

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

ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем»
спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка

Укладачі: О.М. Лисенко, Г.В. Іваннік

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2026

УДК 621.317.006.91

О-75

Укладачі: *Лисенко Олександр Миколайович*, д-р техн. наук, проф.

Іваннік Геннадій Васильович, канд. техн. наук

Рецензент: *Микитенко В.І.*, д-р техн. наук, проф.,

кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний

редактор:

Яганов П.О., канд. техн. наук, доц.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

(протокол № 7 від 08.05.2026 р.)

за поданням вченої ради факультету електроніки

(протокол № 04/2026 від 20.04.2026 р.)

О-75

Основи метрології. [Електронний ресурс]: лаб. практикум: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» спец. G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О.М. Лисенко, Г. В. Іваннік. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 81 с.

Навчальний посібник призначений для набуття студентами практичних навичок роботи з різними вимірювальними приладами, розуміння основних принципів метрології та оцінки похибок вимірювання. Містить чотири лабораторні роботи, приклади вимірювань, розрахунків та представлення кінцевого результату. Наведено технічну інформацію по приладам, які використовуються для вимірювання параметрів електричних сигналів та схемних компонентів, приділено увагу особливостям застосування приладів. Призначений для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка. Буде також корисним для студентів інших суміжних освітніх програм та технічних спеціальностей.

УДК 621.317.006.91

Реєстр. № НП 25/26-362. Обсяг 3,7 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 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.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. Вимірювання параметрів електричних сигналів та схемних компонентів. Багатофункціональний вимірювальний прилад UTM158D (мультиметр).....	7
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. Осцилографічний метод дослідження параметрів електричних сигналів. Цифровий осцилограф DSOX1102G. Технічні характеристики. Режими роботи.....	21
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. Генератори сигналів НЧ, ВЧ, функціональні генератори. Генератор сигналів ККmoon FY6600-60M. Технічні характеристики. Режими роботи.....	39
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. Оцінка похибок вимірювань (опрацювання результатів вимірювання).....	54
Список рекомендованої літератури.....	64
ДОДАТКИ	
Додаток А. Зразок оформлення протоколу лабораторної роботи.....	65
Додаток Б. Приклади оформлення розрахунків.....	67
Додаток В. Макетна плата.....	69
Додаток Г. Джерело живлення постійної напруги UNI-T UTP3305.....	72
Додаток Д. Значущі цифри. Правила округлення чисел, похибок та результатів вимірювання.....	76
Додаток Е. Вимоги до оформлення текстової частини протоколу.....	79

ВСТУП

Сучасний розвиток галузі знань «Інженерія, виробництво та будівництво» (в межах спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка) характеризується стрімким впровадженням цифрових технологій, високочастотних пристроїв та складних систем обробки інформації. У цих умовах метрологія — наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їхньої єдності та способи досягнення необхідної точності стає фундаментальною базою для фахової підготовки інженера.

Навчальний посібник написано відповідно до освітньої програми «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка та силабусу “Основи метрології”. Дана дисципліна належить до нормативних освітніх компонентів циклу загальної підготовки. Навчальний посібник «Основи метрології. Лабораторний практикум» розроблений для того, щоб надати студентам практичні навички роботи з сучасним вимірювальним обладнанням та навчити їх об’єктивно оцінювати результати своєї праці. Лабораторний практикум побудований за принципом «від простого до складного»: від базових вимірювань електричних величин до аналізу складних сигналів у часовій області та статистичної обробки отриманих даних.

Для фахівця в області електроніки, радіотехніки та телекомунікацій вимірювання — це основний спосіб отримання інформації про стан та параметри досліджуваного об’єкта. Будь-яка розробка, налагодження чи ремонт електронної апаратури починається з перевірки параметрів компонентів та закінчується верифікацією вихідних характеристик системи. Без знання метрологічних основ результати вимірювань залишаються лише набором чисел, позбавлених фізичного змісту та технічної достовірності.

Практикум складається з чотирьох ключових лабораторних робіт, кожна з яких фокусується на окремому аспекті метрологічної практики:

лабораторна робота №1 присвячена освоєнню базового інструменту будь-якого інженера — багатофункціонального цифрового мультиметра на прикладі моделі **UNIT-T UTM158D**. Студенти вчаться вимірювати постійну та змінну напругу, силу струму, опір, інші параметри компонентів та оцінювати похибку результатів вимірювання. Особлива увага приділяється правильному вибору діапазонів вимірювання та розумінню вхідного опору приладу, що безпосередньо впливає на методичну похибку;

лабораторна робота №2 розкриває можливості осцилографічного методу дослідження. Використання цифрового осцилографа **DSOX1102G** (фірми Keysight Technologies, Inc.) дозволяє студентам «побачити» електричний сигнал у часі, вивчити його форму, амплітудні та часові характеристики; освоєння режимів роботи (Trigger, Cursors, Measure, Wave-form тощо) сучасного осцилографа є критично важливим для аналізу перехідних процесів та високочастотних коливань;

лабораторна робота №3 знайомить з джерелами сигналів, зокрема, з функціональним генератором **KKmoon FY6600-60M** (фірми FeelTech Technology Co., Ltd); робота охоплює вивчення режимів генерації сигналів різних форм (синусоїдальна, прямокутна, пилкоподібна тощо) та вимірювання їх характеристик. Це закладає фундамент для тестування електронних вузлів у заданих вхідних режимах;

лабораторна робота №4 є завершальним етапом, де студенти переходять від техніки вимірювання до аналізу даних; тут вивчаються методи оцінки похибок, правила округлення результатів та використання статистичних методів (зокрема, розподілу Стюдента) для визначення довірчих границь.

При виконанні експериментальних досліджень студентам необхідно перш за все розібратися у теоретичних положеннях, що вивчаються, ознайомитись з методикою проведення дослідження та вимірювань, вивчити технічні характеристики обладнання, яке використовується в лабораторній роботі, засвоїти положення з охорони праці та електробезпеки.

Примітка: назви органів керування, пунктів меню та написи на панелі

приладів в тексті навчального посібника виділені напівжирним шрифтом (наприклад, **Entry**, **Help**) і наведені мовою оригіналу для повної відповідності інтерфейсу приладів.

При виконанні лабораторних робіт студенти повинні дотримуватися нижченаведених вимог.

1. Лабораторні роботи виконуються студентами відповідно до графіка виконання робіт та розкладу занять.

2. До виконання лабораторної роботи допускаються студенти, які прослухали та засвоїли інструктаж з охорони праці та техніки безпеки, підготували протокол лабораторної роботи і мають знання, достатні для виконання роботи.

3. Вмикання напруги на робочому місці проводиться тільки з дозволу викладача після перевірки зібраної схеми вимірювань та зроблених налаштувань обладнання.

4. Студенти, які не виконали лабораторні роботи згідно з графіком, можуть ліквідувати заборгованість за додатковим графіком, який узгоджується з викладачем.

5. Звіт із лабораторної роботи оформляється у вигляді протоколу кожним студентом самостійно і є **індивідуальним** документом. Текстова частина протоколу виконується з дотриманням вимог, які наведені у додатку Е.

6. Лабораторна робота вважається виконаною студентом лише в тому разі, якщо він провів експериментальні дослідження, підготував повний звіт по роботі та захистив його.

7. Захист лабораторної роботи проводиться на наступних після її виконання заняттях. День захисту призначає викладач. Студенти, які мають заборгованість з виконання та захисту лабораторних робіт, до семестрового контролю не допускаються.

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Вимірювання параметрів електричних сигналів та схемних компонентів.

Багатофункціональний вимірювальний
прилад UTM158D (мультиметр)

Мета роботи

1. Набути практичних навичок вимірювання параметрів електричних сигналів (напруга, струм) та параметрів схемних компонентів (опір, ємність, індуктивність) за допомогою приладу UNI-T UTM158D.
2. Оцінити похибку вимірювання та проаналізувати фактори, що впливають на неї.

Обладнання та матеріали

1. Мультиметр UNI-T UTM158D.
2. Набір резисторів відомих номіналів.
3. Конденсатори різної ємності.
4. Котушки індуктивності.
5. Джерело постійної напруги UNI-T UTP3305.
6. Макетна плата.
7. З'єднувальні провідники.

Теоретична частина

Для виконання електричних вимірювань в лабораторній роботі використовується багатофункціональний прилад (мультиметр) UNIT UTM-158D [4]. Основні режими та функції даного мультиметру:

- вимірювання постійного струму та напруги;
- вимірювання змінного струму та напруги;
- вимірювання опору;
- вимірювання ємності;
- вимірювання індуктивності;
- перевірка провідності електричних кіл зі звуковою індикацією;
- тестування діодів;

- тестування транзисторів.

Основні технічні характеристики мультиметра та максимально допустимі межі вимірювання електричних параметрів:

- Дисплей: 1999
- Постійна напруга, В: 200 мВ/20 В/200 В/**1000 В**
- Постійний струм, А: 2 мА/200 мА/**20 А**
- Опір, Ом: 200 Ом/2 кОм/200 кОм/2 МОм/**20 МОм**
- Змінна напруга, В: 2 В/200 В/**1000 В**
- Змінний струм, А: 2 мА/200 мА/**20 А**
- Ємність, Ф: 20 нФ/200 нФ/2 мкФ/**100 мкФ**
- Індуктивність, Гн: 2 мГн/20 мГн/200 мГн/**20 Гн**

Для вимірювання напруги в електричному колі прилад (вольтметр або цифровий мультиметр в режимі вольтметра) включається паралельно обраній ділянці кола (рис. 1.1). Внутрішній опір ідеального вольтметра прагне до нескінченності і не впливає на результат вимірювання напруги. Реальний вольтметр має опір відмінний від нескінченності і спотворює результат вимірювання. Потрібно, щоб внутрішній опір вольтметра був значно більше опору ділянки електричного кола (R_2 , рис. 1.1) для мінімізації впливу реального приладу на результат.

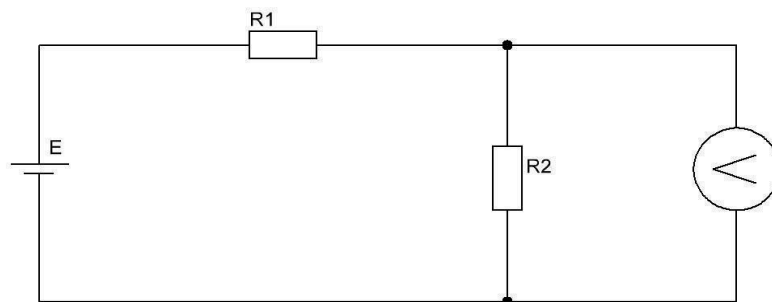


Рис. 1.1. Схема включення приладу для вимірювання напруги

Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання напруги показано на рис.1.2.

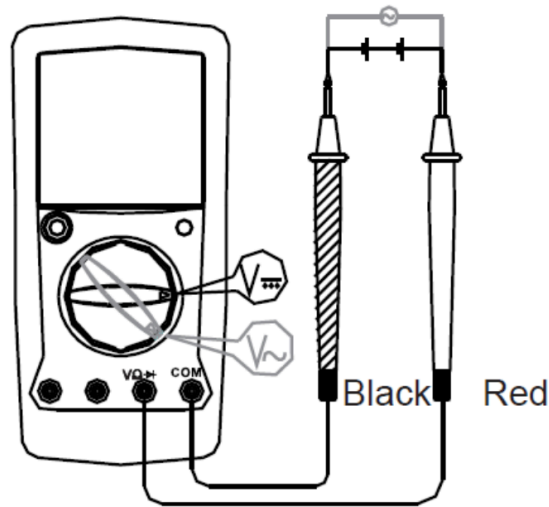


Рис. 1.2. Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання напруги

Мультиметр має щупи різного кольору, в нашому випадку - червоного та чорного. Чорний щуп приєднується, як правило, до клем **COM**, червоний щуп приєднується в залежності від типу вимірювань до клем **A**, **mA**, **V**, Ω тощо. При виконанні певних вимірювань покази на табло мультиметра залежать від полярності підключення щупів до електричного кола з підключеним джерелом живлення або до виводів окремих схемних компонентів, які не з'єднані в електричну схему. Наприклад, мультиметр на табло покаже позитивне цифрове значення при вимірюванні постійної напруги акумулятора, якщо чорний щуп приєднаний до негативного полюсу, а червоний щуп - до позитивного полюсу акумулятора. Якщо полярність підключення щупів змінити на протилежну, мультиметр на табло буде відображати від'ємне значення. Аналогічна ситуація при вимірюванні постійного струму. При вимірюванні змінного струму та напруги, параметрів резисторів, індуктивності, ємності полярність підключення щупів не має значення, при перевірці діодів та транзисторів - це потрібно враховувати. Більш детально питання вимірювання параметрів компонентів та електричних

сигналів розглядаються при вивченні компонентної бази та законів на постійному струмі: Кірхгофа, суперпозиції, теореми про еквівалентний генератор тощо.

Для вимірювання струму в електричному колі прилад (амперметр або цифровий мультиметр в режимі амперметра) включається в коло послідовно (рис.1.3). Внутрішній опір ідеального амперметра дорівнює нулю і не впливає на результат вимірювання струму. Реальний амперметр має опір відмінний від нуля і спотворює результат вимірювання. Потрібно, щоб внутрішній опір амперметра був значно менше опору електричного кола (R , рис. 1.3) для мінімізації впливу реального приладу на результат.

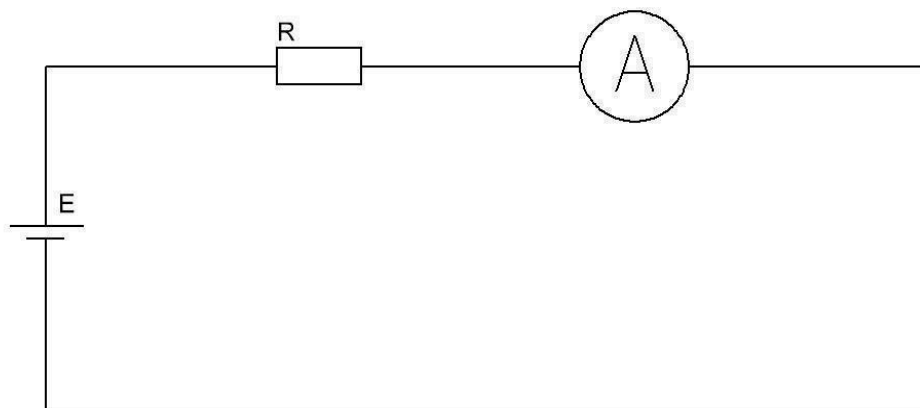


Рис. 1.3. Схема включення приладу для вимірювання струму

Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання струму показано на рис.1.4.

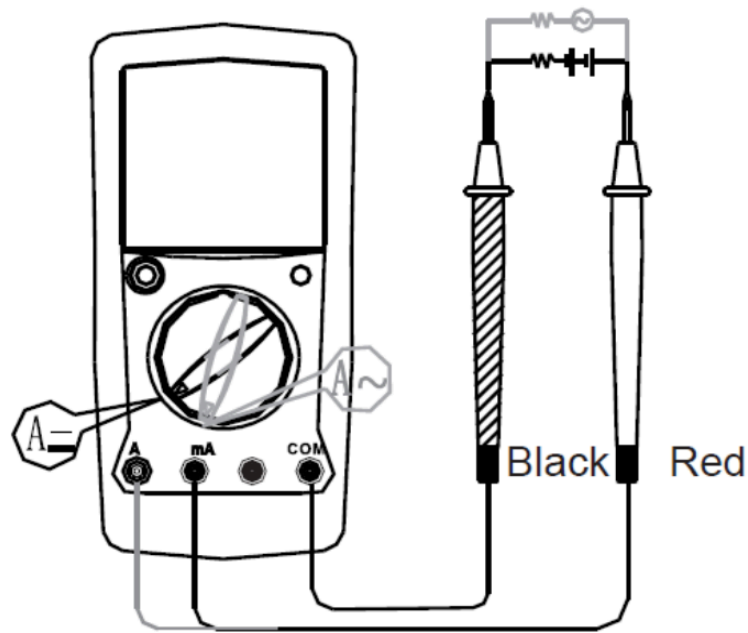


Рис. 1.4. Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання струму

Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання опору резисторів показано на рис.1.5.

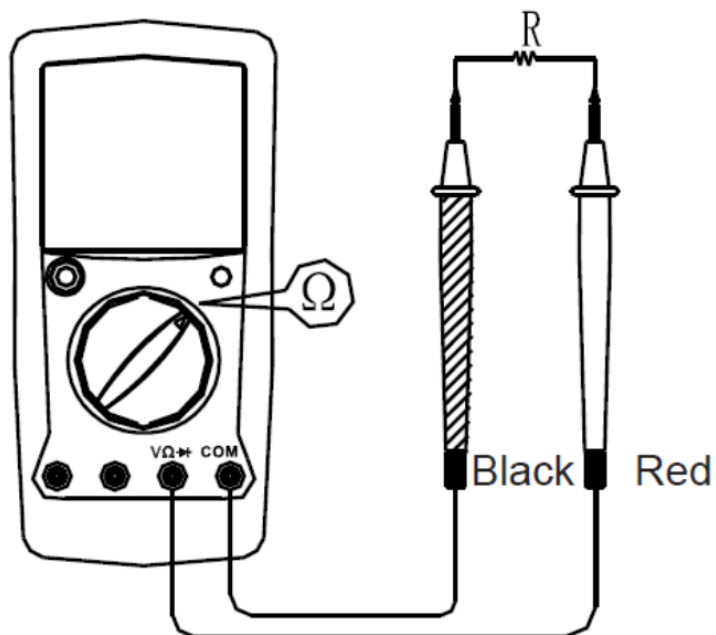


Рис. 1.5. Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання опору

Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання ємності конденсаторів показано на рис.1.6.

