

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

МАТЕРІАЛИ І КОМПОНЕНТИ МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ

Лабораторний практикум

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім.Ігоря Сікорського як навчальний посібник для
здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Мікро-та наноелектроніка»
спеціальності 153 «Мікро-та наносистемна техніка»

Укладач: С.М.Осінов

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім.Ігоря Сікорського
2022

Рецензент *Загерін А.І.*, канд. техн.наук, інженер відділу забезпечення надійності ІС,
ДП «Мелексіс Україна»

Відповідальний
редактор *Орлов А.Т.*, канд. техн. наук, професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол №4 від 07.04.2022 р.)
за поданням Вченої ради факультету/навчально-наукового інституту
(протокол № 2\22 від 21.02.2022 р.)*

Системи автоматизованого регулювання і керування розробляються з використанням сучасних матеріалів та компонент електронної техніки. Застосування електронних компонент вимагає досконалого знання характеристик компонент та впливу матеріалів на параметри компонент мікро- та наносистемної техніки.

Матеріали даного видання адресовано в першу чергу студентам першого рівня вищої освіти за спеціальністю «Мікро-та наносистемна техніка» для дистанційного навчання, але можуть бути корисні для усіх бажаючих набути навички застосування середовища програмування LabVIEW.

Реєстр. № НП 21/22-351. Обсяг 2,3 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

ЗМІСТ

Передмова.....	4
1. Програмно-інструментальне середовище LABVIEW Community Edition.....	5
2. Візуальний інтерфейс LabVIEW Community Edition.....	8
3. Розрахунок параметрів та характеристики сигналів.....	16
4. Дослідження температурної чутливості термисторів.....	24
5. Дослідження температурної залежності металів.....	28
6. Дослідження температурної залежності ЕРС термопар.....	32
7. Дослідження характеристик діелектричних матеріалів.....	35
8. Визначення температури Кюрі ферромагнетика за зміною магнітного проникнення.....	43
Література.....	46
Додатки.....	47

ПЕРЕДМОВА

Застосування LABVIEW Community Edition створює умови для багаторівневого використання у навчальному процесі та з метою виконання лабораторних робіт у дистанційному варіанті та з можливістю проведення наукових досліджень при виконанні кваліфікаційних робіт.

Розглядається декілька етапів.

Перший етап - це встановлення на персональний комп'ютер програмного забезпечення LABVIEW Community Edition- яке є безкоштовним і є вільний доступ до ресурсу на сайті виробника National Instruments, США. Подальший крок - це загальне знайомство з середовищем розробки лабораторних віртуальних приладів (ВП), як з інструментом графічного програмування. Підготовка на цьому етапі стосується створення, редагування і налагодження ВП, створення допоміжних ВП, побудова циклів, створення діаграми, масивів і графіків, організація файлової системи і вводу\виводу даних, управління ВП.

Другий етап передбачає ознайомлення з модулем вводу\виводу (DAQ-пристрій) він дозволяє здійснювати збір даних з реального електричного ланцюга. На цьому етапі вивчаються основні функції DAQ-пристроїв: аналого-цифрове перетворення, цифро-аналогове перетворення, управління лічильником-таймером та створення віртуальних моделей напівпровідникових приладів [1].

Третій етап передбачає роботу DAQ-пристрою з перетворювачами фізичних величин-сенсорами. Це дозволяє використовувати можливості комп'ютера і є базою для вдосконалення лабораторного практикуму. Реалізація можливостей LABVIEW Community Edition передбачає можливість роботи в складі Ethernet мережі і перехід до організації колективного доступу до ресурсів лабораторного комплексу на основі платформи ELVIS-II і використання on-line тренінгів-дистанційного навчання від виробника –National Instruments (NI).

Запропонований підхід, від простого до складного, дозволить: спростити інтеграцію обладнання шляхом планомірного переходу, використовувати єдиний спосіб отримання даних від апаратних засобів NI і сторонніх виробників, створити бібліотеки програмного забезпечення для забезпечення лабораторного практикуму.

Лабораторна робота №1

Програмно-інструментальне середовище LABVIEW Community Edition

Мета роботи- вивчення процедури завантаження пакету LABVIEW Community Edition .

Загальні положення

Для завантаження пакету LABVIEW Community Edition знадобиться адреса електронної пошти. Перший крок – це реєстрація на www.ni.com/myni та створення акаунту (рис.1.1).

The screenshot shows the NI website interface. On the left, there's a navigation menu with links like Solutions, Products, Perspectives, Support, and Community. The main content area is titled 'Download the Latest Version of LabVIEW Community edition'. It includes a form for downloading the software and a separate section for creating a user account. The registration form is titled 'Создание учетной записи пользователя NI' and contains fields for 'Имя' (Name), 'Фамилия' (Surname), 'Область ответственности' (Area of responsibility), 'Адрес email' (Email address), and 'Пароль' (Password). There is a 'СОЗДАТЬ УЧЕТНУЮ ЗАПИСЬ' (Create account) button. Below the form, there is a disclaimer in Russian about data collection and privacy.

Рис.1.1.Створення акаунту

Після того, як акаунт буде створений, на електронну пошту надходить лист для підтвердження посилання (рис.1.2).

Підтверджуємо, натискаємо «Продовжити»

Спасибо!

Ваша учетная запись пользователя NI
подтверждена.

ПРОДОЛЖИТЬ

Рис.1.2.Підтвердження посилання

та отримуємо запрошення (рис.1.3).

The screenshot shows the NI user account login page. It is titled 'Учетная запись пользователя NI'. There is a 'Вход в систему' (Log in) button. Below it, there is a form with fields for 'Эл. почта' (Email) and 'Пароль' (Password). There is a link 'Забыли пароль?' (Forgot password?). At the bottom, there is a checkbox 'Не выходить из системы' (Do not log out of the system) and a button 'АВТОРИЗАЦИЯ' (Authorization). Below the button, there is a link 'Создать учетную запись' (Create account).

Рис.1.3.Запрошення

Встановлюємо опцію «Не виходити з системи» додаємо логін та пароль, далі натискаємо «Авторизація» та завантажуюмо iso-файл- образ диска з програмним забезпечення для інсталяції на комп'ютер (рис.1.4.).

Downloading LabVIEW 2020 Community

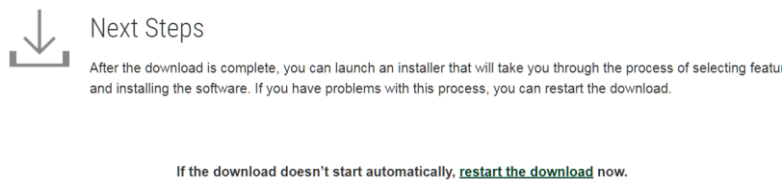


Рис.1.4. Етап завантаження програми

Отриманий iso-файл (рис.1.5)

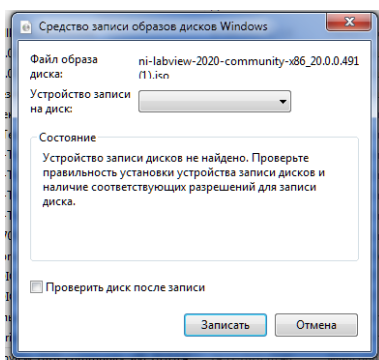


Рис.1.5. Отримання iso-файлу

потрібно відкрити, наприклад, за допомогою програми WinRAR (рис.1.6),

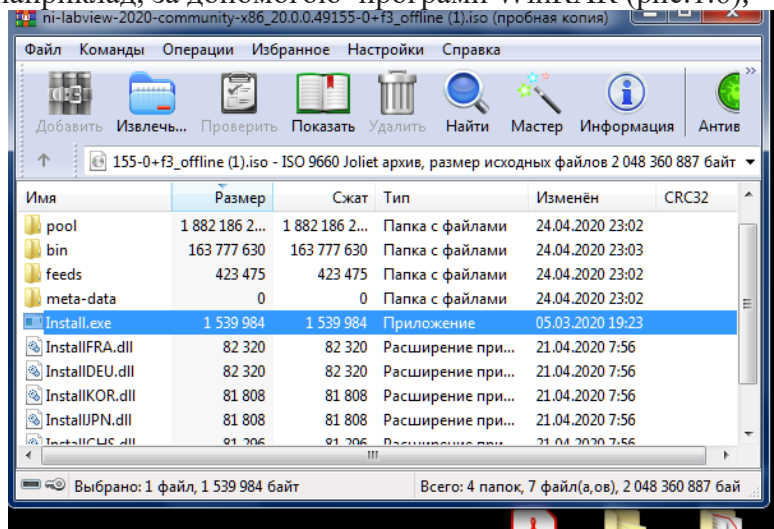


Рис.1.6. Відкриття файлу

Знаходимо файл Install.exe та ініціалізуємо його. Процедура встановлення LABVIEW Community Edition - розпочата. Далі процес активації програмного забезпечення, процес досить тривалий.

В ході процесу, прийняти ліцензійні умови, всі опції залишити за замовчуванням и тиснути «Далі».

По закінченню процесу активації маємо вікно з привітанням про успішну активацію і отримання доступу до програмного забезпечення на 365 днів (рис.1.7.).

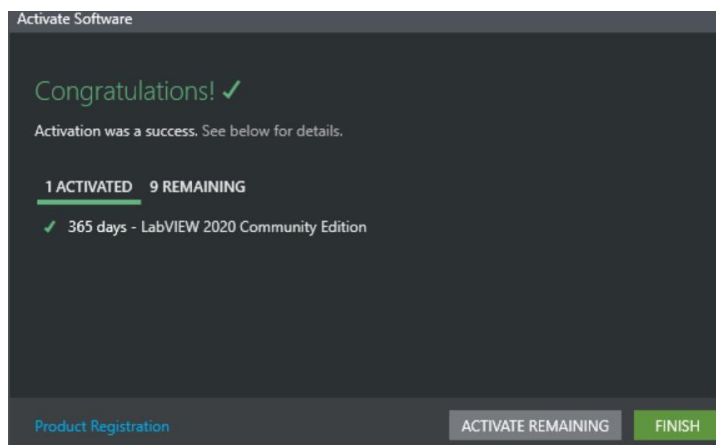


Рис.1.7. Етап завершення завантаження програми

Через рік процедуру активації потрібно повторювати.

Після цього стандартна процедура з перезавантаження комп'ютера. Перезавантажуємо. Після встановлення на робочому столі з'являються дві іконки, що відносяться до VIPM (Package Manager) за допомогою яких можливо встановлення додаткових бібліотек, відповідно іконку запуску програми шукаємо у меню комп'ютера «Всі програми» (рис.1.8.).

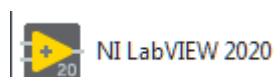


Рис.1.8.Запуск програми

Натискаємо , отримуємо титульну сторінку програмного середовища (рис1.9),



Рис.1.9.Титульна сторінка програми

Завдання до лабораторної роботи

- 1.Встановити програму LabView на персональний комп'ютер.
- 2.Звітувати з виконання лабораторної роботи шляхом надання скриншоту персональної титульної сторінки програмного забезпечення.

Контрольні питання

- 1.Які варіанти програмного забезпечення пропонує фірма National Instruments?

2. Основні положення ліцензійної умови, які особливості?
3. Iso- файл, в чому відмінність файлів подібного типу?
4. Які довідкові ресурси надаються на сайті виробника?

Лабораторна робота №2

Візуальний інтерфейс LabVIEW Common Edition

Мета роботи - вивчення загальних відомостей про візуальний інтерфейс програмно-інструментального середовища LABVIEW Community Edition. Засвоїти елементарні функції мови графічного програмування G, навчитись ставити завдання і вводити дані при створенні віртуальних приладів.

Загальні положення

LabView Common Edition – середовище розробки на графічній мові програмування «G» (від Graphic – графічний) від компанії National Instruments (NI) з певною технологією проєктування віртуальних приладів. Базовий принцип полягає в тому, що передача даних між елементами системи - функціями, вузлами, значками, кубиками або Node всередині програми визначає порядок її виконання. Вузли та віртуальні інструменти мають входи та виходи і вони обробляють дані, що надходять на входи та видають результати на виході. Шляхом графічного з'єднання входів та виходів відповідних віртуальних інструментів встановлюється порядок в якому необхідно обробляти дані-потоківий принцип.

Діалогове вікно після запуску програми має вигляд (рис.2.1)

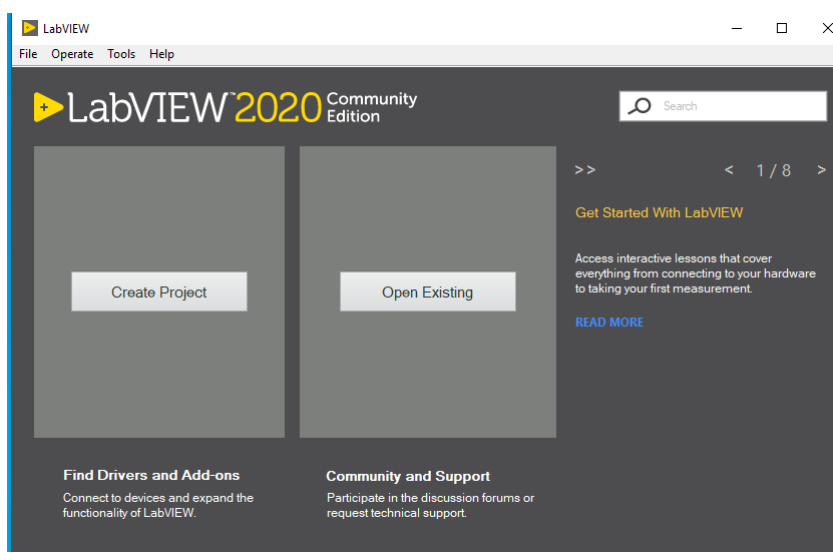


Рис.2.1. Діалогове вікно

Верхня частина має стандартне меню *File, Operate, Tools, Help*

Призначення:

File-керування файловою системою та створення проєктів,

Operate- редагування проєктів,

Tools- палітра інструментів,

Help-довідкова система.

Для створення графічного коду майбутнього віртуального приладу обираємо *File → New VI*, і відкривається одночасно дві візуальні панелі *Front Panel, Block Diagram*. Панелі мають головне меню та кнопки швидкого доступу до керування та налаштування програми користувача.

Розробка віртуальних приладів відбувається за допомогою двох панелей:

1) *Front Panel* або лицьова панель (рис.2.2);

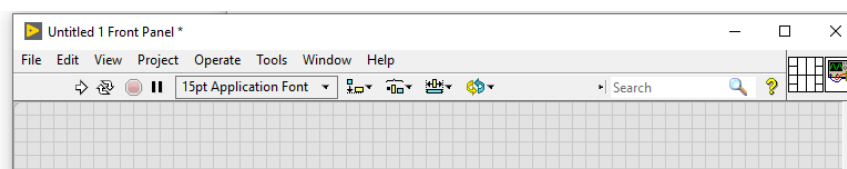


Рис.2.2.Лицьова панель

2) *Block Diagram* або блок-діаграма (рис.2.3).

