

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ



КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ ТА МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ

ДИСЦИПЛІНА

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВРЮВАЧІ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ
до виконання курсової роботи студентів
першого рівня вищої освіти – бакалавр
на тему:

**ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИННОГО
ПЕРЕТВОРЮВАЧА**

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

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 «Вимірювальні перетворювачі» на тему «Визначення метрологічних характеристик первинного перетворювача».

Метою методичних вказівок є допомога студентам в організації і виконанні курсової роботи з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі».

Набуття навиків визначення метрологічних характеристик первинних перетворювачів 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 вимірювальних засобів сучасних інформаційних систем. Для виконання за ОПІ 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 є його формула перетворення. Саме такій 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.

В роботі пропонується визначення функції перетворення первинного перетворювача 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 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: Спеціальність: 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 курсової навчальної дисципліни повинні забезпечуватися наступні програмні компетентності:

загальні компетентності:

ЗК3 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК4 Здатність спілкуватися іноземними мовами та працювати з іноземною технічною літературою.

спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

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

ФК4 (СК4) Здатність застосовувати відповідні наукові та інженерні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, комп'ютерні мережі, бази даних та Інтернет-ресурси для розв'язання професійних задач в галузі мікросистемної техніки.

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

ФК7 (СК7) Здатність розв'язувати інженерні задачі в галузі мікросистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації

програмні результати навчання:

ПРН-2 (P2) Застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв'язання теоретичних і прикладних задач мікросистемної техніки.

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

ПРН-8 (P8) Будувати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів, використовувати їх при розробці нової мікросистемної техніки та виборі оптимальних рішень.

ПРН-13 (P13) Вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами з професійних питань з дотриманням норм сучасної української ділової та професійної мови.

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-2 (P2)	володіти знаннями та вміннями застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв'язання теоретичних і прикладних задач мікросистемної техніки.	СРС	Консультації, оцінювання самостійної роботи; захист КР
ПРН-7 (P7)	володіти знаннями та вміннями 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-8 (P8)	володіти знаннями та вміннями будувати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів, використовувати їх при розробці нової мікросистемної техніки та виборі оптимальних рішень	СРС	Консультації, оцінювання самостійної роботи; захист КР
ПРН-13 (P13)	володіти знаннями та вміннями вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами з професійних питань з дотриманням норм сучасної української ділової та професійної мови	СРС	Консультації, оцінювання самостійної роботи; захист КР

До даного видання увійшли методичні рекомендації до дослідного практикуму з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі», 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;
- 6) 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 вирішення поставленої задачі

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

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

В третьому розділі розглядаються існуючі методи та методики визначення параметрів первинного вимірювального перетворювача засобу вимірювальної техніки або автоматизованої інформаційної системи. Для третього розділу студентом обирається тип первинного вимірювального перетворювача одного з варіантів, що розглядаються за тематикою дослідних робіт з вивчення дисципліни «Вимірювальні перетворювачі», 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

Список літератури 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 *Г, Є, З, І, Ї, О, Ч, Ь*.

5 ВХІДНІ ДАННІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

ВРІАНТ 1: ЄМНІСНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРУ

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 ємнісних перетворювачів.
- Методи вимірювання ємності.
- Причини виникнення і способи виключення або обліку похибок при вимірі ємності.
- Схеми включення і вимірювальні ланцюга ємнісних перетворювачів.
- Пристрої та характеристики засобів вимірювальної техніки, які використовуються при виконанні даної роботи.

При вимірах розміру в техніці і при виконанні досліджень широко використовуються ємнісні перетворювачі (ємнісні датчики), які відносяться до групи параметричних датчиків. Такі датчики відрізняються конструктивною простотою, надійністю і малою вартістю. Однак в силу особливостей функціонування вони вимагають досить складного вторинного устаткування.

Ємнісний перетворювач являє собою конденсатор, електричні параметри якого змінюються під впливом вимірюваної величини. Широко використовується конструкція, що представляє собою плоский конденсатор, ємність якого визначається виразом

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 \cdot Q / \delta$$

де δ – відстань між електродами (пластинами) конденсатора, Q – площа пластин,

ε – відносна діелектрична проникливість середовища між пластинами,

ε_0 – діелектрична постійна вакууму, що дорівнює $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Змінення будь якого з параметрів δ , Q , ε змінює ємність конденсатора, тому якщо величина, що змінюється, пов'язана звісним співвідношенням з будь яким із вказаних параметрів, то її значення може бути визначено за результатами вимірювання ємності конденсатора.

В роботі використовується ємнісний перетворювач, що уявляє циліндричний конденсатор, одним з електродів котрого є металевий стрижень, якій розташований у нутрі порожнього металевого циліндра, що охоплює цей стрижень.

Звісно, ємність ідеального циліндричного конденсатора дорівнює:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 \cdot l \cdot \ln(D/d) \quad (1.1)$$

де: l – довжина електродів,

D – внутрішній діаметр зовнішнього електрода,

d – зовнішній діаметр внутрішнього електрода – стрижня.

Ємність реального циліндричного конденсатора більше ємності, яка визначається формулою (2.1), оскільки до ємності між циліндричними поверхнями додається ємність між торцевими поверхнями стержня і зовнішнього циліндра. В реальних умовах вимірювання до цієї ємності додається ємність кабелю C_k , що використовується для підключення датчика до вторинної апаратури, яка вимірює ємність. Повна ємність датчика з з'єднувальним кабелем описується виразом:

$$C = C_k + \frac{\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln(D/d)} \quad (1.2)$$

Або у більш загальному вигляді

$$C = A + \frac{B}{\ln(D/d)} \quad (1.3)$$

Вимірювання ємності датчика в цій роботі проводиться за допомогою гетеродинного приладу для вимірювання ємності та індуктивності (LC-вимірювача). Структурна схема приладу приведена на рис. 2.2. До складу приладу входять два LC-генератора синусоїдальної напруги (Γ і Γ_0). Частота електричного сигналу, що генерується LC-генератором, дорівнює:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.4)$$

де L та C – індуктивність і ємність контуру генератора, що задає. Робоча частота генераторів в використовуваному приладі становить кілька сотень кілогерц.

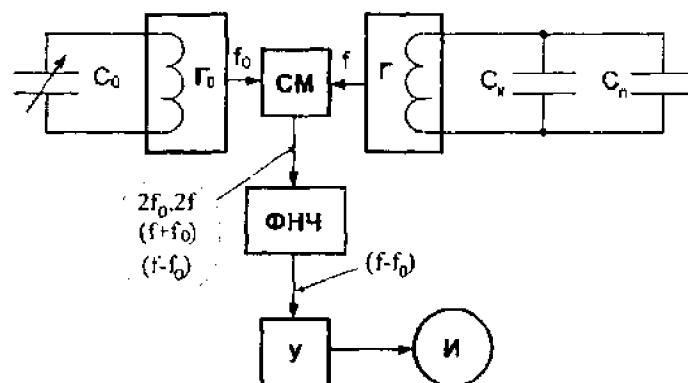


Рис. 1.2. Структурна схема гетеродинного LC-вимірювача

При вимірюванні ємності в приладі використовуються дві однакові внутрішні котушки індуктивності. У зразковому генераторі Γ_0 в якості конденсатора, який задає частоту, використовується набір зразкових конденсаторів C_1, C_2, C_3 результуюча ємність якого C_0 дорівнює сумі ємності цих конденсаторів. У генераторі Γ в якості конденсатора, який задає частоту, використовується конденсатор ємнісного перетворювача C_{II} , ємність якого підлягає вимірюванню. При виконанні роботи слід враховувати, що при проведенні вимірювань до ємності перетворювача C_{II} додається ємність кабелю

C_k та інших елементів конструкції перетворювача, що з'єднує перетворювач з вимірювачем. Таким чином, частота генератора Γ визначається сумою $C = C_k + C_{II}$.