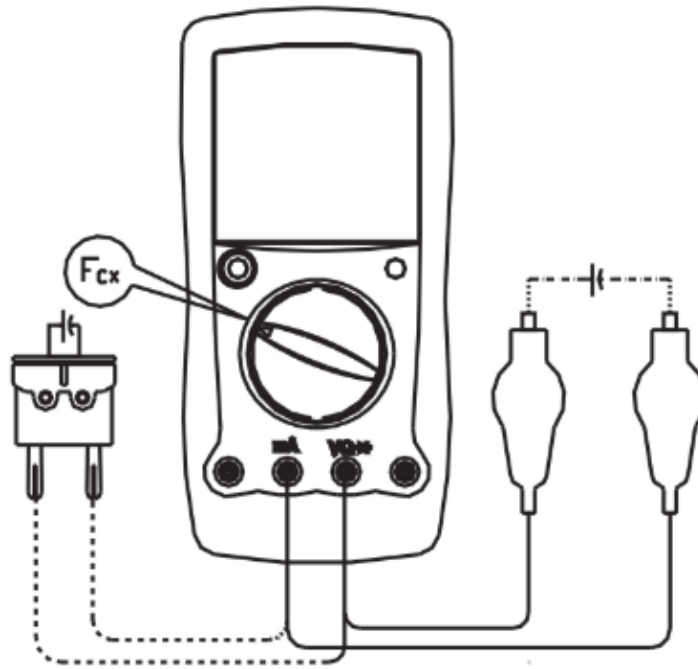


Рис. 1.6. Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання ємності конденсаторів

Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання індуктивності котушок показано на рис.1.7.

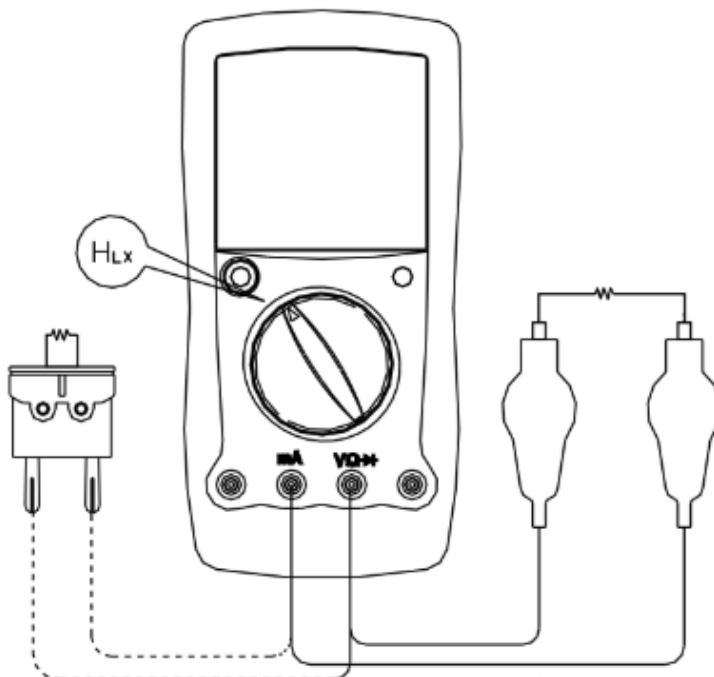


Рис. 1.7. Налаштування мультиметра UTM158D для вимірювання індуктивності котушок

Запобіжні заходи при роботі з цифровим мультиметром

1. Щупи повинні бути у справному стані. Перед використанням переконайтеся в тому, що щупи та ізоляція провідників не пошкоджена.
2. Для того, щоб уникнути пошкодження приладу, НЕ перевищуйте максимальні межі вхідних значень, зазначених у таблиці технічних специфікацій.
3. Не підключайте щупи мультиметра до джерела напруги при включеному режимі вимірювання струму, опору, діодного тесту або перевірки цілісності кола, це може призвести до пошкодження мультиметра.
4. Перед зміною положення поворотного перемикача для вибору режиму роботи, відключіть щупи від досліджуваного кола.
5. Перед вимірюванням сили струму необхідно перевірити запобіжники мультиметра і відключити напругу в досліджуваному пристрої перед підключенням приладу.

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

Метрологія виходить із позиції, що результат вимірювання завжди відрізняється від істинного значення вимірюваної величини. Тому під час вимірювань фізичної величини (ФВ) виникає похибка, яка дорівнює різниці між отриманим значенням X фізичної величини та її істинним X_i значенням:

$$\Delta X = X_B - X_i.$$

Оскільки істинне значення ФВ невідоме, то похибку вимірювання з даного рівняння визначити неможливо. Для визначення похибки істинне значення ФВ замінюють дійсним:

$$\Delta X = X_B - X_d.$$

Абсолютна похибка вимірювання - різниця між результатом вимірювання і дійсним значенням вимірюваної величини. Абсолютна похибка виражена в абсолютних одиницях вимірюваної величини.

На практиці дійсне значення ФВ може бути знайдено:

- за допомогою багаторазових вимірювань із наступним усередненням

результатів спостережень і представленням цього середнього в якості дійсного;

- за допомогою зразкового засобу вимірювання.

У багатьох випадках числове значення абсолютної похибки не дає правильного уявлення про точність вимірювання, ступінь достовірності одержаного результату. Тому введено більш універсальну характеристику точності у вигляді відносної похибки.

Відносна похибка вимірювання - відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_D} = \frac{X_B - X_D}{X_D}; \quad \delta = \frac{\Delta X}{X_D} \cdot 100\% = \frac{X_B - X_D}{X_D} \cdot 100\%.$$

Чим менша відносна похибка вимірювання, тим вища його точність, отже, тим менша різниця між істинним значенням ФВ і результатом її вимірювань.

Промак - похибка вимірювання, що суттєво перебільшує очікувану похибку у даних умовах.

При оцінюванні результатів вимірювань промахи вилучають із ряду багаторазових спостережень як аномальні результати вимірювання.

Важливо розрізняти похибку приладу при вимірюванні параметра схемного компонента (опору резистора, ємності конденсатора тощо) та похибку виготовлення (технологічний допуск) даного компонента при виробництві. Допуск - це допустиме відхилення реального значення параметра компонента від його номінального значення, вказаного на корпусі. Виникає через недосконалість технологічного процесу (хімічний склад резистивного шару, товщина діелектрика в конденсаторі тощо). Позначається як клас точності або допуск (наприклад, $\pm 1\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$) та вказується на корпусі компонента. Закон розподілу найчастіше вважається рівномірним (прямокутним). Тобто, виробник гарантує, що значення лежить у певній смузі, але не обіцяє, що воно ближче до центру. Приклад: резистор 100 Ом з допуском 5% може мати реальний опір від 95 Ом до 105 Ом.

Похибка приладу - це непевність у тому, яке саме значення отримано,

використовуючи конкретний вимірювальний прилад (наприклад, мультиметр UTM158D). Виникає через внутрішні шуми приладу, похибку АЦП, опір щупів та умови середовища. Дана похибка описується формулою в інструкції з експлуатації приладу, наприклад, $\pm(0,8\%+3$ одиниці молодшого розряду). Закон розподілу часто вважається нормальним (Гаусса), особливо для випадкової складової.

Щоб вимірювання було правомірним, прилад повинен бути значно точнішим, ніж допуск компонента. Похибка вимірювального приладу має бути в (3-10) разів меншою, ніж допуск досліджуваного компонента. В іншому випадку, наприклад, якщо перевіряється резистор (з допуском $\pm 1\%$) мультиметром з похибкою $\pm 1\%$ та отримано хибний результат, тоді не маємо змоги визначити, чи резистор бракований, чи прилад несправний. Компонент вважається придатним лише тоді, коли отримане значення знаходиться в межах: допуск мінус похибка приладу.

Приклад: вимірюємо ємність конденсатора номіналом 100 нФ (допуск $\pm 10\%$).

1. Допуск виробника: ємність конденсатора може бути від 90 нФ до 110 нФ.
2. Вимірювання: мультиметр показав 91,2 нФ. Похибка приладу відповідно до інструкції на цьому діапазоні 3%.
3. Аналіз: абсолютна похибка приладу: $91,2 * 0,03 = 2,7$ (нФ). Реальне значення ємності лежить у межах $(91,2 \pm 2,7)$ нФ, тобто від 88,5 нФ до 93,9 нФ.

Висновок: оскільки нижня межа (88,5 нФ) виходить за межі допуску виробника (90 нФ), не можемо на 100% стверджувати, що цей конденсатор справний, хоча прилад і показав число "в межах".

Завдання

1. Вивчити інструкцію з експлуатації на мультиметр UTM158D: основні функції, діапазони вимірювань, точність вимірювання, органи

керування та індикації. Вивчити особливості його застосування [4].

2. Вивчити інструкцію з експлуатації на джерело живлення UNI-T UTP3305 [5]. Основні характеристики UNI-T UTP3305 у додатку Г.

3. Включити прилад UTM158D в режимі вимірювання постійної напруги. Включити джерело живлення UTP3305. **Встановити обмеження струму UTP3305 100 мА** на робочому каналі CH1 або CH2 ([5], додаток Г). Встановити напругу джерела живлення UTP3305 на робочому каналі відповідно до табл. 1.1 в залежності від номера бригади.

Таблиця 1.1. Напруга живлення для схем рис. 8, рис. 9 в залежності від номера бригади

№ бригади	1	2	3	4	5
Напруга джерела E1, В (рис. 8)	7	9	11	13	15

4. На макетній платі (додаток В) зібрати електричну схему (рис.1.8).

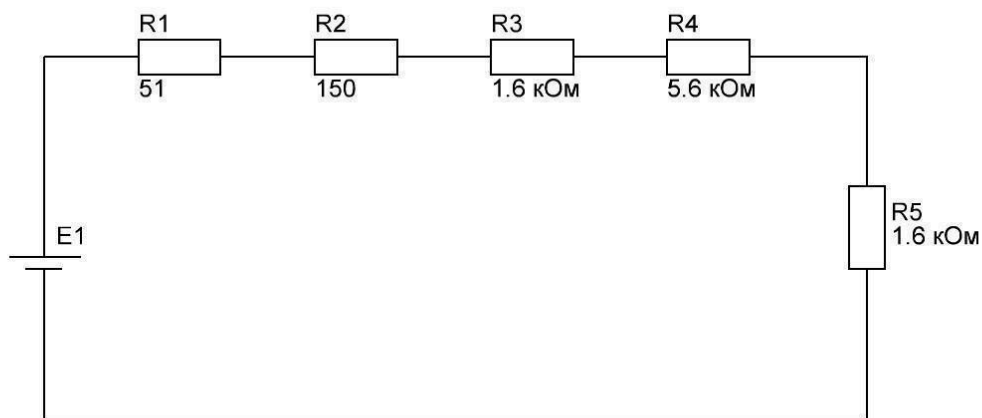


Рис. 1.8. Схема для вимірювання напруги

Виміряти напругу на резисторах R1, R2, R3, R4. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$UI = U \pm \Delta U,$$

де U - покази приладу;

ΔU - похибка вимірювання (абсолютна похибка) відповідно до технічних характеристик приладу [4].

Приклад розрахунку похибки вимірювання напруги DC

Діапазон вимірювання напруги: 20 В.

Покази мультиметра: $U = 10,12$ В.

Похибка вимірювання в діапазоні 20 В [4]: $\Delta U = \pm(0,5\% * U + 1 \text{ digits})$.

Роздільна здатність в діапазоні 20 В [4]: 1 digits = 0,01 В.

Розрахунок:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \pm (0,5\% * U + 1 \text{ digits}) = \pm (0,005 * 10,12 \text{ В} + 0,01 \text{ В}) = \pm (0,0506 \text{ В} + 0,01 \text{ В}) = \\ &= \pm 0,06 \text{ В}. \end{aligned}$$

Результат вимірювання: $U = 10,12 \text{ В} \pm 0,06 \text{ В}$.

5. Включити прилад в режимі вимірювання постійного струму. На макетній платі (додаток В) зібрати електричну схему (рис. 1.9). Напругу зовнішнього джерела живлення $E1$ встановити відповідно до табл. 1.1.

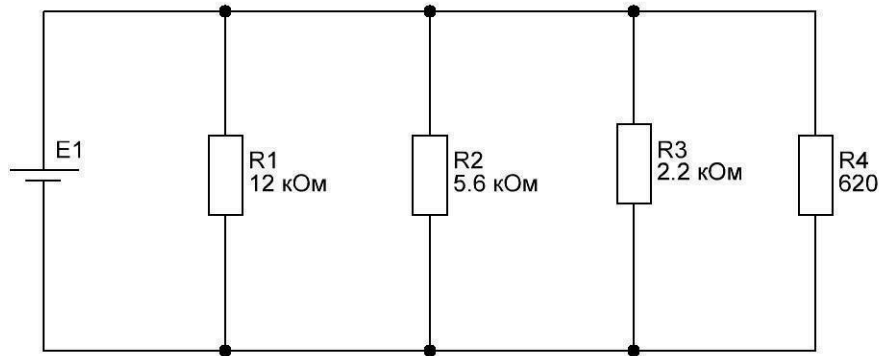


Рис. 1.9. Схема для вимірювання струму

Виміряти струм через резистори відомого номіналу $R1$, $R2$, $R3$, $R4$. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання

записати у вигляді:

$$I = I \pm \Delta I,$$

де I - покази приладу;

ΔI - похибка вимірювання (абсолютна похибка) відповідно до технічних характеристик приладу.

6. Включити прилад в режимі вимірювання опору. Виміряти опір двох різних резисторів в інтервалі від 0 до 200 Ом. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання опору. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$R = R \pm \Delta R,$$

де R - покази приладу;

ΔR - похибка вимірювання (абсолютна похибка) відповідно до технічних характеристик приладу.

Виміряти опір двох різних резисторів в інтервалі від 2 кОм до 200 кОм. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$R = R \pm \Delta R.$$

Виміряти опір двох різних резисторів в інтервалі від 2 МОм до 20 МОм. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$R = R \pm \Delta R.$$

Порівняти виміряні значення схемних компонентів з їх номінальними значеннями.

7. Включити прилад в режимі вимірювання ємності. Виміряти ємність двох різних конденсаторів в інтервалі від 20 нФ до 200 нФ. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$C = C \pm \Delta C,$$

де C - покази приладу;

ΔC - похибка вимірювання (абсолютна похибка) відповідно до технічних характеристик приладу.

Виміряти ємність двох різних конденсаторів в інтервалі від 2 мкФ до 40 мкФ. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$CI=C \pm \Delta C.$$

Порівняти виміряні значення схемних компонентів з їх номінальними значеннями.

8. Включити прилад в режимі вимірювання індуктивності. Виміряти індуктивність двох різних котушок в інтервалі від 0,02 мГн до 0,600 мГн. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$LI=L \pm \Delta L,$$

де L - покази приладу;

ΔL - похибка вимірювання (абсолютна похибка) відповідно до технічних характеристик приладу.

Виміряти індуктивність двох різних котушок в інтервалі від 0,600 мГн до 3 мГн. Оцінити та розрахувати похибку вимірювання. Результати вимірювання записати у вигляді:

$$LI=L \pm \Delta L.$$

Порівняти виміряні значення схемних компонентів з їх номінальними значеннями.

9. Зробити висновки по роботі. Проаналізувати фактори, що впливають на похибку вимірювання.

10. Написати відповіді на контрольні питання.

Література: [1], [2], [4], [5].

Контрольні питання

1. Що таке похибка вимірювання?
2. Які бувають види похибок?

3. Яка з похибок дає правильне уявлення про точність вимірювання?
4. Які основні функції має мультиметр UTM158D?
5. Які максимальні значення постійної напруги, постійного струму та опору можна виміряти за допомогою мультиметра UTM158D?
6. Які максимальні значення ємності та індуктивності можна виміряти за допомогою мультиметра UTM158D?
7. Як оцінюється похибка вимірювань приладом UTM158D?
8. Дайте визначення абсолютній похибці вимірювання.
9. Які джерела похибок можуть впливати на результати вимірювань?
10. Дайте визначення відносній похибці вимірювання.
11. Як розрахувати абсолютну та відносну похибки вимірювань? Наведіть приклади.
12. Які запобіжні заходи потрібно виконувати при роботі з цифровим мультиметром?
13. Скільки незалежних каналів напруги має джерело живлення UNI-T UTP3305? Яке значення напруги по кожному каналу?
14. Напишіть послідовність дій для обмеження максимального струму по кожному каналу джерела живлення UNI-T UTP3305.