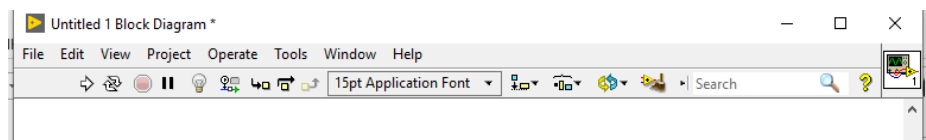


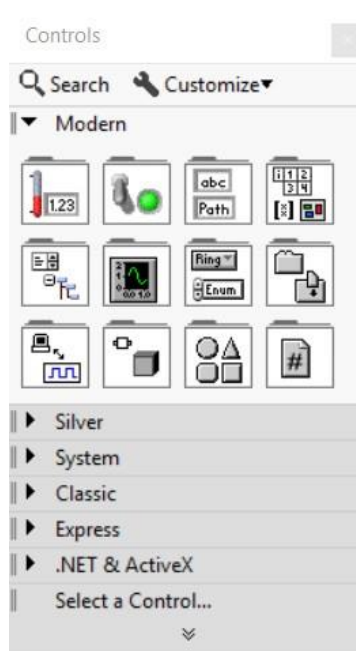
Рис.2.2.Функціональна панель

Призначення :

Front Panel- Лицьова панель. За допомогою панелі створюється зовнішній вигляд віртуального приладу та елементи керування, які є інтерактивними засобами вводу\виводу даних.

Block Diagram- Блок-діаграма. За допомогою панель синтезується програма роботи віртуального приладу у графічному вигляді.

Панель Controls- панель за допомогою якої створюють проєкт віртуального приладу на лицевій панелі (рис.2.3). Виклик панелі через головне меню *View → Controls Palette* або клацнути правою кнопкою миші у активній панелі.

Рис.2.3. Панель *Controls*

Елементи панелі *Controls*, це:

- 1) засоби вводу даних – елементи керування (кнопки, перемикачі, повзунки, інші);
- 2) засоби відображення даних – елементи відображення (графіки, цифрові табло, індикатори).

За допомогою панелі здійснюється візуальне розміщення елементів управління і елементів відображення на лицьовій панелі. В панелі *Controls* всі елементи розподілені по розділах:

- *Modern* - елементи управління і відображення ;
- *System* - елементи управління і відображення - мають стиль, що відповідає даній операційній системі (кнопки, смуги прокрутки) ;
- *Classic* - елементи управління і відображення - мають класичний стиль (альтернатива стилю *Modern*) ;
- *Express* - поширені елементи управління.

Кожен розділ може ділитися, в свою чергу, на підрозділи:

- числові елементи (*Numeric*) - використовуються в якості джерел або приймачів числових даних;
- логічні елементи (*Boolean*) - містять набір різних перемикачів, кнопок і індикаторів;
- елементи Рядок і шлях (*String & Path*) - представляють типи даних, які містять послідовність літер, символів, масивів;
- масив, матриця і кластер (*Array, Matrix & Cluster*) - структури, які дозволяють створювати масиви або кластери елементів. Масиви і кластери являють впорядковану множину елементів відповідно одного або різних типів. Елементами масиву можуть бути числові або логічні елементи, рядки або кластери. Тип елементів масиву визначається типом даних, які розміщені з палітри елементів в шаблон масиву;
- лист, таблиця і ієрархічний список (*List, Table & Tree*) - керуючі або керовані елементи, що дозволяють заносити або відображати літерну, символну і цифрову інформацію у вигляді набору рядків або ієрархічного списку;
- графік, віртуальні осцилографи (*Graph*) - містить набір об'єктів, які застосовуються для відображення реальних або розрахункових сигналів ;
- кільцевий список і перелік (*Ring & Enum*) - являють собою спеціальні числові об'єкти, які ставлять у відповідність 16-бітових цілих чисел, малюнків або те й інше;

- контейнери (*Containers*) - представляють об'єкти, всередині можуть розміщуватися елементи управління і індикації;
- введення / виведення (*I / O*) - містить елементи управління, використовують для встановлення параметрів пристроїв вводу-виводу даних;
- елементи керування та індикатори варіантів і класів (*Variant & Class*);
- оформлення (*Decorations*) - для розміщення на лицьовій панелі різноманітних графічних елементів: ліній, стрілок, рамок різної форми, написів;
- з розсилання (*Refnum*) - містить ідентифікатори, які зв'язані з відкритим додатком або файлом.

Після переміщення елементів управління або відображення даних на лицьову панель вони отримують своє графічне відображення (у вигляді терміналу даних) на блок-діаграмі.

Додаткові панелі користувача

1.Палітра інструментів (*Tools*).

Викликання панелі з головного меню *View*→*Tools Panel*. Призначення панелі –інтерактивна взаємодія користувача з панелями. між панелями та всередині панелей проєкту (рис.2.4).



Рис.2.4.Панель *Tools*

Опції панелі *Tools Palette* , включає набір керуючих кнопок для зміни режиму редагування:

- кнопка «вказівний палець» - інструмент «управління» служить для зміни позицій вимикачів і кнопок, управління значеннями цифрових регуляторів, настройки віртуальних осцилографів;
- кнопка «стрілка» - інструмент «переміщення» використовується для виділення, переміщення об'єктів, зміни їх розміру;
- кнопка «А» - інструмент «редагування тексту» - відкритому вікні і редагування текстового вікна;
- кнопка «котушка» - інструмент «з'єднання» служить для з'єднання об'єктів на панелі *Block Diagram*;
- кнопка «стрілка зі списком» -інструмент «контекстне меню об'єкта» викликає контекстне меню відповідного об'єкта;
- кнопка «рука» - інструмент «швидка прокрутка вікна» для перегляду вікна без звернення до смуг прокрутки;
- кнопка «червоне коло» - інструмент «контрольна крапка» дозволяє розміщувати і видаляти контрольні крапки на віртуальних пристроях, функціях, вузлах, провідниках даних, структурах і припиняти в них виконання програми;
- кнопка «Р» - інструмент «установка налагоджувальних індикаторів» дозволяє спостерігати дані в провідниках блок-діаграми при виконанні віртуального приладу;
- кнопка «пензель» - інструмент «встановити колір» призначений для зміни кольору об'єкта.

2.Панель функцій (*Functions*).

Призначення-допомога у програмуванні з використанням панелі функцій (*Functions*),

яка включає графічні образи функцій для керування об'єктами на лицьовій панелі.

Коли блок-діаграма відкрита палітра функцій *Functions* доступна, вона аналогічно до панелі *Controls* включає систематизовані набори стандартних елементів у вигляді окремих піктограм, з яких складається блок-схема віртуального приладу.

Палітра *Functions* викликається або клацанням правої кнопки миші в робочому просторі блок-схеми, або шляхом вибору в пункті головного меню *View* → *Functions Palette*.

Основні опції панелі *Functions* (рис.2.5) :

- структури (*Structures*) - складаються з керуючих структур програми, таких як цикли *For Loop*, *While Loop* і ін.;
- масив (*Array*) - функції для роботи з однорідними даними, включає функції виділення або заміни елементів масивів, виділення підмасивів, транспонування, зсуву, зміни розмірності

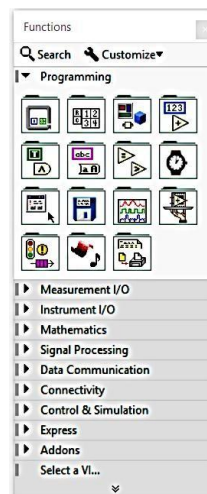


Рис.2.5. Палітра *Functions*

і т.п. ;

- кластер, клас і варіант (*Cluster*, *class* & *variant*) - функції для роботи з неоднорідними сукупностями даних, включає функції формування кластерів (кластер - пов'язана структура даних, елементи якої можуть бути різного типу) і масив;

- числові (*Numeric*) - містить повний набір математичних функцій, функцій перетворення форматів чисел і набір констант;

- логічні (*Boolean*) - включає набір функцій І (AND), АБО (OR), виключає Або (Exclusive Or), НЕ (Not) і логічні константи;

- строкові (*String*) - містить ряд функцій обробки змінних, функції взаємного перетворення чисел і рядків, а також строкові константи;

- порівняння (*Comparison*) - формує логічну змінну в залежності від результату порівняння вхідних змінних або дозволяє визначати співвідношення чисел, знаходження числа в заданому діапазоні, тип числа або тип символу;

- встановлення часу (*Timing*) - дозволяє задавати або визначати тимчасові інтервали або поточний час;

- діалог і інтерфейс користувача (*Dialog & User Interface*) - використовуються для створення діалогових вікон, що містять повідомлення для користувача;

- файл введення / виведення (*File I / O*) - виконує файлові операції запису і зчитування даних;

- управління додатком (*Application Control*) - дозволяє програмно керувати додатком LabView або віртуальним приладом на локальному або віддаленому комп'ютері;

- синхронізація (*Synchronization*) –використовується для синхронізації паралельних завдань і для передачі даних між такими завданнями;
- графіки і звук (*Graphics & Sound*) - дозволяють будувати тривимірні графіки, проводити запис / читання графічних файлів , формувати різні об'єкти на малюнку і здійснювати запис / читання звукових файлів;
- створення звіту (*Report Generation*) - дозволяє формувати звіти у вигляді HTML сторінок.

3.Інструментальна панель

Розташована під головним меню, містить кнопки та призначена для:

- одного запуску *Run* - запускає віртуальний прилад;
- безперервного запуску *Run Continuously* – віртуального приладу виконується багаторазово до моменту примусової зупинки;
- зупинення виконання віртуального приладу *Abort Execution* .

Створення віртуальних приладів

Для проєктування в середовищі LabView необхідно сформувати його лицьову панель і розробити блок-діаграму. При формуванні лицьовій панелі робиться вибір і установка на ній елементів управління і індикаторів з палітри елементів даної панелі.

Аналогічно при розробці блок-діаграми робиться вибір і установка функціональних елементів і підприладів з палітри функцій даної панелі.

Установка кожного елемента на лицьовій панелі супроводжується появою відповідного терміналу даних на панелі блок- діаграми. Термінали елементів управління є порти введення інформації в блок-діаграму, а термінали індикаторів - порти виводу інформації з блок-діаграми на лицьову панель. Для обробки введеної інформації і програмного управління параметрами і режимами роботи елементів лицьової панелі на панелі блок-діаграми розміщуються необхідні константи, функції (*Functions*), підприлади (*SubVI*) і структури (*Structures*), які також мають термінали для введення і виведення інформації. Все елементи представляють вузли (*nodes*) блок-діаграми, які з'єднуються з терміналами елементів управління і індикації і між собою лініями, так званими провідниками (*wires*). У такій схемі через вузли в процесі обробки проходить потік даних (*data flow*), що йде по дротам від вхідних терміналів до вихідних.

Вузли - це об'єкти на блок-діаграмі, які мають одне або більше поле вводу / виводу даних і виконують алгоритми. Вони аналогічні операторам, функціям і підпрограмам текстових мов програмування.

Термінали даних мають прямокутну форму і містять буквено-графічне позначення, що характеризує тип і форму подання сприймання ними даних. Таким чином, з вигляду терміналу можна визначити, є він джерелом або приймачем даних, які типи даних він сприймає - числові, логічні або строкові, а для числових - чи є число цілим або речовим. Для визначення використовують форму, колір, позначення. Крім того, вид терміналу можна визначити і за змістом контекстного меню.

Налаштування параметрів об'єктів лицьової панелі (елементів управління і індикаторів) і терміналів блок-діаграми відбувається за допомогою контекстного меню, що містить команди і опції . Контекстне меню відкривається за допомогою клацання правою кнопкою миші на об'єкті.

Об'єкти блок-діаграми включають графічне відображення елементів лицьової панелі, операторів, функцій, підпрограм віртуального приладу, констант, структур і провідників даних, за якими проводиться обмін даними між об'єктами блок-діаграми. Провідники даних між

терміналами аналогічні змінним на звичайних мовах програмування. Дані йдуть тільки в одному напрямку, з вихідного терміналу на один або більше терміналів адресата. Провідники мають різну товщину і колір. Синій колір відповідає цілим числам, помаранчевий - речовим числам, зелений - логічним, ліловий - строковим даним.

Кожне з'єднання має бути узгоджено по типу переданих та отриманих даних. Узгодження по типу включає наступні аспекти:

- до лінії передачі даних може бути підключено тільки одне джерело;
- до одного джерела може бути підключено необмежену кількість приймачів даних;
- не допускається з'єднання одних приймачів.

Порушення правил з'єднання проявляється в збереженні пунктирної сполучної лінії після закінчення з'єднання і в розриві кнопки запуску приладу.

Перший віртуальний прилад

Припустимо, що вимагається створити систему з елементів з яких - один прилад керуючий, а другий керований. Надати назви приладам. Індикатори у візуальному інтерфейсу надати паралельно з відповідною цифровою реєстрацією.

Функція керуючого елементу- цифровий елемент, що задає цифрові значення від 0 до 10.

Функція керованого елементу-декілька варіантів: приладом 1, приладом 2, індикатором цифрового значення.

Визначаємо шлях виконання завдання за прикладом (рис.2.6.).

Front panel→ File → Створити *New VI* →панель *Control* (Modern. Обираємо елемент *Numeric* →обираємо елемент *Gauge* та перетягуємо за допомогою миші на *Front panel* →обираємо елемент *Knob* та перетягуємо на *Front panel* →обираємо *Numeric control* та перетягуємо на *Front panel* →обираємо другий *Numeric control* та перетягуємо на *Front panel* →змінюємо назви елементів на *Front panel* відповідно до потрібного візуального вигляду *Front panel*

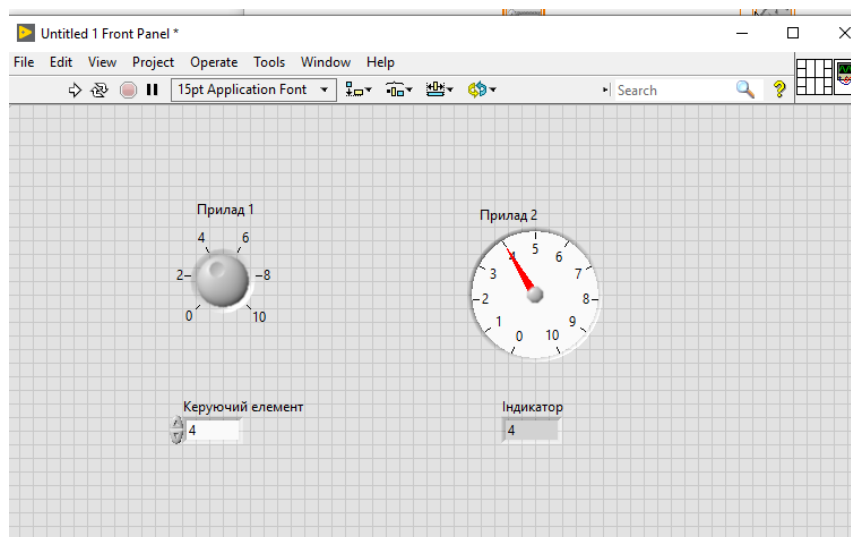


Рис.2.6. Приклад

Наступним кроком перевіряємо функції елементів: керуючий елемент- Control. Прилад1. Прилад2, Індикатор- Indicator, для цього клацнуть правою кнопкою миші по елементах. Зміну стану елемента за допомогою опції Change (Control/Indicator). Візуальний вигляд на Front Panel відповідно до завдання сформовано.