Напруга генераторів Γ і Γ_0 подається в змішувач СМ, котрий формує спектр частот на своєму виході. Змішувач являє собою нелінійне електричне коло, на виході якої утворюється складна гармонійна напруга. У загальному випадку в цьому спектрі можлива поява будь-якої гармоніки з набору $(mf \pm nf_0)$, де m та n – цілі числа. В даному приладі частоти генераторів Γ і Γ_0 , як зазначалося вище, мають порядок сотень кілогерц, подвоєні і сумарні частоти мають такий же порядок, а різницева частота $\Delta = f - f_0$ лежить в звуковому діапазоні і наближається до нуля при прагненні f_0 до f .

Оскільки у генераторів Γ і Γ_0 однакові контурні котушки, частота f_0 наближається до f при настроюванні зразкового конденсатора, коли його ємність C_0 наближається до ємності $C_k + C_{II}$. Напруга різницевої частоти Δf проходить через фільтр низьких частот (ФНЧ) з смугою від 0 до 4500 Гц, посилюється і подається на індикатор, в той час як напруги з більш високими частотами ФНЧ послаблюються. Індикатор мигає з частотою Δf . Мигання індикатора стає добре помітним, якщо ця частота менш 20 Гц. Коли частоти f_0 і f та відповідно ємності C_0 і $C_k + C_{II}$ дорівнюють одна одній, мигання закінчується, та індикатор горить постійно. Але частіше частоти Δf не дорівнює нулю завдяки наявності похибок регулювання ємності C_3 , та індикатор з остаточною частотою мигає. Цей факт не носить значного корегування на кінцевий результат дослідження, він є методичною похибкою такої вимірювальної системи. C_0 приділяється шляхом зчитування значень ємності C_1 , C_2 , C_3 із шкал приладу та їх подальшого підсумовування.

Опис стенду

Стенд уявляє собою LabVIEW комп'ютерну модель, яка розташовується на робочому столі персонального комп'ютера. На стенді (Рис. 1.3) знаходяться моделі ємнісного вимірювального перетворювача розмірів і гетеродинного LC-вимірювача.

Моделі засобів вимірювальної техніки (див. Додаток 1) при виконанні роботи використовуються для вирішення наступних завдань.

Модель ємнісного вимірювача розмірів використовується при моделюванні процесу непрямих вимірювань діаметра проводить стрижня.

Модель гетеродинного LC-вимірювача використовується при моделюванні процесу прямих вимірів ємності ємнісного вимірювача розмірів методом гетеродинування, що є варіантом методу порівняння вимірюваної величини з мірою.

Схема з'єднань приладів при виконанні роботи видно на рис. 1.3.

Робоче завдання

1. Запустіть програму дослідного практикуму і виберіть роботу «Ємнісні вимірювальні перетворювачі. Вимірювання розміру» в групі робіт «Вимірювання

неелектричних величин». На робочому столі комп'ютера автоматично з'являться модель дослідного стенду з моделями засобів вимірювань та допоміжних пристроїв (Рис. 1.3) і вікно створеного в середовищі MS Excel журналу, який служить для формування звіту за результатами дослідження.

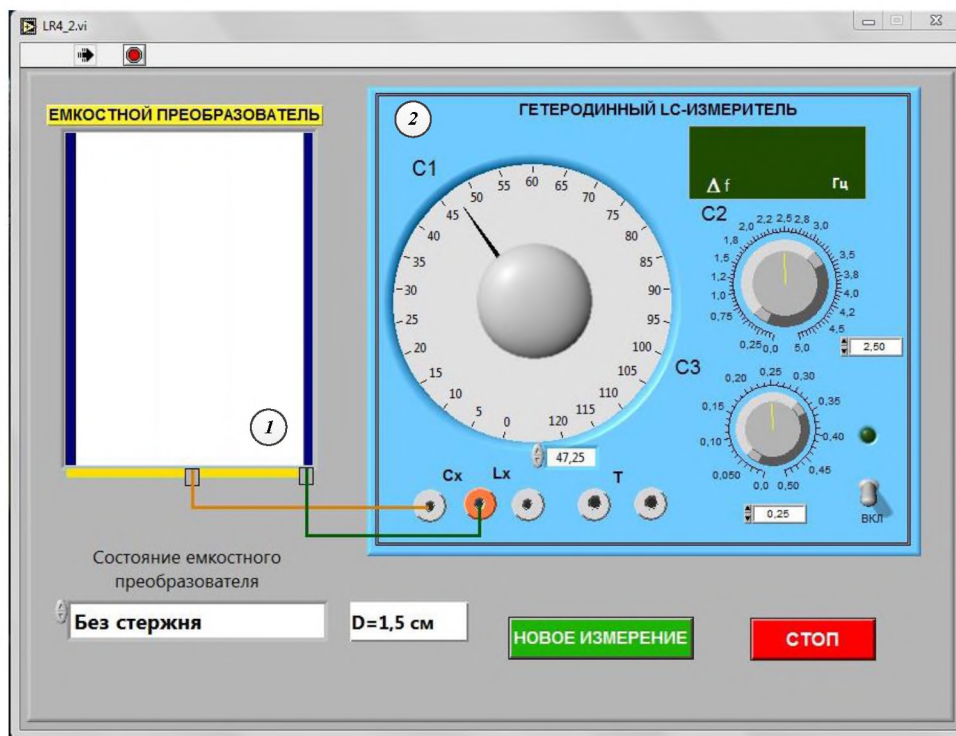


Рис. 1.3. Вид моделі дослідного стенду на робочому столі комп'ютера (1 - смісний вимірювач розмірів, 2 - гетеродинний LC-вимірювач)

3. Ознайомитися 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 моделі ємнісного перетворювача при виборі стрижнів різних діаметрів d . Плавню змінюючи положення ручок C_1 , C_2 , C_3 , простежте за зміною Δf та виглядом індикатора LC-вимірювача при обраному стрижні.

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

5. Встановіть ручки управління зразкових конденсаторів C_1 , C_2 , C_3 на нульві позначки.

6. Розпочніть виконання дослідження.

Завдання 1. Вимірювання ємності кабелю, що з'єднує ємнісний перетворювач з LC-вимірником

a. Включити LC-вимірювач.

b. Обрати стан ємнісного перетворювача «БЕЗ СТЕРЖНЯ»:

c. Обертаючи ручки перемінних конденсаторів C_1 , C_2 , C_3 добитися появи на індикаторі мигання зеленого сектора.

d. Наглядаючи за зміненням частоти Δf , зробіть значення ємності C_1 , C_2 , C_3 таким чином, щоб індикатор закінчив мигати, а різнісна частота Δf була б максимально

наближена до нульового значення. При виконанні точного настроювання слід використовувати додаткові цифрові елементи управління, що розташовані біля кожної ручки управління.

е. Провести відлік значення ємності кабелю $C_{ki} = C_{1i} + C_{2i} + C_{3i}$. Отримані значення занесіть в табл. 1.1.

ф. Провести нові виміри ємності кабелю, довести їх повне число до десяти ($n = 10$). Перед кожним новим виміром натискайте кнопку «НОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ», а потім повторюйте дії, що наведені в п.п. с – е.