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Осцилографічний метод дослідження параметрів електричних сигналів.

Цифровий осцилограф DSOX1102G. Технічні характеристики.

Режими роботи

Мета роботи

Ознайомитися з цифровим осцилографом DSOX1102G як універсальним інструментом для вимірювання параметрів електричних сигналів. Набути практичних навичок дослідження форми різних типів електричних сигналів, вимірювання амплітуди та часових параметрів сигналів.

Обладнання та матеріали

1. Осцилограф DSOX1102G.
2. Вимірювальні щупи до осцилографа.
3. USB 2.0 флеш накопичувач (флешка).
4. Комп'ютер.

Теоретична частина

Електричний сигнал - це певна змінна фізична величина (наприклад, струм, напруга тощо), яка несе певну інформацію. Кількість інформації, яку можна передати певним сигналом, залежить від параметрів цього сигналу (амплітуди, частоти, фази, тривалості, смуги частот тощо).

Розрізняють **детерміновані** та **випадкові** сигнали.

Детермінованими називають такі сигнали, миттєве значення яких у будь-який момент часу відоме і можна передбачити з вірогідністю одиниця. Прикладом детермінованого сигналу є послідовність імпульсів, форма, значення та розташування у часі яких відоме. Детерміновані сигнали поділяють на **періодичні** та **неперіодичні**. Для періодичних сигналів виконується умова:

$$u(t) = u(t + k * T),$$

де t - час, k - будь-яке ціле число; T - період, який є кінцевим відрізком часу.

Прикладами детермінованого періодичного сигналу є гармонічне коливання (рис. 2.1) та періодичний імпульсний сигнал позитивної полярності (рис. 2.2).

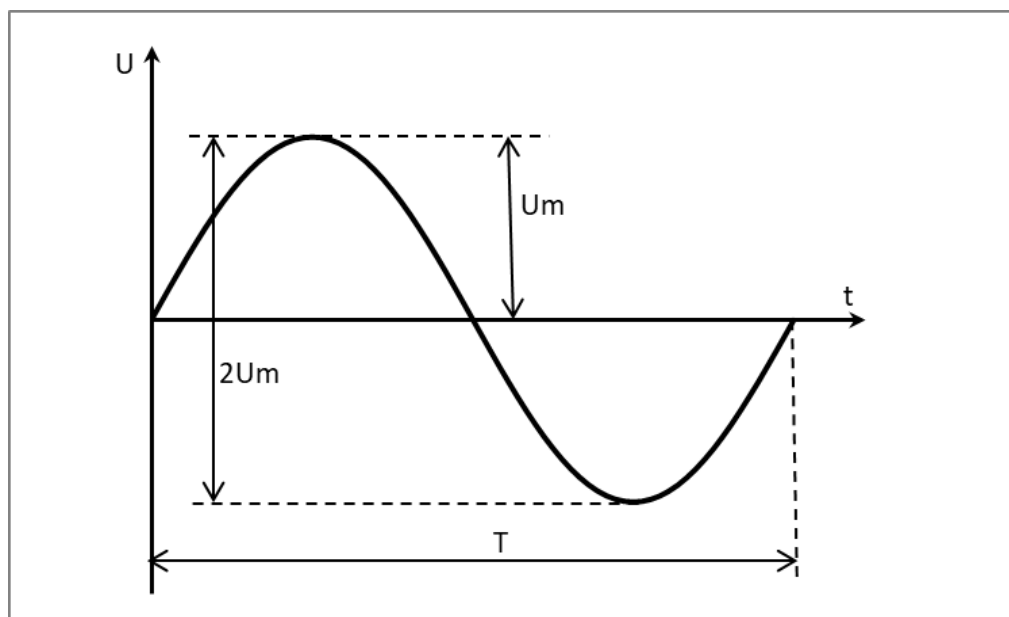


Рис. 2.1. Періодичний гармонічний сигнал $u(t)=U_m\sin(\omega t + \theta)$, де U_m - амплітуда, ω - кутова частота, θ - початкова фаза

Періодичний гармонічний сигнал характеризується наступними параметрами:

- U_m , В – амплітуда, найбільше з миттєвих значень напруги за період повторення T ;
- $2U_m$, В - повна амплітуда (від піка до піка);
- T , с - період повторення, інтервал часу від одного миттєвого значення до наступного значення того ж рівня (відповідає фрагменту сигналу, який періодично повторюється у часі);
- f , Гц - частота повторення, кількість періодів коливань за 1 с.

$$f=1/T.$$

На рис. 2.2 зображено періодичний імпульсний сигнал позитивної полярності.

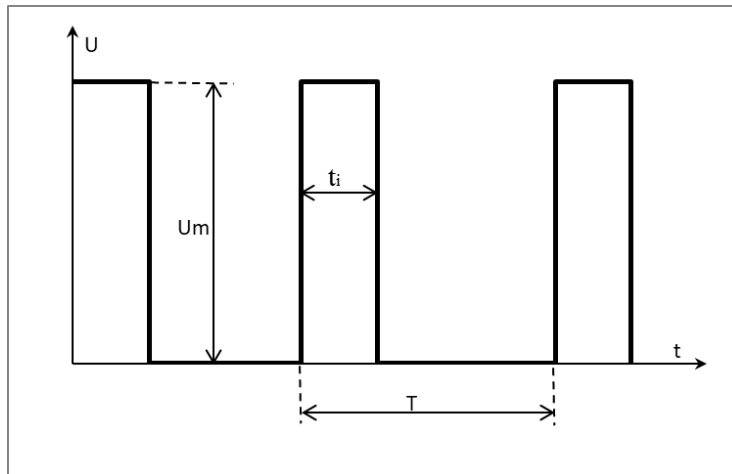


Рис. 2.2. Періодичний імпульсний сигнал позитивної полярності

Періодичний імпульсний сигнал характеризується наступними параметрами (рис. 2.2):

- U_m , В - амплітуда;
- T , с - період повторення, інтервал часу від будь-якого миттєвого значення сигналу до наступного миттєвого значення сигналу того ж рівня (відповідає фрагменту сигналу, який періодично повторюється в часі);
- f , Гц - частота повторення - кількість періодів сигналу за 1 с; $f=1/T$;
- t_i , с - тривалість імпульсу;
- Q , % - скважність імпульсів - відношення тривалості імпульса до періоду:

$$Q=(t_i/T)$$

Неперіодичні сигнали - ті, для яких не виконується умова $u(t)=u(t+k*T)$. Як правило, вони обмежені у часі. Приклади: пачка імпульсів, уривки гармонічних коливань тощо.

Випадковими називають сигнали, значення яких у будь-який момент часу не відомі та можна передбачити лише з ймовірністю менше одиниці. Приклади: електрична напруга, яка є результатом перетворення звукових коливань мови в електричний сигнал; електромагнітні коливання атмосферного та промислового походження; радіосигнали станцій, які перешкоджають прийняттю корисних сигналів.

Електричні сигнали поділяють також на **аналогові, дискретизовані, квантовані, цифрові.**

Аналогові сигнали - це сигнали (рис. 2.3), які неперервні у часі, тобто існують у будь-який момент часу та приймають довільні значення по амплітуді у певному інтервалі (неперервні по амплітуді). Такі сигнали називають ще континуальними.

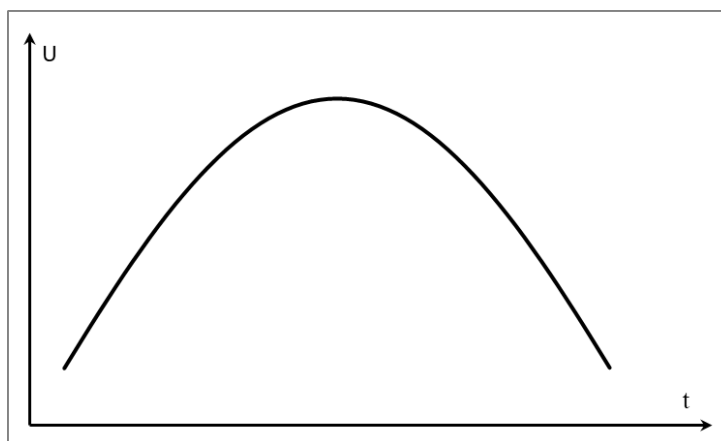


Рис. 2.3. Аналоговий сигнал

Дискретизовані сигнали - це сигнали (рис. 2.4), які існують лише у певні моменти часу та неперервні по амплітуді. Амплітуда може приймати довільні значення у певному інтервалі.

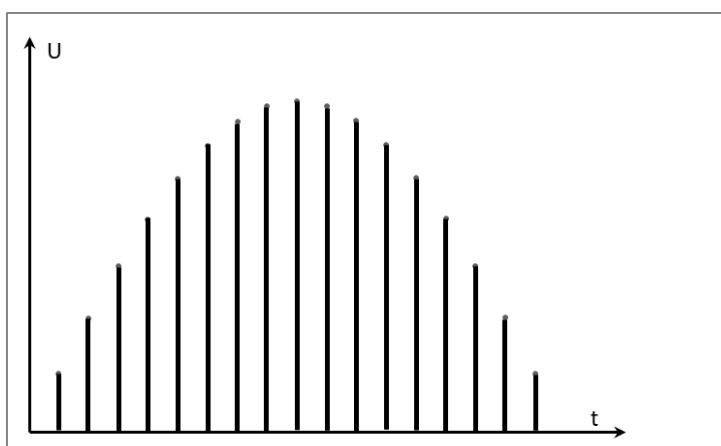


Рис. 2.4. Дискретний сигнал

Квантовані сигнали - це сигнали (рис. 2.5), які неперервні в часі, тобто

існують у будь-який момент часу та приймають лише певні дискретні значення по амплітуді. В такому випадку говорять, що сигнал є квантованим.

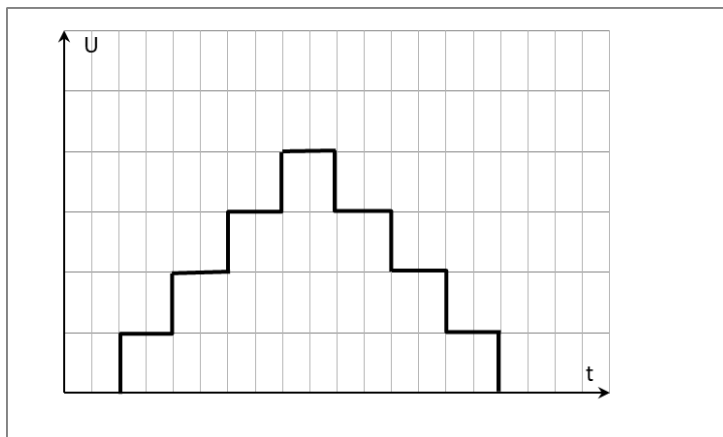


Рис. 2.5. Квантований сигнал

Цифрові сигнали - це сигнали (рис. 2.6), які існують лише у певні моменти часу, тобто дискретні по часу та приймають дискретні значення по амплітуді.

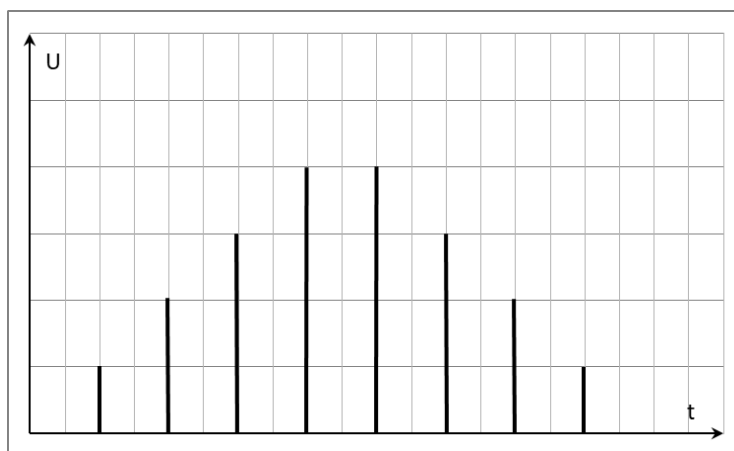


Рис. 2.6. Цифровий сигнал

Зазвичай, у технічній літературі термін дискретний застосовується лише для позначення дискретизації по часу. Для позначення дискретизації по амплітуді застосовують термін квантований.

Осцилограф - вимірювальний прилад, призначений для візуального спостереження та дослідження електричних сигналів і для вимірювання їх параметрів: амплітуди, частоти, періоду, часових інтервалів тощо.

Основні технічні характеристики осцилографа DSOX1102G [6]

1. Смуга пропускання - 70 МГц.
2. Кількість каналів - 2.
3. Вхідний опір/ємність: 1 МОм/16 пФ.
4. Режимы входів: зв'язок по постійному струму, зв'язок по змінному струму.
5. Максимальна напруга на вході: 150 В скз (середньоквадратичне значення), 200 В (амплітудне значення).
6. Інверсія сигналу: вимикається.
7. Тип запуску: по фронту, по тривалості імпульса, по відеосигналу, по тривалості наростання/спаду тощо.
8. Вбудований генератор до 20 МГц сигналів: синусоїди, меандра, імпульсного, пилкоподібного, постійної напруги, шуму.
9. Математичні операції: додавання, віднімання, множення, ділення, фільтр низьких частот, ШПФ (швидке перетворення Фур'є, FFT).
10. Порти: USB 2.0.
11. 7-дюймовий дисплей WVGA.
12. Швидкість оновлення сигналів на екрані 50 000 осцилограм в секунду.
13. Максимальна частота дискретизації: 2 Гвиб/с.
14. Максимальна глибина пам'яті: 1 Мвиб.
15. Екран. По вертикалі - 8 клітинок, по горизонталі - 10 клітинок.
16. Роздільна здатність по вертикалі: 8 розрядів.
17. Діапазон по вертикалі: 500 мкВ/под (мкВ на поділку) - 10 В/под.
18. Точність по вертикалі: $\pm[(3\% \text{ full scale } (>10 \text{ мВ/под}) \text{ або } 4\% \text{ full scale } (<10 \text{ мВ/под})) + 0,25\% \text{ full scale}] [6]$, не гірше ніж $4,25\% \text{ full scale (full scale - повна шкала по вертикалі, В) - спрощена формула}$.
19. Діапазон по горизонталі: 5 нс/под - 50 с/под.
20. Точність визначення інтервалу по горизонталі не гірше: $\pm(50 \text{ ppm} * \text{reading}) \pm (0.0016 * \text{screen width}) \pm 200 \text{ пс} [6]$, де ppm (parts per

million) - це млн⁻¹ (мільйонна частка, 10⁻⁶); reading - поточні значення інтервалу, с; screen width - ширина екрана по горизонталі, с.

21. Джерело живлення: 100 В ... 240 В, 50/60 Гц.
22. Потужність споживання: 50 Вт.
23. Температура роботи: 0^oС ... +50^o С.
24. Температура зберігання: -40^oС ... +70^oС.

Загальний вигляд осцилографа наведено нижче на рис. 2.7, його органи керування та індикації - на рис. 2.8, 2.9.



