

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування факультету)

Кафедра інформаційної безпеки та наноелектроніки
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка
до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз непрямих вимірів на базі апаратно-програмної
платформи NI ELVIS

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) б курсу, групи
БК-412м

Спеціальності 152 Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Безпека інформаційних і комунікаційних
мереж

ТАФТАЙ Є.І.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник РЕВА В.І.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій

Кафедра інформаційної безпеки та наноелектроніки

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Якість, стандартизація та сертифікація

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ІБтаН

Андрій КОРОТУН

« ____ » _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ТАФТАЙ Єгора Ігоровича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз непрямих вимірів на базі апаратно-програмної платформи NI ELVIS

Analysis of indirect measurements based on the NI ELVIS hardware and software platform

керівник проєкту (роботи) к.т.н., РЕВА Віталій Ігорович,

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « ____ » _____ 2023 року № ____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 11.12.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) програмно-апаратне середовище NI ELVIS з багаторазового вимірювання електричних величин та програмний пакет NI ELVIS.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Розробка лабораторної роботи з використанням навчальної платформи NI ELVIS.

Класифікація вимірів. Основні поняття та положення в метрології. Метрологічні характеристики засобів вимірів. Обробка результатів непрямих вимірів. Апаратні компоненти NI ELVIS. Дослідження апаратних компонентів NI ELVIS з метою створення комплексу лабораторних робіт.

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

Презентація доповіді (в MS PowerPoint), 19 слайдів.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	РЕВА В.І, доцент кафедри ІБтаН	04.09.2023	28.10.2023
Нормоконтроль	КОРОЛЬКОВ Р.Ю, доцент кафедри ІБтаН	07.12.2023	08.12.2023

7. Дата видачі завдання «04» вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел за тематикою дослідження	04.09.23 – 18.09.23	Виконано
2.	Місце дисципліни у навчальному процесі	19.09.23 – 21.09.23	Виконано
3.	Огляд методів вимірювань	22.09.23 – 25.09.23	Виконано
4.	Основні поняття та положення метрології	26.09.23 – 30.09.23	Виконано
5.	Аналіз об'єкта дослідження	02.10.23 – 10.10.23	Виконано
6.	Розрахунки та аналітика	11.10.23 – 29.10.23	Виконано
7.	Розробка методичної вказівки	03.11.23 – 13.11.23	Виконано
8.	Оформлення матеріалів магістерської роботи	15.11.23 – 09.12.23	Виконано

Студент(ка)

(підпис)

Єгор ТАФТАЙ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Віталій РЕВА

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 54 с., 11 табл., 7 рис., 20 джерел.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА, МЕТОДИКА, ELVIS, НЕПРЯМІ ВИМІРИ,
МЕТРОЛОГІЯ

Актуальність теми. Використання сучасної техніки в лабораторній роботі.

Об'єкт дослідження - програмно-апаратне середовище NI ELVIS з багаторазового вимірювання електричних величин.

Предмет дослідження - платформа NI ELVIS.

Мета роботи - практичне застосування у вимірах статистичних характеристик електронних компонентів у програмно-апаратному середовищі NI ELVIS.

Задачі дослідження: розробка лабораторної роботи.

Наукова новизна одержаних результатів: використання NI ELVIS у навчальному процесі.

Практичне значення одержаних результатів: набуття навичок и знань у процесі вивчення нового матеріалу с використанням програмно-апаратного середовища NI ELVIS.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis: 54 p., 11 table, 7 figure, 20 sources.

LABORATORY WORK, METHODOLOGY, ELVIS, INDIRECT MEASUREMENTS, METROLOGY

Actuality of theme. Use of modern equipment in laboratory work.

The research object is the NI ELVIS hardware and software environment for multiple measurement of electrical quantities.

The subject of research is the NI ELVIS platform.

The purpose of the work is practical application in the measurement of statistical characteristics of electronic components in the NI ELVIS hardware and software environment.

Research objectives: development of laboratory work.

Scientific novelty of the obtained results: the use of NI ELVIS in the educational process.

Practical significance of the obtained results: acquisition of skills and knowledge in the process of learning new material using the software and hardware environment NI ELVIS.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Дисципліна «Метрологія» у навчальному процесі.....	8
1.1 Структура та зміст дисципліни метрологія.....	8
1.2 Місце дисципліни у навчальному процесі.....	9
1.3 Концепція освітньої програми.....	10
2 Основні поняття та положення в метрології.....	12
2.1 Класифікація вимірів.....	14
2.2 Метрологічні характеристики засобів вимірів.....	17
2.3 Обробка результатів непрямих вимірів.....	23
3 Об'єкт та методи дослідження.....	25
3.1 Апаратні компоненти NI ELVIS.....	27
3.2 Віртуальні інструменти.....	32
4 Розрахунки та аналітика.....	34
5 Методична вказівка для проведення лабораторної роботи.....	44
Висновки.....	52
Перелік джерел посилання.....	53

ВСТУП

Навчальний підрозділ ІБтаН забезпечує проведення занять із дисципліни «Метрологічне забезпечення якості продукції». Дисципліна включає лабораторні роботи, створені за для вдосконалення навичок у обробці результатів експерименту.

В освітньому стандарті для спеціальностей є компетенції, які реалізує дисципліна МЗЯП. Ця дисципліна є однією з важливих, до складу якої входять практичні роботи, лабораторні роботи, лекції. Лабораторний цикл проводився за методичними вказівками призначеним для курсу з метрології, проте наявна лабораторна база в підрозділ на NI ELVIS дозволяє проводити лабораторні роботи і на вищому рівні.

Таким чином, удосконалення курсу може бути проведене за допомогою розробки методичного матеріалу лабораторних робіт з дисципліни «Метрологічне забезпечення якості продукції» у програмно-апаратному середовищі NI ELVIS.

У цій кваліфікаційній роботі було розроблено лабораторну роботу з метрології та досліджено можливості програмно-апаратного середовища NI ELVIS з багаторазового вимірювання електричних величин. Метою є практичне застосування у вимірах статистичних характеристик електронних компонентів.

1 ДИСЦИПЛІНА «МЕТРОЛОГІЯ» У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

1.1 Структура та зміст дисципліни метрологія

Об'єктом дисципліни є чотири види діяльності: технічне законодавство, стандартизація, метрологія, сертифікація.

Метрологія складається з трьох основних розділів:

- теоретичний або фундаментальний - розглядає загальнотеоретичні проблеми (розвиток теорії та проблем вимірювання фізичних величин, їх одиниць, методів вимірювання);
- прикладна вивчає питання практичного застосування розробок теоретичної метрології, у її віданні перебувають усі питання метрологічного забезпечення;
- законодавча - встановлює обов'язкові технічні та юридичні вимоги щодо застосування одиниць фізичної величини, методів та засобів вимірів.

Зазначені види діяльності визначають розподіл дисципліни відповідно на чотири розділи. В рамках кожного виду діяльності розглядаються структурні елементи: цілі та завдання, принципи, об'єкти, суб'єкти, засоби, методи та база.

У метрології для підтримки заданого режиму технологічного процесу оцінки якості продукції необхідно мати точну кількісну інформацію. Отримати її можна лише за допомогою вимірів.

Метрологія є наукою про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності, та способи досягнення необхідної точності. Предметом метрології є вилучення кількісної інформації про властивості об'єктів із заданою точністю та достовірністю. Засобом метрології є сукупність вимірювань та метрологічних стандартів, які забезпечують необхідну точність [1].

Забезпечення єдності вимірів у країні, створення еталонів та нових методів вимірів покладено на Державну метрологічну службу, що перебуває у

віданні Держстандарту. Метрологія має велике значення для стандартизації та уніфікації технологічних процесів та виробів.

1.2 Місце дисципліни у навчальному процесі

Дисципліна "Метрологічне забезпечення якості продукції" є частиною професійного розділу для всіх напрямів підготовки. Перед освоєнням дисципліни студентами мають бути вивчені такі дисципліни: математика, фізика, електротехніка.

Студент повинен знати:

- правила округлення результатів вимірів;
- теоретичні основи метрології та стандартизації;
- принципи дії засобів вимірів;
- методи вимірів різних фізичних величин;
- основні фізичні величини, їх визначення та одиниці виміру, систему відтворення одиниць фізичних величин та передачі розміру засобами виміру;
- види похибки вимірів, способи вираження похибок виміру, класи точності, основи обробки та оцінки результатів вимірів;
- види, склад та принципи розробки метрологічного забезпечення;
- принципи та цілі стандартизації та технічного регулювання;
- Системи стандартів.

Студент повинен вміти:

- застосовувати засоби вимірів різних фізичних величин;
- здійснювати вибір засобів вимірювань за заданим метрологічним характеристикам;
- обирати методики випробувань;
- здійснювати пошук стандартів;
- розумітися на класифікації стандартів;

- проводити вимірювання та обробляти результати.

Володіти:

- методами вимірювань, контролю та випробувань;
- методами оцінювання похибок і невизначеності з застосуванням сучасних інформаційних технологій;
- методи перевірки та калібрування;
- методами розрахунку метрологічних характеристик коштів вимірів;
- типовими методами контролю якості продукції та послуг;
- процедурами затвердження типу засобів вимірів;
- методами та засобами розробки та оформлення технічної документації.

1.3 Концепція освітньої програми

Освітня програма в галузі стандартизації та метрології має міждисциплінарний характер, оскільки відповідні фахівці затребувані практично в кожній галузі народного господарства. Випускники освітньої програми повинні мати підготовку, що дозволяє вирішувати професійні завдання в різних предметних галузях. У зв'язку з цим студенти отримують розширену фундаментальну підготовку з математичного, природничого та суспільно-економічного циклів дисциплін.

Особливість даної освітньої програми полягає в орієнтації на створення та застосування інформаційних технологій у реалізації процесів та вирішення проблем у галузі метрології. Акценти в навчанні зроблено на освоєнні методів вимірювань електричних величин, на отриманні компетенцій в галузі електроніки та мікропроцесорної техніки, а також формування навичок володіння технологіями програмування комп'ютерних вимірювальних систем.