Переходимо до панелі Block Diagram на панелі автоматично сформовано термінали елементів.

Викликаємо допоміжну панель Tools, обираємо котушку для встановлення провідників з'єднання. Клацаємо по терміналу Керуючий елемент та протягуємо котушку до Приладу 1, Приладу 2, Індикатору відповідно до блок-діаграми (рис.2.7)

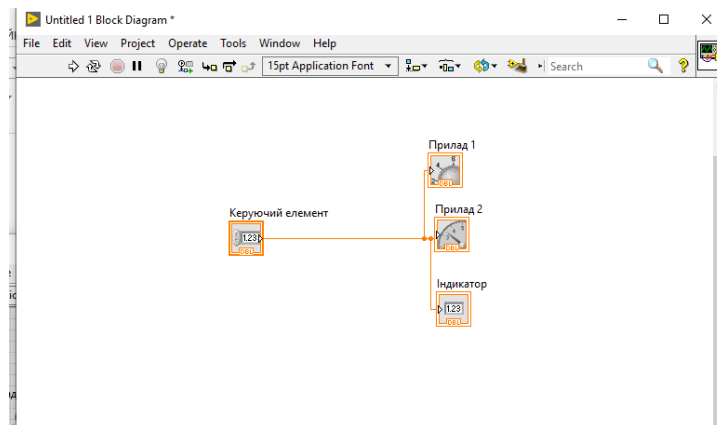


Рис.2.7. Блок-діаграма

Довідка. Якщо зв'язок встановлено невірно, він видаляється наступним чином: на панелі Tools мишею обирається опція «Стрілка», клацаємо по лінії фіктивного зв'язку (відбувається зміна кольору лінії) та натискаємо Delete.

Алгоритм роботи віртуального приладу реалізовано. Перевіряємо роботу віртуального приладу. Вносимо числове значення від 0 до 10 в віконце «Керуючого елементу» натискаємо на опцію RUN –кнопки швидкого доступу на Front Panel. Спостерігаємо зміни значення на Приладі 1, Приладі 2, та Індикаторі.

Завдання до лабораторної роботи

1. Ознайомитись з структурою та функціями стандартного меню *File, Operate, Tools, Help*, головних панелей.
2. Ознайомитись з опціями допоміжних панелей *Controls* та *Function* для створення візуального інтерфейсу за технологією *Drag&Drops*.
3. Виконати розглянутий приклад по створенню першого віртуального приладу.
3. Створити проєкт: віртуальний прилад для виконання арифметичних дій. Варіант обирається з Додатку 1 - порядковий номер за списком у групі. Результат обчислень надати окремим індикатором. Візуальний інтерфейс віртуального приладу за бажанням.
4. Звітувати з виконання завдання за лабораторною роботою №2 шляхом надання скриншоту *Front Panel* реалізованого проєкту.

Контрольні питання

1. Який базовий принцип обробки даних використовують в середовищі LabView?
2. Яке призначення мають *Front Panel* та *Block Diagram*?
3. За допомогою яких додаткових панелей створюються проєкти у LabView?
4. В чому полягає різниця між панелями *Functions* та *Controls*?
5. Надайте визначення поняттю- вузол у програваному середовищі LabView?
6. Як відбувається узгодження по типу переданих та отриманих даних?

Лабораторна робота №3

Розрахунок параметрів та характеристик сигналів

Мета роботи- визначення характеристик сигналів в електронних системах.

Загальні положення

Для теоретичного вивчення сигналів використовують їх математичні моделі. Однією з форм математичного опису (однією із моделей) сигналу є задання його функції $S(t)$ – часового представлення сигналу, що визначає його миттєві значення в будь-який момент часу t . Часове представлення сигналу задають або в аналітичному вигляді з допомогою конкретних функцій, наприклад $S(t) = S_0 \exp(-t)$, або в графічному вигляді з допомогою осцилограм, знятої на тій чи іншій ділянці електронної схеми. Відповідно, в більшості випадків значення функції $S(t)$ вимірюється у вольтах.

Сигнал постійного струму чи напруги, наприклад $f(t) = f_0$ (рис.3.1), має лише один параметр – величину постійної напруги f_0 .

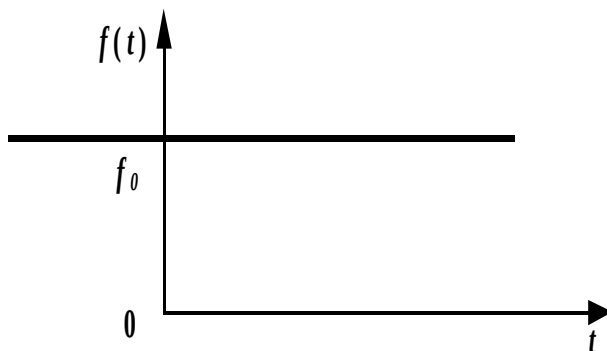


Рис.3.1. Осцилограма носія сигналу у вигляді постійної напруги $f(t) = f_0$

Іншим простим носієм є змінний струм, який математично описується у вигляді гармонічних коливань $f(t) = f_0 \sin(\omega t + \varphi_0) = f_0 \sin \varphi(t)$ або $f(t) = f_0 \cos(\omega t + \varphi_0) = f_0 \cos \varphi(t)$, де f_0 , ω , φ_0 – відповідно амплітуда, кругова частота і початкова фаза гармонічних коливань, а $\varphi(t)$ – загальна фаза коливань (рис.3.2). Усі ці чотири величини є параметрами носія, які можуть бути використані для формування сигналу.

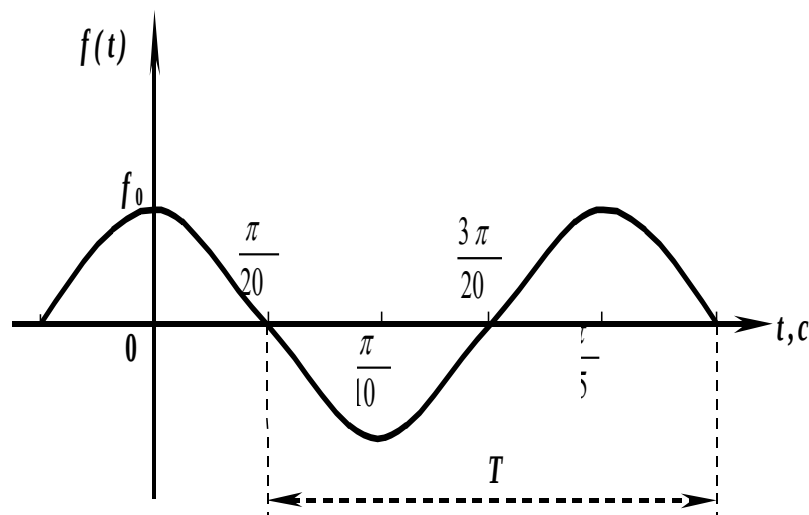
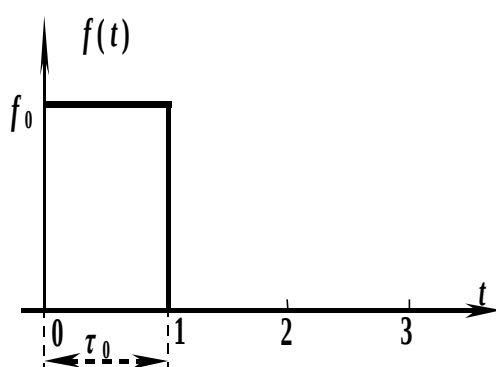
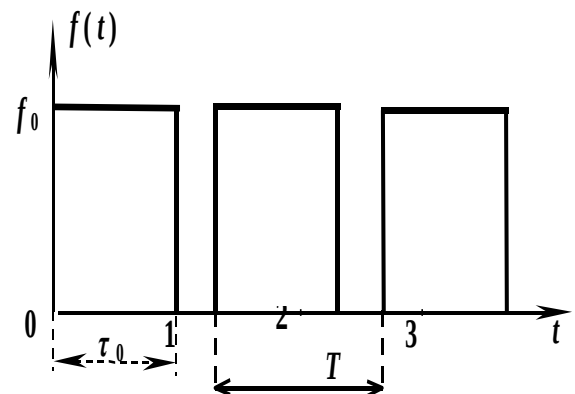


Рис. 3.2. Осцилограма носія у вигляді гармонічних коливань $f(t) = f_0 \cos \omega t$ при $\omega = 10$ рад/с

Простим носієм є і одиничний прямокутний імпульс струму чи напруги (рис.3.3а), який математично задається функцією форми імпульсу $f(t) = \begin{cases} f_0 : 0 \leq t \leq \tau_0; \\ 0 : t < 0, t > \tau_0 \end{cases}$. Функція форми імпульсу визначає всі його властивості. Основними параметрами одиничного прямокутного імпульсу є його амплітуда f_0 і тривалість τ_0 . Більш складні імпульсні носії являють собою одиничні прямокутні імпульси, що йдуть один за одним з періодом слідування T і описуються функцією $f(t) = \begin{cases} f_0 : (0 \pm nT) \leq t \leq (\tau_0 \pm nT); \\ 0 : (\tau_0 \pm nT) < t < \pm(n+1)T \end{cases}$, де $n = 0, 1, 2, \dots$ (рис.3.3б). Іноді в ролі імпульсних носіїв використовують і імпульси іншої форми, наприклад трикутної. Такі носії описуються такими ж параметрами, як і прямокутні імпульси.



а



б

Рис 3.3. Осцилограми носіїв у вигляді одиничного імпульсу (а) та у вигляді періодичної послідовності імпульсів з періодом слідування T (б)

Найпростішим прикладом носія у вигляді електромагнітного процесу є плоска гармонічна електромагнітна хвиля інтенсивністю I з періодом T , довжиною хвилі λ та швидкістю її поширення c . При цьому $\lambda = cT$.

Представлення сигналу (чи носія) функцією часу $S(t)$, як і всяке інше представлення, є абстракцією або моделлю, при якій багато особливостей реального процесу не враховується. Наприклад, гармонічні і періодичні коливання, записані вище, мають нескінченну тривалість і енергію, в той час як реальні сигнали завжди мають обмежену тривалість τ і обмежену енергію. Але аналітичне (у виді математичної функції) представлення обмеженого в часі сигналу набагато складніше, і тому там, де це можливо, використовують прості вирази, наведені вище.

Якщо необхідно проаналізувати не самі зміни складного сигналу в часі, а з'ясувати, з яких простих гармонічних коливань він складається, то використовують спектральне представлення сигналу $S(j\omega)$, в основі якого лежить перетворення Фур'є. Функція $S(j\omega)$ визначає амплітуди і фази всіх гармонічних коливань даного сигналу. Тобто, в спектральному представленні увага переноситься з часових залежностей на частотний спектр і сигнал подається у вигляді не функцій часу, а функцій частоти. Сукупність простих гармонічних коливань, на які можна розкласти даний сигнал, називають спектром. Смуга частот, у якій спостерігаються гармонічні коливання, що складають даний сигнал, називають шириною спектра сигналу F .

Для задання спектрального представлення $S(j\omega)$ в загальному випадку необхідно визначити дві функції і відповідно два графіки: для спектру амплітуд і для спектру фаз усіх гармонічних складових сигналу. Крім спектрального та часового, використовують і деякі інші представлення сигналів. Але вони практично використовуються набагато рідше.

З функцій $S(t)$ і $S(j\omega)$ можна визначити тривалість τ і ширину спектра F сигналу. Для багатьох сигналів така процедура проводиться досить легко. Але багато функцій, які описують сигнал, можуть не мати чітких часових і спектральних меж. У цих умовах тривалість або ширину спектра умовно визначають як часовий інтервал або як смугу частот, в яких зосереджено задану частку енергії сигналу. На практиці вважається допустимим відкидати часові або спектральні складові сигналу, які несуть до 10% його енергії.

Детальний спектральний і часовий опис буває необхідний не для всіх завдань. Іноді достатньо розглядати лише основні характеристики і параметри сигналу. При цьому до зазначених вище величин слід додати ще кілька загальних параметрів. Перевищення сигналу над завадою $D = 10\log(P_{cs}/P_{z\phi})$, де P_{cs} – середня потужність сигналу, $P_{z\phi}$ – середня потужність завади. Для імпульсних періодичних сигналів важливим параметром є шпаруватість $\mu = (T - \tau_0)/T$. Добуток трьох характеристик сигналу τ , F і D називають об'ємом сигналу $V = \tau FD$, а величина $\nu = 2\tau F$ – базою сигналу. Якщо $\nu \leq 1$, то сигнал називають простим або елементарним, а у випадку $\nu > 1$ сигнал буде складним. У більшості випадків елементарний сигнал являє собою одиночний імпульс струму чи напруги або короткий “відрізок” гармонічного електромагнітного коливання. Елементарні сигнали призначені для перенесення найпростіших окремих елементів інформації; “0” чи “1”, відповіді “так” чи “ні” і т.д. Складний сигнал являє собою сукупність елементарних сигналів.

Слід пам'ятати, що у формулу для об'єму сигналу перевищення сигналу над завадою потрібно підставити в децибелах. Інші ж параметри сигналів вимірюються такими одиницями: $[S_0] = [f_0] = \text{В}$, $[\omega] = \text{рад/сек}$, $[\varphi(t)] = [\varphi_0] = \text{град або рад}$, $[T] = [\tau] = \text{с}$, $[f] = [F] = \text{Гц}$, $[\nu]$ – безрозмірна величина, $[V] = [D] = \text{дБ}$. На закінчення нагадаємо зв'язок між простою частотою f , круговою частотою ω і періодом T гармонічних коливань: $\omega = 2\pi f$ і $T = 1/f$.

Класифікація сигналів

Загальна класифікація сигналів дуже широка і багаторівнева.

За роллю в передачі даної конкретної інформації електричні сигнали можна розділити на корисні сигнали і завади. Корисні сигнали несуть задану інформацію, а завади спотворюють, руйнують її, хоча в той же час вони можуть переносити іншу інформацію.