Рис. 2.7. Загальний вигляд осцилографа DSOX1102G [6]

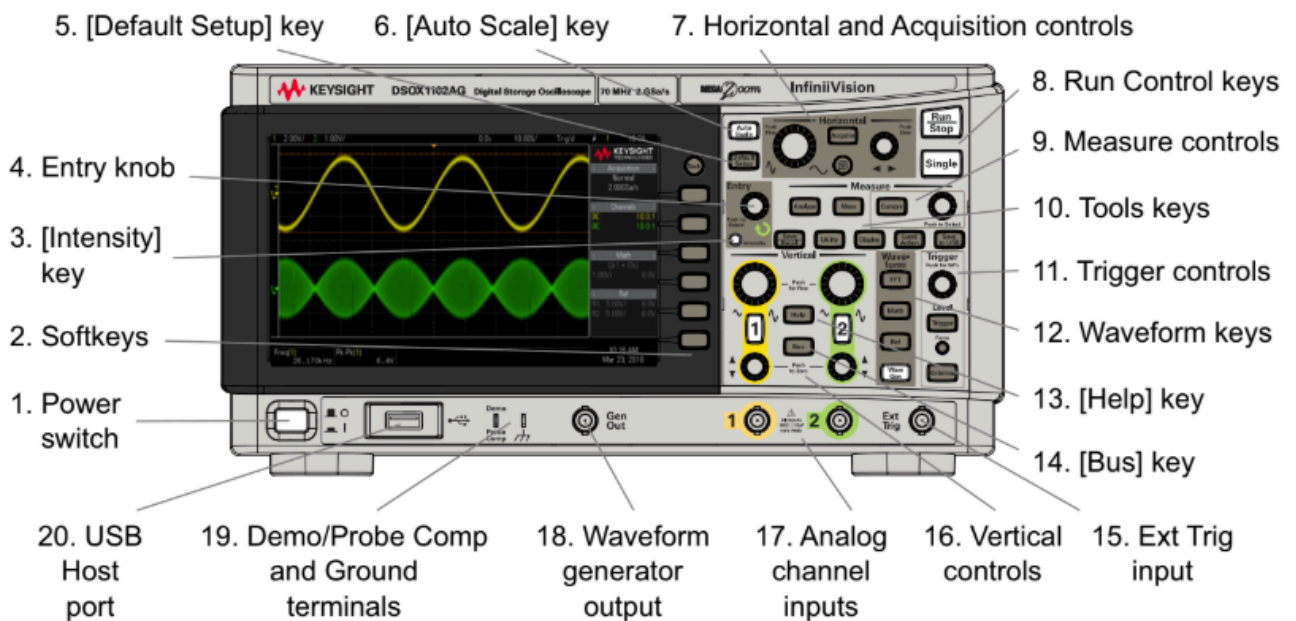


Рис. 2.8. Органи керування та індикації осцилографа DSOX1102G [6]

Призначення органів керування (рис.2.8):

- 1 - Power switch, вимикач живлення.
- 2 - Softkeys, програмні кнопки (ПК).
- 3 - **Intensity** key, регулятор інтенсивності сигналу на екрані осцилографа.
- 4 - **Entry** knob, ручка введення: використовується для вибору елементів з меню та зміни значень.
- 5 - **Default Setup** key; натисніть цю клавішу, щоб відновити налаштування осцилографа за замовчуванням.
- 6 - **Auto Scale** key, автоматичне масштабування зображення сигналу на екрані приладу; коли натискають на цю клавішу **AutoScale**, осцилограф визначає активні канали, вмикає ці канали та масштабує їх для відображення вхідних сигналів.
- 7 - **Horizontal** and Acquisition controls, елементи керування горизонтальним масштабуванням та збором даних.
- 8 - Run Control keys, клавіші керування запуском; коли клавіша **Run/Stop** зелена, осцилограф працює, тобто збирає дані, коли виконуються умови запуску; щоб зупинити збір даних, натискають **Run/Stop**; коли клавіша **Run/Stop** червона, збір даних зупинено; щоб розпочати збір даних, натискають **Run/Stop**; щоб зафіксувати та відобразити одиночний збір даних (незалежно від того, чи працює осцилограф, чи зупинений), натискають **Single**; клавіша **Single** жовта, доки осцилограф не спрацює.
- 9 - **Measure** controls, елементи керування вимірюваннями.
- 10 - Tools keys, клавіші інструментів.
- 11 - **Trigger** controls, елементи керування запуском.
- 12 - **Waveform** keys, додаткові елементи керування формою сигналу; клавіша **FFT** — забезпечує доступ до функції спектрального аналізу FFT; клавіша **Math** — забезпечує доступ до математичних функцій форми сигналу (додавання, віднімання тощо); клавіша **Ref** — забезпечує доступ до функцій опорної форми сигналу, опорні форми сигналу зберігаються і їх можна відображати та порівнювати з іншими сигналами аналогових каналів або

математичними формами сигналів; клавіша **Wave Gen** — надає доступ до функцій вбудованого генератора сигналів.

13 - **Help** key, клавіша довідки.

14 - **Bus** key, клавіша шини.

15 - **Ext Trig** input, вхід зовнішнього запуску.

16 - **Vertical** controls, елементи керування вертикаллю.

17 - Analog channel inputs, входи аналогових каналів.

18 - Waveform generator output (**Gen Out**), вихід вбудованого генератора сигналів.

19 - **Demo/Probe Comp**, Ground terminals (\equiv), клеми тестового сигналу/компенсації зонда, заземлення.

20 - USB Host port, порт USB Host; цей порт призначений для підключення USB-накопичувачів або принтерів до осцилографа.



Рис. 2.9. Органи керування та індикації осцилографа DSOX1102G [6]

Завдання

1. Вивчити основні технічні характеристики осцилографа DSOX1102G.
2. Вивчити призначення органів керування та їх розподіл на функціональні групи: **Horizontal, Vertical, Entry, Measure, Trigger, Wave-form**.
3. Приєднати вимірювальний щуп (пробник) до входу 1 осцилографа.
4. Включити прилад та зробити основні налаштування.
Натиснути кнопку живлення [1] на передній панелі осцилографа (рис. 2.8, 2.9). В меню **Канал 1** натиснути програмну кнопку (далі ПК) **Пробник**. В меню **Датчик каналу 1** натиснути ПК **Пробник**, цією ж кнопкою обрати пункт меню **Коефіцієнт**, обертаючи ручку **Entry** вибрати значення “1:1”. Встановити перемикач щупа осцилографа у положення **x1**. Прилад готовий до роботи.
5. Виміряти електричні параметри (амплітуду та частоту) тестового сигналу осцилографа трьома способами: з використанням координатної сітки та масштабних коефіцієнтів по вертикалі і горизонталі; з використанням режиму **Measure**; з використанням курсорів. Для цього: земляний контакт (“крокодил”) щупа осцилографа приєднати до клеми [≡] осцилографа, центральний контакт щупа приєднати до клеми **Demo, Probe Comp**. Натиснути кнопку **Auto Scale**: осцилограф оптимальним чином масштабує зображення сигналу на екрані приладу.

Попередження! Не підключати земляний провід (“крокодил”) вимірювального щупа до клеми Demo, Probe Comp. Це призведе до несправності осцилографа!

Попередження! Не з’єднувати між собою клеми Demo, Probe Comp та “Земля” [≡]. Це призведе до несправності осцилографа!

5.1. Спосіб 1. Визначити кількість поділок N_v по вертикалі, які займає зображення сигналу на екрані. Визначити повну амплітуду U_n тестового

сигналу (від піка до піка) з використанням масштабного коефіцієнту M_6 по вертикалі:

$$U_n = N_6 * M_6.$$

Визначити кількість поділок N_2 по горизонталі, які займає зображення одного періоду сигналу на екрані. Визначити період T_i тестового сигналу з використанням масштабного коефіцієнту M_2 по горизонталі:

$$T_i = N_2 * M_2.$$

5.2. Спосіб 2. Натиснути кнопку **Meas** (рис. 2.8, 2.9). На екрані з'являються два горизонтальних курсори, які відзначають повну амплітуду сигналу. Записати значення повної амплітуди сигналу та частоти, які розташовані у нижній частині екрану. Відповідною ручкою встановити масштабний коефіцієнт по вертикалі $M_6=2,00$ В/под. Зображення сигналу зменшиться. Знову записати значення повної амплітуди та частоти, які розташовані у нижній частині екрану. Натиснути кнопку **Meas**. Курсори зникають з екрану.

5.3. Зробити висновок про точність вимірювання амплітуди при різних розмірах сигналу на екрані осцилографа.

5.4. Спосіб 3. Натиснути **AutoScale** (рис. 2.8, 2.9). Натиснути кнопку **Cursors**. В меню **Курсори** натиснути програмну кнопку **Курсори**. Обертанням ручки **Entry** вибрати курсор X1, для підтвердження вибору натиснути на ручку **Entry**. Обертанням ручки **Push to Select** встановити вертикальний курсор X1 на задній фронт імпульсів. Натиснути на ПК **Курсори** та вибрати курсор X2. Встановити вертикальний курсор X2 на інший задній фронт імпульсів, який відповідає періоду сигналу. Записати значення періоду ΔX сигналу та значення частоти $1/\Delta X$, які розташовані у нижній частині екрану.

5.5. Натиснути кнопку **Cursors**. В меню **Курсори** натиснути ПК **Курсори**. Обертанням ручки **Entry** вибрати курсор Y1, для підтвердження вибору натиснути на ручку **Entry**. Обертанням ручки **Push to Select** встановити горизонтальний курсор Y1 на пік імпульсів.

Натиснути на ПК **Курсори** та вибрати курсор Y2. Встановити Y2 на інший пік імпульсів, який відповідає повній амплітуді сигналу. Записати значення повної амплітуди ΔY , яке розташоване у нижній частині екрану.

6. Приєднати другий вимірювальний щуп осцилографа до виходу **Gen Out**.

ПОПЕРЕДЖЕННЯ! Не з'єднувати між собою центральний та земляний контакти щупа, який приєднаний до виходу Gen Out. Це може призвести до несправності генератора!

7. З'єднати центральний контакт щупа, який приєднаний до входу **1**, з центральним контактом щупа, який приєднаний до виходу **Gen Out**. З'єднати між собою земляні контакти щупів.

8. Вибрати для дослідження сигнали відповідно до номера бригади за табл.2.1. Алгоритм вибору сигналів наведено у п.8.1 - п.8.3.

Таблиця 2.1. Перелік електричних сигналів для дослідження

їх параметрів: частоти (f), періоду (T), амплітуди (U), тривалості імпульсу (τ_i)

№ бригади	1	2	3	4	5
Тип сигналу 1	Синус $f=1$ кГц $U=2,4$ В	Меандр $f=15$ кГц $U=1,6$ В	Пила $f=56$ кГц $U=10$ В	Синус $f=220$ кГц $U=3,5$ В	Імпульсний $f=87$ кГц $U=7$ В $\tau_i=3$ мкс
Тип сигналу 2	Меандр $f=10$ кГц $U=1,5$ В	Пила $f=1,4$ кГц $U=9$ В	Синус $f=750$ Гц $U=1,2$ В	Імпульсний $f=100$ кГц $U=4,7$ В $\tau_i=2$ мкс	Меандр $f=1.8$ кГц $U=2,5$ В
Тип сигналу 3	Пила $f=170$ кГц $U=0,7$ В	Імпульсний $f=25$ кГц $U=6$ В $\tau_i=10$ мкс	Імпульсний $f=2,7$ кГц $U=6,7$ В $\tau_i=70$ мкс	Меандр $f=33$ кГц $U=1,3$ В	Пила $f=35$ кГц $U=0,6$ В

8.1. На передній панелі осцилографа натиснути кнопку **Wave Gen**. У програмному меню (права частина екрану) натиснути ПК **Сигнал**. Обертанням ручки **Entry** обрати тип сигналу відповідно до номеру бригади. Для підтвердження вибору натиснути ручку **Entry**.

8.2. У програмному меню (права частина екрану) натиснути ПК **Частота**. Обертанням ручки **Entry** встановити частоту відповідно до номеру бригади. Для підтвердження вибору натиснути ручку **Entry**.

8.3. У програмному меню (права частина екрану) натиснути ПК **Амплітуда**. Обертанням ручки **Entry** встановити амплітуду відповідно до номеру бригади. Для підтвердження вибору натиснути ручку **Entry**.

9. Натиснути **Auto Scale**: осцилограф автоматично масштабує зображення сигналу на екрані приладу оптимальним чином. Виміряти та записати параметри сигналів 1, 2, 3 з використанням горизонтальних Y1, Y2 та вертикальних курсорів X1, X2, записати зображення екрану осцилографа разом з сигналом та курсорами X1, X2, Y1, Y2 на зовнішній USB-накопичувач. Зображення екрану долучити до протоколу. Результати вимірювання повної амплітуди та сигналів 1, 2, 3 записати у вигляді:

$$U=U_e\pm\Delta_U, \quad T=T_e\pm\Delta_T,$$

де U - значення повної амплітуди сигналу;

U_e - значення вимірюваної повної амплітуди;

Δ_U - значення абсолютної похибки вимірювання амплітуди сигналу, яка становить [4,25% full scale] (п.18 основних характеристик осцилографа);

T - період сигналу ($T=\Delta X$, ΔX - значення періоду на екрані осцилографа);

T_e - значення вимірюваної частоти сигналу;

Δ_T - значення абсолютної похибки вимірювання періоду сигналу, яка становить [$\pm(50 \text{ ppm}*\text{reading})\pm(0.0016*\text{screen width}) \pm 200 \text{ пс}$] (п.20 основних характеристик осцилографа). Примітка: ppm=10⁻⁶.

Приклад опрацювання результатів вимірювання повної амплітуди та періоду електричного сигналу, зображеного на рис. 2.10

На вхід осцилографа подано синусоїдальний сигнал амплітудою 2,5 В і частотою 2,9 кГц від вбудованого функціонального генератора. Вважаємо, що вимірювання - технічні (Додаток Д).

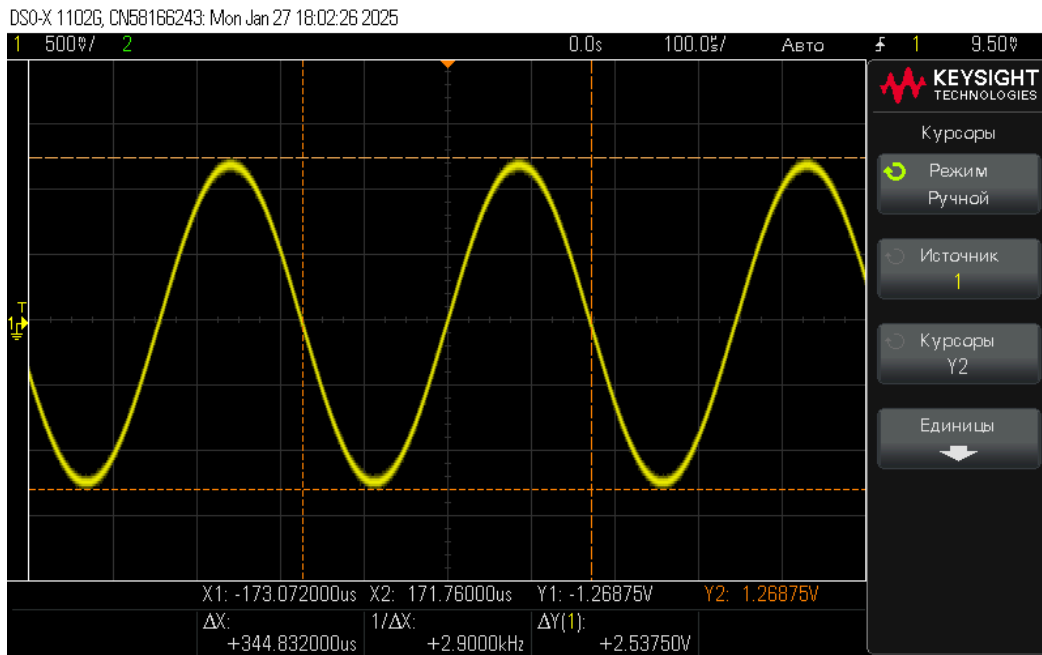


Рис. 2.10. Результати вимірювання параметрів синусоїдального сигналу

Амплітуда сигналу:

$$U = U_g \pm \Delta_U,$$

де U - значення повної амплітуди сигналу;

U_g - значення вимірюваної повної амплітуди, $U_g = \Delta Y(1) = +2,538 \text{ В}$;

Δ_U - значення абсолютної похибки вимірювання амплітуди сигналу, яка становить [4,25% full scale] (п.18 основних характеристик осцилографа). Повна шкала full scale становить:

$$\text{full scale} = N_g * M_g = 8 \text{ под} * 500 \text{ мВ/под} = 4000 \text{ мВ} = 4 \text{ В},$$

де N_g - кількість поділок екрану по вертикалі;

M_g - поточний масштабний коефіцієнт по вертикалі, $M_g = 500 \text{ мВ/под}$ (розташований зліва у верхньому куті екрану).

$$\Delta_U = 4,25\% \text{ full scale} = 0,0425 * 4 \text{ В} = 0,17 \text{ В}.$$

Похибка має два розряди після коми, тому отримане значення амплітуди округлюємо також до двох розрядів після коми (додаток Г):

$$\text{Результат: } U = U_g \pm \Delta_U = 2,54 \text{ В} \pm 0,17 \text{ В}.$$

Період синусоїдального сигналу:

$$T = T_g \pm \Delta_T,$$

де T - період сигналу;

T_g - значення вимірюваного періоду сигналу, $T_g = 344,832$ мкс;

Δ_T - значення абсолютної похибки вимірювання періоду сигналу, яка становить $[\pm(50 \text{ ppm} * \text{reading}) \pm (0.0016 * \text{screen width}) \pm 200 \text{ пс}]$ (п.20 основних характеристик осцилографа).

Значення screen width (ширини екрана) дорівнює:

$$\text{screen width} = N_2 * M_2,$$

де N_2 - кількість поділок екрану по горизонталі, $N_2 = 10$ под;

M_2 - поточний масштабний коефіцієнт по горизонталі, $M_2 = 100$ мкс/под (розташований у верхній частині екрана, праворуч).

$$\text{screen width} = N_2 * M_2 = 10 \text{ под} * 100 \text{ мкс/под} = 1000 \text{ мкс} = 10^{-3} \text{ с}.$$

Значення reading дорівнює:

$$\text{reading} = \Delta X = T_g = 344,832 \text{ мкс} = 344,832 * 10^{-6} \text{ с}$$

$$\Delta_T = [\pm(50 \text{ ppm} * \text{reading}) \pm (0.0016 * \text{screen width}) \pm 200 \text{ пс}] =$$

$$= \pm[(50 \text{ ppm} * \text{reading}) + (0.0016 * \text{screen width}) + 200 \text{ пс}] =$$

$$= \pm[50 * 10^{-6} * 344,832 * 10^{-6} + 0,0016 * 10^{-3} + 200 * 10^{-12}] =$$

$$= \pm 0,0016 * 10^{-3} \text{ (с)} = 1,6 * 10^{-6} \text{ (с)}.$$

Похибка має один розряд після коми, тому отримане значення періоду округлюємо також до одного розряду після коми (додаток Г):

$$\text{Результат: } T = T_g \pm \Delta_T = 344,8 * 10^{-6} \pm 1,6 * 10^{-6} \text{ (с)}$$

Опис курсорних вимірювань наведено у п. 9.1 - п. 9.2.