Це дозволяє брати участь у створенні, експлуатації та в метрологічному забезпеченні робочих еталонів та прецизійних засобів вимірювань, працювати у галузі метрологічного забезпечення складних вимірювальних комплексів, що входять до складу сучасних технологічних ліній та систем контролю якості, а також брати участь в атестації програмного забезпечення комп'ютерних вимірювальних систем.

Таблиця 1.1 - Цілі освоєння дисципліни

Код цілі	Формулювання мети освоєння дисципліни «Метрологічне забезпечення якості продукції»
Ц1	Підготовка до виробничо-технологічної діяльності у сфері виробництва, обробки та подання даних вимірювань, випробувань і контролю, управління якістю продукції та послуг, метрологічного та нормативного забезпечення виробництва.
Ц2	Підготовка до організаційно-управлінської діяльності у сфері забезпечення єдності вимірювань, систем управління якістю та акредитації метрологічних, випробувальних, науково-дослідних та інспекційних підрозділів.
Ц3	Підготовка до науково-дослідної діяльності в галузі сучасних методів і засобів вимірювань, випробувань і контролю, а також інформаційних технологій метрологічного забезпечення, стандартизації, сертифікації та управління якістю.
Ц4	Підготовка до проектно-конструкторської діяльності в галузі розробки точних засобів вимірювальної системи, їх метрологічної та програмне забезпечення.
Ц5	Готовність до пошуку та отримання нової інформації, необхідної для вирішення інженерних завдань у своїй галузі, до активної участі в інноваційній діяльності підприємства; готовність до самонавчання та постійного професійного самовдосконалення.
Ц6	Сформованість кругозору, ерудиції, розуміння соціальної культури, естетичного сприйняття світу, наукового мислення, комунікабельності, корпоративної етики, вміння вести дискусію та відстоювати свою думку, розуміння глобальних тенденцій соціально-політичного розвитку суспільства та відповідальності за їх досягнення.

2 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ПОЛОЖЕННЯ В МЕТРОЛОГІЇ

Фізична величина - одна з властивостей фізичного об'єкта, яка якісно є спільною для багатьох фізичних об'єктів, але кілька разів індивідуальна для кожного з них.

Одиниця фізичної величини - це фізична величина фіксованого розміру, якій умовно надається числове значення, що дорівнює 1, і використовується для числа однорідних з нею виразів фізичних величин.

Технічні вимірювання виділяють клас вимірювань, що здійснюються у виробничих і експлуатаційних умовах, коли точність вимірювання використовується за допомогою вимірювання.

Вимірювання - це сукупність операцій із застосуванням технічного завдання, що зберігає одиницю фізичної величини, що забезпечує знаходження масштабної величини з її одиницею та отримання значення цієї величини.

Єдність вимірювань - це такий стан вимірювань, при якому їх результати виражені в законних одиницях і похибки відомі із заданою ймовірністю. Єдність вимірювань необхідна для того, щоб можна було порівнювати результати вимірювань, проведених у різний час, різними методами і засобами вимірювання, а також у різних географічних точках.

Єдність вимірювань забезпечується їх властивостями: збіжністю результатів вимірювань; відтворюваність результатів вимірювань; правильність результатів вимірювання.

Збіжність - це близькість результатів вимірювання, отриманих одним і тим же методом, однаковими засобами вимірювання, і близькість до нуля випадкової похибки вимірювання.

Відтворюваністю результатів вимірювань характеризуються багато результатів вимірювань, отриманих методом звичайного використання вимірювань (природно з однаковою точністю).

Правильність результатів вимірювань підвищується і правильністю самих методів вимірювання, і правильністю їх використання в процесі вимірювання, і навіть до нульової систематичної похибки вимірювання.

Засіб вимірювання - це технічний пристрій, який використовується для вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

Результат вимірювання - це значення фізичної величини, знайдене шляхом її вимірювання. У процесі вимірювання на засіб вимірювання, оператора та об'єкт вимірювання впливають зовнішні фактори, названий вплив здійснюють фізичні величини.

Ці фізичні величини не вимірюються вимірюванням, але впливають на результат вимірювання. Недосконалість виробництва засобів вимірювань, неточність їх градування, зовнішні чинники (температура зовнішнього середовища, вологість повітря, вібрація тощо), суб'єктивні помилки оператора та багато інших факторів, що впливають на фізичні величини, є другорядними причинами поява похибок вимірювання.

Точність вимірювань характеризує якість вимірювань, що відображає близькість їх результатів до істинного значення вимірюваної величини, тобто близьку до нуля похибку вимірювання.

Похибка вимірювання - відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини.

Під істинним значенням фізичної величини розуміють таке значення, яке ідеально відобразилося б у якісному та якісному зв'язку відповідних властивостей об'єкта вимірювання.

Основні постулати метрології: справжнє значення певної величини є сталим; Справжнє значення вимірюваної величини знайти неможливо. З цього випливає, що результат вимірювання математично пов'язаний з вимірюваною величиною ймовірною залежністю.

Якщо справжнє значення є ідеальним значенням, то наскільки близьким до нього є потрібне справжнє значення.

Справжнє значення фізичної величини - це значення фізичної величини, знайдене дослідним шляхом і настільки близьке до справжнього значення, що його можна використовувати замість нього. Фактично, як дійсне значення, середнє арифметичне значення вимірюваного значення втрачається.

Розглянувши поняття вимірювань, необхідно розрізняти суміжні терміни: контроль, випробування та діагностика.

Контроль - окремий випадок вимірювання, який здійснюється за допомогою встановленої відповідності вимірюваної величини заданим межам.

Тестування - відтворення заданої стійкості певних впливів, вимірювання параметрів об'єкта випробування та його реєстрація.

Метод вимірювань - це спосіб або сукупність прийомів порівняння вимірюваної фізичної величини з її одиницею відповідно до реалізованого принципу вимірювання.

2.1 Класифікація вимірів

Залежно від способу отримання значення вимірювання вимірювання поділяють на 4 види:

- прямі вимірювання полягають в експериментальному порівнянні вимірюваної величини з мірою цієї величини або в сегменті показаного вимірювального приладу, що разом дає значення вимірюваної величини;

- результати непрямих вимірювань отримують на основі прямих вимірювань величини, яка має відому залежність від вимірюваної величини. Наприклад, визначення об'єму суцільної правильної геометричної фігури за результатами безпосередніх вимірювань її лінійних розмірів і відповідного математичного розрахунку. Це точно так само перед визначенням щільності матеріалів межа міцності на стиск;

- одночасні вимірювання двох чи більше невід'ємних величин використовуються для знаходження зв'язку між ними. У цьому значенні вимірювальних величин знаходять значення за даними багаторазових прямих або непрямих вимірювань невід'ємних величин. Повторні вимірювання проводять при різних комбінаціях мір або при змінних умовах, що дає можливість скласти систему рівнянь, розв'язуючи які, знаходять шукане значення вимірюваної величини. Такий метод, наприклад, можна спробувати по відношенню до модуля пружності бетону;

- кумулятивні назви - це одночасно вироблені вимірювання кількох одноразових величин, у яких шукані значення знаходять рішення системи рівнів, що містяться в прямих вимірюваннях різних комбінацій цих величин.

За способом вираження результати вимірювань поділяють на абсолютні та відносні.

Абсолютне вимірювання - вимірювання, засноване на прямих вимірюваннях кількох або декількох основних величин i (або) з використанням значень фізичних констант.

Результат вимірювання виражається в одиницях ФВ.

Відносне вимірювання - це вимірювання відношення величини до еквівалента, яке відіграє роль одиниці, або вимірювання зміни вартості по відношенню до еквівалента, що вимагається для оригіналу. Величина, отримана в результаті відносних вимірювань, може бути як безрозмірною, так і вираженою у відносних логарифмічних одиницях та інших відносних одиницях.

Залежно від характеру поведінки вимірюваної величини розрізняють статичні та динамічні вимірювання.

Статичне вимірювання - вимірювання ФВ, яке проводиться відповідно до конкретного завдання вимірювання протягом постійного потоку часу вимірювання.

Динамічне вимірювання - вимірювання змінюється відповідно до розміру ФВ.

За своїм ходом динамічні вимірювання можуть бути безперервними (якщо технічні засоби не можуть постійно контролювати значення вимірюваної величини) і дискретними (якщо значення вимірюваної величини фіксуються лише в певні моменти часу).

Під принципом вимірювання розуміють фізичне явище або ефект, що є основою вимірювань.

Метод вимірювання - це методика або набір методик для порівняння вимірюваної ФВ з її одиницею відповідно до реалізованого принципу.

Існує два основних методи вимірювань: метод однієї оцінки і метод порівняння.

Метод усередненої оцінки - метод вимірювання, при якому значення величини починають за приладом, що показує засіб вимірювання. Іноді цей метод називають методом прямого перетворення.

Метод порівняння (з міркою) - метод вимірювання, при якому вимірювана величина порівнюється з величиною, відтвореною мірою.

Метод порівняння може бути реалізований у таких модифікаціях:

- нульовий метод (компенсаційний) - метод порівняння з мірою, при якому ефективний вплив вимірюваної величини ефекту і міри на порівняльний прилад зводяться до нуля;

- диференціальний метод - метод вимірювання, при якому вимірювана величина порівнюється з однорідною величиною, яка має відоме значення, що незначно відрізняється від значення вимірюваної величини, і при якому вимірюється різниця між цими двома величинами;

- метод збігів - метод, при якому різницю між вимірюванням і відомою величиною вимірюють за допомогою збігу позначок шкали або періодичних сигналів;

- метод протиставлення - метод, при якому вимірювана і відома величини одночасно впливають на засіб порівняння, за допомогою якого визначається сума між цими величинами.

Залежно від методу вимірювання та властивостей вимірювальних інструментів, які використовуються, усі вимірювання можуть виконуватися як з одноразовими, так і з кількома спостереженнями.

Спостереження - це операції, які виконуються під час вимірювання і спрямовані на випадковий і правильний підрахунок.

Результат є випадковим (це одна експериментальна операція).