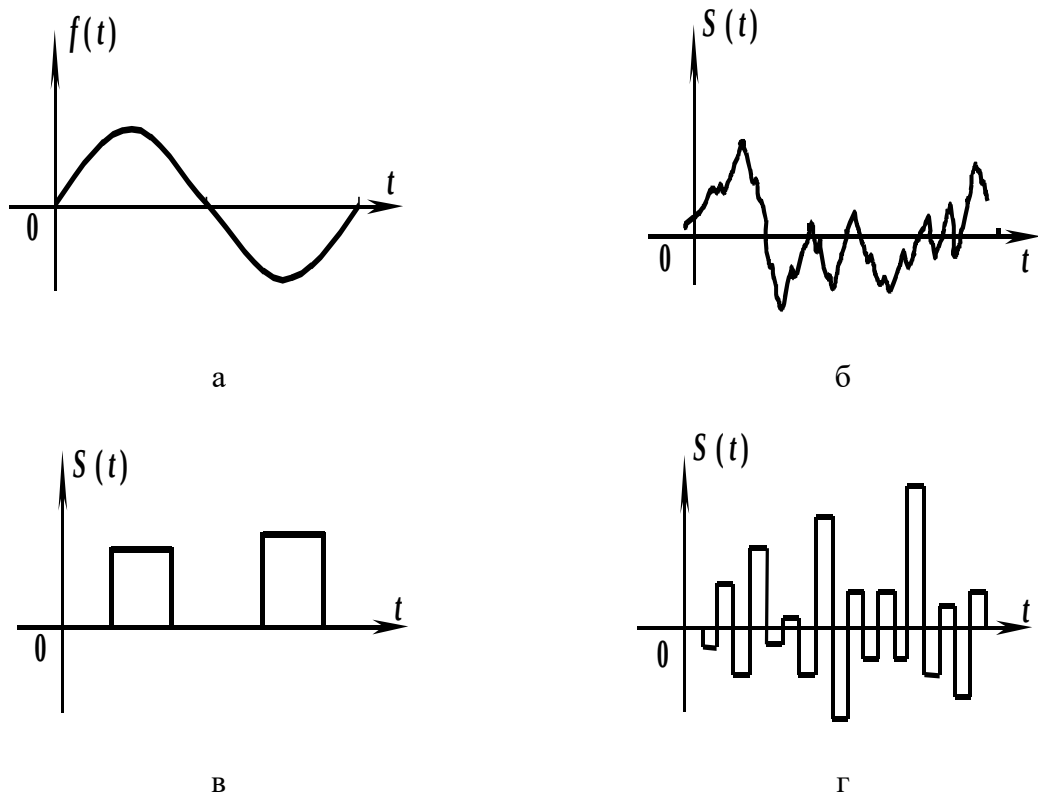
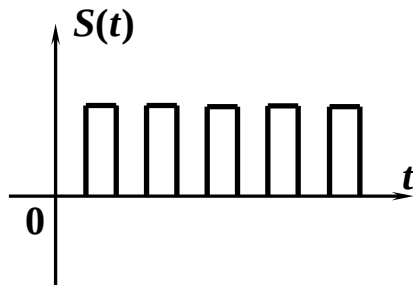


Рис.3.4. Осцилограми детермінованих (а, в) і випадкових (б, г) сигналів.

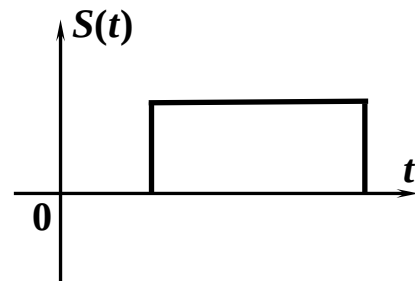
За ступенем визначеності очікуваних результатів розділяють детерміновані (рис.3.4а, в) і випадкові (рис.3.4б, г) сигнали. Випадкові сигнали в кожний момент часу змінюються випадково й описуються випадковими функціями. Математичний опис такого сигналу не дає можливості передбачити його зміни в майбутньому. Детерміновані сигнали описуються заданими функціями часу, значення і параметри яких передбачаються з великим ступенем визначеності. Такі сигнали є повністю відтворюваними. Детерміновані сигнали поділяють, у свою чергу, на періодичні (рис.3.2 та 3.3б) і неперіодичні (рис.3.3а та 3.4в).

За особливостями структури часового представлення сигнали діляться на дискретні (рис.3.3а; 3.3б та 3.4в) і неперервні (рис.3.1; 3.2; 3.4а та 3.4б). Елементи дискретних сигналів мають чіткі межі і можуть бути легко локалізовані в певні моменти часу. Математично дискретні сигнали описуються розривними функціями часу. Неперервні сигнали таких меж не мають, їх елементи зливаються один з одним і утворюють єдиний неперервний електричний процес. Спеціальними перетвореннями неперервний сигнал можна перетворити в дискретний і навпаки.

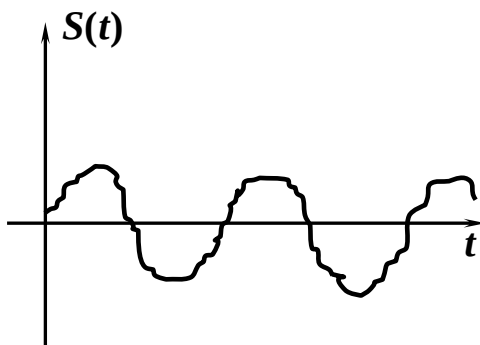
За характером змін у часі виділяють стаціонарні (рис.3.5а, в) і нестаціонарні (рис.3.5б, г) сигнали. Для стаціонарних сигналів з часом не змінюються їх усереднені характеристики, наприклад, середнє значення сигналу. Стаціонарні сигнали не слід ототожнювати із постійними сигналами, в яких відсутні параметри, які змінюються з часом.



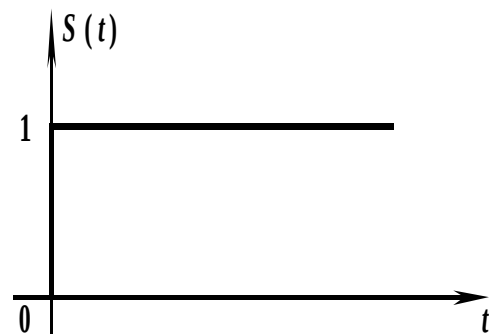
а



б



в



г

Рис.3.5. Осцилограми стаціонарних (а, в) і нестаціонарних (б, г) детермінованих сигналів

Залежно від особливостей спектрального представлення всі сигнали можна поділити (за величиною ширини спектра) на сигнали з вузькою смугою частот і сигнали з широкою смугою частот, а також на низькочастотні і високочастотні сигнали (залежно від величини частоти спектральних складових). Такий поділ у багатьох випадках є дуже відносним.

За значенням, яке сигнали мають у процесі модуляції, їх поділяють на модулюючі (власне інформація) і модульовані (носій з інформацією).

За видом перетворення, яке виконано над сигналом, їх поділяють на кодовані сигнали, демодульовані чи детектовані сигнали, підсилені сигнали, затримані сигнали, дискретизовані сигнали, квантовані сигнали та інші.

За належністю до того чи іншого способу застосування сигнали поділяють на телеграфні, телевізійні, радіолокаційні, радіосигнали та інші.

У процесі досліджень часто використовують еталонні або пробні сигнали. Найбільш вживаними із них є:

Згадуваний раніше простий гармонічний сигнал (рис.3.2) $f(t) = f_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$, $-\infty < t < \infty$.

Сигнал включення: $S(t) = 0$ при $t < 0$ і $S(t) = 1$ при $t \geq 0$ (рис.3.5г).

Лінійно наростаючий сигнал: $S(t) = 0$ при $t < 0$ і $S(t) = at$ при $t \geq 0$ (рис.3.6).

Імпульс у вигляді дельта-функції $S(t) = \delta(t - t_0) = 0$ при $t \neq t_0$ і $S(t) = \delta(t - t_0) = \infty$ при $t = t_0$ (рис.3.7). Крім того, потрібно обов'язково враховувати умову нормування дельта-функції

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0) dt = 1.$$

Звичайно, що кожний конкретний сигнал може одночасно відноситись до кількох видів.

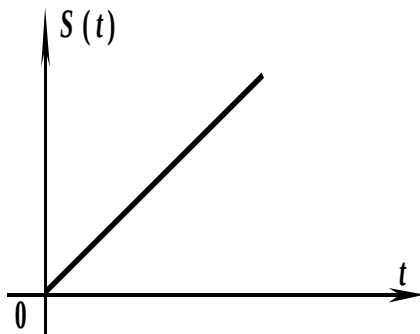


Рис.3.6. Осцилограма лінійно наростаючого сигналу

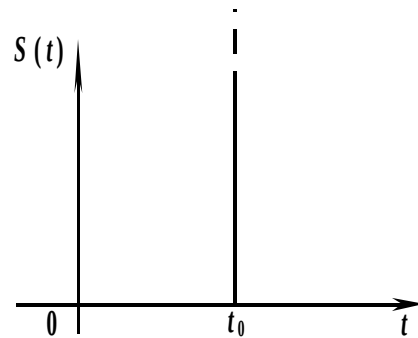


Рис.3.7. Осцилограма імпульсного сигналу у вигляді дельта-функції

Моделювання сигналів

Кожен сигнал має свої особливості і потребує специфічних методів опису і дослідження. Тому в теорії кожному класу сигналів відповідає своє математичне представлення, своя математична модель.

Математичною моделлю сигналу називають його опис з допомогою математичних об'єктів (функцій, векторів, розподілів, тощо), які дозволяють робити висновки про особливості сигналу, використовуючи формальні математичні процедури для його опису.

Математично сигнал вважається повністю визначеним, якщо задано функцію $S(t)$ – часове представлення сигналу, що визначає його миттєві значення, або функцію $S(j\omega)$ – спектральне представлення сигналу, яка визначає всі його спектральні складові.

Реальні сигнали дуже складні і конкретні, а математичні об'єкти, які їх описують, є спрощеними і абстрактними. Тому між сигналом-оригіналом і його моделями не вдається отримати повного збігу по всіх параметрах. Будь-яка математична модель є спрощенням реального сигналу. Але це спрощення досягається шляхом зосередження уваги на найбільш важливих обставинах і відкиданням усіх інших – несуттєвих для даного дослідження. Наприклад, у спектральному представленні сигналу увагу зосереджено на його частотному складі, а часові характеристики не розглядаються взагалі.

Відносини між сигналом-оригіналом і його моделями не є рівноправними. Але роль моделей дуже велика, оскільки з їх допомогою вдається глибше проникнути в суть досліджуваних електронних явищ і процесів внаслідок відкидання несуттєвих моментів, які

затіняють основні особливості сигналу. В той же час завжди слід чітко оцінювати межі застосовності тієї чи іншої моделі до реального сигналу.

При моделюванні сигналів не обмежуються статичною фіксацією відомостей про сигнал-оригінал. Для отримання необхідних даних і узагальнень потрібно проведення ряду перетворень наявної інформації за строго заданими правилами. Ці правила, при закладанні в модель перетворюють її з статичної в динамічну.

Особливості математичного опису випадкових сигналів

Багато характеристик і параметрів, вказаних вище, незастосовні до випадкових сигналів. У той же час для них задаються кілька нових параметрів, які впливають із статистично-ймовірнісного опису таких сигналів. У цьому випадку переважно обмежуються стаціонарними випадковими сигналами, які ми і будемо розглядати надалі.

Основним параметром цих сигналів є амплітудна густина. Для її розрахунку весь діапазон зміни величини $S(t)$ розбивають на інтервали ΔS (рис.3.8). У результаті миттєве значення величини $S(t)$ буде знаходитись у певному фіксованому інтервалі ΔS протягом n інтервалів часу $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots, \Delta t_n$. Тоді функцією амплітудної густини називають величину

$$h(S) = \lim_{\Delta S \rightarrow 0, \tau \rightarrow \infty} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{\Delta S \tau} \right), \text{ де значення } S \text{ береться в тій же точці, в якій задається}$$

інтервал ΔS .

Функція амплітудної густини зв'язана з іншими важливими параметрами – середнім значенням випадкового сигналу $\bar{S} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} S(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} h(S) S dS$ і дисперсією випадкового сигналу $\sigma^2 = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} [S(t) - \bar{S}]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} h(S) (S - \bar{S})^2 dS = \overline{S^2} - \bar{S}^2$.

Звичайно, що функція амплітудної густини не однозначно характеризує сигнал. Одному і тому ж розподілу $h(S)$ можуть відповідати різні сигнали – як швидко, так і повільно змінні в часі.

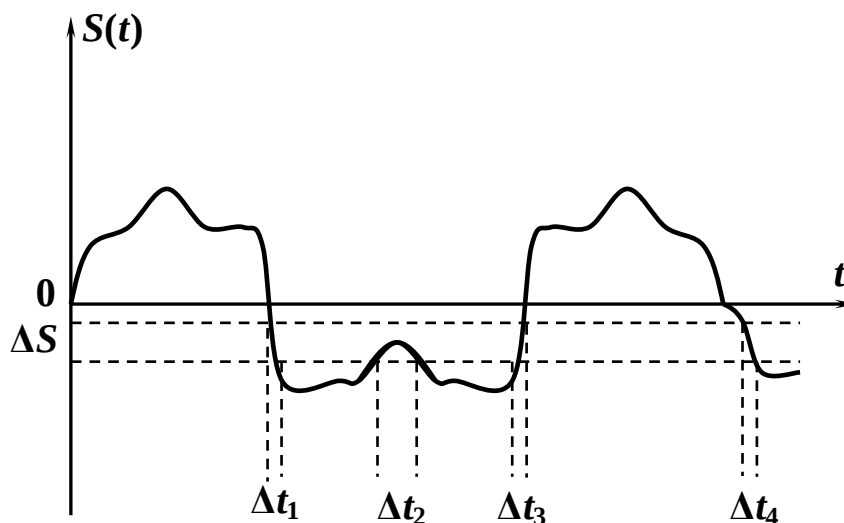


Рис. 3.8. Визначення функції амплітудної густини випадкових сигналів.

Завдання до лабораторної роботи

1. За заданими з таблиці 1.1, Додаток 1 відповідно до варіанту обрати параметри амплітуди сигналу S_0 , частоти f , початкової фази φ_0 , записати - у аналітичному вигляді представлення гармонічного синусоїдального сигналу. Побудувати осцилограму цього сигналу. Визначити період і кругову частоту цього сигналу, а також його фазу в градусах у момент часу $t = 15$ мс. Вважаючи, що часове представлення задає електромагнітну хвилю у вакуумі, знайти її довжину.

2. Використовуючи задані в таблиці 1.1 параметри амплітуди S_0 , кількості імпульсів n , тривалості імпульсу τ_0 , шпаруватості імпульсів μ , побудувати осцилограму імпульсного сигналу. Визначити період слідування, частоту слідування, часові інтервали між імпульсами, тривалість та базу сигналу. Який це сигнал – простий чи складний?

Вказівка: Ширину спектра сигналу обмежити його основною гармонікою $F = 1/\tau_0$.

3. З осцилограми сигналу, вказаної в останньому стовпчику таблиці 1.1, визначити види цього сигналу: корисний; шум; випадковий; детермінований; періодичний; неперіодичний; імпульсний; неперервний; еталонний; стаціонарний; нестаціонарний; постійний.

4. Надати ілюстрації, за допомогою LabView SE, у довільній формі для завдання 1-3.

5. Звітувати з виконання завдання. Надати розрахунки та ілюстрації у вигляді файлу.

Контрольні питання

- 1.Опишіть параметри носія для формування гармонійного сигналу.
- 2.Поясніть сутність спектрального представлення складного сигналу.
- 3.Як визначається шпаруватість сигналу?
4. По яких ознаках відбувається класифікація сигналів?
- 5.Надайте визначення детермінованих сигналів.
- 6.Визначить перелік основних еталонних або інакше пробних сигналів.
- 7.Назвіть умови за яких сигнал математично вважається повністю визначеним.
- 8.В чому полягає особливість математичного опису випадкових сигналів?