г. Обчисліть середнє значення результатів вимірювання ємності кабелю $C_{\text{ср}}$, відхилення ΔC_i кожного з виміряних значень від середнього значення і квадрати цих відхилень $(\Delta C_i)^2$.

h. Обчисліть середнє квадратичне значення похибки вимірювання ємності кабелю:

$$\sigma_{\Delta C} = \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta C_i)^2}{n-1}},$$

де ΔC_i – відхилення результату k-го виміру від середнього значення,
 n – число вимірювань.

Переконайтеся, що табл. 2.1 заповнена повністю, та збережіть результати.

Завдання 2. Вимірювання ємності вимірювального перетворювача при установці стрижнів різних діаметрів

а. Обрати стан ємнісного перетворювача з встановленим стрижнем №1 «Стрижень $d = 0,4$ см».

б. Здійснити вимірювання ємності перетворювача та запишіть отримані значення C_{1i} , C_{2i} , C_{3i} і $C_i = C_{1i} + C_{2i} + C_{3i}$ в табл. 1.2 аналогічно тому, як це проводилось в попередньому завданні (див. п.п. с – е завдання 1).

с. Натиснути кнопку «НОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ», що в даному випадку модулює обертання стрижня у перетворювачі на 90° . Далі повторить п. б.

д. Повторити п. с ще два рази.

е. В результаті виконання попереднього пункту в табл. 1.2 має бути записано достатню кількість досвідчених даних для її повного заповнення. Для цього розрахуйте середнє значення, відхилення від середнього значення, квадрати відхилень і середньоквадратичне значення.

ф. Повторити п.п. а – е для других 10 стрижнів з номерами від 2 до 11. Кожен раз заповнюйте нову таблицю зі структурою табл. 1.2.

Завдання 3. Визначення функції перетворення ємнісного перетворювача

а. В табл. 1.3 перенести значення ємності вимірювального перетворювача, що отримані при виконанні завдань 1 і 2. При цьому в строку с нульовим номером записати $C_{\text{ср}}$, тобто ємність перетворювача без стрижня. В інших строках слід записати середні ємності перетворювача з стрижнем, номери котрих співпадають з номером строки (1 – 11).

б. Розрахувати значення X , що дорівнює

$$X = 1/\ln(D/d)$$

де діаметр $D = 1,5$ см. Заповніть цими значеннями четвертий стовбець табл. 1.3 (стовбець D таблиці Excel).

с. Побудувати діаграму залежності C_i від X_i .

d. На діаграмі побудувати засобами MS Excel лінійну математичну модель $C_{mj} = A + BX_j$ (1.3). Для цього використовуйте пункт меню *Діаграма/Додати лінію тренду*.

e. На точковій діаграмі виділити галочкою пункт *Показати рівняння на діаграмі* та визначити значення A і B. Знаючи рівняння моделі, заповнити передостанній та останній стовбці табл. 1.3.

f. Побудувати діаграму залежності C_i від d_i . На ній побудувати поліноміальну модель шостого ступеня. Покажіть на діаграмі рівняння моделі.

g. Провести порівняння моделей, отриманих в п.п. d і f, та зробити висновки.

Таблиця 1.1. Вимір ємності кабелю

№ п/п	$C_{1к},$ пФ	$C_{2к},$ пФ	$C_{3к},$ пФ	$C_{ок} = C_{1к} + C_{2к} + C_{3к},$ пФ	$C_{ок} - C_{0ср},$ пФ	$(C_{ок} - C_{0ср})^2$
1 ... 10 Середнє значення						

Таблиця 1.2. Вимір ємності перетворювача при встановленому стрижні № = ____ d = ____ см

№ п/п	$C_{1і},$ пФ	$C_{2і},$ пФ	$C_{3і},$ пФ	$C_{ок} = C_{1і} + C_{2і} + C_{3і},$ пФ	$C_{0і} - C_{0ср},$ пФ	$(C_{0і} - C_{0ср})^2$
1... 10 Середнє значення						

Таблиця 1.3. Функція перетворення ємнісного перетворювача

№ п/п	d, см	$C_j,$ пФ	$X = 1/\ln(D/d)$	$C_{mj},$ пФ	$C_j - C_m,$ пФ
0					
1... 11					

В роботі показати:

- відомості про мету 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, а також приклади розрахунків, що виконувалися під час заповнення таблиці, графіки;
- аналіз отриманих даних і висновки про особливості і якості проведених вимірювань і за результатами виконаної роботи.

ВАРІАНТ 2: ІНДУКТИВНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ

Відомості, що необхідні для виконання роботи

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

- Головні характеристики вимірювальних перетворювачів.
- Методи вимірювання індуктивності.
- Принцип дії, устрій та характеристики індуктивних перетворювачів.
- Причини виникнення та способи виключення або обліку похибок при вимірюванні індуктивності.
- Схеми включення та вимірювальні кола індуктивних перетворювачів.
- Устрій і характеристики засобів вимірювань, що використовуються при виконанні даної роботи.

В технічних та наукових вимірюваннях неелектричних величин широко використовуються індуктивні перетворювачі, які відносяться до групи параметричних датчиків. Вони відрізняються конструктивною простотою, надійністю та малою собівартістю. До того ж, для своєї роботи вони не вимагають складного вторинного обладнання.

Індуктивний перетворювач це дросель, індуктивність котрого змінюється під дією вхідної (що вимірюється) величини. В вимірювальній техніці використовуються конструкції перетворювача зі змінним повітряним зазором та соленоїдні (або плунжерні) перетворювачі, які вивчаються в даної роботі.

Індуктивний перетворювач зі змінним повітряним зазором схематично показаний на рис. 2.1а. Він складається з П-образного магнітопроводу 1, на котрому розміщена котушка 2, та рухомого якоря 3. При переміщенні якоря змінюється довжина повітряного зазору δ та, відповідно, магнітний опір. Це викликає змінення магнітного опору та індуктивності перетворювача L .

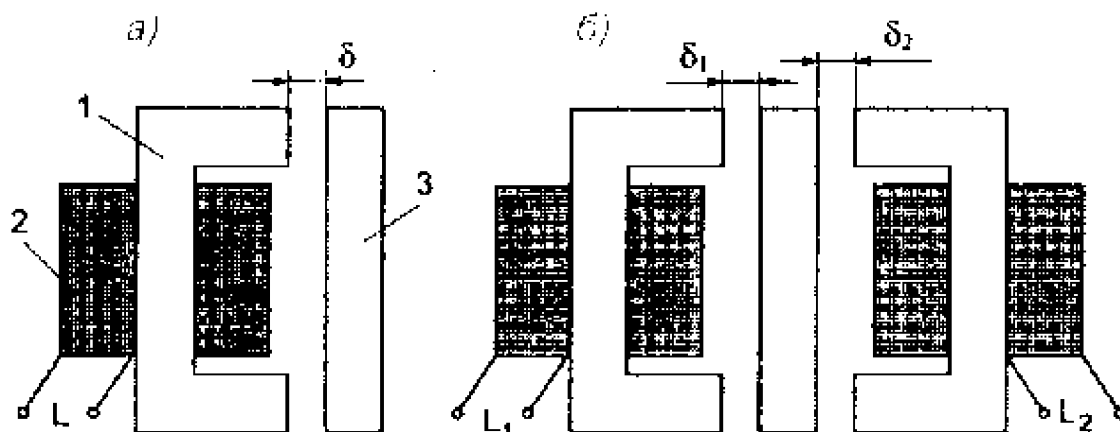


Рис. 2.1. Конструкція індуктивного перетворювача зі змінним повітряним зазором (1 – П-подібний магнітопровід, 2 – котушка, 3 – якор): а) одинарний перетворювач; б) диференціальний перетворювач

При деяких допущеннях індуктивність перетворювача можна розраховувати

за формулою:

$$L = \frac{w^2 \mu_0 \cdot Q}{(2\delta + l_{ст}/\mu)} \quad (2.1)$$

де w – число витків котушки, $\mu_0 = 4 \cdot 10^7$ Гн/м – магнітна постійна, μ – магнітна постійна сталі, Q — площа перетину магнітного потоку в повітряному зазорі (враховуємо, що площа перетину магнітопроводу також дорівнює Q), $l_{ст}$ – середня довжина магнітної силової лінії по сталі.