Будь-який вимір потрібно продумати заздалегідь, скласти план вимірювання. У зв'язку з цим в теорію вимірювань вводиться поняття методології вимірювань - сукупності правил і процедур виконання вимірювань, що забезпечують отримання результатів вимірювань, точність яких знаходиться в установлених межах із заданою ймовірністю. Процедура проведення вимірювань з її алгоритмом вимірювання є приписом до процедури виконання операцій, які забезпечують вимірювання бажаного значення ФВ.

2.2 Метрологічні характеристики засобів вимірів

Найважливішими потужними засобами вимірювання є ті, які відрізняються якістю підтримуваної вимірювальної інформації.

Якість вимірювань характеризується точністю, достовірністю, правильністю, збіжністю та відтворюваністю вимірювань, а також розміром допустимих похибок.

Метрологічні характеристики (властивості) засобу - це такі характеристики, які призначені для оцінки технічного рівня та якості вимірювання, визначення результатів вимірювання та оцінки характеристик приладового складу похибки вимірювання.

Характеристики, призначені для визначення результатів вимірювання (без внесення поправки):

- функція перетворення вимірювального перетворювача;
- значення однозначної чи багатозначної міри;
- ціна розподілу шкали мір вимірювального приладу;
- тип коду, кількість біт коду.

Характеристика похибки засобу вимірювання - систематична та випадкова складові похибки, варіація вихідного сигналу засобу вимірювання або характеристика похибки вимірювання приладу.

Характеристика чутливості засобу вимірювання до величини впливу - функція впливу або зміни значення метрологічної характеристики засобу вимірювання, викликані зміною величини впливу в установлених межах.

Динамічні характеристики засобів вимірювань за розподілом на повні та приватні. До повних динамічних характеристик відносяться: перехідна, амплітудно-фазова та імпульсна характеристики, передатна функція, а до приватних - час реакції, коефіцієнт демпфування, постійний час, значення кругової частоти власного резонансу.

Неінформативні параметри вихідного сигналу засобу вимірювальної техніки - параметри вихідного сигналу, які не використовуються для передачі або вказівки значення інформативного параметра вхідного сигналу вимірювального перетворювача або міри, що не є вихідною величиною.

Розглянемо більш детально метрологічні показники засобів вимірювальної техніки, які зустрічаються.

Ціною поділки шкали є різниця, що має значення величини, що відповідає двом сусіднім відміткам шкали.

Розділ розподілу шкали - це відстань між серединами двох сусідніх шкал масштабу.

Початковим і кінцевим значенням шкали є наступні за найменшим і найбільшим значеннями вимірюваної величини, вказані на шкалі, які характеризують можливості шкали вимірювального засобу і завершення відображення.

Діапазон свідчень - область значень шкали, обмежена початковим та кінцевим значеннями шкали. Цю характеристику часто називають межами виміру за шкалою.

Діапазон виміру, який часто називають межею виміру засобу виміру - це діапазон значень вимірюваної величини, який може бути виміряний даним засобом виміру і для якого нормується похибка засобу вимірювання, що допускається.

Однією з основних характеристик вимірювання лінійних і кутових величин контактним методом є вимірювальна сила, яка збільшує величину в зоні контакту вимірювального наконечника з вимірюваною поверхнею в напрямку вимірювальної лінії. Необхідно забезпечити стабільне замикання вимірювального ланцюга. Залежно від допуску контрольованого виробу (2-10) мкм рекомендовані величини вимірювального зусилля знаходяться в межах 2,5 - 3,9 Н, а понад 10 мкм - 9,8 Н.

Властивість досліджуваного вимірювання, яка обумовлює його здатність реагувати на зміни вимірюваної величини, називається чутливістю. Оцінюється відношенням зміни стану індикатора на шкалі до відповідної зміни вимірюваної величини.

Поріг чутливості вимірювального дослідження - це зміна вимірюваної величини, яка зменшує найменшу зміну її показань, що виявляється при звичайному еталонному методі. Ця характеристика важлива при оцінці малих переміщень.

Варіація показує найбільшу експериментально збільшену різницю між повторними показаннями вимірювання, що відповідають тому самому справжньому значенню вимірюваної величини за незмінних зовнішніх умов. Стандартна варіація, показана при вимірюванні засобу, становить 10 ... 50% від ціни розділення, це багаторазове розрядження вимірювального наконечника.

Похибка вимірювання - це відхилення Δ результату виміру $X_{\text{вим}}$ від дійсного значення $Q_{\text{д}}$ вимірюваної величини: $\Delta = X_{\text{вим}} - Q_{\text{д}}$. Тоді похибка

засобу вимірювання Q_{Π} - це різниця між показанням приладу X_{Π} і дійсним значенням величини, що вимірюється:

$$\Delta = X_{\Pi} - Q_{\Pi}, \quad (2.1)$$

Поряд з термінами «похибка вимірювання», «похибка кожного вимірювання» використовується поняття «точність вимірювання», що відображає багато його результати до дійсного значення вимірюваної величини. Висока точність вимірювань відповідає малим похибкам вимірювань. Фактично похибки вимірювання класифікуються відповідно до їх виникнення та типу похибок.

Інструментальні похибки виникають через недостатньо якісні елементи засобів вимірювання та контролю. Ці помилки включають помилки виготовлення та складання вимірювання даним ЗВ; похибки, обумовлені тертям в механізмі ЗВ, недостатньою жорсткістю його деталей і т. д. Інструментальна похибка індивідуальна для кожної ЗВ.

Причиною методичних помилок є недосконалість методу вимірювання, тобто те, що ми свідомо вимірюємо, перетворюємо або використовуємо на виході засобу вимірювання, є не тією величиною, яка нам потрібна, а іншою, яка лише приблизно відображає бажане.

Основні та додаткові помилки. Основною похибкою є похибка засобів вимірювальної техніки, що використовуються в нормальних умовах, передбачена нормативно-технічними документами (НТД). Відомо, що поряд з чутливістю до вимірюваної величини засіб вимірювання має деяку чутливість до невимірюваної, але впливає на величину, наприклад, температури, атмосферного тиску, вібрацій, ударів. Тому будь-який засіб вимірювання має основну похибку, яка відображається в НТД.

При використанні засобів вимірювань і контролю у виробничих умовах забезпечується значне відхилення від нормальних умов, що викликає додаткові похибки.

Похибки засобів виміральної техніки нормуються за встановленими межами допустимої похибки. Межею допустимої похибки вимірювання є найбільша (без урахування знаку) похибка всього вимірювання, при якій воно може бути розпізнано і дозволено до використання. Наприклад, межі допустимої похибки 100 мм кінцевої міри довжини класу 1 становлять ± 50 мкм, а для амперметра класу 1,0 становлять $\pm 1\%$ від верхньої межі вимірювань.

Похибки засобів вимірювання (ЗВ) можуть виражатися:

у вигляді абсолютної похибки Δ :

для міри:

$$\Delta = X_n - X_d, \quad (2.2)$$

де X_n - Номінальне значення; X_d - дійсне значення вимірюваної величини;

$$\Delta = X_{\Pi} - X_d, \quad (2.3)$$

де X_{Π} - показ приладу;

у вигляді відносної похибки (100%):

$$\delta = (\Delta / X_d) \times 100, \quad (2.4)$$

у вигляді наведеної похибки (100%):

$$\gamma = (\Delta / X_N) \times 100, \quad (2.5)$$

де X_N - нормуюче значення вимірюваної фізичної величини.

Як нормуючого значення може бути прийнята межа вимірювання даним ЗВ. Наприклад, для ваги з межею вимірювання маси 10 кг $X_N = 10$ кг.

Якщо в якості нормуючої величини необхідний діапазон у всій шкалі, то абсолютну похибку приписують значенню цього діапазону в одиницях вимірюваної фізичної величини.

На кожній ЗВ помилка вказана тільки в якійсь одній комісії.

Якщо похибка ЗВ за незмінних зовнішніх умов постійна у всіх діапазонах вимірювань, то:

$$\Delta = \pm a, \quad (2.6)$$

Якщо вона змінюється у вказаному діапазоні, то:

$$\Delta = \pm(a + bx), \quad (2.7)$$

При $\Delta = \pm a$ похибка називається адитивною. Для адитивної похибки

$$\delta = \pm p, \quad (2.8)$$

Для мультиплікативної похибки:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_{\Pi}}{x_{\text{д}}} \right| \right) - 1 \right], \quad (2.9)$$

Наведена похибка:

$$\gamma = \pm q, \quad (2.10)$$

Для узагальненої характеристики точності засобів вимірювань, яка визначається межами похибок (основної та додаткової), що допускаються, а також іншими їх властивостями, що впливають на похибку вимірювань, прийнято поняття «клас точності вимірювань». інструментів». ГОСТ 8.207 [20] регламентує єдині правила встановлення меж похибки показань за

класами точності засобів вимірювальної техніки. Класи точності зручні для порівняльної оцінки якості засобів вимірювання, їх вибору, міжнародної торгівлі.

Класи точності забезпечують засоби вимірювання під час проектування. У процесі експлуатації метрологічні характеристики вимірювальних приладів погіршуються. Тому допускається зниження їх класу точності за результатами метрологічної атестації.

2.3 Обробка результатів непрямих вимірів

При обробці результатів непрямих вимірів рекомендується наступна послідовність дій:

- здійснити вимірювання номінальних значень;
- визначити середнє арифметичне значення та середнє квадратичне відхилення результату вимірів;
- перевірити гіпотезу про нормальний розподіл результатів спостережень, використовуючи критерій Пірсона;
- побудувати гістограму емпіричного розподілу результатів багаторазових вимірів;
- перевірити та виключити грубі похибки за допомогою одного з критеріїв;
- провести обробку результатів багаторазових спостережень відповідно до методики;
- оцінити невизначеність вимірів.

Невизначеність вимірювань є інтегральним параметром, який характеризує розкид значень величини, що приписується вимірюваній величині на основі використаної інформації.