Опис запису зображення екрану на USB-накопичувач наведено у п.10.

9.1. Натиснути кнопку **Cursors**. У програмному меню натиснути ПК **Курсори**, ручкою **Entry** обрати курсор Y1. Для підтвердження вибору Y1 натиснути **Entry**. Обертанням ручки **Push to Select** встановити курсор Y1 на місце осцилограми для вимірювання амплітуди. У програмному меню натиснути ПК **Курсори**, ручкою **Entry** обрати курсор Y2. Для підтвердження вибору Y2 натиснути **Entry**. Обертанням

ручки **Push to Select** встановити курсор Y2 на місце осцилограми для вимірювання повної амплітуди. В нижній частині екрану прочитати та записати значення Y1, Y2, ΔY (відповідає повній амплітуді сигналу - від піка до піка).

9.2. Натиснути кнопку **Cursors**. У програмному меню натиснути ПК **Курсори**, ручкою **Entry** обрати курсор X1. Для підтвердження вибору X1 натиснути **Entry**. Обертанням ручки **Push to Select** встановити курсор X1 на місце осцилограми для вимірювання періоду сигналу. У програмному меню натиснути ПК **Курсори**, ручкою **Entry** обрати курсор X2. Для підтвердження вибору X2 натиснути **Entry**. Обертанням ручки **Push to Select** встановити курсор X2 на місце осцилограми для вимірювання періоду сигналу. В нижній частині екрану прочитати та записати значення X1, X2, ΔX (період), $1/\Delta X$ (частота).

10. Запис зображення екрану осцилографа на зовнішній USB-накопичувач.

10.1. Під'єднати USB-накопичувач до відповідного роз'єму на передній панелі осцилографа. Налаштувати зображення електричного сигналу на екрані, яке потрібно записати на зовнішній USB-накопичувач.

10.2. Натиснути кнопку **Save/Recall**.

10.3. В програмному меню **Зберігання/виклик** натиснути ПК **Зберегти**. Далі натиснути ПК **Формат**. Ручкою **Entry** вибрати розширення файлу “.png”. Для підтвердження вибору натиснути **Entry**.

10.4. Натиснути ПК **Зберігання на**. Ручкою **Entry** обрати **\usb** для збереження файлу у кореневому каталозі флеш накопичувача. Для підтвердження вибору натиснути **Entry**.

10.5. Натиснути ПК **Ім'я файлу**. Послідовно натискаючи на ПК **Ввід** встановити курсор на перший символ попередньої назви файлу. Послідовно натискаючи на ПК **Видалити символ** видалити назву файлу.

10.6. Натиснути ПК **Написати**. Ручкою **Entry** обрати літеру, наприклад, “s”. Для підтвердження вибору натиснути **Entry**. Далі ручкою **Entry**

вибрати цифру, наприклад, “1”. Для підтвердження вибору натиснути **Entry**. Таким чином, написали назву файлу s1, який має розширення png: s1.png.

10.7. Натиснути ПК **Натиснути для зберігання**. Файл s1.png із зображенням екрану зберігається у кореневому каталозі USB-накопичувача. Одночасно зберігається файл s1.txt, який містить поточні параметри осцилографа.

11. Зробити висновки по роботі.

12. Написати відповіді на контрольні питання.

Література: [1], [2], [6].

Контрольні питання

1. Дайте визначення для періодичного електричного сигналу.
2. Які електричні параметри повністю характеризують гармонічну напругу?
3. Які електричні параметри характеризують періодичну послідовність імпульсних сигналів?
4. Яке основне призначення осцилографа?
5. Яка максимальна амплітуда сигналу, який можна подавати на вхід осцилографа DSOX1102G?
6. Який вхідний опір та ємність входів осцилографа DSOX1102G?
7. Які типи сигналів генерує вбудований в осцилограф DSOX1102G функціональний генератор?
8. В якому діапазоні частот працює вбудований генератор осцилографа DSOX1102G?
9. Яким чином можна визначити амплітуду сигналу, якщо відомий масштабний коефіцієнт Мв по вертикалі екрана осцилографа?
10. Яким чином можна визначити період сигналу, якщо відомий масштабний коефіцієнт Мг по горизонталі екрану осцилографа?
11. Від чого залежить числове значення масштабного коефіцієнта Мг по

- горизонталі екрана осцилографа? Чим його можна змінити?
12. Від чого залежить числове значення масштабного коефіцієнта M_v по вертикалі екрана осцилографа? Чим його можна змінити?
13. Чому при осцилографічних вимірюваннях розмір зображення на екрані прагнуть по можливості збільшити?
14. Для чого на екран осцилографа нанесена координатна сітка?
15. Які три способи (режими) вимірювання амплітуди реалізовані в осцилографі DSOX1102G?

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Генератори сигналів НЧ, ВЧ, функціональні генератори.

Генератор сигналів ККmoon FY6600-60M. Технічні характеристики.

Режими роботи

Мета роботи

Ознайомитися з генератором сигналів ККmoon FY6600-60M. Набути практичних навичок з генерації та дослідження різних типів електричних сигналів, вимірювання їх амплітуди та часових параметрів.

Обладнання та матеріали

1. Генератор сигналів ККmoon FY6600-60M.
2. Осцилограф DSOX1102G.
3. Вимірювальні щупи до осцилографа.
4. USB 2.0 флеш накопичувач (флешка).
5. Комп'ютер.

Теоретична частина

Генератори низьких (НЧ) та високих (ВЧ) частот є фундаментальними інструментами в електроніці, які відрізняються не лише діапазоном частот, а й принципами побудови та сферами використання.

У метрології та радіотехніці поділ генераторів на низькочастотні та високочастотні базується на спектрі сигналів, які вони формують та їхньому цільовому призначенні.

Генератори НЧ (часто їх називають звуковими генераторами) — це прилади, призначені для створення, зазвичай, синусоїдальних сигналів у діапазоні частот від кількох герц (Гц) до декількох сотень кілогерц (кГц). Іноді цей діапазон розширюється до (1–2) МГц.

Характерні особливості:

- висока стабільність амплітуди;

- малий коефіцієнт нелінійних спотворень (чиста синусоїда);
- наявність виходів з різним вихідним опором (наприклад, 50 Ом, 600 Ом).

Приклади застосування:

1. Аудіотехніка: налагодження підсилювачів звуку, акустичних систем, мікшерів. Перевірка рівномірності АЧХ (амплітудно-частотної характеристики).

2. Медична апаратура: калібрування електрокардіографів (ЕКГ) та енцефалографів, де сигнали мають дуже низьку частоту (0,1–100) Гц.

Генератори ВЧ (радіочастотні генератори) — це пристрої, що генерують сигнали у діапазоні від декількох сотень кілогерц (кГц) до декількох гігагерц (ГГц). У цих приладах основна увага приділяється точності встановлення частоти та можливості застосування складних видів модуляції.

Характерні особливості:

- можливість модуляції сигналу: амплітудна (АМ), частотна (FM), фазова модуляція (PM) тощо;

- наявність прецизійних атенюаторів для встановлення дуже малих рівнів вихідного сигналу (мікрівольти);

- висока стабільність частоти (часто з використанням термостатованих кварцових резонаторів).

Приклади застосування:

1. Радіозв'язок: перевірка та налаштування радіоприймачів, трансиверів, мобільних телефонів та Wi-Fi роутерів.

2. Телебачення та радарні системи: моделювання сигналів супутникового та кабельного ТБ, а також робота з надвисокими частотами (НВЧ).

3. ЕМС (електромагнітна сумісність): випробування пристроїв на завадостійкість до зовнішніх радіозавад.

Функціональні генератори — це прилади, призначені для формування періодичних електричних сигналів в широкому діапазоні частот із заданими

параметрами (амплітудою, частотою, формою). На відміну від звичайних генераторів синусоїдальних коливань, функціональний генератор здатний створювати сигнали різної геометричної форми, що робить його універсальним інструментом у лабораторіях та сервісних центрах.

Основні форми сигналів:

- синусоїдальна (найбільш розповсюджена для перевірки АЧХ);
- прямокутна (меандр) — для тестування цифрових схем;
- трикутна та пилкоподібна — для лінійних розгортки;
- імпульсна — з можливістю регулювання тривалості імпульсу та періоду його повторення.

Приклади застосування:

1. Тестування підсилювачів та фільтрів: подача синусоїдального сигналу на вхід підсилювача дозволяє виміряти його коефіцієнт підсилення, смугу пропускання та наявність гармонійних спотворень.
2. Налагодження цифрових схем: прямокутний сигнал використовується як тактовий (Clock) для перевірки роботи тригерів, лічильників та мікропроцесорних систем.
3. Використання модульованих сигналів для перевірки приймально-передавальної апаратури або систем зв'язку.
4. Ремонт побутової та промислової електроніки: метод "проходження сигналу", коли генератор подає сигнал на вхід каскаду, а осцилографом контролюється його наявність на виході, що дозволяє швидко знайти несправний компонент.

В даній лабораторній роботі ознайомимся з роботою функціонального двоканального генератора FY6600-60M фірми FeelTech Technology Co. Ltd. (рис. 3.1). Прилад призначений для генерації різних типів електричних сигналів в діапазоні до 60 МГц. Має високі експлуатаційні та технічні характеристики завдяки використанню технології прямого цифрового синтезу сигналу DDS. Відмінною рисою генераторів FY6600 є висока точність, стабільність амплітуди та низький рівень власних шумів.



Рис. 3.1. Генератор сигналів KKmoon FY6600-60M [7]

Генератор сигналів має наступні особливості.

- Кольоровий дисплей 2.4" TFT , роздільна здатність 320x240, що дозволяє одночасно спостерігати параметри каналів CH1 і CH2.
- Використання DDS-технології прямого цифрового синтезу забезпечує генерацію стабільного сигналу з низьким рівнем спотворень.
- Два повністю незалежні вихідні канали, синхронізація зовнішнім сигналом і регульований фазовий зсув.
- Генератор сигналів використовує професійний 14-бітний високошвидкісний ЦАП (цифро-аналоговий перетворювач) з частотою дискретизації 250 МВиб/с (мегавибірок на секунду, MSa/s). Активний кварцовий генератор, який використовується в якості еталона, робить вихідний сигнал більш стабільним і точним. Діапазон вихідного сигналу лежить у межах: $1 \text{ мВ}_{\text{пк}} \sim 20 \text{ В}_{\text{пк}}$ (напряга від піка до піка). Максимальна напряга генератора для різних діапазонів частот - різна (табл. 3.1).
- Максимальна вихідна частота (синусоїдального сигналу) до 60 МГц (частоти для інших сигналів - наведено у табл. 3.1).
- Роздільна здатність: **1 мкГц.**
- Вбудований частотомір: до **100 МГц.**
- Об'єм пам'яті: **8192*14 біт.**

- Можливість збереження до 97 груп функцій/сигналів довільної форми: 33 групи встановлених сигналів і 64 груп сигналів користувача.
- Попередньо встановлені функції: синус, прямокутник, імпульс, пила, напівхвиля, повна хвиля, експонента, зворотна експонента, мультитон, ЕКГ, трапеція, білий шум (Гаусса) тощо.
- Різні типи модуляції: AM, FM, PM, ASK, FSK, PSK.
- Функція частотоміра зі смугою до 100 МГц, що дозволяє вимірювати частоту сигналу, період, позитивну та негативну тривалість імпульсу.
- Висока точність установки частоти: до $20 \cdot 10^{-6}$; дискретність установки: 1,0 мкГц; стабільність частоти: до $10^{-6}/3$ години.
- Скважність імпульсного сигналу для кожного каналу може бути встановлена незалежно від 0,01% до 99,99% з дискретністю 0,01%.
- Висока роздільна здатність по амплітуді, дискретність установки амплітуди 1 мВ, діапазон вихідного сигналу становить від 0 до 20 В (подвійна амплітуда - від піка до піка, залежить від частоти сигналу, дивись табл.3.1).
- Генератори даної серії забезпечують лінійне та логарифмічне свипування частоти з періодом розгортки від 0,01 с до 999,99 с.
- Є можливість зміщення вихідного сигналу за рівнем: ± 10 В в діапазоні частот до 20 МГц та $\pm 2,5$ В в діапазоні частот більше 20 МГц з роздільною здатністю 0,001 В.
- Функція редагування форм сигналів: користувач може створювати або редагувати форму сигналу на комп'ютері, а потім записати в пам'ять генератора.
- Генерація імпульсних послідовностей від 1 до 1 048 575 довільних імпульсів.
- Система захисту виходів від короткого замикання: усі вихідні канали витримують коротке замикання до 60 с.
- USB інтерфейс забезпечує підключення приладу до персонального комп'ютера для керування та передачі даних.

Основні технічні характеристики функціонального генератора наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Основні технічні характеристики генератора сигналів
KKmoon FY6600-60M^{*)}

Частота	
Синус	0 - 60 МГц
Прямокутний	0 - 25 МГц
Пилкоподібний, трикутний	0 - 10 МГц
Імпульсний	0 - 10 МГц
TTL/CMOS	0 - 10 МГц
Довільної форми	0 - 10 МГц
Точність	± 20 ppm
Стабільність	± 1 ppm/ 3 години
Вихідні характеристики	
Амплітуда, V_{pp} (від піка до піка)	Частота ≤ 10 МГц: $1 mV_{pp} - 20 V_{pp}$; 10 МГц < Частота ≤ 20 МГц: $1 mV_{pp} - 10 V_{pp}$; Частота > 20 МГц: $1 mV_{pp} - 5 V_{pp}$;
Роздільна здатність по амплітуді	1 мВ
Стабільність амплітуди	$\pm 0.5\%$ / 5 годин
Вихідний опір	50 Ом $\pm 10\%$
DC зміщення	Частота ≤ 20 МГц: ± 10 В; частота > 20 МГц: ± 2.5 В
Роздільна здатність DC зміщення	1 мВ
Діапазон фази	$0^{\circ} - 359.990^{\circ}$
Роздільна здатність по фазі	0.01°

Вимірювання	
Функція	Частота, період, тривалість позитивного/негативного імпульсу, скважність
Вимірювач частоти	Роздільна здатність: 0,01 Гц Діапазон: 0,01 Гц - 100 МГц
Лічильник імпульсів	Діапазон: 0 - 4 294 967 295
Період	Діапазон: 5 нс - 20 с
Тривалість імпульсу	Діапазон: 0 нс - 20 с Роздільна здатність: 5 нс
Скважність	0% - 100%
Модуляція	
Тип	АМ, FM, РМ, АСК, FSK, PSK
Несучий сигнал	Синус, прямокутний, трикутний, пілкоподібний, довільної форми (крім DC)
Загальні характеристики	
Дисплей	2.4 дюйма, TFT кольоровий дисплей.
Інтерфейс	USB
Джерело живлення	(100 - 240) В, 50 Гц
Зовнішня середа	Температура: 0°C - 40°C, вологість: <80%
Габарити	200 мм * 190 мм * 90 мм (Д * Ш * В)
Вага	850 г

*) Повні характеристики приладу наведені у User's Manual "FY6600 Series Fully Numerical Control Dual Channel Function/Arbitrary Waveform Generator" [7].

Загальний вигляд передньої та задньої панелі генератора показано на рис. 3.2, 3.3.