Лабораторная работа № 4

Дослідження температурної чутливості термісторів

Мета роботи- вивчення особливостей електропровідності напівпровідникових матеріалів, дослідження температурної залежності електропровідності. Ознайомлення з конструкціями та основними параметрами напівпровідникових термісторів.

Дослідити зміну електропровідності напівпровідникових матеріалів в залежності від температури, побудувати графіки температурної чутливості термісторів від температури, виконати аналіз температурної залежності параметрів термістора за допомогою віртуального приладу в середовищі LabVIEW Common Edition.

Загальні відомості

Терморезистори з від'ємним температурним коефіцієнтом опору (*NTC* термістори) [6] мають залежність опору від температури, в інтервалі температур порядку десятків градусів, що апроксимується виразом

$$R_T = R_N \cdot \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N} \right) \right],$$

де

R_T –опір терморезистора в Ом при температурі T в градусах Кельвіна (K),

B - постійний коефіцієнт, залежить від матеріалу,
 R_N -опір терморезистора в Ом при температурі T_N в K,

T, T_N –температура в K.

Даний вираз є наближеним (інколи в літературі зустрічається ще назва бета-рівняння) внаслідок температурної залежності B від температури.

Для ковалентних напівпровідників (кремній, германій) температурна залежність опору внаслідок зміни температурної чутливості обумовлено головним чином варіацією концентрації носіїв заряду, в залежності від стану зони провідності у напівпровідника [2-5].

Для оксидів на основі металів перехідної групи (від титану до цинку), для яких характерно іонні зв'язки, верхні електронні оболонки не заповнені і електропровідність відбувається за рахунок обміну вільними електронами. Концентрація вільних електронів виявляється постійною і температурний коефіцієнт чутливості визначається в даному випадку рухливістю носіїв заряду.

Тобто, маємо однаковий характер температурної залежності опору від температури, але фактори впливу на температурну чутливість B різні.

Таким чином, для визначення B потрібно знати температуру. В довідкових даних є величина температурної чутливості, що визначається по результатах вимірів значень опору при температурах 25°C (T_1) та 100°C (T_2) або інших значеннях температури, та обраховується за формулою

$$B = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{R_1}{R_2} = 1483,4 \cdot \ln \frac{R_{25}}{R_{100}}$$

При цьому R_{25} та R_{100} значення опорів термістора вимірювані за температурах 25°C и 100°C відповідно. Значення коефіцієнту B для більшості термісторів з від'ємним температурним коефіцієнтом опору (ТКО) дорівнює $2000 \dots 6000 \text{ K}$.

ТКО - α_R показує відносну зміну опору NTC термістора в Омах при зміні температури на один градус Цельсія. Визначають за рівнянням

$$|\alpha_R| = \frac{1}{R_{25}} \{(R_{25} - R_T)(25 - T_N)\}$$

ТКО залежить від температури, тому потрібно вказувати індекс, що вказує на температуру на якій мало місце дане значення.

Виробники компонент для визначення ТКО користуються більш зручним рівнянням

$$\alpha_R = \{B_N \cdot T_N^2\} 100\%,$$

розмірність ТКО в даному випадку - $\%K^{-1}$.

Значення ТКО термісторів в більшості випадків знаходиться в діапазоні $(0,8-7,0)10^2 \text{ \%K}^{-1}$.

За посиланням <https://cutt.ly/3YvyOf3> ознайомитись з довідковими матеріалами по терморезисторах, що виготовляються відповідно до стандартів ГОСТ та ДСТУ. Особливу увагу зверніть на характеристики термісторів з від'ємним коефіцієнтом опору, а також на характерні параметри та конструкції напівпровідникових термісторів.

За посиланням <https://cutt.ly/yjyvMvx> ознайомитись з довідковими матеріалами по термісторах в SMD виконанні фірми EPCOS та за посиланням <https://cutt.ly/MjyvZR7> також ознайомитись з довідковими матеріалами для стандартних NTS термісторів фірми TDK, зверніть увагу на номенклатуру продукції, термінологію, експлуатаційні характеристики та умови використання. Характерним параметром термісторів є B -коефіцієнт термічної чутливості. Коефіцієнт B залежить від температури, що є наслідком застосування певних матеріалів.

Експериментальна частина

Для визначення параметрів термісторів використовують обладнання, схема якого наведена на рис.4.1. Принципова схема побудована, як дільник напруги. На практиці для перетворювачів частіше застосовують мостову схему включення з терморезистором у одному плечі.

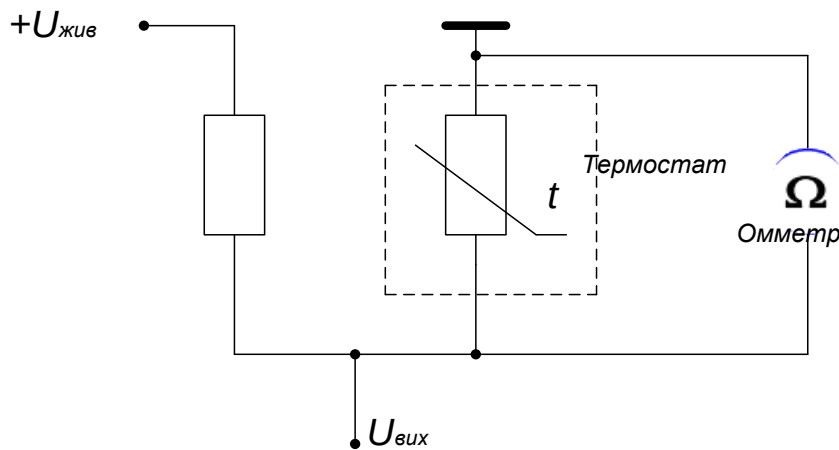


Рис.4.1. Принципова схема

Завдання до лабораторної роботи

1.Отримати графічну залежність опору термистору від температури. Термистор обирається за варіантом (обирається один з вісімнадцяти наведених номіналів відповідно до порядкового номеру у групі) з каталогу фірми TDK (Series B57540G № of R\T characteristic,) у діапазоні температур (25-85) °C, та (25-100)°C. Крок зміни температури 5 градусів. Побудувати графік та візуалізувати графік у середовищі *LabView*

2.Визначити співвідношення R_T/R_{25} з отриманих даних у діапазоні температур та порівняти з даними виробника. Розрахувати відносну похибку результату. Візуалізувати результат у середовищі *LabView*

3.Використати експериментальні дані та розрахувати температурний коефіцієнт опору та коефіцієнт температурної чутливості в діапазоні температур, порівняти з даними виробника. Розрахувати абсолютну похибку. Візуалізувати розрахунок у середовищі *LabView*.

Послідовність виконання завдання.

Скачати в папку *LabVIEW Data* файл «Термистор Лаб.№2_VI»

Запускаємо програму *LabView Common Edition*. Обираємо *Open Existing* → Термистор. Лаб №2_VI та переходимо до панелі віртуального приладу (рис.4.2).

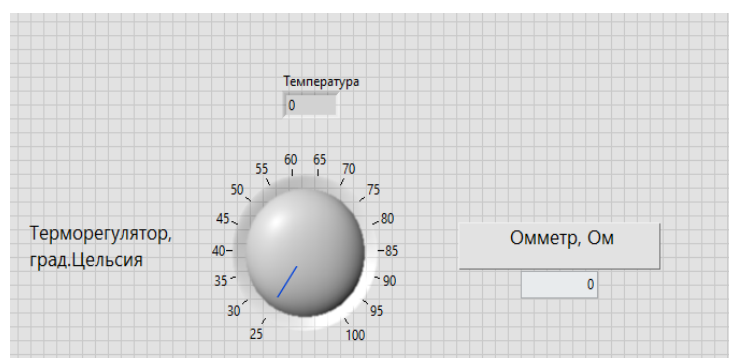


Рис.4.2. Front Panel

Проаналізувати бета-рівняння (рис.4.3) та виконати корекцію блок-діаграми віртуального приладу відповідно до варіанту завдання.

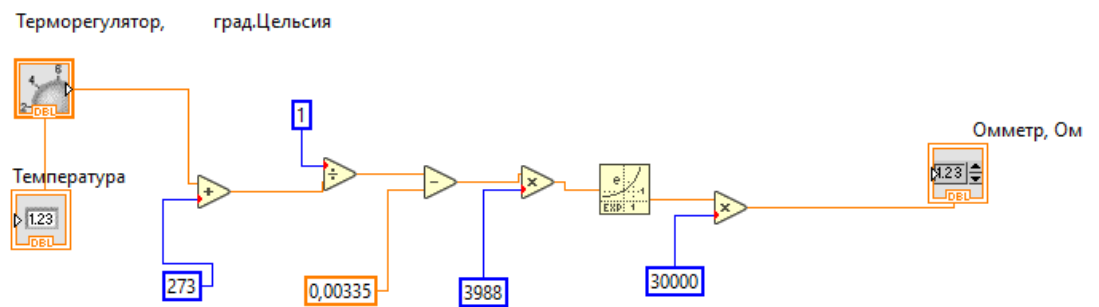


Рис.4.3. Алгоритм виконання бета-рівняння.

Виконати дослідження температурної залежності опору обраного термистора.

Виконати розрахунки по пп.2,3 завдання.

Звітувати з виконання лабораторної роботи та надати у вигляді двійкових файлів з розширенням .vi за варіантом та надати:

- блок - діаграму «Графічна залежність $R_T=f(T)$ »,
- блок - діаграму «Розрахунки».

Контрольні питання

- 1.В чому полягає особливість температурної залежності терморезисторів?
- 2.В чому полягає різниця між терморезисторами на основі кремнію та на основі оксидів металів перехідної групи.
- 3.Як визначається температурна чутливість терморезисторів?
- 4.Яка розмірність ТКО терморезистору?
- 5.За якою принциповою схемою визначають характеристики терморезисторів?

Лабораторна робота №5

Дослідження температурної залежності металів

Мета роботи- визначення температурної залежності електропровідності металів за допомогою вимірювання температури термоперетворювачів опору.

Загальні відомості

Номинали опорів резисторів зведені до стандартних рядів E6, E12, E24, E48, E96, E192. Стандартний ряд E 24 для опорів резисторів наведено за посиланням <https://cutt.ly/hYvjUoK>

При виробництві резисторів важко отримати точний номінал, тому другий параметр резистору- відхилення від номінального опору (допуск) встановлюють у % (відносно значення). Ряди та допуск на компоненти регулюються за нормативними міждержавними документами, зокрема ГОСТ 28884-90 «Preferred number series for resistors and capacitors, (див. за посиланням <https://cutt.ly/vjEZrSp>)

Опір металевих резистора, внаслідок температурної залежності електропровідності, використовують для реалізації функції перетворення опір-температура, тобто для побудови терморезистивних перетворювачів. До подібних компонент відносять термопари та термоперетворювачі опору [7].

Температура терморезистивного перетворювача визначається режимом його теплообміну з навколишнім середовищем. Теплообмін обумовлено умовами, що виникають внаслідок конвекції, теплопровідності досліджуваного середовища й самого термоперетворювача та від можливого теплового випромінювання. Матеріалами для термоперетворювачів опору є чисті метали, головним чином мідь і платина (сплави мають менший температурний коефіцієнт опору). Матеріалами для термопар є два різних метали або сплави які працюють у контакті між собою, при цьому виникає електрорушійна сила (ЕРС), як наслідок хімічної активності металів, що визначається за рядом електрохімічної активності металів, детальніше див. за посиланням <https://cutt.ly/BjEXTSr>.

Принцип дії термоперетворювачів опору засновано на здатності металів змінювати електричний опір під впливом температури. Параметр, що характеризує зміну електричного опору під впливом температури отримав назву температурний коефіцієнт опору,

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} .$$

Для більшості металів температурний коефіцієнт опору дорівнює 0,0035 – 0,0065 град⁻¹. До термоперетворювачів опору важлива стабільність характеристики перетворення та відтворюваність. В даний час для виготовлення термоперетворювачів опору застосовують мідь та платину.

Електролітичну мідь можна нагрівати до температури 180°C (без окислення). Функція перетворення мідних термоперетворювачів у діапазоні температур від - 50 до + 180°C практично лінійна і має вигляд

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

де α - температурний коефіцієнт електричного опору. град⁻¹,

t - температура, °C,

R_0 - опір при 0°C, Ом.

Термоперетворювачі на основі платини можна нагрівати до температури 1200°C. Функція перетворення нелінійна і в інтервалі температур від 0 до + 660°C має вигляд

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

а в інтервалі від 0 до - 180°C

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + C(t - 100)^2),$$

де R_0 - опір при 0°C;

A , B і C - сталі коефіцієнти.

Для температур понад + 660°C і нижче - 180°C залежність $R_t = f(t)$ використовують табличні дані, приклад таблиці для термоперетворювачі опору за посиланням <https://cutt.ly/mjYdrl7> визначається за ДСТУ «Термоперетворювачі опору».

Найпоширенішими промисловими термоперетворювачами опору є платинові –тип ТСП та мідні тип -ТСМ.

Платинові термоперетворювачі мають наступні опори при 0 °C: 1; 5; 10; 50; 100 и 500 Ом, та мають відповідні умовні позначення номінальної статичної\ характеристики: 1П; 5П; 10П; 50П; 100П; 500П. Мідні термоперетворювачі опору використовують для тривалого вимірювання температури у діапазоні від –200 до +200°C. Номінальні опори при 0 °C складають 10, 50, и 100 Ом, відповідні умовні позначення номінальних статичних характеристик - 10М; 50М и 100М.

Експериментальна частина

Метод калібрування термоперетворювачів опору полягає у порівнянні індивідуальної характеристики термоперетворювача з номінальною характеристикою, що наведена у нормативному документі та потрібно переконатись що експериментальні дані у межах номінальної характеристики.

Дослідження виконується шляхом занурення дослідного зразка термоперетворювача у зразковий термостат, отримані значення порівнюють з даними, що отримані за допомогою термометру, клас точності якого на порядок більший у порівнянні з термоперетворювачем опору

Для вимірювання опору використовується омметр, опір провідників для реалізації схеми вимірювання для спрощення не враховано.

По результату виміру визначається похибка відповідно до формули

$$\delta = \frac{R_t - R_n}{R_x - R_0} 100\%,$$

де

R_t –експериментальне значення опору термоперетворювача ,

R_n – статичне нормативне значення опору термоперетворювача,

R_0 и R_x – опір термоперетворювача відповідно при $t=0^\circ\text{C}$ и $t=\dots^\circ\text{C}$ за завданням, (значення з таблиць за ГОСТ 6651-2009).