Невизначеність вимірювань, як і похибки вимірювань, можна класифікувати за повною ознакою: за місцем (джерелом) вони проявляються як методичні, інструментальні та суб'єктивні; за проявом на випадкові, систематичні та грубі; на абсолютні та відносні за способом їх вираження.

За характером прояву невизначеність вимірювання поділяється на два види: невизначеність типу А і типу В.

- невизначеність, оцінена як А - невизначеність, оцінена статистичними методами;

- невизначеність, оцінена як В - невизначеність, оцінена нестатистичними методами;

При цьому запропоновано два методи оцінки невизначеності А і В:

- для невизначеності типу А - використання відомих статистичних оцінок середнього арифметичного та середнього квадратичного з використанням результатів вимірювань і підтримки, в основному, за нормальним законом розподілу отриманих значень;

- для невизначеності типу В - використання апріорної нестатистичної інформації, спираючись переважно на єдиний закон розподілу можливих значень у межах.

Таким чином, поділ на систематичні та випадкові похибки визначається характером їх виникнення і проявляється під час виконання вимірювань, а поділ на невизначеності, обчислені за типом А і типом В, - методами їх отримання та використання в розрахунках повної невизначеності.

3 ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження випускної кваліфікаційної роботи є віртуальна лабораторна робота.

Лабораторні роботи з метрології потребують використання сучасного вимірювального обладнання. Крім цього обладнання має бути розраховане на використання студентами, отже, важливими його характеристиками є безпека, простота використання, можливість отримання знань та навичок, які будуть корисними для подальшої професійної діяльності учнів. Навчальна платформа NI ELVIS [19] є підходящим варіантом для вирішення цього завдання.

Метою лабораторного циклу є:

- експериментальне вивчення теоретичних основ дисципліни, що вивчається;
- отримання практичних навичок постановки та проведення експерименту над різними об'єктами дослідження;
- освоєння навичок роботи з засобами спостереження, вимірювання та контролю;
- подання результатів оброблених даних і досліджень у вигляді таблиць чи графіків.

Виконання лабораторної роботи містить три етапи:

- поза аудиторна підготовка до лабораторної роботи;
- аудиторне лабораторне заняття, що включає оцінку підготовки студента до лабораторної роботи, проведення експерименту, обробка його результатів;
- поза аудиторне оформлення звіту про виконану лабораторну роботу.

У NI ELVIS використовується програмне забезпечення, розроблене серед LabView [19], і апаратура збору даних NI для створення віртуальної вимірювальної системи, що має функціональні можливості комплексу найбільш поширених лабораторних приладів. Ця установка може працювати в

LabVIEW за допомогою програмних драйверів NI ELVISmx [19], спеціально розроблених для неї або за допомогою стандартних драйверів пристроїв у середовищі LabVIEW. Застосування стандартних драйверів дає можливість студентам здобувати досвід у розробці систем збору даних, який вони зможуть використовувати при проектуванні промислових та наукових систем збору та обробки даних, тестування. Також платформа NI ELVIS укомплектована набором спроектованих в LabVIEW лицьових панелей (Soft Front Panels – SFPs). До цієї платформи входять такі вимірювальні прилади:

- генератор сигналів довільної форми (Arbitrary Waveform Generator);
- аналізатора амплітудно- та фазочастотних характеристик;
- будову читання цифрових даних (Digital Reader);
- пристрій запису цифрових даних (Digital Writer);
- цифровий мультиметр (Digital Multimeter – DMM);
- аналізатор спектру (Dynamic Signal Analyzer – DSA);
- функціональний генератор сигналів (FunctionGenerator-FGEN);
- аналізатора імпедансу (Impedance Analyzer);
- осцилограф (Oscilloscope - Scope);
- аналізатор вольт-амперної характеристики двополюсників (TwoWire Current Voltage Analyzer);
- аналізатор вольт-амперної характеристики чотирьополісників (Three-Wire Current Voltage Analyzer);
- регульоване джерело живлення (Variable Power Supplies);

NI ELVIS підходить для занять зі студентами багатьох технічних спеціальностей. Платформа NI ELVIS надає багато можливостей для вимірювання та випробування, які можуть бути необхідними під час проведення лабораторних робіт. Наприклад, такий віртуальний прилад, як АЧХ/ФЧХ аналізатор та аналізатор спектру, дає викладачам можливості проводити заняття з поглибленого вивчення предмета, використовуючи аналіз сигналів та їхню обробку. Студенти можуть збирати схеми узгодження із датчиками на макетній платі. У платформі є програмне регулювання напруги

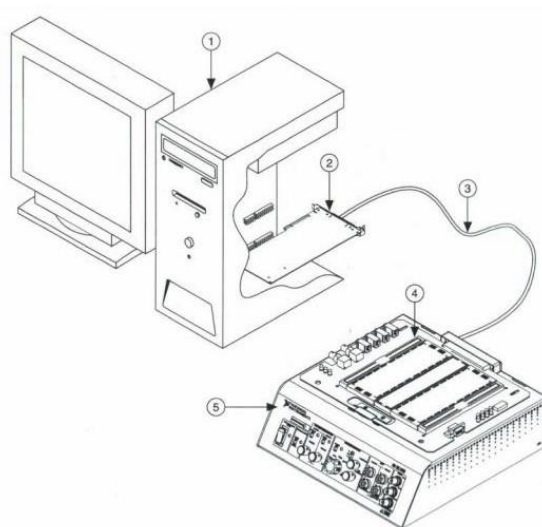
на джерелах живлення, що дозволяє на макетній платі збирати електричні ланцюги та вивчати роботу.

3.1 Апаратні компоненти NI ELVIS

NI-ELVIS (Education Laboratory Virtual Instrumentation) є навчальною лабораторією. Засоби техніки використання для розбудови і дослідження аналогових і цифрових сигналів електричних кіл.

Вимірювальна станція складається з 3 компонентів:

- NI ELVIS робочий робочий стіл;
- пристрій введення/виведення аналогового та цифрового сигналу;
- програмне забезпечення LabVIEW.



1 - ПК з програмним забезпеченням LabVIEW; 2 - плата введення/виведення; 3 - з'єднувальний кабель; 4 - макетна дошка з набірним полем; 5 - платформа NI ELVIS.

Рисунок 3.1 - Склад NI ELVIS – заснована система вимірювання

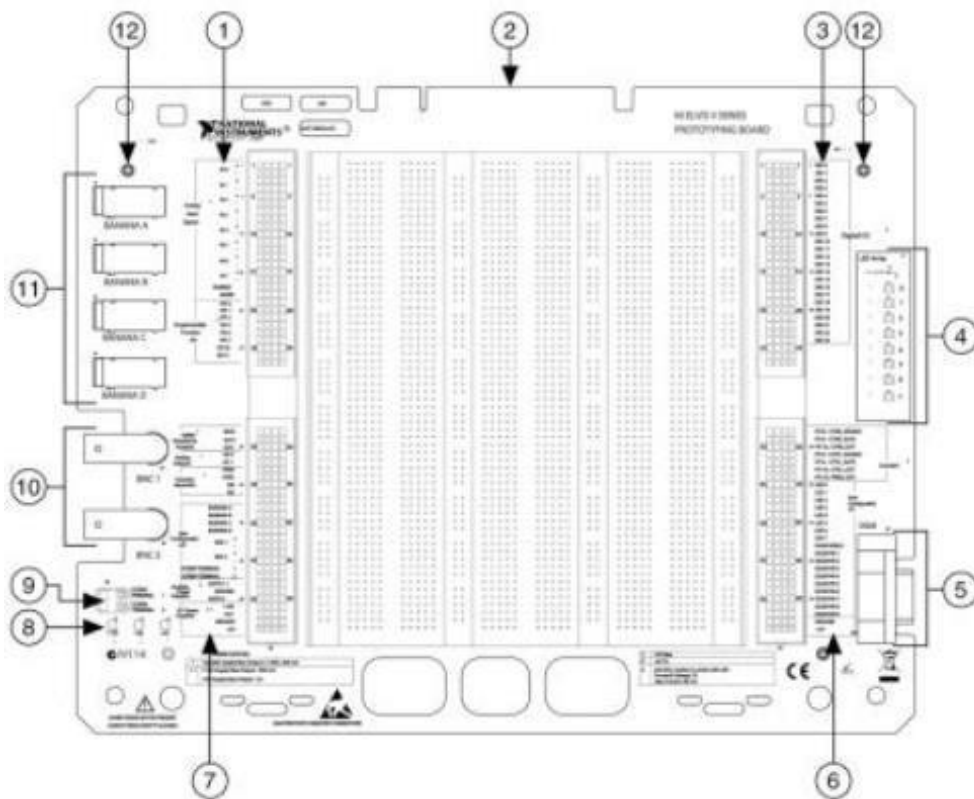
NI ELVIS випромінювання функцій з ПК за допомогою засобів I/O Board [19], використовуваних для створення і вимірювання аналогових сигналів. Для управління станцією, Лінії Digital Board використовуються, число з них повинно бути на вищому ступені з них. Для роботи з компанією ви можете використовувати карти PCI-i та M-Series або Національні інструменти USB-пристроїв.

Технологія віртуальних приладів поєднує технічні засоби вимірювання та контролю, прикладне програмне забезпечення та стандартну промислову комп'ютерну технологію для створення вимірювальних, тестових, контрольних та інших технічних систем, функціональність яких визначається користувачем.

Початок електронної пошти з електронними елементами встановлений у робочому стані та встановлений для монтажу електричної мережі та підключення до неї відповідних клем до пристроїв.

Макетна плата з елементами електроніки встановлюється в настільну робочу станцію та призначена для монтажу електронної схеми та підключення її через відповідні висновки до приладів.

На рисунку 3.1 наведено схему розташування компонентів робочої станції.