Одинарні індуктивні перетворювачі мають ряд недоліків, а саме - їх функція перетворення - нелінійна, вони можуть мати більшу адитивну похибку, що викликається температурними змінами активного опору обмотки, та ряд інших.

Таких недоліків позбавлені диференціальні перетворювачі, які являють собою два одинарних перетворювача, що мають спільний якір. На рис. 2.1 б показаний диференціальний індуктивний перетворювач, що складається з двох перетворювачів, показаних на рис. 2.1а. При переміщенні якоря, наприклад, ліворуч, індуктивності L_1 зростає, а друга індуктивність L_2 зменшується.

Другим різновидом індуктивних перетворювачів є плунжерні перетворювачі. На рис. 2.2.а наведено одинарний плунжерний перетворювач, який являє собою котушку 1, із котрої може висуватися феромагнітний сердечник 2 (плунжер). При середньому положенні плунжера індуктивність є максимальною.

Диференціальний перетворювач, що складається з двох одинарних перетворювачів плунжерного типу, схематично зображений на рис. 2.2.б. Тут також, при переміщенні плунжера одна індуктивність зменшується, а друга збільшується.

При використанні індуктивних перетворювачів в якості вихідної величини часто використовують не індуктивність як таку, а реактивний опір перетворювача \dot{Z} , де, якщо знехтувати активною складовою, дорівнюватиме $\dot{Z} = j\omega L$.

Важною характеристикою будь якого перетворювача є його **чутливість**. За визначенням, абсолютною чутливістю назветься відношення зміни вихідної величини до зміни вхідної:

$$\dot{S}_{абс} = \frac{\Delta \dot{Z}}{X} \quad (2.2)$$

де $\Delta \dot{Z}$ – зміна опору перетворювача, що викликається переміщенням плунжера (або якоря) на відстань x .

В деяких випадках, наприклад, для порівняння перетворювачів одного типу, но маючих різні опори, зручніше користуватися поняттям відносної чутливості

$$\dot{S}_{отн} = \frac{\Delta \dot{Z}}{Z_0} / X \quad (2.3)$$

Тут Z_0 – опір перетворювача при $x = 0$.

Тут кажучи про чутливість, маємо на увазі відносну чутливість.

Для вимірювання реактивного опору диференціальних індуктивних

перетворювачів використовуються мостові схеми.

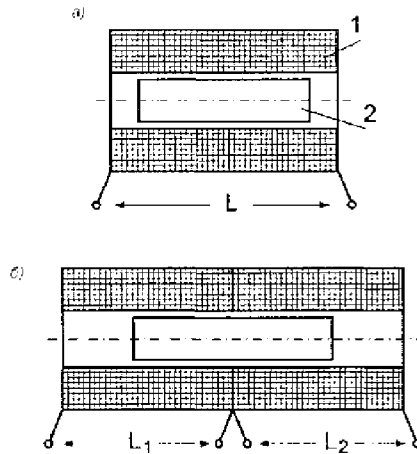


Рис. 2.2. Конструкція індуктивного плунжерного перетворювача (1 – котушка, 2 – плунжер): а) одинарний перетворювач; б) диференціальний перетворювач

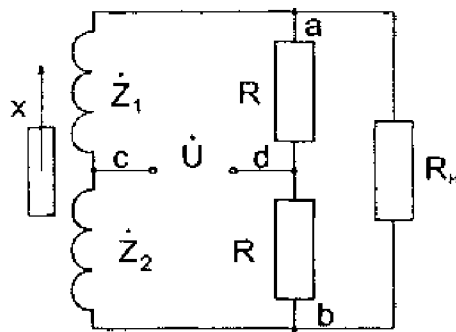


Рис. 2.3. Варіант схеми включення індуктивного перетворювача

Завдяки цьому зменшується адитивна похибка, поліпшується лінійність функції перетворення, в два рази збільшується чутливість і зменшується сила тяжіння якоря або плунжера. У мостових схемах можна використовувати різні схеми включення. Одна з основних таких схем для індуктивних диференціальних перетворювачів приведена на рис. 2.3. При такому включенні $\dot{Z}_1 = j\omega L_1$ і $\dot{Z}_2 = j\omega L_2$ – індуктивний опір диференціального перетворювача, опір іншого плеча R та опір навантаження R_n може бути як активним, так і реактивним (\dot{Z} і \dot{Z}_n відповідно). В роботі використовується міст, який характеризується тем, що опір котушок перетворювача має чисто індуктивний опір, а інші опори, що входять до вимірювальної схеми, не містять в собі реактивної складової.

Можна показати, що вихідна напруга, тобто напруга на опорі навантаження R_n , для даної схеми включення описується так:

$$\dot{U}_{\text{ВЫХ}} = \dot{U}_{\text{ВЫХ}} = \frac{\dot{U}_{\text{ХХ}} R_n}{R_n + \dot{Z}_1} / X \quad (2.4)$$

де $\dot{U}_{\text{ХХ}} \approx 2\dot{U}\dot{Z}_0 / (\dot{Z}_0 + R)^2$ – напруга холостого ходу (при $R_n = \infty$),
 $\dot{Z}_i = 2\dot{Z}_0 R / (\dot{Z}_0 + R)$, R – опір кожного із активних плеч моста, а
 \dot{U} – напруга живлення моста.

Чутливість мостової схеми визначається виразом:

$$\dot{S}_{\text{сх}} = \frac{2UR\dot{Z}_0R_{\text{н}}}{(R+Z_0)[2\dot{Z}_0R+R_{\text{н}}(R+Z_0)]} \quad (2.5)$$

Похибки індуктивних перетворювачів в основному обумовлені зміною активної складової їх опорів. Ця похибка адитивна і зменшується в разі застосування мостових схем. Крім того, при зміні температури змінюється магнітна проникність сталі, що призводить до додаткової зміни адитивної і мультиплікативної похибок. Зміни напруги живлення і його частоти також спричиняють зміни чутливості і появи мультиплікативних похибок.

Опис стенду

Стенд являє собою LabVIEW комп'ютерну модель, що розташовується на робочому столі персонального комп'ютера. На стенде (рис. 3.4) знаходяться моделі індуктивного перетворювача, мікрометричного гвинта, електронного мілівольтметра, дослідного макета та генератора сигналів.

