання завдання 1 треба почати заново.

h. Заповнити осередок третього, четвертого и п'ятого стовбців табл. 4.3. Для визначення термо-ЕРС $E(\theta_2, 0)$ слід користуватися таблицею щодо градування додатку 2. Для визначення дійсної температури в печі θ_1 можна також користуватися указаною таблицею щодо градування або утилітою TerJ.exe, яка є у складі програмного забезпечення в папці XLS.

i. Заповнити осередок шостого, сьомого і восьмого стовбців табл. 4.3 Для цього за отриманими результатами визначте дійсну температуру в печі θ_1 , абсолютну $\Delta \theta$, приведену $\delta \theta_{пр}$ похибки вимірювання температури θ .

j. Зробити висновки. Висновки по виконану роботу повинні містити висновок, чи задовольняє Вивірений вторинний прилад своєму класу точності. Для цього потрібно визначити максимальні значення абсолютної і наведеної похибок пірометричного комплекту і пояснити причини похибки. Збережіть результати.

Таблиця 4.3. Повірка пірометричного мілівольтметра в комплекті з термопарою К-типу (ТХА)

Показання повіряемого приладу $\theta, ^\circ\text{C}$	Температура вільних кінців $\theta_2, ^\circ\text{C}$	ЕРС термопарі J-типу $E(\theta_2, 0), \text{мВ}$	Показання зразкового потенціометра $E(\theta_1, \theta_2), \text{мВ}$	$E(\theta_1, \theta_0) = E(\theta_1, \theta_2) + E(\theta_2, \theta_0),$ мВ	Дійсна температура в печі $\theta_1, ^\circ\text{C}$	Абсолютна похибка $\Delta\theta = \theta - \theta_1, ^\circ\text{C}$	Приведена похибка $\delta\theta_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$
20							
30							
...							
400							

В роботі показати:

- відомості про мету виконання роботи;
- відомості про використані методи вимірювань;
- відомості про характеристики використаних засобів вимірювань;
- теоретичне введення повинно містити опис промислових термопар, їх властивості, діапазони вимірювання, пояснення, як по ЕРС термопар визначити вимірювану температуру, а також схеми, опису роботи і властивості вторинних приладів; розрахункові формули, необхідні для виконання роботи;
- схеми і методи введення поправки в показання приладів, коли температура вільного спаю термопарі відмінна від нуля;
- необхідні електричні схеми;
- дані розрахунків, що проводилися при виборі засобів і діапазонів вимірювань, при виконанні відповідних пунктів завдання;
- експериментальні дані;
- повністю заповнені таблиці звіту, приклади розрахунків, що виконувалися при заповненні таблиць;
- графіки;
- аналіз отриманих даних і висновки про особливості і якості проведених вимірювань і за результатами виконаної роботи.

ДОДАТОК 2

Диапазон температур - от 0 °С до 450 °С. m

Значения температур - в градусах Цельсия (°С).

Значения термо-ЭДС - в милливольтгах (мВ)

Градуированная функция $E = E(\Theta, 0\text{ }^{\circ}\text{C})$ термопары J-типа