1 - гнізда аналогових входів та ліній PFI; 2 - роз'єм для підключення до робочої станції; 3 - гнізда цифрового введення/виводу; 4 - група індикаторів, що конфігуруються користувачем; 5 - роз'єм користувача типу D-Sub; 6 - гнізда лічильника-таймера, користувача ліній вводу/виводу та джерела живлення постійного струму; 7 - гнізда мультиметра, аналогових виходів, функціонального генератора, ліній користувача вводу/виводу, регульованих джерел живлення та джерел живлення постійного струму; 8 - індикатори джерел живлення постійного струму; 9 - клеми користувача з гвинтовим затискачем; 10 - користувальницькі BNC - роз'єми; 11 - роз'єми штекерного типу; 12 - отвори кріплення під гвинт.

Рисунок 3.2 - Розташування компонентів макетної плати

Джерела живлення постійного струму призначені для формування напруги +15 В, -15 В, +5 В. Регульовані джерела живлення дозволяють встановлювати напруги в діапазоні від 0 до +12 В на виході SUPPLY + і від -

12 до 0 В на виході SUPPLY-. Усі джерела живлення NI ELVIS з'єднані із GROUND.

Сигнали макетної плати описані в таблиці 3.1. Сигнали згруповані за функціональним призначенням так само, як вони розташовані.

Таблиці 3.1 - Сигнали макетної плати

Назва сигналу	Тип	Опис
AI<0..7>	Аналоговий вхід	Позитивні і негативні входи диференціальні аналогові канали 0..7.
AI SENSE	Аналоговий вихід	Рівень аналогового входу – опорний рівень аналогових каналів, налаштованих для роботи на несиметричному вході режим без відсутності.
AI GND	Аналоговий вхід	Головний ланцюг аналогових входів модуля введення/виведення є "аналоговою землею".
PFI <0..2>, <5..7>, <10..11>	Інтерфейс ліній з програмованим призначенням	Лінії PFI використовуються для статичних цифрових I/O та для маршрутизації сигналів синхронізації.
BASE	Аналізатор струм-напруга Характеристики двох портів мережі	Основна збудження для біполярних планарних транзисторів.
DUT+	Цифровий мультиметр, імпеданс, аналізатори, два-і чотириполюс	Захоплюючий вхід для вимірювання ємності та індуктивності (цифровий мультиметр), аналізатор опору, два - і чотириполюс аналізатори.
DUT-	Цифровий мультиметр, імпедансний, 2 - і чотириполюсний аналізатори	Віртуальна «земля» і потенціал ланцюга струму для вимірювання ємності та індуктивності (ЦМ), аналізатор імпедансу, 2 - і чотири- аналізатор.

Продовження таблиці 3.1

Назва сигналу	Тип	Опис
AO <0..1>	Аналоговий вихід	Аналогові вихідні лінії використовуються генератором сигналів довільної форми
FGEN	Генератор функцій	Відображення функціонального генератора.
SYNC	Генератор функцій	Вихід на рівні TTL, синхронізований до сигналу FGEN
AM	Генератор функцій	Аналогічний вхід використаний для підвищення модуляції сигналу FGEN.
FM	Генератор функцій	Аналоговий вхід використовується для частотної модуляції сигналу FGEN.
BANANA <A..D>	Спеціальні сокети вводу/виводу	Зображення типу Plug A÷D для підключення до контрольних положень предмета під час вивчення.
BNC <1..2>±	Спеціальні сокети вводу/виводу	Позитивні лінії під'єднані до зв'язків з центральними підсилювачами BNC, а негативні лінії під'єднані до роз'єму.
SCREW TERMINAL <1..2>	Спеціальні сокети вводу/виводу	Вони підключені до клем для гвинтового кріплення
SUPPLY+	Регульовані джерела живлення	Виконання регульованого енергетичного модуля з позитивним відтворенням (+) від 0 до 12 В.
GROUND	Блок живлення	Загальна клема регульованого електропостачання («земля»).
SUPPLY-	Регульовані джерела живлення	Використовується регульованих енергетичних систем з негативною вихідною напругою (-) від - 12 до 0 В.
+15 V	Джерело постійного струму	Вихід джерела живлення є +15, нерегульований.
-15 V	Джерело постійного струму	Вихід живлення -15 В, нерегульований

Кінець таблиці 3.1

Назва сигналу	Тип	Опис
GROUND	Джерело постійного струму	Загальний термінал нерегульованого електропостачання («земля»).
+5 V	Джерело постійного струму	Вихід джерела живлення +5, нерегульований.
GROUND	Джерело постійного струму	Загальний контакт "Земля"

3.2 Віртуальні інструменти

Технологія віртуальних приладів на основі технічних засобів вимірювання та контролю, прикладного програмного забезпечення та стандартних промислових комп'ютерних технологій для створення вимірювальних, тестових, контрольних та інших технічних систем, функціональність яких керується користувачем.

Технологія віртуальних інструментів є ідеальною платформою як для розробки навчальних курсів, так і для проведення наукових досліджень. Виконуючи різноманітні досліди на лабораторних заняттях, студенти поєднують вимірювальні, автоматизовані та контрольні операції. Інструменти або системи, що використовуються в цих експериментах, повинні бути гнучкими та адаптованими. У наукових експериментах технологія віртуальних інструментів надає досліднику гнучкість, необхідну для оновлення системи в разі непередбачених обставин. І наукові, і освітні експерименти вимагають, щоб системи були економічними. Компоненти систем, побудованих на основі технологій віртуальних приладів, можна багаторазово використовувати в різноманітних експериментах без використання додаткового апаратного та програмного забезпечення, тому вибір даної технології є економічно обґрунтованим. Нарешті, вимірювальні системи повинні бути

масштабованими для задоволення майбутніх потреб. Модульні характеристики технології віртуальних пристроїв дозволяють легко додавати нову функціональність до системи, яку ви створюєте.

NI ELVIS використовує програмне забезпечення, розроблене в LabVIEW, і обладнання для збору даних NI для створення віртуальної вимірювальної системи, яка має функціональні можливості набору звичайних вимірювальних інструментів.

У підсумку можна сказати, що технологія NI ELVIS:

- працює не з віртуальними, а з реальними фізично існуючими об'єктами аналогової електроніки - ефективними елементами та схемами;
- розглядає реальні процеси, що відбуваються в електричних колах різної конфігурації, в тому числі внаслідок впливу фізично генерованих сигналів на елементи та схеми;
- дозволяє здійснювати моніторинг і вимірювання параметрів сигналу, а також побудову на цій основі різних характеристик.

Усі дії використовуються для перетворення аналогових сигналів у цифрову форму за допомогою фактичних аналого-цифрових перетворювачів з наступним використанням програмного забезпечення для їх обробки.

4 РОЗРАХУНКИ ТА АНАЛІТИКА

Для вимірювання статистичних характеристик електричних компонентів було розроблено лабораторну роботу з метрології та досліджено можливості програмно-апаратного середовища NI ELVIS щодо багаторазового вимірювання електричних величин.

Пропонований студентам матеріал до лабораторної роботи спрямований на отримання як теоретичних знань, так і практичних навичок. Ця робота є одним із тестів діагностичного контролю на початку навчання, після засвоєння студентами таких дисциплін як «електротехніка» або «теорія електричних ланцюгів та сигналів» або подібних до них.

Мета роботи:

- отримання навичок виконання лабораторної роботи з аналізатором вольт-амперної характеристики у програмно-апаратному середовищі NI ELVIS;
- набуття навичок обробки результатів непрямих вимірів з багаторазовими спостереженнями;
- набуття навичок визначення невизначеності непрямих вимірів із багаторазовими спостереженнями.

Схема лабораторної установки представлена на рисунку 4.1

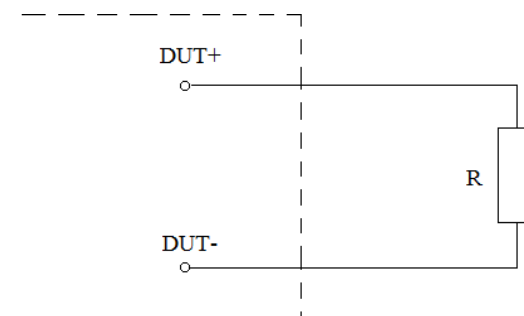


Рисунок 4.1 - Схема лабораторної установки.

Для визначення та візуалізації вольт-амперної характеристики (ВАХ) двополюсників необхідно вибрати з панелі віртуальних вимірювальних приладів "2-Wire".

На ній вибираємо діапазон вимірювання по осі напруги (X) -2 - 2 V, крок вимірів 0,10 V, діапазон вимірів по осі струму (Y) -40,00 - 40,00 mA. Після встановлення параметрів на лицьовій панелі, натискаємо кнопку запуску RUN і отримуємо графік вольт-амперної характеристики, показаний на рисунку 3.