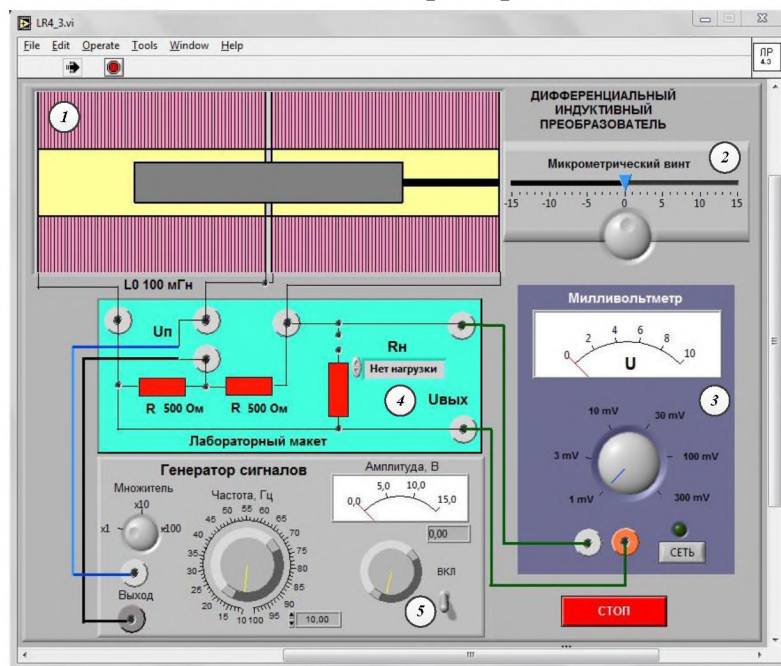


Рисунок 2.4. Модель стенду на робочому столі (1 – індуктивний перетворювач, 2 – мікрометричний гвинт, 3 – електронний мілівольтметр, 4 – дослідний макет, 5 – генератор сигналів)

Моделі засобів вимірювань (див. додаток 1) при виконанні роботи використовуються для рішення наступних задач.

Модель індуктивного перетворювача при моделюванні процесу вимірювань переміщень.

Модель мікрометричного гвинта використовується при моделюванні процесу переміщення плунжера перетворювача.

Модель електронного мілівольтметра використовується при моделюванні процесу вимірювання вихідної напруги вимірювальної схеми індуктивного перетворювача.

Дослідний макет використовується при моделюванні процесу побудови мостової схеми індуктивного перетворювача з двома активними опорами в плечах

моста і обирається опором навантаження з наступних значень: 300 Ом, 500 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 20 кОм, 50 кОм.

Модель генератора сигналу служить для моделювання живлення дослідного макета гармонійним напругою заданого значення і заданої частоти.

Схема з'єднань приладів при виконанні роботи показана на рис. 3.4.

Робоче завдання

1. Запустіть програму практикуму і виберіть роботу №3 «Індуктивні вимірювальні перетворювачі. Вимірювання переміщень »в групі робіт« Вимірювання неелектричних величин». На робочому столі комп'ютера автоматично з'являться модель стенду з моделями засобів вимірювань та допоміжних пристроїв (рис. 3.4) і вікно створеного в середовищі MS Excel журналу, який служить для формування звіту за результатами дослідження.

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 моделі індуктивного перетворювача при здійсненні різних переміщень за допомогою мікрометричного гвинта. Простежте, також за змінами напруги, що вимірюється мілівольтметром. Ознайомтеся з можливими змінами вимірювальної схеми засобами дослідного макета.

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

4. Переведіть мікрометричний гвинт на нульову поділку.

5. Розпочніть виконання дослідження.

Завдання 1. Визначення функції перетворення $f_{xx}(x)$ комплексу, що складається з індуктивного перетворювача і мостового кола, при холостому ході ($R_n = \infty$)

a. Включити генератор сигналів і встановити задані викладачем значення напруги живлення U і його частоти f (рекомендовані значення $U = 10$ В, $f \approx 100$ Гц).

b. Перемикач навантаження макета встановити в стан «Нет нагрязки».

c. Увімкніть мілівольтметр і встановити потрібний межа вимірювань.

d. При знятті функції перетворення робите переміщенням мікрометричним гвинтом в діапазоні ± 15 мм з кроком 1 мм від положення, в якому міст збалансований Кожен раз робите відлік значення напруги на виході макета і записуйте його в відповідному полі табл. 3.1.

e. За досвідченими даними побудуйте графік функції перетворення і розрахуйте середню чутливість досліджуваного комплексу.

Завдання 2. Визначення функції перетворення $f(x)$ комплексу, що складається з індуктивного перетворювача і бруківці ланцюга, при кінцевому значенні опору навантаження

- a. Перемикач навантаження макета встановить в стан, відповідне обраному за вказівкою викладача опору навантаження (наприклад, «300 Ом»),
- b. Повторить пункти з, d, e завдання 1. Формування таблиці і побудова точкової діаграми проводите на наступному аркуші журналу.
- c. За вказівкою викладача виставити інше значення опору навантаження і повторить п. В.
- d. Проаналізуйте отримані функції перетворення $f_{xx}(x)$, $f_1(x)$, $f_2(x)$ і зробіть висновки.

Таблиця 3.1. Функція перетворення комплексу індуктивного перетворювача та мостової схеми включення

$U_H = \underline{\hspace{2cm}}$ В, $f = \underline{\hspace{2cm}}$ Гц, $R_H = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом	
Переміщення x , мм	Вихідна напруга $U_{вих}$, В
-15	
...	
0	
...	
15	
Чутливість, В/м	

В роботі показати:

1. відомості про мету роботи;
2. відомості про використані методи вимірювань;
3. відомості про характеристики використаних засобів вимірювань;
4. необхідні електричні схеми;
5. дані розрахунків, що проводилися при виборі засобів і діапазонів вимірювань, при виконанні відповідних пунктів завдання;
6. експериментальні дані;
7. три повністю заповнені таблиці звіту;
8. графіки;
9. аналіз отриманих даних і висновки про особливості і якості проведених вимірювань і за результатами виконаної роботи;

ВАРІАНТ 3: П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ВИМІР ЗМІННИХ ПРИСКОРЕНЬ

Відомості, необхідні для виконання роботи

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

- Основні характеристики вимірювальних перетворювачів
- Принцип дії, пристрій і характеристики п'єзоелектричних перетворювачів
- Методи вимірювання змінної напруги
- Причини виникнення і способи виключення або обліку динамічних похибок
- Схеми включення і вимірювальні кола п'єзоелектричних перетворювачів
- Пристрої та характеристики засобів вимірювальної техніки, які

використовуються при виконанні даної роботи.

Для вимірювання змінних прискорень застосовуються акселерометри, що складаються з електронного вольтметра і вимірювального перетворювача «прискорення – електрична напруга». Чутливим елементом в акселерометрах зазвичай служить пластинка з п'єзоелектрика – кристал кварцу, сегнетова сіль, кераміка титанату барію і ін. Такі датчики є генераторами змінної ЕРС з дуже великим внутрішнім опором, використання їх для цілей вимірювання практично було б неможливо без електронних вольтметрів.

Якщо до робочих гранях п'єзоелектричної пластинки прикласти силу P , то на цих гранях з'являться протилежні за знаком електричні заряди $+q$ і $-q$. При цьому

$$Q = k \cdot P,$$

де k – п'єзоелектрична постійна, що залежить від матеріалу і форми пластинки та від технології її виготовлення.

При наявності сили P пластинка стає зарядженим конденсатором з різницею потенціалів на обкладках E :

$$E = q/C = (k/C) \cdot P, \quad (3.1)$$

де C – електрична ємність пластинки.

П'єзоелектричні датчики можуть застосовуватися для вимірювання змінних в часі сил, тисків, прискорень, деформацій. На рис. 3.1 приведений ескіз конструкції перетворювача, призначеного для вимірювання прискорень. У корпус 1 вклеєна кільце 3 з кераміки титанату барію. В отворі кільця закріплена інерційна маса 4 з провідникового матеріалу. Підстава перетворювача 2 кріпиться до об'єкта, прискорення якого потрібно виміряти. Провід 5, з'єднаний з інерційною масою 4, виводиться в екранованому кабелі через отвір в підставі. Другий провід, що включає перетворювач в вимірювальну схему, приєднується до корпусу, тобто знаходиться під потенціалом землі.