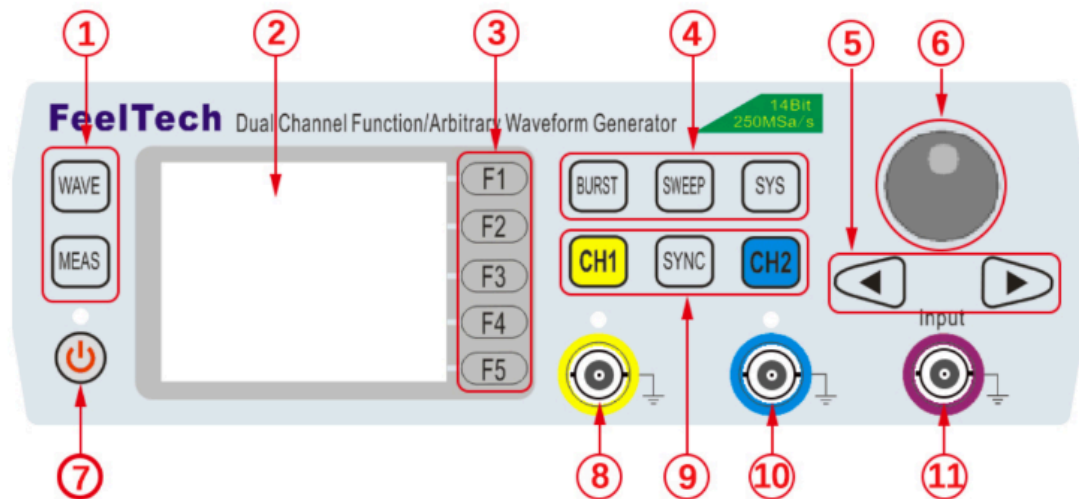


Рис. 3.2. Передня панель генератора ККmoon FY6600-60М [7]

Призначення органів керування (рис. 3.2):

1 - кнопка **WAVE** для перемикання форм сигналу між синусоїдою, прямокутником, трикутником тощо;

кнопка **MEAS** для перемикання між частотоміром та лічильником для вимірювання частоти, періоду, скважності та тривалості імпульсу зовнішнього вихідного сигналу;

2 - 2,4-дюймовий кольоровий TFT-дисплей (320 пікселів × 240 пікселів);

3 - кнопки F1 - F5 відповідають меню, що відображається на дисплеї 2. Натисніть відповідну кнопку, щоб активувати підменю;

4 - кнопка **BURST (MOD)** використовується для встановлення кількості імпульсів в імпульсній послідовності та для встановлення типу модуляції;

кнопка **SWEEP** використовується для запуску режиму сканування (сканування) параметрів синусоїди, прямокутника, користувацьких сигналів тощо. Є можливість сканування частоти, амплітуди, зміщення та фази. Два типи сканування: лінійний, логарифмічний;

кнопка **SYS** : допоміжні функції та налаштування конфігурації системи;

5 - кнопки зі стрілками для переміщення курсору, щоб вибрати розряд, який потрібно редагувати, під час встановлення значень кожного параметра;

6 - ручка **ADJ**:

- натисніть ручку **ADJ** для підтвердження (кнопка **OK**);
- поверніть ручку **ADJ**, щоб збільшити або зменшити поточне значення, позначене курсором;
- одиницю вимірювання частоти можна змінити, натиснувши ручку **ADJ** у режимі «Стан налаштування значення частоти»;
- натисніть ручку **ADJ**, щоб розпочати/зупинити режим **SWEEP**;

7 - кнопка живлення; індикатор живлення постійно світиться, коли живлення ввімкнено;

8 - роз'єм каналу **CH1**, вихідний імпеданс 50 Ом; коли канал **CH1** активується (індикатор світиться), **CH1** виводить сигнал із встановленими параметрами;

9 - кнопка **CH1** використовується для керування виходом каналу **CH1**:

- натисніть, щоб переключитися до інтерфейсу налаштування параметрів **CH1**;
- натисніть, щоб увімкнути вихід **CH1** з поточною конфігурацією, індикатор світитиметься;
- натисніть ще раз, щоб вимкнути вихід **CH1**, індикатор згасне;

- кнопка **CH2** використовується для керування виходом каналу **CH2**:

- натисніть, щоб переключитися до інтерфейсу налаштування параметрів **CH2**;
- натисніть, щоб увімкнути вихід **CH2** з поточною конфігурацією, індикатор світитиметься;
- натисніть ще раз, щоб вимкнути вихід **CH2**, індикатор згасне;

- кнопка **SYNC**: кнопка функції синхронізації, можна налаштувати синхронізацію **CH1** та **CH2** (частота, амплітуда, зсув тощо);

10 - роз'єм каналу **CH2**, вихідний імпеданс 50 Ом; коли канал **CH2** активується (індикатор світиться), **CH2** виводить сигнал із встановленими параметрами;

11 - роз'єм **INPUT**, вхідний опір 100 Ом, використовується для подачі сигналу на вхід вбудованого частотоміра та лічильника імпульсів.

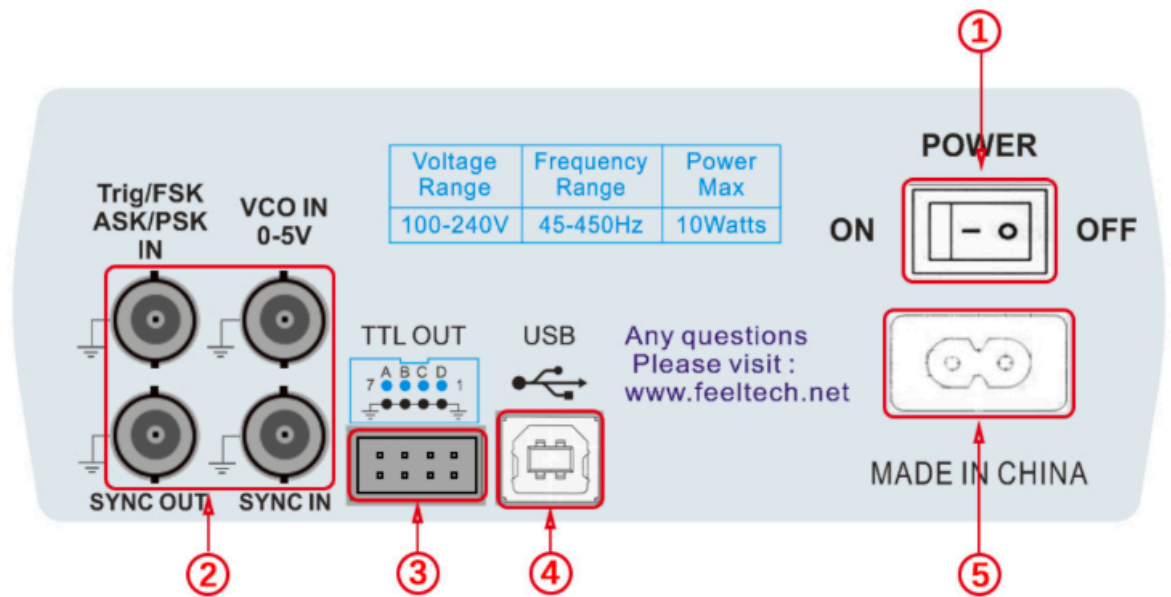


Рис. 3.3. Задня панель генератора KKmoon FY6600-60M [7]

Призначення органів керування (рис. 3.3):

- 1 - вимикач живлення;
- 2 - **IN Trig/FSK/ASK/PSK**: вхідний роз'єм BNC для зовнішнього сигналу при формуванні модульованого сигналу FSK, ASK, PSK;
 - **VCO IN 0-5V**: вхідний роз'єм BNC для реалізації керування за допомогою напруги зовнішнього сигналу частотою, амплітудою, зміщенням та робочим циклом коливань генератора; частота вхідного зовнішнього сигналу повинна бути нижче 500 Гц;
 - **SYNC OUT**: вихідний роз'єм BNC сигналу синхронізації;
 - **SYNC IN**: вхідний роз'єм BNC сигналу синхронізації;
- 3 - **TTL OUT**: вихідний сигнал TTL; частота порту А така ж, як і частота виходу CH1; частота порту В така ж, як і частота порту А, але зі зворотною фазою (180^0); частота порту С така ж, як і частота каналу CH2; частота порту D така ж, як і порту С, але зі зворотною фазою (180^0);
- 4 - **USB**: інтерфейс USB-пристрою;
- 5 - вхід живлення : діапазон напруги АС (100 - 240) В.

Основний інформаційний екран генератора показано на рис. 3.4.

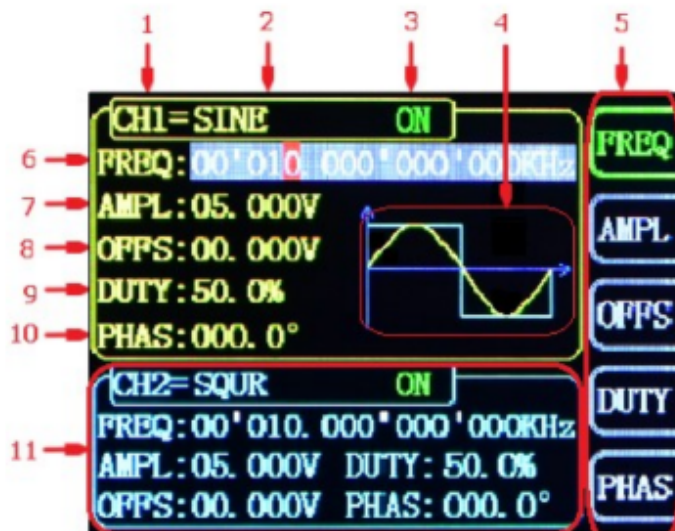


Рис. 3.4. Інформаційний екран генератора KKmoon FY6600-60M

Значення полів відображення на інформаційному екрані (рис. 3.4):

- 1 - відображення поточного вибраного для роботи каналу;
- 2 - відображення назви поточного вибраного сигналу; наприклад, «CH1=Синус» означає, що поточний вибраний сигнал для CH1 є синусоїдою; його можна змінити натисканням кнопки **WAVE**; тим часом, сигнал можна швидко змінити, обертаючи ручку **ADJ**, коли активовано функцію перемикання сигналів;
- 3 - відображення стану (ввімкнений/вимкнений) поточного каналу; його можна перемикати натисканням **CH1** або **CH2**;
- 4 - відображення діаграми поточного сигналу (включаючи користувацькі довільні сигнали); жовтий колір вказує на **CH1**, а синій — на **CH2**;
- 5 - відображення поточних доступних опцій меню;
- 6 - відображення значення частоти поточного каналу; натисніть кнопку **FREQ**, щоб виділити його, та використовуйте ручку **ADJ** та стрілки для зміни значення;
- 7 - відображення значення амплітуди поточного каналу; натисніть кнопку **AMPL**, щоб виділити його та використовуйте ручку **ADJ** і стрілки, щоб змінити значення;

8 - відображення значення постійного зміщення поточного каналу; натисніть кнопку **OFFS**, щоб виділити його та за допомогою ручки **ADJ** і стрілок змініть значення;

9 - відображення значення скважності поточного каналу; натисніть кнопку **DUTY**, щоб виділити його та за допомогою ручки **ADJ** і стрілок змініть значення;

10 - відображення значення фази поточного каналу; натисніть кнопку **PHAS**, щоб виділити його та за допомогою ручки **ADJ** і стрілок змініть значення;

11 - відображення параметрів не вибраного каналу, включаючи частоту, амплітуду, зміщення, фазу, скважність та стан виходу; ці параметри не можна змінити безпосередньо в цьому інтерфейсі; якщо вам потрібно їх змінити, перемкніть вибраний канал.

Завдання

1. Вивчити технічні характеристики генератора Kmoon FY6600-60M.
2. Вивчити порядок роботи з генератором відповідно до User's Manual "FY6600 Series Fully Numerical Control Dual Channel Function/Arbitrary Waveform Generator", який наведено у CLASSROOM.
3. Послідовно налаштувати генератор для отримання на його виході електричних сигналів із заданими параметрами. Кожен сигнал подати на вхід осцилографа DSOX1102G. З використанням курсорних вимірювань визначити повну амплітуду сигналів та його період (частоту). Зображення екрану осцилографа з кожним сигналом та курсорами, які визначають повну амплітуду та період (частоту), записати на флеш-накопичувач. Потім включити зображення екрану у протокол роботи.
4. Перелік сигналів для кожної бригади наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Перелік електричних сигналів для дослідження їх параметрів:
частоти (f), періоду (T) та амплітуди (U)

№ бригади	1	2	3	4	5
Тип сигналу 1*	Синус (SINE) $f=10,22$ кГц $U=2,52$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Синус (SINE) $f=27,35$ кГц $U=10,63$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Синус (SINE) $f=156,45$ кГц $U=12,25$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Синус (SINE) $f= 275,15$ кГц $U=3,54$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Синус (SINE) $f= 387,58$ кГц $U=7,00$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0
Тип сигналу 2*	Меандр (SQUR) $f= 315$ кГц $U=1,5$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Меандр (SQUR) $f= 2$ кГц $U=9$ В DUTE=40% OFFS=0 PHAS=0	Меандр (SQUR) $f= 64$ кГц $U=1,2$ В DUTE=65% OFFS=0 PHAS=0	Меандр (SQUR) $f=150$ кГц $U=4,7$ В DUTE=37% OFFS=0 PHAS=0	Меандр (SQUR) $f=1$ кГц $U=2,5$ В DUTE=20% OFFS=0 PHAS=0
Тип сигналу 3*	Експонента (PosExponen) $f=100,35$ кГц $U=0,77$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Експонента (PosExponen) $f=125,53$ кГц $U=1,54$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Експонента (PosExponen) $f=32,72$ кГц $U=15,25$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Експонента (PosExponen) $f= 313,25$ кГц $U=1,38$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Експонента (PosExponen) $f= 38,72$ кГц $U=9,63$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0
Тип сигналу 4*	Трикутник (TRCL) $f=12$ кГц $U=1,35$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Трикутник (TRCL) $f=43$ кГц $U=0,80$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Трикутник (TRCL) $f=237$ кГц $U=2,25$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Трикутник (TRCL) $f=117$ кГц $U=3,67$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Трикутник (TRCL) $f=264$ кГц $U=2,57$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0
Тип сигналу 5*	Пилко-подібний (RAMP) $f=132,7$ кГц $U=1,45$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Пилко-подібний (RAMP) $f=182,8$ кГц $U=1,75$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Пилко-подібний (RAMP) $f=142,3$ кГц $U=0,85$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Пилко-подібний (RAMP) $f=129,4$ кГц $U=1,48$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0	Пилко-подібний (RAMP) $f=192,1$ кГц $U=3,55$ В DUTE=50% OFFS=0 PHAS=0

*) f =FREQ - частота сигналу, U =AMPL - амплітуда сигналу, DUTE - скважність імпульсів, OFFS - зсув сигналу, PHAS - фаза.

5. Для кожного сигналу представити визначену осцилографом DSOX1102G амплітуду у вигляді:

$$U = U_e \pm \Delta_U,$$

де U - значення повної амплітуди сигналу;

U_e - отримане значення повної амплітуди;

Δ_U - значення абсолютної похибки вимірювання амплітуди сигналу, яка становить [4,25% full scale] (п.18 основних характеристик осцилографа DSOX1102G).

6. Для кожного сигналу представити визначений осцилографом період у вигляді:

$$T = T_e \pm \Delta_T,$$

де T - період сигналу;

T_e - отримане значення періоду сигналу;

Δ_T - значення абсолютної похибки вимірювання періоду сигналу, яка становить [$\pm(50 \text{ ppm} * \text{reading}) \pm (0.0016 * \text{screen width}) \pm 200 \text{ пс}$] (п.20 основних характеристик осцилографа).

7. Зробити висновки по роботі.
8. Надати письмові відповіді на контрольні питання.
9. Паперовий варіант протоколу здати на наступному занятті в лабораторії, електронний варіант у форматі WORD та PDF завантажити в CLASSROOM

Література: [1], [2], [7].

Контрольні питання

1. Які типи сигналів може генерувати прилад - ККmoon FY6600-60M? Наведіть приклади.
2. Як встановити амплітуду для обраного сигналу генератора ККmoon FY6600-60M?
3. Які методи можна використовувати для вимірювання параметрів згенерованих сигналів?

4. Які фактори впливають на похибку вимірювань параметрів сигналів осцилографом?
5. Наведіть приклади застосування генератора сигналів в електроніці.
6. Для вирішення яких задач призначено вхід Input генератора ККmoon FY6600-60M?
7. Який максимальний сигнал по амплітуді дозволяється подавати на вхід Input генератора ККmoon FY6600-60M?
8. Який мінімальний крок зміни частоти генератора ККmoon FY6600-60M?
9. Яким чином можна змінювати одиниці вимірювання частоти на екрані генератора ККmoon FY6600-60M?
10. Як встановити частоту для обраного сигналу генератора ККmoon FY6600-60M?

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Оцінка похибок вимірювань (опрацювання результатів вимірювання)

Мета роботи

Опанувати методику статистичної обробки результатів прямих багаторазових вимірювань.

Обладнання та матеріали

1. Мультиметр UNI-T UTM158D.
2. Осцилограф DSOX1102G.
3. Набір резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності відомих номіналів.
4. Макетна плата.
5. З'єднувальні провідники.

Теоретична частина

Після здійснення серії необхідних вимірювань фізичної величини виконується етап аналізу та опрацювання отриманих результатів, оцінки похибок вимірювання та представлення кінцевого результату, який містить оцінку істинного значення фізичної величини та сумарної похибки вимірювання. При виконанні математичних розрахунків потрібно дотримуватись правил округлення чисел, похибок вимірювання та результатів вимірювання (додаток Д). При цьому проміжні результати обчислень спеціально не заокруглюють, вони, як правило мають один - два зайвих розрядів. Заокругленню підлягає оцінка сумарної похибки та оцінка кінцевого результату вимірювання. Про всяк випадок, нагадаємо:

Абсолютна похибка вимірювання - різниця між результатом вимірювання і дійсним значенням вимірюваної величини. Абсолютна похибка виражається в абсолютних одиницях вимірюваної величини:

$$\Delta X = X_B - X_D.$$

Відносна похибка вимірювання - відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_D} = \frac{X_B - X_D}{X_D}; \quad \delta = \frac{\Delta X}{X_D} \cdot 100\% = \frac{X_B - X_D}{X_D} \cdot 100\% .$$

Чим менша відносна похибка вимірювання, тим вища його точність, отже, тим менша різниця між істинним значенням ФВ і результатом її вимірювань.