Для виконання завдання, за посиланням <https://cutt.ly/ijYFxfhi>, відкрити віртуальний прилад, виконати вимірювання опору термоперетворювача у температурному діапазоні з кроком 5°C , побудувати графік температурної залежності

Вигляд *front panel* приладу (рис.5.1)

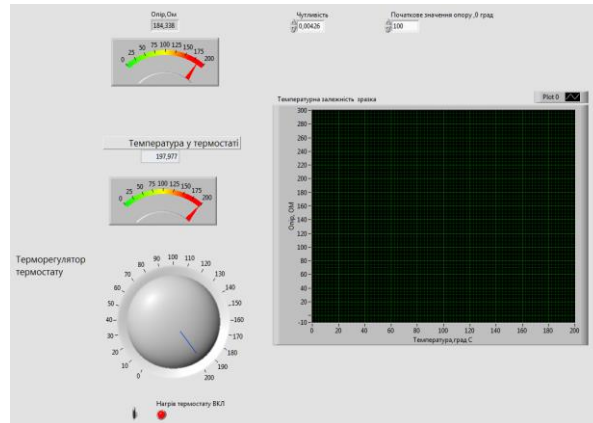


Рис.5.1. Лицьова панель

Завдання до лабораторної роботи

1. Ознайомитись з ГОСТ 6651-2009. Обрати мідний термоперетворювач опору за варіантом (таблиця А4 – перша половина групи за переліком, таблиця А5 друга половина за переліком групи).
2. Отримати температурні залежності перетворювача за допомогою віртуального приладу калібрування мідних термоперетворювачів опору у діапазоні $0-200^\circ\text{C}$. Обрати індивідуальний температурний діапазон для дослідження від 0°C відповідно до № (ПІБ за переліком) $\times 100^\circ\text{C}$.
3. Порівняти отримані дані з номінальною статичною характеристикою у відповідному температурному діапазоні ГОСТ 6651-2009.
4. Визначити значення номінального опору за рядом E24, надати умовне позначення, розрахувати значення відносного відхилення від номінального опору для відповідного термоперетворювача у температурному діапазоні.
5. Модифікувати блок-діаграму віртуального приладу калібрування (ВПК) для платиногового термоперетворювача опору в діапазоні $0-600^\circ\text{C}$
6. Звітувати про виконання лабораторної роботи та надати:
 - графік температурної залежності термоперетворювача за варіантом, двійковий файл;
 - розрахунок відносних похибок опору у діапазоні температур, двійковий файл;
 - блок-діаграму ВПК для калібрування платиногового термоперетворювача опору, двійковий файл.

Контрольні питання

1. Які стандартні ряди опор резисторів відомо, в чому полягає різниця між рядами?
2. В наслідок якого явища виникає електрорушійна сила в термопарах?
3. На якому принципі засновано використання терморезистивних перетворювачів?
4. Наведіть функцію перетворення для електrolітичної міді?
5. Чим відрізняється функція перетворення для платини від функції перетворення для міді?

Лабораторна робота №6 Дослідження температурної залежності ЕРС термопар

Мета роботи- вивчення методики вимірювання температури за допомогою термопар.

Загальні відомості

Загальний опис, принцип дії, пари металів що використовують для основних термопар наведено за посиланням <https://cutt.ly/ljPDoa9>.

Методика дослідження полягає у вимірі за допомогою цифрового вольтметра значення термоелектрорушійної сили (ТЕРС). ТЕРС E_T термопар залежить від температури T . Точне значення ТЕРС та різниця температур холодного T та гарячого спаїв термопар задається таблицею відповідних значень згідно до нормативних документів ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-84) «Номінальні статичні характеристики перетворення. Термоелектричні перетворювачі»

Принцип дії термопар засновано на здатності двох металів при контакті генерувати напругу яка може змінюватись під впливом температури (рис.6.1), [8].

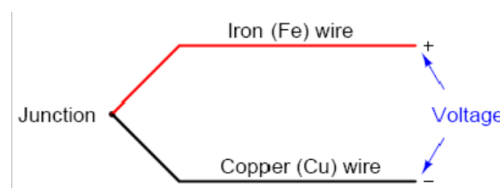


Рис.6.1 .Термопара залізо-мідь.

Практичне застосування такої схеми включення обмежено. У схемі вимірювання потрібно враховувати наявність провідників що з'єднують вимірювальний прилад та термопару (рис.6.2),

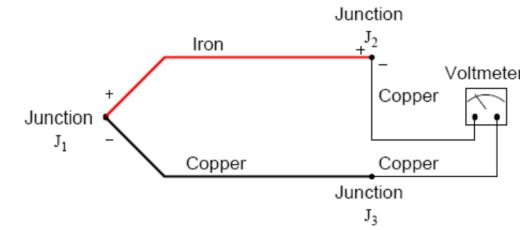


Рис.6.2. Схема з'єднань.

Таким чином, маємо два переходи-спай які генерують напругу в залежності від температури, але полярність напруги, що генерується-різна.

Третій перехід –спай не має впливу внаслідок з'єднання типу мідь-мідь.

Направленість напруги в різні боки на першому та другому переходах призводить до того, що за умови однакової температури на вказаних переходах, вихідна напруга на вимірювальному приладі-вольтметрі буде відсутня, тобто вольтметр реєструє нульове значення. Але як тільки на першому переході температура збільшиться, а на другому температура залишиться без зміни на виході з'являється напруга. Відповідно перший перехід отримав назву- гарячого спаю, а другий перехід отримав назву холодного спаю. При цьому напруга на вимірювальному пристрої буде дорівнювати різниці напруження першого та другого переходів.

Головною характеристикою термопар є відносна чутливість, α_T , мВ/°С. Залежність електрорушійної сили (ЕРС) термопар E_T від різниці температур (T_1-T_2) майже лінійна, якщо різниця незначеліка.

$$E_T = \alpha_T (T_1 - T_2). \quad (6.1)$$

Якщо, температура холодного спаю T_2 є кімнатною та відома, напруга на виході схеми з'єднань, рис2., визначена, то за формулою (6.1) визначаємо температуру гарячого спаю, а відповідно визначаємо температуру об'єкта, наприклад температуру в термостаті.

Визначення чутливості термопар у широкому температурному діапазоні потребує кусочно-лінійної апроксимації. Для кожної ділянки характеристики визначають локальну чутливість та потім визначають середнє значення чутливості температурного діапазону.

Експериментальна частина

Методика вимірювання полягає у вимірюванні електрорушійної сили вольтметром термопар, гарячий спай якої знаходиться у термостаті та піддається впливу температури, холодний спай залишається відкритим на повітрі. Температура у термостаті з терморегуляцією контролюється додатково зразковим термометром з ціною поділки 0,1°С, температура кімнатна також вимірюється зразковим термометром.

Вимірюється ЕРС термопар та встановлюється індивідуальна номінальна статична характеристики та порівнюється з номінальною характеристикою що наведена у нормативному документі. Експериментальні дані повинні бути у межах номінальної характеристики з відхилення до 5%.

Для виконання завдання, за посиланням <https://cutt.ly/5jDqfpV>, скористатись віртуальним приладом (рис.6.3).

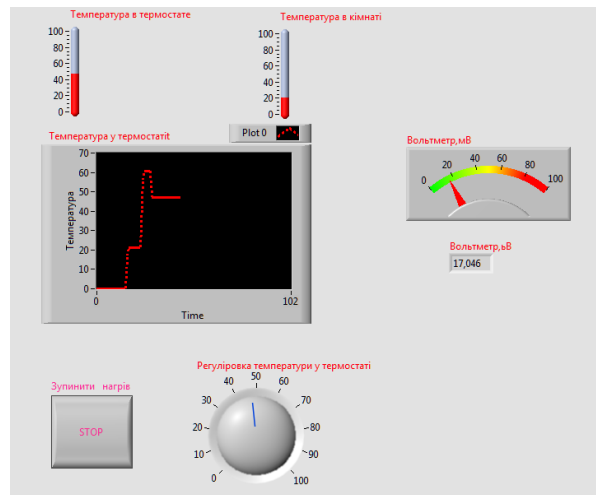


Рис.6.3.Front Panel установки для дослідження температурної залежності ЕРС від температури

Ознайомитись з блок-діаграмою віртуального приладу (визначити призначення елементів блок-схеми), виконайте потрібну модифікацію блок-діаграми. На блок –схемі, рис.6.4 стрілка вказує на елемент Numeric Constant з палітри Functions, потрібно обрати опцію Description and Tips - клацніть правою кнопкою миші по елементу. Визначаєте температурну залежності ЕРС для термопар відповідно до завдання.

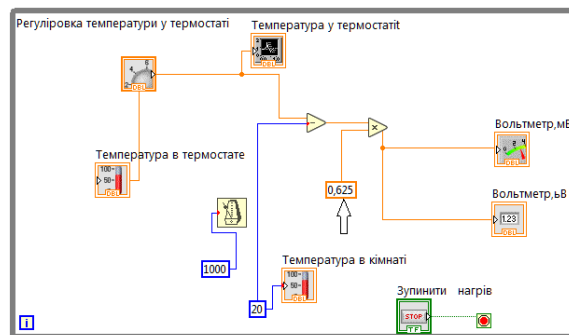


Рис.6.4.Блок-схема установки для дослідження термопар

Завдання до лабораторної роботи

1.Скористатись ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-84) «Номінальні статичні характеристики перетворення. Термоелектричні перетворювачі», посилання <https://bit.ly/3pD1HVV> та визначити для термопар: хромель-копель, мідь-константан, залізо-константан, хромель-алюмель, платина-платинародій залежність електрорушійної сили від температури у вигляді типу $y = ax$.

2.Визначити з яких металів виготовлена термопара, якщо графічна залежність має вигляд:

а) $y = 0,714x$,

б) $y = 0,516x$,

в) $y = 0,0375x$,

г) $y = 91 \cdot 10^{-4}x$.

3.Порівняти дані отримані по пп.1 та пп.2 у двох точках: 30°C та 60°C

та визначити відносну похибку.

4.Звітувати про виконання лабораторної роботи та надати:

- графіки температурної залежності за варіантом; розрахунок відносної похибки, скриншот екрану з графіком

-висновки з відповідності за п.2 «Характеристика –тип термопар».

Контрольні питання

1. Яку інформацію можливо отримати з номінальної статичної характеристики перетворення?
2. Яка різниця між гарячим та охолодженим спаями термопар?
3. Як впливають з'єднувальні дроти на термопару?
4. Яка характеристика для термопар є головною?
5. За якою формулою визначається температура гарячого спаю?

Лабораторная работа № 7

Дослідження характеристик діелектричних матеріалів

Мета роботи - вивчення методу вимірювання діелектричної проникності та кута діелектричних втрат діелектричних матеріалів

Загальні відомості

Властивістю діелектрика є його поляризація при знаходженні у електричному полі. Кількісно поляризацію визначає діелектрична відносна проникність. Ємність конденсаторів пропорційна до відносної діелектричної проникності, в інженерній практиці термін «відносна» не використовують, тобто ємність визначають як

$$C = \varepsilon \cdot C_0, \quad (7.1)$$

де

C_0 — ємність вакуумного конденсатору,

ε — відносна діелектрична проникність діелектрика, для вакууму $\varepsilon = 1$, для інших діелектричних матеріалів $\varepsilon > 1$, таблиця 1.

Таблиця 1.1 – Діелектрична проникність окремих діелектриків [9]

Найменування	Агрегатний стан	ε
НЕПОЛЯРНІ ДІЕЛЕКТРИКИ		
Стеклотекстолит	Твердий	5...7
Гетінакс	Твердий	5...6
Текстолит	Твердий	6...7
Асботекстолит	Твердий	7...8
Поліетілен	Твердий	2,4-2,6
ПОЛЯРНІ ДІЕЛЕКТРИКИ		
Хлористий натрій $NaCl$	Твердий	6,0-6,1
Рутит TiO_2	Твердий	110-112

Відносна діелектрична проникність зв'язана з абсолютною проникністю співвідношенням - $\varepsilon_V = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_V$, розмірність Ф/м.

ε_0 – фізична константа, що дорівнює $8,854 \times 10^{-12}$ Ф/м.

Діелектрична проникність відображає зв'язок величини поляризації P речовини та напруженості електричного поля E

$$P = (\varepsilon - 1)\varepsilon_0 E, \quad (7.2)$$

Електрична ємність плоского конденсатору визначається за формулою

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{h}, \quad (7.3)$$

де

S – площа плоского конденсатору(електродів), м²;

h – товщина діелектрика, м.

Ємність конденсатору циліндричної форми (рис.7.1), визначається за формулою

$$C = \varepsilon \frac{2\pi \cdot l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (7.4.)$$

де

l – довжина циліндричного конденсатора, м;

r_1 – радіус внутрішнього електрода, м;

r_2 – радіус зовнішнього електрода, м.

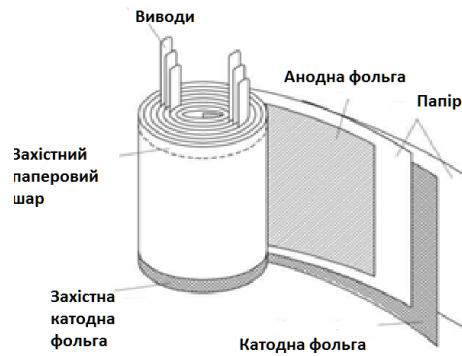


Рис.7.1.Конденсатор у формі циліндру

Діелектричні втрати – для ділянки ізоляції з опором R , Ом, що знаходиться під дією постійної напруги U , В потужність діелектричних втрат P , Вт визначається за відомою формулою Джоуля-Ленца. У випадку коли ділянка ізоляції підключена до змінної напруги U , В з частотою f , Гц , потужність втрат P , Вт на ділянці з ємністю C , Ф, отримують за формулою

$$P = UI_a, \quad (7.5)$$

де I_a - активна складова наскрізного струму , А.

При дослідженні діелектрика з втратами, що працює з зміною напругою доцільно використовувати еквівалентну схему. Схема складається з діелектрика без втрат (так званий ідеальний конденсатор) та резистору з активним опором які поєднанні між собою або паралельно "б" ($\text{tg}\delta \geq 0,01$.), або послідовно "в" ($\text{tg}\delta \leq 0,01$), (рис. 7.2).

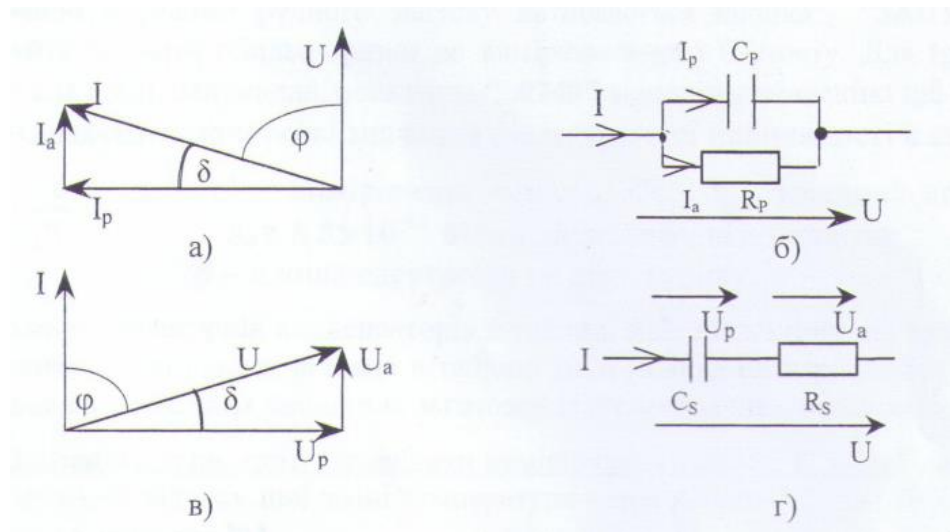


Рис. 7.2. Схеми заміщення діелектрика з втратами ідеальним конденсатором і активним опором
а), в) діаграми напруг та струмів, б) паралельна схема заміщення, г) послідовна схема заміщення

I -зарядний струм ємності;

U_c -загальна прикладена напруга, $U_c = \sqrt{2}U_0 \sin(\omega t + \varphi)$ - де φ -кут зсуву фази, ω -кутова частота, рад, $\omega = 2\pi f$, де f -частота, Гц;

C_p, R_p -еквівалентні ємність та опір для паралельної схеми заміщення;

C_s, R_s -еквівалентні ємність та опір для послідовної схеми;

I_a, U_a -активні складові струму та напруги на резисторі;

I_p, U_p -реактивні складові струму скрізь конденсатор та напруга на конденсаторі, обумовлені поляризаційними процесами;
 δ -кут діелектричних втрат.