При переміщенні в просторі об'єкта, що прискорюється, спільно з перетворювачем на п'єзоелектричну пластинку буде діяти сила

$$P = \gamma \cdot m \quad (3.2)$$

де γ – прискорення об'єкту по осі датчика; m – маса деталі 4.

Підставив (3.2) у (3.1), отримаємо вираз функції перетворення датчика:

$$E = (k \cdot m/C) \cdot \gamma = S_D \cdot \gamma \quad (3.2)$$

З цієї формули видно, що різниця потенціалів, що виникає на перетворювачі, прямо пропорційна прискоренню коефіцієнт пропорційності S_D є чутливістю датчика до прискорення.

Різниця потенціалів E безпосередньо виміряти практично неможливо через велику комплексного опору датчика, внаслідок чого підключення вольтметра навіть з дуже великим входним опором веде до того, що напруга на обкладинках п'єзоелектричної пластини стає менше.

На рис. 3.1.а приведена еквівалентна електрична схема п'єзоелектричного перетворювача з підключеним вольтметром (або осцилографом). Перетворювач треба розглядати як джерело ЕРС E , шунтований опором витoku R . Він має власну ємність C . Провід, що йдуть до вольтметра, також мають деяку ємність C_1 . Опір ізоляції між ними R_1 . Сам вольтметр має активний опір R_2 і входну ємність C_2 . Опором з'єднувальних проводів в даній схемі можна знехтувати, оскільки воно мало в порівнянні з іншими опором, зазначеними в схемі.

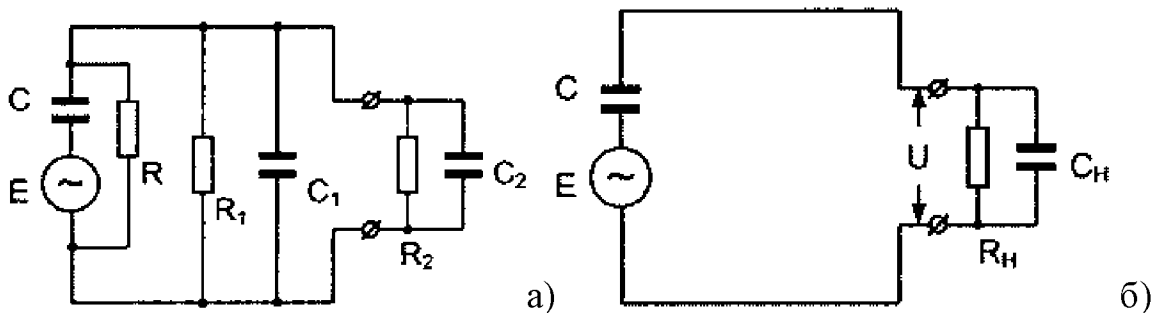


Рис. 3.1. Еквівалентна схема п'єзоелектричного перетворювача C_2 .

Таку еквівалентну схему можна спростити, представив її так, як це показано на рис. 3.2.б, де C_H і R_H є опором і ємністю, які заміщують опори R , R_1 і R_2 та ємності C_1 і C_2 в схемі рис. 3.2.а.

Прискорення y , підлягає вимірюванню акселерометром з п'єзоелектричним датчиком, може змінюватися в часі з найрізноманітніших законам і, зокрема, залишатися постійним

Для аналізу роботи вимірювальних пристроїв в динамічному режимі, коли вимірювана величина не залишається постійною, вдаються до розгляду так званої комплексної частотної функції, що дає закон зміни величини на виході вимірювального пристрою при синусоїдальній зміні величини на вході.

Якщо прискорення \dot{y} буде змінюватися за законом $\dot{y} = \gamma_{max} \sin \omega t$, то, згідно (3.3), ЕРС E в схемі рис. 3.2.б буде вектором: $\dot{E} = S_D \cdot \gamma_{max} \sin \omega t = S_D \cdot \dot{y}$, з амплітудним значенням

$$E_{max} = S_D \cdot \gamma_{max} \quad (3.4)$$

В цьому випадку величина на виході – напруга \dot{U} буде:

$$\dot{U} = \frac{\dot{E}}{\frac{1}{j\omega C} + \frac{R_H}{j\omega C}} \cdot \frac{R_H \frac{1}{j\omega C}}{R_H + \frac{1}{j\omega C}} \quad (3.5)$$

Підставив значення \dot{E} із (3.4) та зробив елементарні перетворення правій частині, отримаємо

$$\dot{U} = S_D \cdot \frac{C}{C+C_H} \cdot \frac{j\omega R_H(C+C_H)}{1+j\omega R_H(C+C_H)} \cdot \dot{\gamma} \quad (3.6)$$

Чутливість акселерометра, що складається з датчика і вимірювального приладу, буде дорівнювати

$$\dot{S} = \frac{\dot{U}}{\dot{\gamma}} = S_D \dot{S}_{\text{изм}} = S_D \cdot \frac{C}{C+C_H} \cdot \frac{j\omega\tau}{1+j\omega\tau} \quad (3.7)$$

Тут $\tau = R_H(C + C_H)$ – постійна часу акселерометра, S_D – величина постійна.

Рівняння (3.7) описує так звану комплексну частотну функцію акселерометра.

Чутливість вимірювача залежить від частоти, та її модуль дорівнює:

$$|\dot{S}_{\text{изм}}| = \frac{C}{C+C_H} \cdot \frac{\omega\tau}{\sqrt{1+\omega^2\tau^2}} = \frac{C}{C+C_H} \cdot |v| \quad (3.8)$$

де $|v| = \frac{\omega\tau}{\sqrt{1+\omega^2\tau^2}}$ – коефіцієнт амплітуди.

Використовуючи (5.6), отримаємо:

$$\dot{U}_{\text{max}} = S_D \cdot \gamma_{\text{max}} \cdot \frac{\omega \cdot R_H \cdot C}{\sqrt{1+\omega^2 R_H^2 (C+C_H)^2}} \quad (3.9)$$

Це рівняння описує амплітудно-частотну характеристику (АЧХ), яка визначає залежність амплітуди напруги U_{max} від амплітуди прискорення γ_{max} та від частоти коливань ω . Як бачимо, залежність U_{max} від γ_{max} є лінійною; залежність від частоти коливань більш складна. На рис. 3.3 показаний характер амплітудно-частотної характеристики акселерометра. З графіка, наведеного на рис 3.3, і з формули (3.9) видно, що при частоті $f = \frac{\omega}{2\pi} = 0$ напруга на затискачах вольтметра дорівнює нулю, тобто за допомогою п'єзоелектричного акселерометра можна вимірювати прискорення (або сили) постійні, які не змінюються в часі

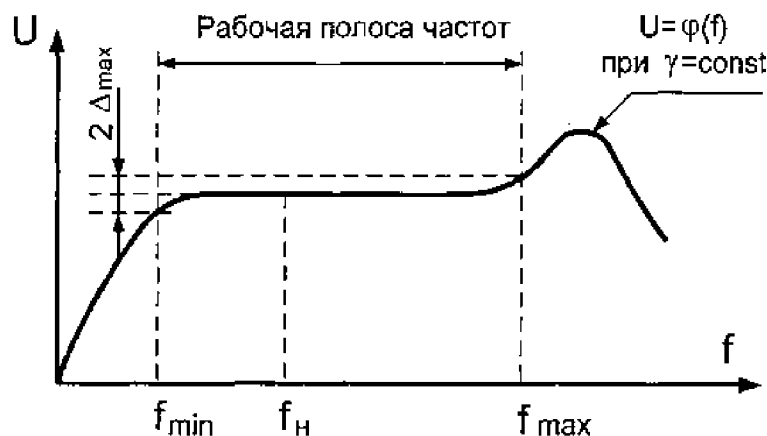


Рис.3.3. Амплітудно-частотна характеристика акселерометра

У міру підвищення частоти напруга U_{max} швидко зростає, потім в деякому діапазоні частот воно мало змінюється. Цей діапазон є тією областю частот, в якій можна користуватися цим приладом для вимірювання з похибками, що лежать в межах допустимих значень. В області високих частот (понад 10 кГц) АЧХ має підвищення при частотах поблизу власної частоти коливань п'єзопластинки. При подальшому зростанні частоти коливань чутливість комплексу з датчика і приладу швидко зменшується, що, однак, не відображено у формулі (3.9), що визначає частотні властивості тільки електричної схеми приладу, але не враховує інерційність і пружні сили п'єзоелектричної пластини з укріпленої в ній металевої деталлю 4 (див. рис. 3.1).