Промах - похибка вимірювання, що суттєво перебільшує очікувану похибку у даних умовах. При оцінюванні результатів вимірювань промахи вилучають із ряду багаторазових спостережень як аномальні результати вимірювання.

Методи вимірювань поділяються на прямі і непрямі. Пряме вимірювання - визначення значення фізичної величини безпосередньо за допомогою вимірювального приладу без обчислень чи перетворення роду величини. Результат отримують одразу з досліду (наприклад, довжина лінійкою, маса терезами, час секундоміром, напруга вольтметром). Непряме (опосередковане) вимірювання – таке вимірювання, при якому шукана величина безпосередньо не вимірюється, а обчислюється на підставі вимірювання інших величин. Наприклад, визначення густини речовини через вимірювання маси та об'єму ($\rho = m/V$); визначення швидкості руху через відстань і час ($v = s/t$); визначення опору провідника через силу струму та напругу ($R = U/I$) тощо. Використовуються в наукових дослідженнях та техніці для отримання даних, які не можна виміряти безпосередньо.

Повна похибка вимірювання $\Delta_{\text{п}}$ складається із систематичної $\Delta_{\text{с}}$ та випадкової похибки вимірювання $\Delta_{\text{в}}$.

Систематична похибка - складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань тієї ж величини.

Систематичні похибки можна розділити на чотири групи:

- інструментальні;
- методичні;

- суб'єктивні;
- похибки встановлення.

Інструментальні похибки зумовлені недосконалістю технології виготовлення засобів вимірювань.

Методичні похибки виникають через недоліки самого методу вимірювання або через неточність застосованих спрощених формул. Наприклад, при непрямому вимірюванні площі перерізу круглого стержня прямим вимірюванням діаметра з наступним обчисленням площі $S = \pi d^2/4$ результат буде із систематичною методичною похибкою через обмежене число знаків і значення числа π .

Суб'єктивні похибки проявляються в результаті особливостей самого спостерігача. Наприклад, при підрахунку кількості поділок, які займає електричний сигнал на екрані осцилографа, різні люди по-різному оцінюють одне і те саме положення сигналу.

Похибки встановлення є такі, прояви яких зумовлені неправильним встановленням приладу (наприклад, встановлення з нахилом тих приладів, які потрібно розташовувати виключно горизонтально) або відхиленням зовнішніх умов від нормальних (наявність зовнішніх полів, відхилення температури від нормальної, відхилення тиску від нормального тощо).

Систематичні ефекти не можуть бути виявлені шляхом повторних вимірювань. Інформація про ці ефекти отримується з таких джерел як:

- специфікації виробника вимірювального приладу (наприклад, клас точності, максимальна допустима похибка);
- результати калібрування та сертифікати калібрування;
- попередні дослідження та досвід;
- довідкові дані та стандарти.

Оцінка систематичних похибок виконується на основі наявної інформації про можливий діапазон значень систематичної похибки.

Випадкова похибка - складова повної похибки, що непрогнозовано

змінюється у ряді вимірювань тієї ж величини. Випадкові ефекти проявляються у вигляді розкиду результатів повторних вимірювань однієї й тієї ж величини за однакових умов. Оцінка випадкової похибки здійснюється статистичними методами на основі серії спостережень.

Для прямого вимірювання, якщо складові Δ_B та Δ_C повної похибки вимірювання Δ_{Π} , є незалежними, сумарна похибка Δ_{Π} розраховується як квадратична сума Δ_B та Δ_C :

$$\Delta_{\Pi} = \sqrt{\Delta_B^2 + \Delta_C^2} .$$

Повна похибка вимірювання є випадковою величиною, тому потрібно оцінити результат вимірювання для отримання найбільш вірогідного значення вимірюваної величини та оцінки діапазону, в якому це значення може знаходитися з певною ймовірністю.

Для дослідження випадкових похибок використовують рівноточні вимірювання - багаторазові вимірювання однієї фізичної величини в однакових умовах одним оператором і за допомогою одного і того ж засобу вимірювання.

Основні етапи статистичної обробки результатів прямих багаторазових вимірювань:

1. **Проведення серії вимірювань:** для отримання статистично значущих даних необхідно виконати кілька незалежних вимірювань однієї й тієї ж величини за одних і тих же умов. Кількість вимірювань (n) залежить від необхідної точності та характеру похибок.
2. **Обчислення середнього арифметичного значення (\bar{x}):** це найкраще наближення (оцінка) істинного значення вимірюваної величини. Воно розраховується за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} ,$$

де x_i - результат i -го вимірювання.

3. **Оцінка стандартного середнього квадратичного відхилення вибірки (s):** стандартне відхилення характеризує розкид окремих вимірювань навколо середнього значення. Чим менше значення s, тим вища точність вимірювань. Розраховується за формулою:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} .$$

4. **Визначення стандартної невизначеності середнього (\bar{x}):** оскільки середнє значення використовується як оцінка істинного значення, потрібно оцінити його невизначеність. В даному випадку середнє арифметичне залежить від числа вимірювань і є випадковою величиною, яка має деякі дисперсії відносно істинного значення. Стандартна невизначеність середнього (середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного) обчислюється як:

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}} .$$

Вона показує, наскільки точно середнє значення відображає істинне значення.

5. **Визначення довірчих границь Δ_d :** довірчий інтервал будується з певною ймовірністю того, що істинне значення вимірюваної величини потрапить у цей інтервал. Ця ймовірність називається довірчою ймовірністю (P) і, зазвичай, виражається у відсотках (наприклад, 95%, 99%). Якщо число вимірювань $n \leq (20...30)$, то довірчий інтервал при заданих ймовірності P і середньому квадратичному відхиленні $\sigma(\bar{x})$ визначається за формулою Стюдента:

$$\Delta_d = \pm k_t \cdot \sigma(\bar{x}) = \pm k_t \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} ,$$

де k_t - коефіцієнт розподілу Стьюдента, який залежить від заданої ймовірності P і числа вимірювань n (табл. 4.1).

Як правило, приймають $P = 0.95$. В особливо відповідальних випадках $P=0.99$ або $P = 0.997$.

Таблиця 4.1. Значення коефіцієнтів Стьюдента k_t для різної довірчої ймовірності P та числа $(n-1)$

n-1	P=0.95	P=0.99	n-1	P=0.95	P=0.99
3	3,182	5.840	16	2,1190	2.9200
4	2,776	4.604	19	2,0930	2.8609
5	2,570	4.0321	20	2,0860	2.8453
6	2,446	3.7070	22	2,0739	2.8188
7	2,3646	3.4995	24	2,0639	2.7969
8	2,3060	3.3554	26	2,059	2,7780
9	2,2622	3.2498	28	2,0484	2,7633
10	2,2281	3.1693	30	2,0423	2,750
12	2,1788	3.0845			
14	2,1448	2.976	∞	1,960	2,576

Більш повна таблиця з коефіцієнтами Стьюдента для різних значень довірчої ймовірності P та числа $(n-1)$, яке називають ступенем свободи, наведена у матеріалах до лабораторної роботи 4 в CLASSROOM.

- 6. Представлення результату вимірювання X :** результат вимірювання представляється з зазначенням відповідної довірчої ймовірності P у вигляді:

$$X = \bar{x} \pm \Delta_d; P.$$

Приклад

1. Проведення серії вимірювань:

припустимо, проведено 5 незалежних технічних вимірювань опору резистора і отримано наступні значення (в Ом):

$$x_1 = 99.8 \text{ Ом};$$

$$x_2 = 100.1 \text{ Ом};$$

$$x_3 = 100.2 \text{ Ом};$$

$$x_4 = 99.9 \text{ Ом};$$

$$x_5 = 100.0 \text{ Ом}.$$

2. Обчислення середнього арифметичного значення (\bar{x}):

$$\bar{x} = \frac{99.8 + 100.1 + 100.2 + 99.9 + 100.0}{5} = 100,0 \text{ Ом}.$$

3. Оцінка стандартного середнього квадратичного відхилення вибірки (s):

$$s = \sqrt{\frac{(99.8 - 100.0)^2 + (100.1 - 100.0)^2 + (100.2 - 100.0)^2 + (99.9 - 100.0)^2 + (100.0 - 100.0)^2}{5 - 1}};$$

$$s = \sqrt{\frac{(-0,2)^2 + (0,1)^2 + (0,2)^2 + (-0,1)^2 + (0,0)^2}{4}} = \sqrt{\frac{0,04 + 0,01 + 0,04 + 0,01 + 0,00}{4}} = \sqrt{\frac{0,10}{4}};$$

$$s = \sqrt{\frac{0,10}{4}} = 0,158 \text{ Ом}.$$

4. Визначення стандартної невизначеності середнього ($\sigma(\bar{x})$):

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,158}{\sqrt{5}} = 0,071 \text{ Ом}.$$

5. Визначення довірчих границь Δ_d :

припустимо, потрібно визначити довірчий інтервал з довірчою ймовірністю 95%. Оскільки маємо 5 вимірювань ($n=5$), число $(n-1)=4$. З таблиці розподілу Стьюдента для $(n-1)=4$ і довірчої ймовірності 95% знаходимо значення $k_t=2.776$:

$$\Delta_d = \pm k_t \cdot \sigma(\bar{x}) = \pm k_t \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = \pm 2.776 \cdot 0.071 = \pm 0.197 \text{ Ом} .$$

6. Представлення результату вимірювання X:

значення довірчих границь округлюємо в залежності від типу виконаних вимірювань: технічні, лабораторні, метрологічні. Округлюємо значення Δ_d до двох значущих цифр як для технічних вимірювань (додаток Г):

$$\Delta_d = \pm 0.20 \text{ Ом} .$$

Результат вимірювання опору резистора становить:

$$R=(100.00\pm 0.20) \text{ Ом} \text{ з довірчою ймовірністю } P=95\% .$$

Це означає, що з ймовірністю 95% істинне значення опору резистора лежить в інтервалі:

$$\text{від } (100.00 - 0.20) \text{ Ом}=99.80 \text{ Ом} \text{ до } (100.00 + 0.20)\text{Ом}=100.20 \text{ Ом} .$$

Важливо пам'ятати, що цей приклад є спрощеним і не враховує можливі систематичні похибки, які також необхідно аналізувати та враховувати при більш точних вимірюваннях.

Завдання

1. Виконати серію з 20 лабораторних вимірювань індуктивності котушки 1 мГн мультиметром UTM158D (діапазон вимірювання 2 мГн).
2. Виконати серію з 20 лабораторних вимірювань ємності конденсатора 47 нФ мультиметром UTM158D (діапазон вимірювання 200 нФ).
3. Виконати серію з 20 лабораторних вимірювань опору резистора 51 Ом мультиметром UTM158D (діапазон вимірювання 200 Ом).
4. Виконати серію з 20 лабораторних вимірювань повної амплітуди сигналу

осцилографом DSOX1102G (тип сигналу та його параметри для кожної бригади вказано у табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Типи сигналів для дослідження

№ бригади	1	2	3	4	5
Тип сигналу	Синус $f=500$ кГц $U=100$ мВ _{пик}	Пиля $f=200$ кГц $U=70$ мВ _{пик}	Синус $f=400$ кГц $U=200$ мВ _{пик}	Синус $f=1000$ кГц $U=300$ мВ _{пик}	Пиля $f=100$ кГц $U=80$ мВ _{пик}

Послідовність дій при виконанні п. 4:

- на передній панелі осцилографа натиснути кнопку **Acquire** та у відповідному меню встановити “Режим збору нормальний”;
 - вихід вбудованого генератора осцилографа з’єднати з входом 1 каналу;
 - на передній панелі осцилографа натиснути кнопку **Wave Gen**; у програмному меню (права частина екрану) натиснути ПК “Сигнал”; обертанням ручки **Entry** вибрати тип сигналу відповідно до номеру бригади; для підтвердження вибору натиснути ручку **Entry**;
 - у програмному меню (права частина екрану) натиснути ПК “Частота”; обертанням ручки **Entry** встановити частоту відповідно до номеру бригади; для підтвердження вибору натиснути ручку **Entry**;
 - у програмному меню (права частина екрану) натиснути ПК “Амплітуда”; обертанням ручки **Entry** встановити амплітуду відповідно до номеру бригади; для підтвердження вибору натиснути ручку **Entry**;
 - натиснути **Auto Scale**: осцилограф автоматично масштабує зображення сигналу на екрані приладу оптимальним чином;
 - натиснути кнопку **Meas**;
 - записати 20 значень повної амплітуди сигналу.
5. Для кожної серії лабораторних вимірювань по п.1, 2, 3, 4 виконати статистичну обробку даних та представити результат з довірчою ймовірністю $P=95\%$ у вигляді:

$$X = \bar{x} \pm \Delta_d; P=95\% .$$

Припущення: систематичні похибки відсутні або скомпенсовані.

6. Зробити висновки по роботі.
7. Надати письмові відповіді на контрольні питання.

Література: [1], [2].

Контрольні питання

1. Дайте характеристику прямих вимірювань фізичної величини та наведіть приклади.
2. Чим відрізняються опосередковані вимірювання фізичних величин від прямих вимірювань? Наведіть приклади опосередкованих вимірювань.
3. Дайте визначення систематичної похибки вимірювання.
4. На які групи поділяють систематичні похибки?
5. Які методи використовують для оцінки випадкової похибки вимірювання?
6. Дайте визначення довірчого інтервалу вимірювання.
7. З яких величин складається повна похибка вимірювання?
8. Як розрахувати середнє арифметичне значення фізичної величини по результатам багаторазових вимірювань цієї величини?
9. Що характеризує середнє квадратичне відхилення вибірки?
10. Які вимірювання використовують для виявлення та оцінювання випадкових похибок?

Список рекомендованої літератури

1. М.Дорожовець, В.Мотало, Б.Стадник, В.Василюк, Р.Борек, А.Ковальчук; За ред. Б.Стадника. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2т. Том 1 Основи метрології. Львів; видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005 р. – 528 с. (НТБ КПІ ім. Ігоря Сікорського).
2. М.Дорожовець, В.Мотало, Б.Стадник, В.Василюк, Р.Борек, А.Ковальчук; За ред. Б. Стадника. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2т. Том 2 Вимірювальна техніка. Львів; видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005 р. – 654 с. (НТБ КПІ ім. Ігоря Сікорського).
3. Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г. Основи метрології і електричних вимірювань. Полтава: ПолтНТУ, 2017.- 141 с.
<https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/4320>
4. Model UTM158D: OPERATING MANUAL, 34 р. (Інструкція з експлуатації мультиметра UNI-T UTM158D, 34 с.)
5. REGULATED POWER SUPPLY UTP1303/UTP1305/utp3303/UTP3305. INSTRUCTIONS MANUAL, 15 р. (Інструкція з експлуатації джерела живлення UNI-T UTP3305, 15 с.)
6. Keysight InfiniiVision 1000 X-Series Oscilloscopes User's Guide, 104 р. (Оциллографи Keysight InfiniiVision 1000 серії X. Інструкція з експлуатації, 104 с.).
7. FY6600 Series Fully Numerical Control Dual Channel Function/Arbitrary Waveform Generator. User's Manual. Rev2.9, August,2017, 46 р. (Інструкція з експлуатації генератора KKmoon FY6600-60M, 46 с.).

ДОДАТКИ

Додаток А

Зразок оформлення протоколу лабораторної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури
факультету електроніки

ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

Лабораторна робота №_

.....Найменування теми роботи.....

Виконав студент

групи ДК-___

бригади №_

_____ ПІБ _____

Дата виконання: __. __. 202_

Перевірив: ПІБ викладача

Київ – 202_

Мета роботи: ... найменування мети роботи ...

Обладнання та матеріали: ... написати перелік приладів та обладнання, яке використовується при виконанні роботи ...

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

... основні теоретичні відомості за темою лабораторної роботи ...

2. ЗАВДАННЯ

...написати завдання, яке наведено у навчальному посібнику з виконання лабораторних робіт ...

3. ХІД РОБОТИ (ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА)

1. Найменування 1 пункту завдання

...коментарі по його виконанню...

2. Найменування 2 пункту завдання

...коментарі по його виконанню...

.....
N. Найменування N пункту завдання

...коментарі по його виконанню...

У цьому розділі навести відповідні схеми для виконання вимірювання та дослідження електричних сигналів.

ВИСНОВКИ

Написати висновки по роботі (відповідність отриманих результатів меті даної роботи та теоретичним положенням).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Написати перелік використаних літературних джерел.

ВІДПОВІДІ НА КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

Написати відповіді на контрольні питання, які наведено у навчальному посібнику.

1. Питання (написати питання, а потім відповідь на нього).

... відповідь ...

.....
N. Питання (написати питання, а потім відповідь на нього).

... відповідь ...

Додаток Б
Приклади оформлення розрахунків

При оформленні у протоколі розрахунків спочатку потрібно написати формулу у символічному вигляді, потім з цифрами, кінцевий результат та одиниці вимірювання.

Приклад 1. Виконати розрахунок похибки вимірювання напруги DC мультиметром UTM158D.

Вихідні дані:

Діапазон вимірювання напруги: 20 В.

Покази мультиметра: $U=10,12$ В.

Похибка вимірювання в діапазоні 20 В: $\Delta U = \pm(0,5\% * U + 1 \text{ digits})$.