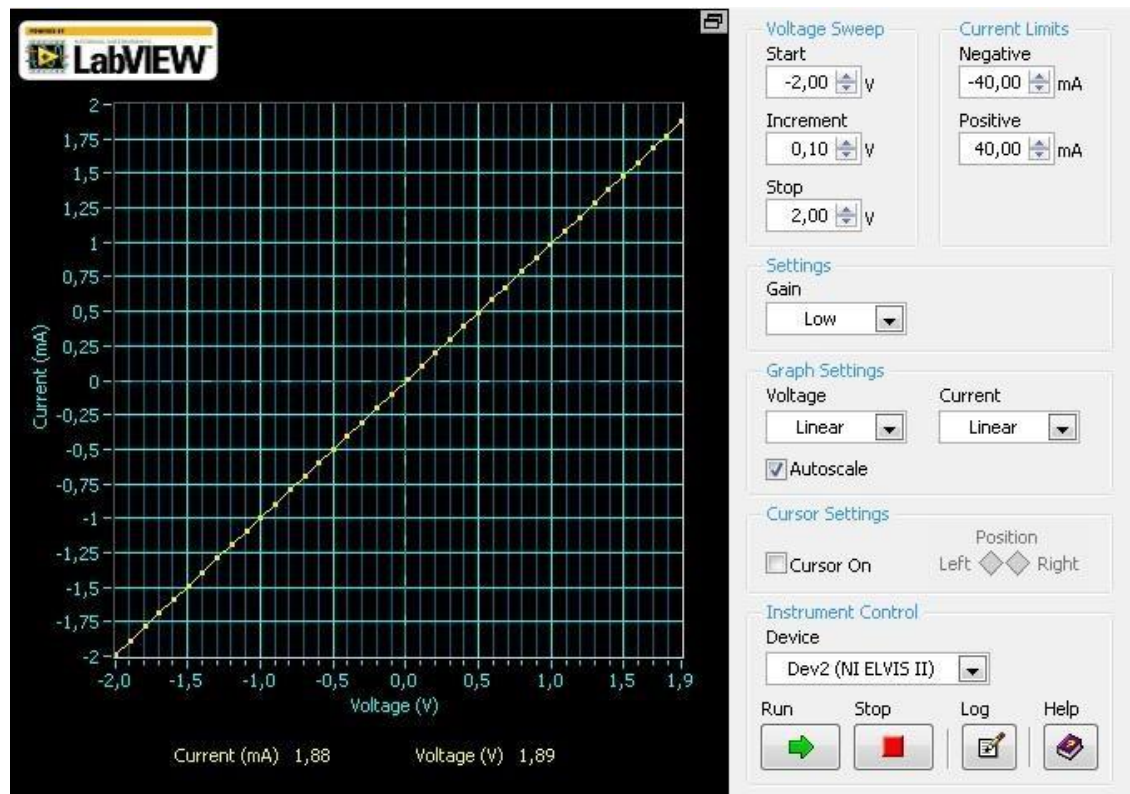


Рисунок 4.2 - Аналізатор вольт-амперної характеристики

Отримані випадкові значення струму та напруги зберігаємо в текстовому документі натисканням кнопки LOG.

З отриманих значень вираховуємо опір 40 резисторів за формулою 4.1:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (4.1)$$

Результати обчислень заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати обчислення

№	R, кОм	№	R, кОм	№	R, кОм	№	R, кОм
1	1,0040	11	1,0000	21	2,6000	31	1,0122
2	1,0037	12	1,0000	22	1,0686	32	1,0129
3	1,0027	13	0,9974	23	1,0351	33	1,0135
4	1,0024	14	0,9971	24	1,0306	34	1,0124
5	1,0031	15	0,9949	25	1,0230	35	1,0123
6	1,0026	16	0,9920	26	1,0206	36	1,0115
7	1,0014	17	0,9925	27	1,0172	37	1,0101
8	1,0023	18	0,9836	28	1,0162	38	1,0107
9	1,0016	19	0,9756	29	1,0165	39	1,0107
10	1,0009	20	0,9428	30	1,0169	40	1,0106

Визначаємо закон розподілу результатів вимірів.

Визначаємо число інтервалів групування n по формулі (4.2):

$$n = 1 + 3,32 \cdot \lg N, \quad (4.2)$$

де $N = 40$ - кількість результатів вимірювань.

Отримуємо кількість інтервалів групування $n = 6$.

Розташуємо результати вимірювань у порядку зростання -отриманий варіаційний ряд наведено у таблиці 4.

Таблиця 4.2 - Варіаційний ряд

№	R, кОм	№	R, кОм	№	R, кОм	№	R, кОм
1	0,9428	11	1,0009	21	1,0101	31	1,0162
2	0,9756	12	1,0014	22	1,0106	32	1,0165
3	0,9836	13	1,0016	23	1,0107	33	1,0169
4	0,9920	14	1,0023	24	1,0107	34	1,0172
5	0,9925	15	1,0024	25	1,0115	35	1,0206
6	0,9949	16	1,0026	26	1,0122	36	1,0230
7	0,9971	17	1,0027	27	1,0123	37	1,0306
8	0,9974	18	1,0031	28	1,0124	38	1,0351

Продовження таблиці 4.2

№	R, кОм	№	R, кОм	№	R, кОм	№	R, кОм
9	1,0000	19	1,0037	29	1,0129	39	1,0686
10	1,0000	20	1,0040	30	1,0135	40	1,0732

За варіаційним рядом визначаємо мінімальне та максимальне значення у вибірці: $x_{\min} = 0,9428$ та $x_{\max} = 1,0732$

Визначаємо крок інтервалу за формулою (4.3):

$$\Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}, \quad (4.3)$$

Отримуємо крок інтервалу групування $\Delta = 0,0217$.

З отриманих даних побудуємо таблицю групованих даних (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 - Груповані дані

№	Нижня границя інтервалів групування	Верхня межа інтервалів групування	Частота попадань значень величини в і-й інтервал
1	0,9428	0,9645	1
2	0,9645	0,9862	2
3	0,9862	1,0079	17
4	1,0079	1,0296	16
5	1,0296	1,0513	2
6	1,0513	1,0732	1

Побудуємо гістограму результатів вимірів (Рисунок 4.3).

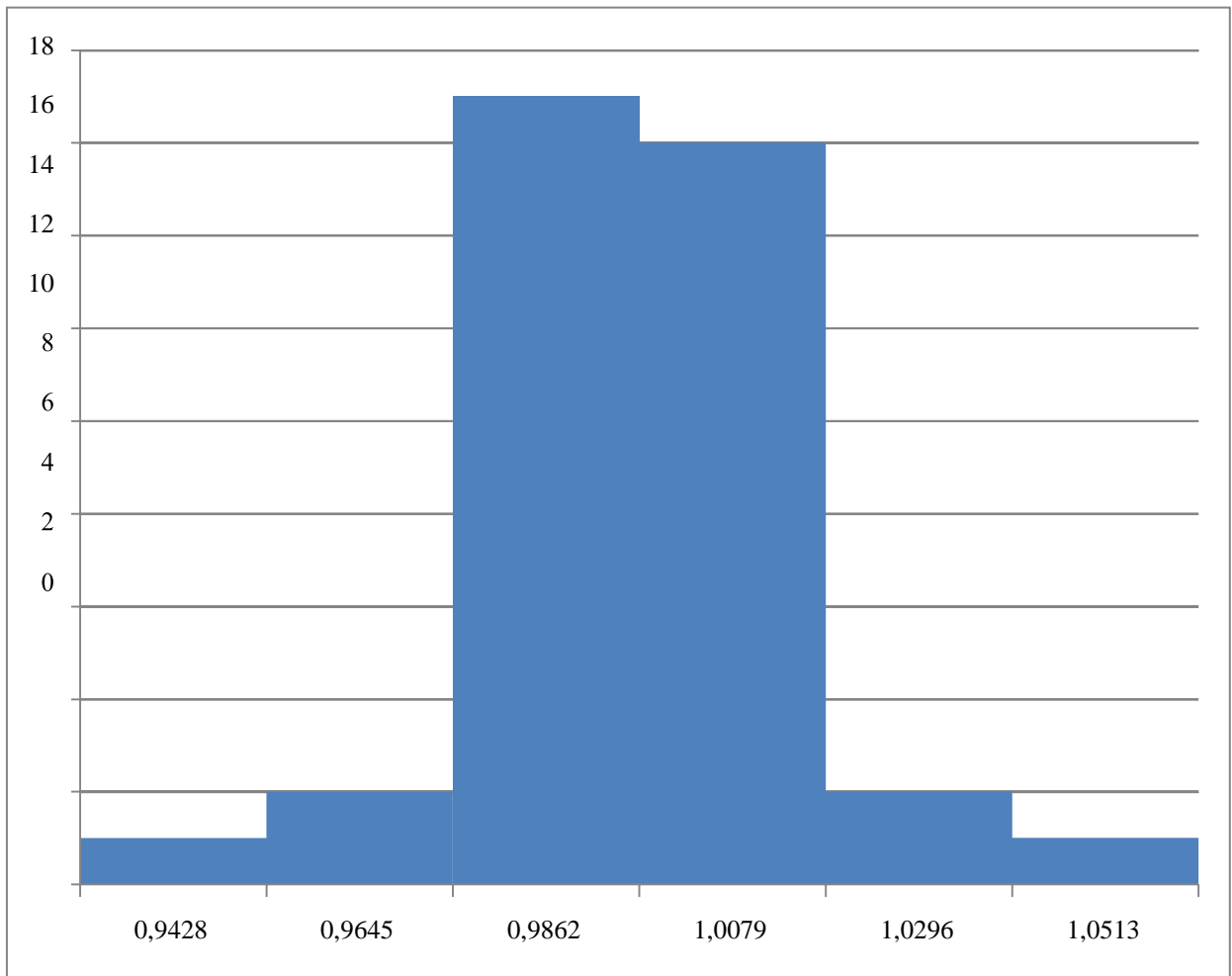


Рисунок 4.3 - Гістограма результатів вимірів

По побудованій гістограмі можна припустити який закон розподілу відповідає вибірковим даним, так як гістограму можна як аналог щільності розподілу. Отриманий графік нагадує густину розподілу для нормального закону розподілу.

Перевіримо гіпотезу про нормальність розподілу результатів вимірів.

Визначаємо відношення \tilde{d} за формулою (4.4):

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{A}|}{nS^*}, \quad (4.4)$$

де S^* - зміщене середнє квадратичне відхилення, що визначається за формулою (4.5):

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}{n}}, \quad (4.5)$$

Результати вимірювань вважають розподіленими нормально, якщо виконується умова (4.6):

$$d_{1-\frac{q}{2}} < \tilde{d} \leq d_{\frac{q}{2}}, \quad (4.6)$$

де $d_{1-\frac{q}{2}} = 0,7404$ і $d_{\frac{q}{2}} = 0,8625$ - квантили розподілу при $n = 40$, $q_1 = 5\%$ і $q_1 = 95\%$.

Також вважають, що результати вимірювань належать нормальному розподілу, якщо не більше $m = 2$ різниць $(x_i - \tilde{x})$ перевищили значення $z_p * S$.

Середнє квадратичне відхилення S визначаємо за формулою (4.7):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}{n-1}}, \quad (4.7)$$

Значення ймовірності $P = 0,98$ визначаємо з ГОСТ 8.207 [20] за вибраним рівнем значущості $q_2 = 5\%$ та числу результатів вимірів $n = 40$.