Відповідно для паралельної схеми отримаємо наступні вирази:
-тангенс кута втрат

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_p} = \frac{1}{\omega C_p R_p} ; \quad (7.6)$$

-потужність втрат

$$P = U^2 \omega C_p \tan \delta ; \quad (7.7)$$

а також для послідовної схеми:

-тангенс кута втрат

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_a}{U_p} = \omega C_s R_s ; \quad (7.8)$$

-потужність втрат

$$P = U^2 \omega C_s \frac{\tan \delta}{1 + \tan \delta} . \quad (7.9)$$

Тангенс кута діелектричних втрат характеризує ту частину потужності електричної енергії P_a яка перетворюється в теплову енергію (безповоротно розсіюється у діелектрику). Зворотне значення, щодо $\tan \delta$, є добротність Q .

Кут діелектричних втрат залежить не тільки від величини прикладеної напруги, а також від частоти , температури та вологості . Залежності для вказаних факторів мають суттєво нелінійний характер. Приклад частотної залежності наведено на рис.7.3.

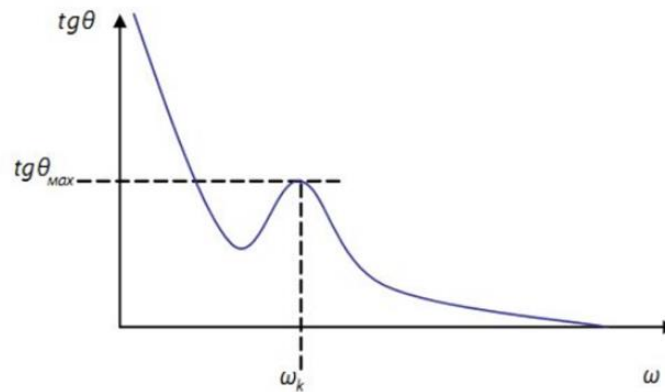


Рис.7.3. Теоретична залежність діелектричних втрат $tg \delta$ від частоти прикладеної напруги для полімерного діелектрика

Різноманіття фізичних процесів різних типів поляризації проявляється в специфіці температурної залежності діелектричної проникності і втрат. Ступінь залежності ϵ від температури кількісно оцінюється температурним коефіцієнтом діелектричної проникності $TK\epsilon$:

$$TK\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{\Delta\epsilon}{\Delta t} . \quad (7.10)$$

Для твердих неполярних діелектриків характерно монотонне зменшення ϵ з ростом T , що обумовлено зменшенням кількості молекул в одиниці об'єму.

В околиці крапки плавлення відбувається найбільш суттєва зміна діелектричної проникності, пов'язане з різкою зміною щільності речовини. діелектрики (неорганічне скло, фарфор) мають, як правило, велике позитивне $TK\epsilon$.

У твердих полярних діелектриках (целюлоза, полярні полімери, лід) дипольним моментом володіють молекули або радикали, що входять до їх складу. При наявності радикалів поляризація (так звана диполь-радикальна) обумовлена їх орієнтацією по відношенню до молекул. Таку поляризацією має целюлоза, полярність якої обумовлена наявністю в її складі гідроксильних груп водню.

Процеси орієнтації диполів відбуваються на тлі хаотичного теплового руху, тому полярні діелектрики мають істотну залежність ϵ від температури.

Із збільшенням температури сили молекулярної взаємодії послаблюються, в'язкість зменшується, що сприяє поляризації і зростанню діелектричної проникності. Подальше зростання температури супроводжується збільшенням енергії теплового руху молекул, яке порушує орієнтацію, так як є хаотичним. В результаті цього у деяких полярних діелектриків залежність $\epsilon(T)$ має максимум.

Серед твердих діелектриків найбільш яскраво вираженими максимумами в залежності $\epsilon(T)$ мають сегнетоелектрики (сегнетова сіль, титанат барію та інші).

Дипольна поляризація пов'язана з орієнтацією диполів в в'язкому середовищі, тому супроводжується відносно високими втратами енергії. Втрати при електронній та іонній поляризації - істотно менші.

Температурна залежність втрат зазвичай має монотонний характер, втрати зростають зі зростанням температури, хоча у деяких полярних діелектриків (целюлоза, каніфоль) спостерігаються локальні максимуми.

Експериментальна частина

Виконати вимірювання ємності та кута діелектричних втрат за допомогою «Вимірювача ємності та кута діелектричних втрат» - віртуального приладу, що побудовано за мостовою схемою для діелектриків з малими втратами, $\text{tg}\delta \leq 0,01$. *Front panel* наведено на рис 7.4.

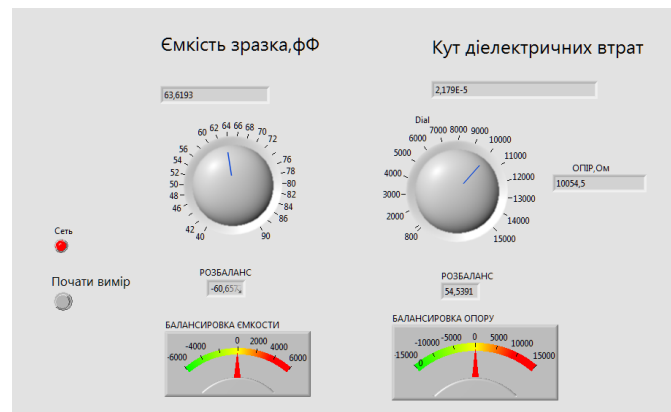


Рис.7.4. *Front panel* віртуального вимірювача ємності та кута діелектричних втрат

За посиланням <https://cutt.ly/LjnBqrX> завантажити віртуальний прилад, проаналізувати блок –схему віртуального приладу. Для роботи з приладом потрібно використовувати наступні функції:

- початок вимірювання після натискання кнопки «Почати вимір»
- балансування мосту, виконується по чергово спочатку ємність, потім опір та отримати результати вимірювання, що надаються на відповідних цифрових індикаторах ємності та кута діелектричних втрат. Балансування мосту потрібно контролювати та отримати мінімальне значення розбалансу мосту. Повторюйте операцію декілька разів.
- фіксування результату вимірів. Отримані значення для схеми заміщення –ємності та опору зразка вказують відповідні індикатори.

Для розрахунків використовуємо зразок діаметр та товщина зразка відповідно до ГОСТ 16338-85. Вигляд зразка для лабораторного дослідження наведено на рис. 7.5.

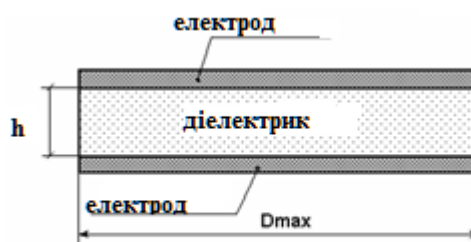


Рис.7.5. Зразок для дослідження

Визначення тангенса кута втрат діелектрика $tg\delta$ за формулою,

$$tg\delta = \frac{U_a}{U_p} = \omega C_s R_s,$$

де C_s – вимірювана ємність зразка, Ф;

R_s - опір зразку, Ом;

h - товщина зразка, м;

S - площа електроду, м

ϵ_0 - константа, дорівнює $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м ;

ω – кутова частота, град\сек.

Визначення діелектричної проникності за формулою (7.3).

Завдання до лабораторної роботи

1. Ознайомитись з нормативною документацією:

- ГОСТ 16338-85 «Поліетілен низького тиску. Технічні умови» за посиланням <https://cutt.ly/DjbU9XQ>

- ГОСТ 223372-77 «Методи визначення діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат в діапазоні частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц. за посилання <https://cutt.ly/WjbObgz>

2. Обрати зразок матеріалу-поліетілен за варіантом (номер у переліку групи за ПІБ-марка газофазного поліетілену), Таблиця 7.1.

Таблиця 7.1

№№	Марка газофазного поліетілену	№№	Марка газофазного поліетілену	№№	Марка газофазного поліетілену
1	20108-001	8	20808	15	273-73
2	20208-002	9	20908	16	273-79
3	20308-005	10	21008	17	273-80
4	20408	11	271-70	18	273-81
5	20508	12	271-82	19	276-73
6	20608	13	271-83	20	276-75
7	20708	14	273-71	21	276-83

3. Діелектричну проникність, втрати та коефіцієнт втрат опосередковано визначити за формулами- початкові значення при кімнатній температурі 25°C та частоті 10^6 Гц. Отримані дані порівняти з даними відповідно до ГОСТ16338-85, визначити абсолютну та відносну похибки за результатами досліджень.

4. Звітувати з виконання лабораторної роботи та надати:

- дані вимірів та розрахунки похибок вимірів ємності та кута діелектричних втрат віртуальним приладом,
- розрахунки виконувати у середовищі LabView з використанням блок-схеми арифметичних операторів та звітувати шляхом надання файлів віртуального інструменту та ілюстрації до розрахунку.

Контрольні питання

1. В чому полягає особливість діелектриків з позиції зонної теорії побудови твердих тіл?
2. Яке фізичне явище є головним для властивості діелектриків?
3. Як визначається ємність плоского конденсатора?
4. Як виглядають схеми заміщення реального діелектрика?
5. Який фізичний сенс тангенса кута втрат для діелектрика?
6. Який вплив має температура на діелектричну проникність?
7. В чому полягає різниця між полярними та неполярними діелектриками?
8. Проаналізуйте блок-схему виміру ємності.

Лабораторная работа №8.

Визначення температури Кюрі ферромагнетика за зміною магнітного проникнення

Мета роботи - дослідження температурної залежності магнітного проникнення у ферромагнетиках, визначення температури Кюрі.

Загальні відомості

Будь-яке речовина є магнетиком, тобто здатна під дією магнітного поля намагнічуватися. Для пояснення намагнічування речовин вважають, що в молекулах речовини циркулюють колові струми (мікроструми), які створюють в навколишньому просторі власне магнітне поле [10, 11].

При відсутності зовнішнього поля, $H=0$, молекулярні струми орієнтовані хаотично. Під дією поля магнітні моменти молекул здобувають переважну орієнтацію в одному напрямку - речовина намагнічується.

Намагніченість магнетика прийнято характеризувати магнітним моментом одиниці об'єму. Ця величина має назву - вектор намагнічування (або намагніченість).

Величина вектору намагнічування залежить від напруженості намагнічуючого поля

$$\vec{J} = \mu\chi\vec{H}, \quad (8.1)$$

Де χ - магнітна сприйнятливість, що визначається походженням речовини. Таким чином, для опису магнітного поля використовують три вектори: вектор намагнічування, вектор напруженості поля та вектор магнітної індукції. Вказані вектори пов'язані співвідношенням

$$\vec{B} = \mu_0\vec{H} + \vec{J}, \quad (8.2)$$

З урахуванням (1) рівняння (2) набуває вигляду

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \chi\vec{H}) = (1 + \chi)\vec{H} = \mu\mu_0\vec{H}. \quad (8.3)$$

Величина $1 + \chi = \mu$ має назву відносної магнітного проникнення речовини.

В залежності від знаку і величини магнітної сприйнятливості всі магнетики поділяють на три групи:

- 1) Діамагнетики, у яких магнітна сприйнятливість менше нуля та мала за абсолютним значенням.
- 2) парамагнетики, у яких магнітна сприйнятливість більше нуля та також мала за значенням.
- 3) ферромагнетики, у яких магнітна сприйнятливість значно більша за одиницю та досягає значних значень.

Електрон, як елементарна частинка характеризується зарядом, масою, власним механічним і магнітним моментами.

Ферромагнітні властивості пояснюються суворою орієнтацією по полю власних магнітних моментів електронів у речовині.

Навіть при відключенні зовнішнього поля ця орієнтація зберігається. Сувора взаємна орієнтація спінів обумовлена обмінними силами. Ці сили викликають мимовільну намагніченість до насичення невеликих областей - доменів. Ця орієнтація не руйнується тепловим рухом аж до температури Кюрі- температури фазового переходу, при якій відбувається стрибкоподібна зміна властивостей речовини від ферромагнетика до парамагнетика. Вище температури Кюрі намагніченість кожного домена ферромагнетика дорівнює нулю. Причина цього дезорієнтуючий тепловий рух молекул, в результаті якого ферромагнетик переходить в парамагнітний стан.

Розміри доменів залежать від хімічного складу речовини, розмірів і форми зразка, дефектів кристалічної ґратки. За визначення це макроскопічні утворення з розміром мікронного порядку та містять величезну кількість атомів.

Причиною утворення доменів є прагнення системи до стану з найменшою потенційною енергією. Для того, щоб речовина мала ферромагнітні властивості, в його будові повинна бути не заповнена d- (або f-) орбіталь. Наприклад, розподіл електронів по орбіталях у заліза має вигляд: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$. Максимальне число d-електронів дорівнює десяти. Тому спини електронів скомпенсовані всюди, крім 3d рівня. Саме ці електрони і визначають ферромагнітні властивості заліза. Будова ферромагнетика складна, тому складна та нелінійна залежність від температури. Зменшення температури Кюрі призводить до збільшення магнітного насичення внаслідок орієнтації молекул в доменах по полю аж до стану повного насичення. Внутрішня перебудова тягне за собою зміну магнітного проникнення речовини.

Експериментальна частина

Для проведення дослідження потрібно використати дві електромагнітозв'язані котушки, в середині якої розміщують зразок виготовлений з магнетика, конструкція знаходиться в печі (рис.8.1).

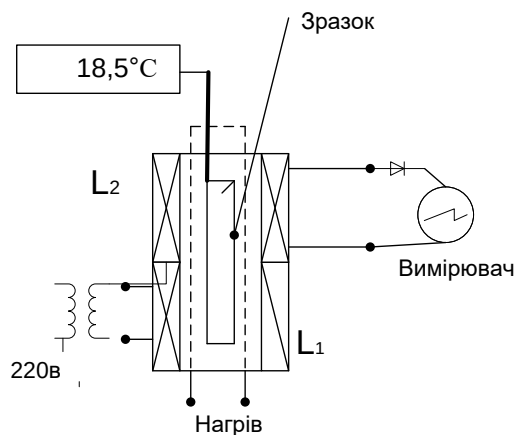


Рис.8.1. Схема дослідного обладнання для створення віртуального приладу

Перша котушка після підключення до джерела живлення створює певне електромагнітне поле, друга котушка є вимірювальна, за допомогою якої спостерігають за зміною індукційного струму у температурному діапазоні.