	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
0*	0,000	0,050	0,101	0,151	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456	0,507
10*	0,507	0,558	0,609	0,660	0,711	0,762	0,814	0,865	0,916	0,968	1,019
20*	1,019	1,071	1,122	1,174	1,226	1,277	1,329	1,381	1,433	1,485	1,537
30*	1,537	1,589	1,641	1,693	1,745	1,797	1,849	1,902	1,954	2,006	2,059
40*	2,059	2,111	2,164	2,216	2,269	2,322	2,374	2,427	2,480	2,532	2,585
50*	2,585	2,638	2,691	2,744	2,797	2,850	2,903	2,956	3,009	3,062	3,116
60*	3,116	3,169	3,222	3,275	3,329	3,382	3,436	3,489	3,543	3,596	3,650
70*	3,650	3,703	3,757	3,810	3,864	3,918	3,971	4,025	4,079	4,133	4,187
80*	4,187	4,240	4,294	4,348	4,402	4,456	4,510	4,564	4,618	4,672	4,726
90'	4,726	4,781	4,835	4,889	4,943	4,997	5,052	5,106	5,160	5,215	5,269
100*	5,269	5,323	5,378	5,432	5,487	5,541	5,595	5,650	5,705	5,759	5,814
110*	5,814	5,868	5,923	5,977	6,032	6,087	6,141	6,196	6,251	6,306	6,360
120*	6,360	6,415	6,470	6,525	6,579	6,634	6,689	6,744	6,799	6,854	6,909
130*	6,909	6,964	7,019	7,074	7,129	7,184	7,239	7,294	7,349	7,404	7,459
140*	7,459	7,514	7,569	7,624	7,679	7,734	7,789	7,844	7,900	7,955	8,010
150*	8,010	8,065	8,120	8,175	8,231	8,286	8,341	8,396	8,452	8,507	8,562
160*	8,562	8,618	8,673	8,728	8,783	8,839	8,894	8,949	9,005	9,060	9,115
170*	9,115	9,171	9,226	9,282	9,337	9,392	9,448	9,503	9,559	9,614	9,669
180*	9,669	9,725	9,780	9,836	9,891	9,947	10,002	10,057	10,113	10,168	10,224
190*	10,224	10,279	10,335	10,390	10,446	10,501	10,557	10,612	10,668	10,723	10,779
200*	10,779	10,834	10,890	10,945	11,001	11,056	11,112	11,167	11,223	11,278	11,334
210*	11,334	11,389	11,445	11,501	11,556	11,612	11,667	11,723	11,778	11,834	11,889
220*	11,889	11,945	12,000	12,056	12,111	12,167	12,222	12,278	12,334	12,389	12,445
230*	12,445	12,500	12,556	12,611	12,667	12,722	12,778	12,833	12,889	12,944	13,000
240*	13,000	13,056	13,111	13,167	13,222	13,278	13,333	13,389	13,444	13,500	13,555
250*	13,555	13,611	13,666	13,722	13,777	13,833	13,888	13,944	13,999	14,055	14,110
260*	14,110	14,166	14,221	14,277	14,332	14,388	14,443	14,499	14,554	14,609	14,665
270*	14,665	14,720	14,776	14,831	14,887	14,942	14,998	15,053	15,109	15,164	15,219
280*	15,219	15,275	15,330	15,386	15,441	15,496	15,552	15,607	15,663	15,718	15,773
290*	15,773	15,829	15,884	15,940	15,995	16,050	16,106	16,161	16,216	16,272	16,327
300*	16,327	16,383	16,438	16,493	16,549	16,604	16,659	16,715	16,770	16,825	16,881
310°	16,881	16,936	16,991	17,046	17,102	17,157	17,212	17,268	17,323	17,378	17,434
320*	17,434	17,489	17,544	17,599	17,655	17,710	17,765	17,820	17,876	17,931	17,986
330*	17,986	18,041	18,097	18,152	18,207	18,262	18,318	18,373	18,428	18,483	18,538
340*	18,538	18,594	18,649	18,704	18,759	18,814	18,870	18,925	18,980	19,035	19,090
350**	19,090	19,146	19,201	19,256	19,311	19,366	19,422	19,477	19,532	19,587	19,642
360*	19,642	19,697	19,753	19,808	19,863	19,918	19,973	20,028	20,083	20,139	20,194
370*	20,194	20,249	20,304	20,359	20,414	20,469	20,525	20,580	20,635	20,690	20,745
380*	20,745	20,800	20,855	20,911	20,966	21,021	21,076	21,131	21,186	21,241	21,297
390*	21,297	21,352	21,407	21,462	21,517	21,572	21,627	21,683	21,738	21,793	21,848
400*	21,848	21,903	21,958	22,014	22,069	22,124	22,179	22,234	22,289	22,345	22,400
410*	22,400	22,455	22,510	22,565	22,620	22,676	22,731	22,786	22,841	22,896	22,952
420*	22,952	23,007	23,062	23,117	23,172	23,228	23,283	23,338	23,393	23,449	23,504
430*	23,504	23,559	23,614	23,670	23,725	23,780	23,835	23,891	23,946	24,001	24,057
440*	24,057	24,112	24,167	24,223	24,278	24,333	24,389	24,444	24,499	24,555	24,610
450*	24,610	24,665	24,721	24,776	24,832	24,887	24,943	24,998	25,053	25,109	25,164

ЛИТЕРАТУРА

Базова

1. Підручник / В. М. Ванько, Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук, Ю. В. Яцук. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 584 с.
2. Основи теорії електронних кіл: Підручник (друге видання) / Ю.Я. Бобало, Б.А. Мандзій, П.Г. Стахів, Л.Д. Писаренко, Ю.І. Якименко; За ред. проф. Ю.І. Якименка. – Київ: Видавництво Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, 2011. – 332 с
3. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.

Допоміжна

1. Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко. Друге видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 544 с.
2. Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б. Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості: у п'яти томах. Том 1: Метрологія. Підручник. – Одеса: ВМВ, 2014