Результати перевірки гіпотези про нормальність розподілу результатів вимірювань представлені у таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 - Результати перевірки гіпотези про нормальності розподілу результати вимірювань за допомогою першого критерію

\tilde{x} , кОм	S^* , кОм	\tilde{d}	Висновок за першим критерієм
1,0084	0,0316	0,75	$0,7470 < 0,75 < 0,8540$, умова (б) виконується.

Таблиця 4.5 - Результати перевірки гіпотези щодо нормальності розподілу результатів вимірювань за допомогою другого критерію

S, кОм	$(x_i - \tilde{x})$							$\frac{z_p * S}{2}$	Висновок за другим критерієм
0,0316	-0,0656	-0,0113	-0,0068	-0,0047	0,0031	0,0078	0,0222	0,0736	Умова виконується, жодна різниця $(x_i - \tilde{x})$ не перевищує значення $\frac{z_p * S}{2}$
	-0,0328	-0,011	-0,0061	-0,0044	0,0038	0,0081	0,0267		
	-0,0248	-0,0084	-0,006	0,0017	0,0039	0,0085	0,0602		
	-0,0164	-0,0084	-0,0058	0,0022	0,004	0,0088	0,0648		
	-0,0159	-0,0075	-0,0057	0,0023	0,0045	0,0122	0,0222		
	-0,0135	-0,007	-0,0053	0,0023	0,0051	0,0146	0,0267		

Усі два критерії дотримуються, отже, розподіл результатів вимірів відповідає нормальному закону розподілу.

Обробку результатів вимірювань, наведених у таблиці 6, та оцінювання похибки виконуємо згідно з ГОСТ 8.207 [20]. Етапи та результати обробки наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Обробка результатів вимірювань та оцінювання похибки

Етапи	Формула	Результат
Оцінка вимірюваної величини та середнє квадратичне відхилення (СКВ)		
Оцінка вимірюваної величини (середнє арифметичне значення результатів вимірів)	$\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	1,0084 кОм
СКВ результатів вимірів	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}{n}}$	0,07361 кОм
СКВ оцінки вимірюваної величини	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$	0,01163 кОм
Виключення грубих похибок		

Продовження Таблиці 4.6

Етапи	Формула	Результат
Критерій Граббса ($G_T = 2,908$ - теоретичне Значення критерію Граббса при $n = 40$ та рівні значимості 5 %)	$G_1 = \frac{ x_{max} - \bar{x} }{s},$ $G_2 = \frac{ \bar{x} - x_{min} }{s}.$	$G_1 = 0,858696,$ $G_2 = 0,9123919,$ так як $G_1 > G_T$, то x_{max} вважаємо промахом і виключаємо як малоймовірне значення; $G_2 < G_T$, то, x_{min} не вважаємо промахом і зберігаємо у ряду результатів вимірів.
Повторна оцінка вимірюваної величини та СКВ (після виключення грубих похибок, тому що при $n = 39$)		
Оцінка величини вимірюваної	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	1,008385 кОм
СКВ результатів вимірів	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$	0,031628536 кОм
СКВ оцінки величини вимірюваної	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$	0,00500091 кОм
Повторне виключення грубих похибок		
Критерій Граббса ($G_T = 2,893$ - теоретичне Значення критерію Граббса при $n = 39$ та рівні значимості 5 %)	$G_1 = \frac{ x_{max} - \bar{x} }{s},$ $G_2 = \frac{ \bar{x} - x_{min} }{s}.$	$G_1 = 1,998819, G_2 = 2,1245653,$ так як $G_1 < G_T$ і $G_2 < G_T$, то x_{max} і x_{min} не вважаємо промахами і зберігаємо в ряду результатів вимірів.
Довірчі межі випадкової похибки		
Довірчі межі випадкової похибки оцінки вимірюваної величини ($t=2,048$ - коефіцієнт Стюдента.	$\varepsilon = tS_{\bar{x}}$	$\pm 0,01024$ кОм
Довірчі межі невиключеної систематичної похибки (НСП)		

Кінець Таблиці 4.6

Етапи	Формула	Результат
Довірчі межі НСП	$\theta_{\Sigma} = \pm \sum_{i=1}^m \theta_i $	$\theta_{\Sigma} = \pm (1 \cdot 0,01 \cdot 1,008385 + 3 \cdot 0,1) + 2,1285 = \pm 0,02438583 \text{ кОм}$
Довірчі межі похибки оцінки вимірюваної величини		
Довірчі кордони похибки оцінки вимірюваної величини	$\Delta = K * S_{\Sigma}$	$\Delta = \pm 0,0167991671 \cdot 0,014053842 = \pm 0,023609284 \text{ кОм}$
Коефіцієнт, що залежить від співвідношення випадкової складової похибки та НСП	$K = \frac{\varepsilon + \theta_{\Sigma}}{S_{\bar{x}} + S_{\theta}}$	0,0167991671
Сумарне СКВ оцінки вимірюваної величини	$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 - S_{\bar{x}}^2}$	0,014053842 кОм
СКВ НСП	$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}$	0,014052705 кОм
Форма запису оцінки вимірюваної величини		
Оцінка вимірюваної величин	$ \bar{x} \pm \Delta$	(1,01±0,02) кОм

Оцінюванням невизначеності виконуємо згідно з ГОСТ Р 8.207 [20].

Етапи та результати оцінювання наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Оцінювання невизначеності

Етапи обробки результатів вимірів	Розрахункова формула	Результат (обробки) розрахунку
Стандартна невизначеність середнього арифметичного значення результатів вимірювань по типу А	$u_A(\bar{\delta}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}$	$u_A = 0,0017751056$
Стандартні невизначеності за типом В:	$u_B(x_i) = \frac{\theta_i}{\sqrt{3}}$	$U_B(R_{\text{вим}}) = 0,00418 \text{ кОм};$ $U_B(5\%) = 0,012413 \text{ кОм}$
Сумарна стандартна невизначеність	$u_c(y) \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)}$ <p>де $c_i = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)$ – коефіцієнти чутливості; $u(x_i)$ – стандартна невизначеність i-й вхідний величини.</p>	<p>Приймаємо коефіцієнти чутливості рівними $C_1 = C_2 = C_3 = 1$, так як виміри прямі;</p> $U_c = 0,01310092 \text{ кОм}$
Коефіцієнта охоплення	<p>Так як виміряні значення розподілені за нормальним законом, тому за числі ступенів свободи ν рівної ∞, коефіцієнт охоплення k дорівнює 2 при ймовірності, що дорівнює 0,95.</p>	
Розширена невизначеність	$U = k * u_c(y)$	$U = 2 * 0,0131009228 = 0,0262018457 \text{ кОм}$
Оцінка вимірюваної величини	$\bar{x} \pm U$	$(1,0084 \pm 0,0270) \text{ ком}$

5 МЕТОДИЧНА ВКАЗІВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

У лабораторній роботі необхідно непрямим методом розрахувати опори, знаючи вимірне значення напруги та струму, що протікає через резистор, використовуючи закон Ома. Потім зробити обробку групи результатів непрямих багаторазових вимірів.

Мета роботи:

- отримання навичок виконання лабораторної роботи з аналізатором вольт-амперної характеристики у програмно-апаратному середовищі NI ELVIS;
- набуття навичок обробки результатів непрямих вимірів з багаторазовими спостереженнями;
- набуття навичок визначення невизначеності непрямих вимірів із багаторазовими спостереженнями.

Хід роботи.

1. Необхідно зібрати електричну схему, що складається з резистора заданого номіналу та виходом аналізатора на макеті. Ланцюг збирається на макетній платі NI ELVIS згідно зі схемою, представленою на рисунку 5.1.

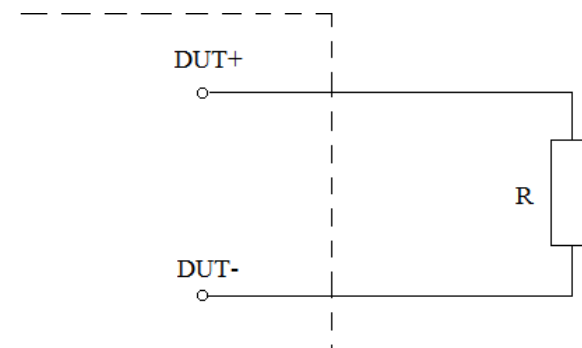


Рисунок 5.1 - Схема лабораторної установки

2. Після збирання зазначеної схеми, запускаємо віртуальний стенд. Для визначення та візуалізації вольт-амперної характеристики (ВАХ) двополюсників потрібно вибрати з панелі віртуальних вимірювальних приладів "2-Wire". На ній вибираємо діапазон вимірювання по осі напруги та струму, і крок вимірювання, як зазначено на рисунку 5.2.

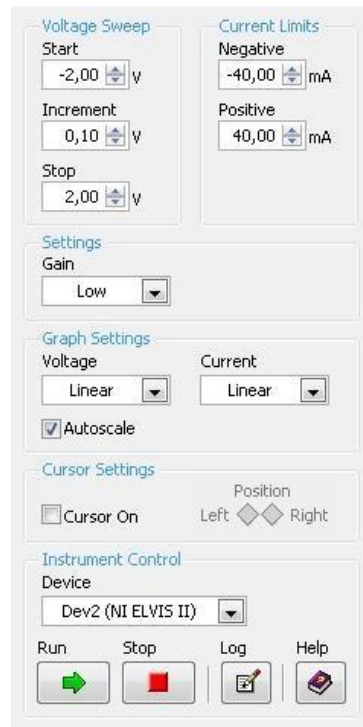


Рисунок 5.2 - Аналізатор вольт-амперної характеристики

3. Після встановлення параметрів на лицьовій панелі натискаємо кнопку запуску RUN. Отримуємо графік вольт-амперної характеристики та зберігаємо отримані випадкові значення струму та напруги в текстовий документ натисканням кнопки LOG.

4. Використовуючи закон Ома, з отриманих значень вираховуємо опір 40 резисторів за формулою 5.1:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (5.1)$$

5. Результати обчислення заносимо до таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 - Результати обчислення

№	R, кОм	№	R, кОм	№	R, кОм
1	...	4
2	...	5
3

Обробка результатів вимірювань, оцінювання похибки та невизначеності

6. Число інтервалів групування n визначається за формулою Стердженс (5.2):

$$n = 1 + 3,32 \cdot \lg N, \quad (5.2)$$

де N – кількість результатів вимірів.