Температура у печі вимірюється цифровим сенсором. При досягненні температури Кюрі магнітні властивості зразка змінюються та струм індукції другої котушки різко спадає і таким чином отримаємо температурну залежність дослідного матеріалу. Встановити температуру Кюрі можливо наступним чином: визначити дві точки значення яких визначаються як 20% та 80% від максимального значення магнітного проникнення, потім по 2-х точках визначити рівняння прямої лінії. Перетин визначеної прямої з прямою паралельно до температурної координати (магнітна проникність $\mu = 1 \text{ Гн/м}$) дозволяє визначити значення температури Кюрі.

Завдання до лабораторної роботи

1. Ознайомитись з термінами, що використовують для опису магнітних явищ відповідно до ГОСТ 19633-74. «Magnetic materials. Terms and definitions» за посилання <https://cutt.ly/tj4sIY7>

2. За посиланням <https://cutt.ly/7j4siJo> скористатись віртуальним приладом, що моделює процес температурної залежності магнітного проникнення від температури. Отримати залежність та визначити максимальне значення магнітного проникнення у діапазоні температур до 200°C з кроком 10-20 °C.

3. Проаналізувати блок-схему віртуального приладу та відтворити алгоритм роботи у вигляді блок-схеми.

5. Звітувати про виконання лабораторної роботи та надати: розрахунок значення температури Кюрі та блок-схему алгоритму роботи віртуального приладу.

Контрольні питання

1. За якою ознакою класифікують магнітні матеріали?
2. Як пояснити феромагнітні властивості заліза?
3. Який фізичний сенс у визначення точки Кюрі?

4. Які конструктивні елементи складають дослідну установку для дослідження температури Кюрі?

5. Пояснить технологію визначення точки Кюрі за допомогою дослідної установки.

Література

1. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин — СПб.: Лань, 2002. — 480 с.
2. Борисов О. В. Твердотільна електроніка / О. В. Борисов, В. О. Гусев, Ю. І. Якименко — К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2004. — 208 с.
3. Гусев В. А. Основы твердотельной электроники. — Севастополь: Изд-во Сев.НТУ, 2004 — 635 с.
4. Гусев В. Г. Электроника / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев — М.: Высш. шк., 1991. — 622 с.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 кн. / пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — Кн. 2. — 456 с.
6. Дружинін А. О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: Навч. посібник. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. — 332 с.
7. Прохоров Е. Д. Твердотільна електроніка: Навч. посібник. — Х.: ХНУ ім. Каразіна, 2007. — 544 с.
8. Прокопів В. В. Матеріали електронної техніки: Навч. посібник. — Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2009. — 288с
9. Швець С. Я., Червоний І. Ф., Головка Ю. В. Матеріали і компоненти електроніки: Навч. посібник. — Запоріжжя, ЗДІА, 2011. — 278с.
10. Поплавко Ю. М. Основы физики магнитных явлений в кристаллах: Учебное пособие. — К.: НТУУ «КПИ», 2004. — 260с.
11. Поплавко Ю. М., Ільченко В. І., Воронов С. А., Якименко Ю. І. Фізичне матеріалознавство: Навч. посібник. — К.: Видавництво «Політехніка» НТУУ «КПИ», 2010. — 342с.
12. <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure> Електронний ресурс : [Інтернет-портал]. — Електронні дані.- Режим доступа: www.ukr.net (дата звернення 03.12.2021).-SI Brochure: The International System of Units (SI)

Додаток1.
Завдання до лабораторної роботи №2

Група № 01

- 1) $40000 - 39968 + 71 - 4 \cdot 2 \cdot 3328 : 13312$;
- 2) $5537 - 49122 : 9 + 44528 : 968 \cdot 1809 : 3618$;
- 3) $7 \cdot 54 - 41536 : 944 + 26 \cdot 2572 - 67103$;
- 4) $7684 : (99595 + 36 + 369 - 96164 + 6) \cdot 52$;
- 5) $147 - 9 - 2 \cdot 31 + (94357 - 36792) : 1985$;
- 6) $(9 + 33874 - 33875) \cdot (11362 - 79 + 6) : 852$;
- 7) $14056 - (42103 + 14) : 3 + (18710 - 18708) \cdot 45$;
- 8) $81 + 46028 - (35450 - 5 \cdot 25) : 225 \cdot 293$.
- 9) $3813 + 35088 : 2064 \cdot 5527 - 529 + 2757 - 99799$;
- 10) $8 + 3 \cdot 29445 : 453 - 43 \cdot 2311 : 99373$;
- 11) $24610 : 4922 + 95 \cdot 109 - 3 \cdot 3385 - 2$;
- 12) $65956 : (29595 - 6792 - 7 - 6639 + 332) \cdot 51$;
- 13) $130 - 54720 : (7204 - 6064) + 99918 - 15 \cdot 6653$;
- 14) $72318 : 4254 \cdot (17 + 2661) : (69928 + 72 - 69779)$;
- 15) $131 + 74022 : 39 - (5283 - 5281) \cdot (2934 - 2023)$;
- 16) $69998 + 43998 : (76 + 97548 : 8868 \cdot 1993) - 69792$.
- 17) $63913 - 535 - 38974 : 19487 \cdot 58 + 6738 - 69699$;
- 18) $10 - 2 \cdot 7525 : 2150 + 79465 - 3442 \cdot 23$;
- 19) $37110 : 5 - 2 \cdot 3703 + 14144 : 208 + 219$;
- 20) $60000 : (975 + 29535 - 84 - 426) \cdot 8 \cdot 19$;

Група № 02

- 1) $305 - 21831 : 7277 + 13323 \cdot (5484 - 5477) : 31087$;
- 2) $27 \cdot (546 + 99454 - 97484) : 3 : (80 - 6)$;
- 3) $(7786 - 7784) \cdot (9472 - 8771) + 3 - 86742 : 79$;
- 4) $355 + 706 - 91866 : (8 + 4 \cdot 20634 : 724)$.
- 5) $80951 + 6 - 37812 : 92 \cdot 172 : 258 \cdot 294$;
- 6) $9 \cdot 8994 - 10953 + 7 - 69595 - 84882 : 28294$;
- 7) $12078 : 3 - 21750 : 6 + 4 \cdot 2931 : 5862$;
- 8) $69993 : 99 : 7 \cdot (4739 + 398 - 4797) : 85$;
- 9) $84 + 15 \cdot 27 - (65 - 61 + 89288) : 1063$;
- 10) $(23573 - 8999) : 21 \cdot 7 : (338 + 9) \cdot 29$;
- 11) $4 \cdot (1830 - 1807) - 88 + (100000 - 14564) : 212$;
- 12) $427 - 52 \cdot (1818 + 22384 : 2798) : 3652 + 7$.
- 13) $950 - 946 + 29996 - 29450 - 73850 : 10550 \cdot 7$;
- 14) $583 - 3 \cdot 193 + 5 - 8 + 89178 : 178$;
- 15) $261 \cdot 309 + 61542 : 4734 - 2 \cdot 331 - 79497$;

- 16) $9 \cdot (93669 + 6331 - 90932 - 8 + 68) : 163$;
- 17) $53 + 142 \cdot 32 - (67238 + 62) : 33650 \cdot 2046$;
- 18) $(61393 + 3665) : 32529 \cdot 23 \cdot (3655 - 87 - 3557)$;
- 19) $2 \cdot (50000 - 49998) + 42 + 31809 : (1048 - 979)$;
- 20) $632 - 599 + (100000 - 63756 : 44 \cdot 69) \cdot 25$.

Група № 03

- 1) $8959 - 8938 + 40000 : 20000 \cdot 7294 : 14 - 462$;
- 2) $88125 : 3525 \cdot 277 + 3 \cdot 30109 - 95688 - 962$;
- 3) $29271 : 33 - 95120 : 145 - 5 \cdot 29 + 517$;
- 4) $91808 : (67076 - 59989 - 7081 + 19994 - 19696) \cdot 2$;
- 5) $63986 - 2 \cdot 27253 - 8964 + (100000 - 14293) : 963$;
- 6) $(40522 + 6858) : 11845 \cdot (28 - 17) \cdot 1212 : 88$;
- 7) $99998 + 3328 : 1664 - (99 + 33032) \cdot (6 - 3)$;
- 8) $90000 - (41958 + 10155 : 3385) : 13987 \cdot 29798 + 2$.
- 9) $84 + 15 \cdot 27 - (65 - 61 + 89288) : 1063$;
- 10) $37686 + 61973 - 9655 - 4 - 17731 : 2533 \cdot 12757$;
- 11) $11778 : 5889 \cdot 46814 - 93083 + 68452 : 4 : 109$;
- 12) $47 + 3 \cdot 16651 - 2 \cdot 23623 - 12306 : 6$;
- 13) $10 \cdot 9778 : 48890 \cdot (9742 + 90258 - 99469 - 179)$;
- 14) $46799 + 17900 : 25 - 22939 \cdot (10449 - 10447) - 932$;
- 15) $176 \cdot (3 + 301) : (69 + 26982 - 299) \cdot 353$;
- 16) $1588 - (7262 - 7258) \cdot 361 + (94698 - 91883) : 5$;
- 17) $83 - 75 + 19800 : (29816 - 118 \cdot 251) \cdot 7$.
- 18) $787 + 28400 : 284 \cdot 1000 : 50000 \cdot 44 - 74$;
- 19) $20000 - 17 \cdot 1157 - 5 - 323 + 38352 : 48$;
- 20) $99059 + 13174 : 14 - 19668 \cdot 5 - 6856 : 8$;

Група № 04

- 1) $99843 : (94569 - 9215 - 59845 + 7775 - 3) \cdot 268$;
- 2) $19257 - 2 \cdot 9364 + 45540 : (828 - 601 - 62)$;
- 3) $(60000 - 59987) \cdot 143 \cdot 46 : 6578 \cdot (4 + 58)$;
- 4) $49680 : 16560 + (41969 - 41942) \cdot (111 - 7) - 2004$;
- 5) $52941 - 43 \cdot (90000 - 87084 - 92675 : 55) + 800$.
- 6) $1426 - 7 - 74976 : 9372 \cdot 857 : 8 + 339$;
- 7) $34055 : 4865 \cdot 7057 - 5506 - 21878 \cdot 2 + 765$;
- 8) $84808 : 10601 + 65861 : 67 - 242 \cdot 228 : 627$;
- 9) $92544 : 11568 \cdot (18282 + 81718 - 81813 - 14942 - 3132)$;
- 10) $15167 + 20877 \cdot 3 - (28133 + 25) : 494 \cdot 1349$;
- 11) $(80386 + 97) : (99206 + 794 - 99987) \cdot 6 : 41$;
- 12) $1207 - 4 \cdot (10 + 12) - (15099 - 471) : 69$;
- 13) $99994 + 47064 : (7664 - 3 \cdot 2554) : 3922 - 99092$.
- 14) $26698 + 1363 - 31 \cdot 1575 : 9765 \cdot 5411 - 5$;
- 15) $90000 - 47 \cdot 1867 - 309 + 47887 : 6841 - 947$;
- 16) $97 + 102 \cdot 966 - 7439 \cdot 13 - 56978 : 62$;
- 17) $22528 : 176 \cdot 502 : 4 : (4373 + 4796 - 9153)$;

- 18) $8470 - 32314 : (71 + 16086) \cdot 3778 + 23387 : 257$;
 19) $(2 + 6 + 3214) \cdot (955 - 932) : 37053 \cdot 503$;
 20) $(98969 + 895) : 1387 + 5989 - 14 \cdot (7 + 354)$;

Додаток.2

Таблиця 1.1. Числові дані для виконання лабораторної роботи №3.

№ вар.	n	τ_0 , мс	μ	S_0 , В	f , Гц	φ_0 , рад	рис
1.	15	20	0,5	0,1	100	1	1.1
2.	20	17	0,3	0,2	150	2	1.2
3.	10	15	0,2	0,3	200	3	1.3a
4.	17	22	0,7	0,4	250	4	1.3б
5.	23	25	0,6	0,5	300	5	1.4a
6.	25	27	0,4	0,6	350	6	1.4б
7.	17	30	0,1	0,7	400	7	1.4в
8.	13	32	0,8	0,8	450	8	1.4г
9.	27	35	0,7	0,9	500	1,5	1.5a
10.	30	37	0,3	1	550	2,5	1.5б
11.	18	18	0,2	1,1	600	3,5	1.5в
12.	12	23	0,4	1,2	650	4,5	1.5г
13.	14	28	0,6	1,3	700	5,5	1.6
14.	11	33	0,5	1,4	750	6,5	1.7
15.	16	38	0,8	1,5	800	7,5	1.8
16.	17	21	0,2	1	300	2	1.1
17.	16	20	0,4	0,10	120	1	1.1.
18.	21	17	0,4	0,2	140	2	1,2
19.	22	16	0,5	0,2	120	2,5	1.2.
20.	18	21	0,6	1,0	110	1,5	1.1.

Додаток 3.

Одиниці вимірювання в міжнародній системі одиниць СІ.

Для визначення результатів спостережень при виконанні лабораторних робіт використовуємо десяткову кратну одиницю СІ, похідну від основної одиниці СІ метр-міліметр, Ом-кілоОм, тощо.

В Україні застосовуються одиниці вимірювання Міжнародної системи одиниць (СІ), прийнятої Генеральною конференцією з мір та ваг і рекомендованої Міжнародною організацією законодавчої метрології. Відповідно до «Брошура СІ. Видання №9» [12]. Від 20.05.2019 року встановлено еталони на основі фундаментальних фізичних констант при цьому основні одиниці в системі не зазнали змін.

Основні одиниці СІ:

- метр як одиниця довжини (позначення одиниці: українське - м, міжнародне - m);
- кілограм як одиниця маси (позначення одиниці: українське - кг, міжнародне - kg);
- секунда як одиниця часу (позначення одиниці: українське - с, міжнародне - s);
- ампер як одиниця сили електричного струму (позначення одиниці: українське - А, міжнародне - A);
- кельвін як одиниця термодинамічної температури (позначення одиниці: українське - К, міжнародне - K);
- моль як одиниця кількості речовини (позначення одиниці: українське - моль, міжнародне - mol);
- кандела як одиниця сили світла (позначення одиниці: українське - кд, міжнародне - cd).

Похідні одиниці СІ:

- десяткові кратні і частинні від одиниць СІ.

В Україні застосовуються також:

- одиниці, що не входять до СІ, але дозволені центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності (далі - дозволені позасистемні одиниці);
- комбінації одиниць СІ та дозволених позасистемних одиниць.

Визначення основних одиниць SI, назви та визначення похідних одиниць SI, десятих кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх

позначення та правила застосування одиниць вимірювання і правила написання назв та позначень одиниць вимірювання і символів величин встановлюються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, а саме постановами Кабінету міністрів України.