Якщо шкалу акселерометра переписати в значеннях амплітуди прискорення при деякій частоті f_H , то при будь-якій іншій частоті f_I , показання приладу будуть мати похибку, рівну Δ . Величина Δ приділяє частотну похибку приладу. Якщо технічними умовами встановлено, що частотна похибка не повинна перевищувати величину Δ_{max} , то діапазон частоти приладу буде заключений між нижньої граничної частоти f_{min} , і верхньої граничної частоти f_{max} .

Із (3.9) видно, що залежність U_{max} від частоти становиться малою після того, як частота ω досягає значень, при котрих задовольняється нерівність:

$$\omega^2 R_H^2 (C + C_H)^2 \gg 1.$$

Якщо вжити заходів до збільшення R_H , то нижня гранична частота зменшиться, тобто буде розширено робочий діапазон частот. Зниження нижньої граничної частоти можливо і за рахунок збільшення C_H , але це веде до одночасного зниження чутливості акселерометра.

Рівняння (3.9) розкриває закон зміни показань вольтметра зі зміною прискорення і його частоти, але не дає можливості градувати шкалу акселерометра розрахунковим шляхом через труднощі точного визначення числових значень величин S_d , R , R_H , C і C_H в правій частині (3.9). З цієї причини акселерометри з п'єзо датчиками градуїрують по зразковому акселерометру. Можна дійсне значення прискорення синусоїдального коливання знайти не по зразковому акселерометру, а розрахунковим шляхом, виміряючи попередньо тим чи іншим способом частоту і амплітуду коливань корпусу датчика. При синусоїдальному коливанні миттєве значення відстані L центру ваги тіла, що коливається від середнього положення змінюється за законом:

$$L = A \cdot \sin \omega t,$$

де A – амплітуда коливань (половина повного розмаху), ω – кутова частота.

Для обчислення прискорення слід визначити другу похідну d^2l/dt^2 , тобто амплітуду прискорення можна знайти за формулою:

$$\gamma_{max} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot A,$$

де f – частота коливань.

Рівняння (5.9) виведено і дійсно тільки для гармонійних коливань, при цьому умови напруга на затискачах вольтметра теж буде чисто синусоїдальною. Якщо виміряти діюче значення цієї напруги, то з (5.9) отримаємо:

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} S_D \cdot \gamma_{max} \cdot \frac{\omega \cdot R_H \cdot C}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot R_H^2 \cdot (C + C_H)^2}} \quad (3.10)$$

або

$$U = S \cdot \gamma_{max} \quad (3.10)$$

де S – чутливість акселерометра як комплекту з датчика і електронного вольтметра; розмірність чутливості виражається в мілівольтах на одиницю прискорення.

Якщо датчик піддається хоча і періодичних коливань, але містить вищі гармонійні коливання, то свідчення його будуть відмінні від дійсного значення амплітуди випробовується їм прискорення.

У приладобудуванні і авіації часто прискорення вимірюють і вказують не в одиницях системи СІ (м/с^2), а в одиницях, рівних прискоренню вільного падіння, позначаючи цю одиницю літерою g . Кажуть, наприклад, що ракета злітає з прискоренням $9g$, при цьому мається на увазі, що g – прискорення земного тяжіння, тобто прискорення ракети одно $\gamma = 9 \times 9,81 = 88,29 \text{ м/с}^2$.

Шкали акселерометрів градууються в амплітудних значеннях синусоїдально змінюється прискорення в одиницях g . Результат вимірювання за допомогою акселерометра запишеться в такому, наприклад, вигляді: $\gamma_x = 5,5g$. При цьому мається на увазі, що тут γ_x – амплітуда прискорення, що вимірюється, а g – прискорення вільного падіння.

Опис дослідного стенда

Стенд являє собою LabVIEW комп'ютерну модель, що розташовується на робочому столі персонального комп'ютера.

На стенді (Рис. 3.4) знаходяться модель вібростенда з укріпленими на ньому досліджуваним і зразковим п'єзоелектричними перетворювачами (п'єзодатчіками), моделі акселерометра, електронного мілівольтметра, дослідного стенду і генератора сигналів. Моделі засобів вимірювальної техніки при виконанні роботи використовуються для вирішення наступних завдань.

Модель вібростенда забезпечує імітацію механічних синусоїдальних коливань з частотою, рівній частоті подається сигналу, і амплітудою, яку можна регулювати, змінюючи напругу живлення. Модель акселерометра спільно з зразковим п'єзодатчіком є зразковим засобом вимірювань. Модель електронного мілівольтметра служить для вимірювання змінної напруги на виході п'єзодатчика, що досліджується.

Вібростенд служить для вибору додаткового навантаження, що підключається до виходу досліджуваного п'єзодатчика. Можливі три варіанти:

- додаткове навантаження відключена (стан « C_D і R_D відкл.»);
- підключена додаткова активна навантаження R_D ;
- підключена додаткова місткість навантаження C_D .

Модель генератора сигналів служить для живлення вібростенда гармонійним напругою необхідної частоти і амплітуди.

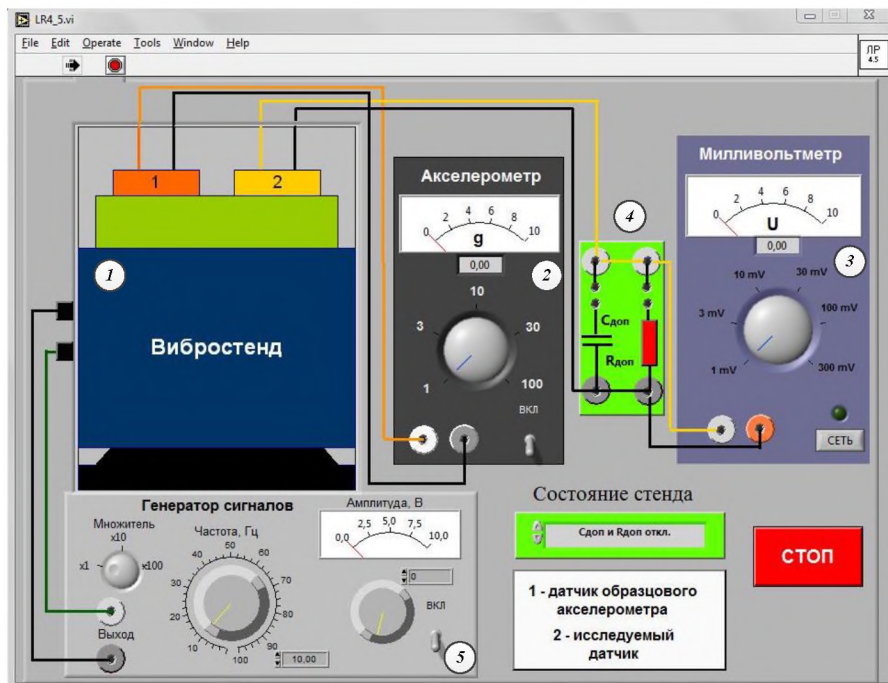


Рис. 5.4. Модель вібростенда на робочому столі (1 - вібростенд до встановлених зразковим і досліджуванім p' єзоелектричним датчиками, 2 - акселерометр, 3 - електронний мілівольтметр, 4 - дослідний макет, 5 - генератор сигналів)