7. Розташувати результати обчислення в порядку зростання і тим самим отримати варіаційний ряд.

8. Крок інтервалу знаходиться за формулою (5.3)

$$\Delta = \frac{x_{max} - x_{min}}{n}, \quad (5.3)$$

9. На підставі отриманих даних будується таблиця групованих даних

Таблиця 5.2 - Груповані дані

№	Нижня межа інтервалів групування	Верхня межа інтервалів групування	Частота влучень значень величини в i -й інтервал
1
2
...

10. Побудувати гістограму результатів вимірів.

По побудованій гістограмі можна визначити який закон розподілу відповідає вибірковим даним.

11. Гіпотеза розподілу результатів вимірювань визначається за допомогою критерію згідно з ГОСТ Р 8.207 [20].

12. Визначаємо відношення \tilde{d} за формулою (5.4):

$$\tilde{d} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{A}|}{nS^*}}, \quad (5.4)$$

де S^* - зміщене середнє квадратичне відхилення, що визначається за формулою (5.5):

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (5.5)$$

Результати вимірювань вважають розподіленими нормально, якщо виконується умова (5.6):

$$d_{1-\frac{q}{2}} < \tilde{d} \leq d_{\frac{q}{2}}, \quad (5.6)$$

де $d_{1-\frac{q}{2}}$ та $d_{\frac{q}{2}}$ - квантили розподілу.

Також вважають, що результати вимірювань належать нормальному розподілу, якщо не більше $m = 2$ різниць $(x_i - \bar{x})$ перевищили значення $z_{\frac{p}{2}} * S$.

Середнє квадратичне відхилення S визначається за формулою (5.7):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (5.7)$$

Значення ймовірності $P = 0,98$ визначаємо з ГОСТ 8.207 [20] за вибраним рівнем значущості q_2 та числом результатів вимірювань n .

СКВ оцінки вимірюваної величини визначається за формулою (5.8):

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (5.8)$$

13. Виключення грубих похибок

Статистичний критерій Граббса виключення грубих похибок ґрунтується на припущенні про те, що група результатів вимірювань належить нормальному розподілу та обчислюється за формулами:

$$G_1 = \frac{|x_{max} - \bar{x}|}{s}, \quad (5.9)$$

$$G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{min}|}{s}, \quad (5.10)$$

Порівнюють G_1 і G_2 з теоретичним значенням G критерію Граббса при вибраному рівні значущості. Таблиця критичних значень критерію Граббса наведено у ГОСТ 8.207 [20].

Якщо $G_1 < G_T$, то x не вважають промахом і його зберігають у ряді результатів вимірювань. Якщо $G_2 < G_T$, то x_{min} не вважають промахом і його зберігають у ряді результатів вимірів.

Довірчі межі випадкової похибки оцінки вимірюваної величини (t - коефіцієнт Стьюдента згідно з ГОСТ 8.207 [20]) обчислюються за формулою (5.11):

$$\varepsilon = tS_{\bar{x}}, \quad (5.11)$$

Довірчі межі НСП обчислюються за формулою (5.12):

$$\theta_{\Sigma} = \pm \sum_{i=1}^m |\theta_i|, \quad (5.12)$$

Довірчі межі похибки оцінки вимірюваної величини за формулою (5.13):

$$\Delta = K * S_{\Sigma}, \quad (5.13)$$

Коефіцієнт, що залежить від співвідношення випадкової складової похибки та НСП, обчислюється за формулою (5.14):

$$K = \frac{\varepsilon + \theta_{\Sigma}}{S_{\bar{x}} + S_{\theta}}, \quad (5.14)$$

Сумарне СКВ оцінки вимірюваної величини знаходиться по формулі (5.15):

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 - S_{\bar{x}}^2}, \quad (5.15)$$

СКВ НСП:

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}, \quad (5.16)$$

14. Оформлення результату вимірювання згідно з ГОСТ 8.207 [20].

15. Похибки записати результат вимірювання слід у вигляді $|\bar{x}| \pm \Delta$.

Невизначеності за типом А U_A результати багаторазових вимірювань: x_{i1}, \dots, x_{in_i} (де $i=1, \dots, m$; n_i - число вимірювань i -й вхідних величин). Стандарту невизначеність одиничного виміру i -й вхідний величини $u_{A,i}$ обчислюють за формулою (5.17):

$$u_{A,i} = \sqrt{\frac{1}{n_i-1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}, \quad (5.17)$$

де $\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}$ середнє арифметичне результатів вимірювань i -й

Стандартну невизначеність $u_A(x_i)$ вимірювань i -й вхідний величини, за яких результат визначають як середнє арифметичне, обчислюють за формулою (5.18):

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}, \quad (5.18)$$

Стандартні невизначеності за типом В:

$$u_B(x_i) = \frac{\theta_i}{\sqrt{3}}, \quad (5.19)$$

Сумарна стандартна невизначеність:

$$u_c(y) = \left[\sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 * u(x_i)^2} \right], \quad (5.20)$$

де $c_i = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)$ – коефіцієнти чутливості; $u(x_i)$ – стандартна невизначеність i -й вхідний величини, обчислена за типом А або В.

Розширена невизначеність знаходиться за формулою (5.21)

$$U = k * u_c(y), \quad (5.21)$$

де k – коефіцієнт охоплення;

Якщо значення деякої величини та її стандартна невизначеність підпорядковується нормальному закону розподілу, то при числі ступенів свободи $\nu = \infty$ коефіцієнт охоплення k дорівнює 2 за ймовірності $P = 0,95$.

16. Округлення невизначеності вимірювань проводиться відповідно до МІ 1317-86.

17. Скласти звіт про виконану роботу.

ВИСНОВКИ

У цій кваліфікаційній роботі було розроблено лабораторну роботу з метрології та досліджено можливості програмно-апаратного середовища NI ELVIS з багаторазового вимірювання електричних величин.

Розроблена лабораторна робота може використовуватися з дисципліни «Метрологія» та інших дисциплін, пов'язаних з вимірюваннями сигналів постійної та змінної природи.

Під час засвоєння матеріалу методичного посібника студенти набудуть навичок в обробці результатів непрямих вимірювань з багаторазовими спостереженнями, які будуть корисні для подальшої професійної діяльності учнів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мочалов, В. Д. Метрологія, стандартизація та сертифікація. Взаємозамінність та технічні виміри: навчальний посібник / В. Д. Мочалов, А. А. Погонін, А. Г. Схіртладзе. – 3-тє вид., Перероблене та доповнене. Тонкі наукомісткі технології, 2017. - 263 с.
2. Метрологія, стандартизація та сертифікація: Підручник / За ред. В.В. Алексєєва. – К.: Academia, 2016. – 256 с
3. Шишмарьов В. Ю. Метрологія, стандартизація та сертифікація: підручник / В. Ю. Шишмарев, 2020. - 304 с.
4. Хрусталева З. А. Метрологія, стандартизація та сертифікація. Практикум: навчальний посібник / З. А. Хрустальова. 2021. - 171 с.
5. Кошова І. П. Метрологія, стандартизація, сертифікація: підручник / І. П. Кошова, А. А. Канке, 2021. - 415 с.
6. Білозерова Т.А., Сарайкіна К.А. Основи стандартизації, метрології, сертифікації та контролю якості: метод. Вказівки до лабораторних робіт, 2017. – 48 с.
7. Солоніна В.А., Панченко Ю.Ф., Панченко Д.А. Основи метрології, стандартизації, сертифікації та контролю якості: метод. вказівки щодо виконання практичних та лабораторних робіт. Друкарня бібліотечно-видавничого комплексу, 2016. – 39 с.
8. Зоряков В.П. Види та методи вимірювань фізичних величин. Похибки вимірів та його класифікація. Обробка результатів прямих та непрямих багаторазових вимірювань: методичні вказівки до лабораторної роботи з дисципліни «Метрологія, стандартизація та сертифікація» та «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання», 2019. – 16.с.
9. Назаров Ст Н., Карабегов М. А., Мамедов Р. К. Основи метрології та технічного регулювання, 2008

10. Заляєва Г. О. Метрологія, стандартизація та сертифікація: Навчально-методичний посібник, 2006
11. Сергєєв А. Г. Метрологія, стандартизація та сертифікація, 2011
12. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 20.08.2014 р. № 459. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2014. № 30. С.1008.
13. Порядок проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів: затв. наказом Міністерства економічного розвитку та торгівлі України від 08.02.2016 р. №193, зареєстр. у Міністерстві юстиції України від 24.02.2016 р. №278/28408.
14. Стандартизація, метрологія та підтвердження відповідності: підручник та практикум для прикладного бакалаврату / І.М. Ліфік. - 13-ті вид., перероб. та дод. – К.: Видавництво Юрайт, 2019. – 363 с. – (Серія: Бакалавр. Прикладний курс).
15. Метрологія, стандартизація та сертифікація [Текст]: підручник для вузів// А.І. Арістов, Л.І. Карпов та ін/М.: Академія, 2007. – 384 с.
16. Перельштейн, О.Л. Метрологічна служба підприємства [Текст]/Є.Л. Перельштейн, 2006. – 168 с.
17. Веремійович, О.М. Метрологія, стандартизація та сертифікація. Основи взаємозамінності [Ел. ресурс]: курс лекцій/О.М. Веремійович. – Вид-во «МІСІС», 2004. – 99 стор.
18. Ліфік І.М. Основи стандартизації, метрології, сертифікації: підручник для вишів. – М.: Юрайт-М, 2000. – 268 с
19. Набір віртуальних вимірювальних приладів для навчальних лабораторій NI ELVIS. Технічні засоби / Посібник користувача. - Режим доступу: <http://www.ni.com>.
20. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Прямі вимірювання з багаторазовими спостереженнями. Методи обробки результатів спостережень. Основні положення.