Схема з'єднань приладів при виконанні роботи приведена на рис 3.5 Генератор сигналів ГС підключений до входу живлення вібростенда ВС. Зразковий p' єзодатчик ПДО підключений до акселерометру А. Досліджуваний p' єзодатчик ПДИ підключений до макету ЛМ і входу мілівольтметра МВ Переривчаста лінія на схемі показує механічні зв'язку.

Робоче завдання

1. Вивчіть опис роботи і рекомендовану літературу. Продумайте свої дії за комп'ютером.

2. Запустіть програму практикуму і виберіть роботу №5 « P' єзоелектричні вимірювальні перетворювачі. Вимірювання змінних прискорень» в групі робіт «Вимірювання неелектричних величин». На робочому столі комп'ютера автоматично з'являться модель стенду з моделями засобів вимірювань та допоміжних пристроїв (Рис. 3.4.) І вікно створеного в середовищі MS Excel журналу, який служить для формування звіту за результатами дослідження.

3. Ознайомтеся з розташуванням моделей окремих засобів вимірювальної техніки та інших пристроїв на робочому столі.

4. Ознайомтеся з пристроєм і порядком роботи з моделями за додатком 1 та опису даної роботи. Увімкніть моделі акселерометра і мілівольтметра і випробуйте їх органи управління. Потім включите генератор сигналів і поспостерігайте, як при зміні рівня його вихідної напруги змінюється амплітуда коливань вібростенда, показання акселерометра і мілівольтметра.

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

6. Встановіть органи управління моделей засобів вимірювань і генератора

сигналів на початковій позначці.

7. Розпочніть виконання роботи.

Завдання 1. Визначення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) $U = \varphi(f)$ п'єзодатчика змінних прискорень при $\gamma = \text{const}$

а. Встановіть за вказівкою викладача значення прискорення (наприклад, $\gamma = 4g$) Для цього перемикачем встановіть потрібний межа вимірювань акселерометра і регулятором вихідної напруги генератора сигналів встановіть стрілку на потрібну позначку шкали акселерометра У процесі виконання даного завдання прискорення і, отже, показання акселерометра повинні залишатися постійними.

б. Установіть стан макета « C_d і R_d відкл.» ($C_d = 0, R_d = \infty$)

с. Послідовно встановлюйте різні значення частоти яке живить вібростенда напруги і знімайте показання мілівольтметра, заносючи їх у відповідні комірочки табл. 3.1 Для цього користуйтеся ручкою зміни частоти і перемикачем множника генератора сигналів Діапазон зміни частоти - $0,1 \div 3000$ Гц, загальне число значень - $25 \div 30$ При малих частотах крок потрібно робити також малим і збільшувати його в міру зростання частоти (див. Значення частоти в стовпці А табл. 3.1 на аркуші «АЧХ» журналу).

При визначенні АЧХ стежте за тим, щоб перемикач меж вимірювань мілівольтметра стояв в тому положенні, яке б забезпечувало максимальну точність вимірювань.

д. Установіть стан макета « C_d підкл., R_d відкл.» ($C_d = 500$ пФ, $R_d = \infty$) і повторите п. с.

е. Встановіть стан макету « C_2 відкл., R_2 підкл.» ($C_{\text{доп}} = 0, R_d = 1$ МОм) та повторить п. с.

Завдання 2. Визначення функції перетворення $U = \Psi(g)$ п'єзодатчика змінних прискорень при $f = \text{const}$

а. Встановіть за вказівкою викладача значення частоти яке живить вібростенда напруги (наприклад, $f = 1000$ Гц) Для цього скористайтесь ручкою зміни частоти і перемикачем множника генератора сигналів У процесі виконання даного завдання частота, встановлена на генераторі сигналів, повинна залишатися незмінною.

б. Щоб встановити статус макета « C_d і R_d відкл.». Послідовно встановлюйте різні значення прискорення в діапазоні від 0 до $19g$ з кроком, рівним g . Використовуйте ручку регулювання вихідної напруги генератора сигналів. Значення прискорення визначають за шкалою акселерометра. При кожному значенні прискорення знімайте показання мілівольтметра і заносите їх в відповідному полі табл. 3.2. Слідкуйте за тим, щоб перемикачі меж вимірювань акселерометра і мілівольтметра стояли в тих положеннях, які б забезпечували максимальну точність відповідно установки прискорень і вимірювань вихідного виміру досліджуваного датчика.

Таблиця 5.1. АЧХ п'єзодатчика змінних прискорень

Частота, Гц	Прискорення $\gamma = const =$		
	C_d і R_d відкл.	C_d підкл., R_d відкл.	C_d відкл., R_d підкл.
0,1			
0,3 ... 2500			
3000			

Таблиця 5.2. Функція перетворення і чутливість п'єзодатчика змінних прискорень
Частота $f = const = 1000$ Гц

Прискорення, g	Напруга на виході датчика, мВ
0	
1...19	
Чутливість, мВ/д	

Завдання 3. Обробка експериментальних даних

а. Використовуючи засоби Excel, побудуйте за даними першого завдання все три криві АЧХ $U = \varphi(f)$ на одному графіку. По осі частот повинен бути обраний логарифмічний масштаб. Відзначте на цьому графіку нижні граничні частоти для кожної кривої, прийнявши допустиме значення частотної похибки

$$\Delta_{max} = (0,1 + 0,2)U_H,$$

де U_H – напруга при частоті, рівній 1000 Гц.

б. Вивчіть побудовані АЧХ і зробіть висновки.

с. Побудуйте графік функції перетворення $U = \Psi(g)$ досліджуваного п'єзодатчика. Визначте його чутливість.

д. На частоті, зазначеної викладачем, за формулою (3.9) проведіть розрахунок значень вихідної напруги для всіх трьох випадків додаткових навантажень. У розрахунках використовуйте наступні значення (див Рис5.2а):

$$C = 400 \text{ пФ}; C_1 + C_2 = 100 \text{ пФ}; C_d = 500 \text{ пФ}; R \parallel R_1 \parallel R_2 = 100 \text{ МОм}; R_d = 1 \text{ МОм}$$

е. Сформулюйте і запишіть в звіт висновки про виконану роботу.

1.1. збережіть результати.

1.2. Після збереження результатів закрийте додаток LabVIEW і, при необхідності, вимкніть комп'ютер.

В роботі показати:

- відомості про мету роботи;
- відомості про використані методи вимірювань;
- відомості про характеристики використаних засобів вимірювань;
- необхідні електричні схеми;
- дані розрахунків, що проводилися при виконанні відповідних пунктів завдання;

завдання;

- експериментальні дані та повністю заповнені таблиці звіту, графіки;
- аналіз отриманих даних і висновки про особливості і якості проведених вимірювань і за результатами виконаної роботи;

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 вимірвальна 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