Роздільна здатність в діапазоні 20 В: 1 digits = 0,01 В.

Розрахунок:

$$\Delta U = \pm(0,5\% * U + 1 \text{ digits}) = \pm (0,005 * 10,12 \text{ В} + 0,01 \text{ В}) = \pm (0,0506 \text{ В} + 0,01 \text{ В}) = \pm 0,06 \text{ В} .$$

Результат вимірювання: $U=10,12 \text{ В} \pm 0.06 \text{ В}$.

Приклад 2. Виконати оцінку дійсного значення опору резистора по серії з п'яти рівноточних вимірювань.

Вихідні дані:

результати незалежних технічних вимірювань опору резистора:

$$x_1=99.8\text{Ом}; \quad x_2=100.1\text{Ом}; \quad x_3=100.2\text{Ом}; \quad x_4=99.9\text{Ом}; \quad x_5=100.0\text{Ом}.$$

Розрахунок:

середнє арифметичне значення (\bar{x}) розраховується за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n};$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5} = \frac{599.8 + 100.1 + 100.2 + 99.9 + 100.0}{5} = 100,0 \text{ Ом}.$$

Оцінка дійсного значення опору резистора по серії з п'яти рівноточних вимірювань дорівнює:

$$\bar{x} = 100,0 \text{ Ом}.$$

Додаток В

Макетна плата

Макетна плата призначена для безпаяльної збірки електронних схем та наступного їх налагодження і дослідження. Компоненти схеми (резистори, конденсатори, діоди, транзистори, мікросхеми тощо) встановлюються в отвори макетної плати. Макетна плата представляє собою панель з отворами на лицьовій стороні (рис. В.1). Під отворами розташовані контакти, які з'єднані між собою певним чином.

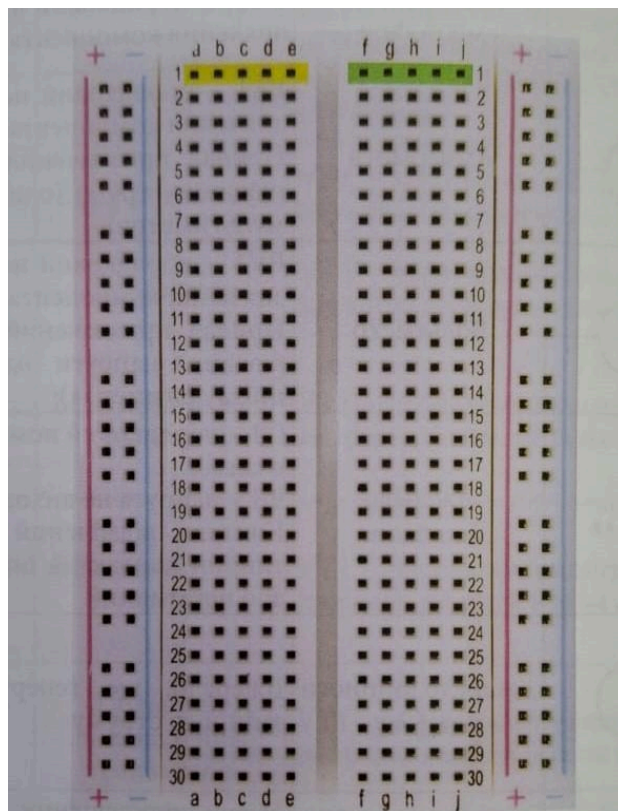


Рис. В.1. Загальний вигляд макетної плати

Контакти довгих рядів, що простягаються вздовж плати і позначаються на ній червоним та синім кольорами, з'єднані між собою та призначені для підключення джерел живлення. Короткі горизонтальні ряди призначені для

встановлення електронних компонентів. Контакти отворів коротких рядів з'єднані між собою так, як показано на рисунку жовтою та зеленою лініями.

Підключення до макетної плати джерела живлення показано на рис. В.2.

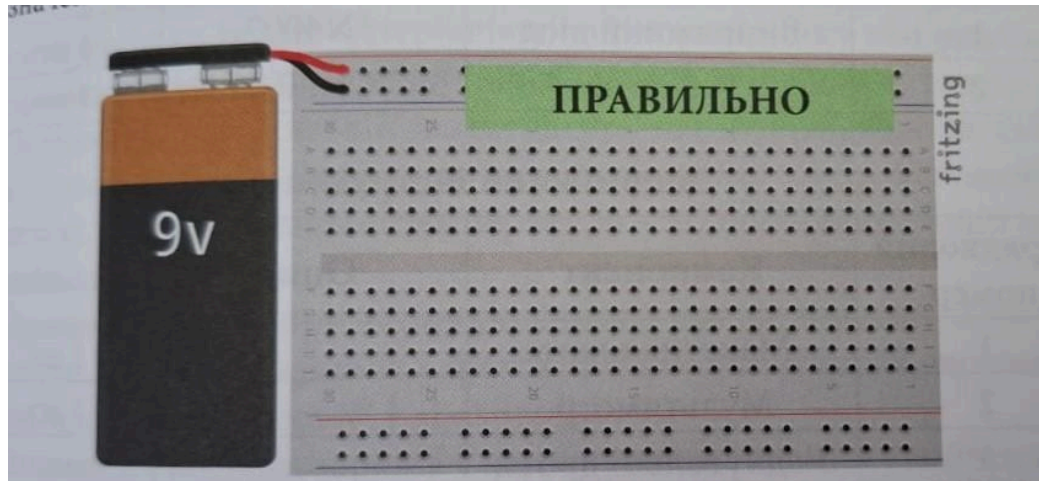


Рис. В.2. Підключення джерела живлення

Приклад збирання електричної схеми на макетній платі показано на рис. В.3. Спочатку встановлюються компоненти схеми в отвори макетної плати таким чином, щоб максимально використати внутрішні з'єднання плати для відтворення схеми. Для повного відтворення з'єднань схеми додатково використовують зовнішні дроти. Після повної реалізації електричного кола обов'язково перевіряються всі з'єднання. Потім підключається джерело

живлення з відповідною напругою і виконується налагодження схеми та її дослідження відповідно до програми роботи.

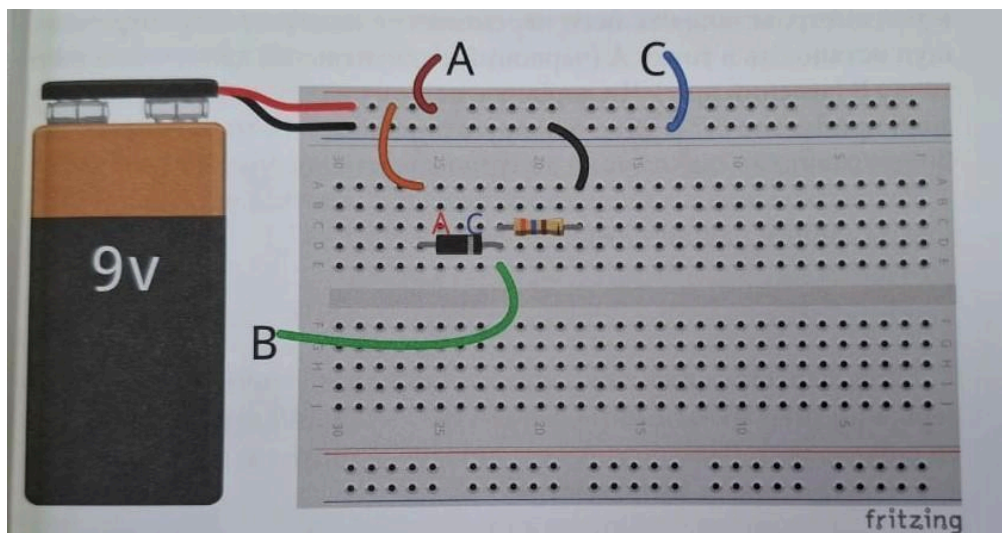
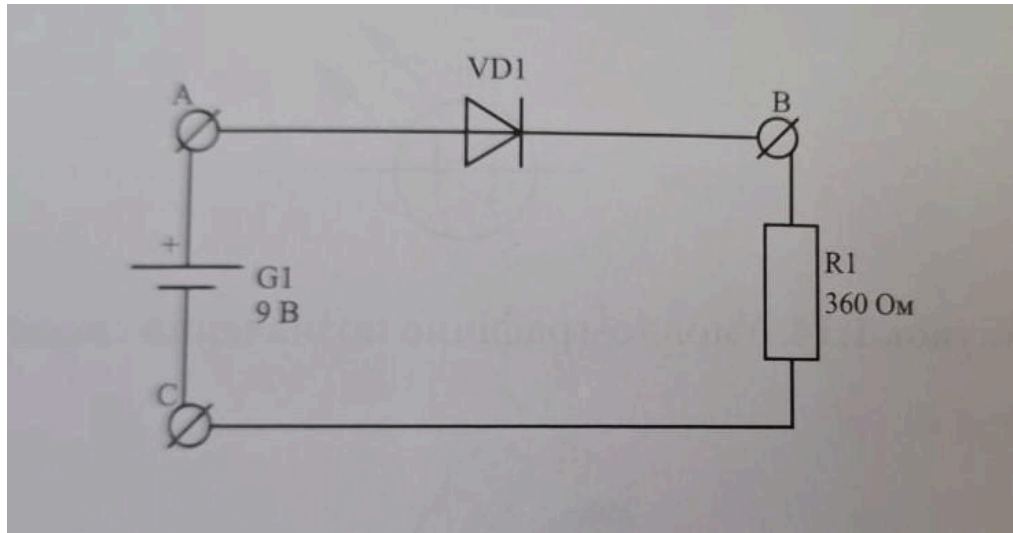


Рис. В.3. Приклад збирання електричної схеми на макетній платі

Додаток Г

Джерело живлення UNI-T UTP3305

UNI-T UTP3305 – це триканальний лінійний лабораторний блок живлення постійної напруги з двома повністю регульованими (по напрузі та максимальному струму) каналами CH1, CH2 та одним фіксованим (по напрузі та максимальному струму) каналом CH3 (рис. Г.1).



Рис. Г.1. Зовнішній вигляд джерела живлення UNI-T UTP3305

Регульовані канали забезпечують вихідну напругу в діапазоні (0~32) В та вихідний струм (0~5) А. Третій канал забезпечує фіксований вихід 5 В та 3 А. Блок живлення оснащений системою охолодження з контролем температури, а також можливістю послідовного/паралельного підключення каналів, захистом від перевищення меж струму, температури.

Особливості

- Два канали, два кола регульованої вихідної напруги (0~32) В та одне коло фіксованої напруги 5 В.

- Режим зображення: світлодіодний дисплей, що одночасно зображає дані про струм та напругу.
- Низький рівень пульсацій і шуму.
- Захист від перевищення меж струму та температури.
- Можливість послідовного та паралельного підключення каналів.
- Контроль виходу ON/OFF.
- Система охолодження із контролем температури.

Технічні характеристики

Вихідна напруга (CH1/CH2)	(0~32) В
Вихідна напруга (CH3)	5 В
Вихідний струм (CH1/CH2)	(0~5) А
Вихідний струм (CH3)	3 А
Вихідна потужність	335 Вт
Стабілізація по навантаженню	напруга: <0,01%+3 мВ; струм: <0,2%+3 мА
Пульсація і шуми	напруга: ≤ 1 мВ скз; струм: ≤ 3 мА скз
Роздільність на виході	напруга: 10 мВ (типово), струм: 1 мА (типово)
Похибка відстеження	струм: $\pm(0,3\% \text{ показань} + 10 \text{ мА})$
Напрацювання до відмови	≥ 2000 годин

Режим зображення	чотирирозрядний подвійний дисплей
Загальні характеристики	
Живлення	вхідна змінна напруга: 115 В /230 В ; частота: 47 Гц~63 Гц
Дисплей	світлодіодний, чотирирозрядний
Габарити	226 мм × 146 мм × 319 мм
Вага	10,5 кг

Встановлення обмеження максимального струму каналів CH1 та CH2

1. Включити джерело живлення.
2. Обрати для роботи канал CH1 чи CH2.
3. Приєднати до вихідних клем (+, -) обраного каналу кабель.
4. Регулятором **VOLTAGE** на лицьовій панелі приладу встановити напругу в інтервалі від 0,5 В до 5 В.
5. Закоротити вихідні клеми (+, -) обраного каналу.
6. Регулятором **CURRENT** на лицьовій панелі приладу встановити значення обмеження максимального струму даного каналу в інтервалі від 0 до 5 А , наприклад, 120 мА. У подальшому - не змінювати положення регулятора **CURRENT!**
7. Роз'єднати клеми (+, -) .
8. Регулятором **VOLTAGE** на передній панелі приладу встановити необхідну робочу напругу каналу CH1 або CH2 в інтервалі від 0 до 32 В, наприклад, 9 В.

9. Під'єднати навантаження до клем (+, -).
10. Якщо струм через навантаження буде перевищувати встановлений поріг обмеження, в нашому прикладі 120 мА, джерело напруги переходить з режиму стабілізації напруги у режим стабілізації струму: вихідний струм обмежується на рівні встановленого порогу, а вихідна напруга 9 В зменшується в залежності від величини навантаження. На передній панелі включається червоний світлодіод С.С. (Constant Current), який говорить про обмеження вихідного струму. Після відключення навантаження джерело живлення знову переходить в режим стабілізації напруги, в нашому прикладі 9 В.

Додаток Д

Значущі цифри. Правила округлення чисел, похибок вимірювання та результатів вимірювання

Значущі цифри в метрології - це цифри, які мають достовірне значення та відображають точність вимірювання.

Правила визначення значущих цифр

1. Усі ненульові цифри (1 - 9): є значущими. Приклад: у числі 2531 є чотири значущі цифри.
2. Нулі між ненульовими цифрами: є значущими. Приклад: у числі 2005 чотири значущі цифри. Приклад: у числі 1,105 нуль є значущою цифрою (чотири значущі цифри).
3. Провідні нулі (перед першою ненульовою цифрою): ніколи не є значущими. Приклад: у числі 0,02 тільки цифра 2 значуща; число 0023 - дві значущі цифри).
4. Завершальні нулі (після останньої ненульової цифри): у числах з десятковою крапкою вони є значущими, якщо підтверджують точність. Приклад: у числі 5,400 є 4 значущі цифри.
5. **Завершальні нулі (після останньої ненульової цифри): у числах без десяткової крапки їх значущість не завжди очевидна без додаткової інформації.** Для уникнення неоднозначності використовують експоненційний (науковий) запис:

$$m \cdot 10^p$$

де m -мантиса, яка виражає значення числа; p – порядок, який виражає ступінь числа. Приклад: $1254 = 1,254 \cdot 10^3$

Приклад: а) 1500 м – довжина з округленням до найближчих 100 м. Значущих цифр дві (15), нулі не значущі, бо вони не відображають точність

вимірювання. Правильний запис: $1,5 \cdot 10^3$ м.

б) вимірювання до 1 м. Правильний запис: $1,500 \cdot 10^3$ м.

в) вимірювання до 1 см. Правильний запис: 1500,00 м

Округлення чисел

Округлення чисел — це процес заміни числа наближеним числом з меншою кількістю знаків. Основні правила:

Визначте розряд: знайдіть розряд, до якого потрібно округлити число (наприклад, одиниці, десятки, десятих, сотих).

Розгляньте наступну цифру: подивіться на цифру, яка стоїть праворуч від вибраного розряду.

Якщо цифра 5 або більше: збільште цифру в розряді на 1. Замініть усі наступні цифри нулями (або відкиньте, якщо вони після коми).

Якщо перша відкинута цифра менше 5, то останню збережену цифру слід залишити без змін.

Якщо відкидається цифра 5, а за нею немає значущих цифр, тоді останню цифру, що зберігається, залишають незмінною, якщо вона парна, і збільшують на одиницю, якщо вона непарна.

Приклад: округлюючи число 36,75 до трьох значущих цифр, записуємо 36,8. Для числа 36,65 округлене значення – 36,6.

Округлення похибок вимірювання та результату вимірювання

В практичній метрології існують наступні правила округлення похибок при технічних вимірюваннях, для яких непевність оцінювання похибки може досягати 20%. У виразі похибки результату технічного вимірювання утримується не більше двох значущих цифр. Похибка результату вимірювання вказується двома значущими цифрами, якщо перша з них дорівнює 1 або 2, і однією – якщо перша цифра 3 або більше.

При наукових (лабораторних) вимірюваннях, для яких непевність

оцінювання похибки може досягати (10-15) %, похибка результату вимірювання вказується двома значущими цифрами, якщо перша з них дорівнює 1, 2, 3, 4 і однією – якщо перша цифра 5 або більше.

При метрологічних (високоточних) вимірюваннях, для яких непевність оцінювання похибки може досягати 5 %, похибка результату всіх вимірювань вказується двома значущими цифрами.

Результат вимірювання необхідно округлити так, щоб він закінчився тим самим розрядом, що і заокруглена похибка вимірювання.

Округлення проводиться лише в кінцевій відповіді, а всі попередні обчислення проводять з одним-двома зайвими знаками.

Додаток Е

Вимоги до оформлення текстової частини протоколу

Протокол лабораторної роботи є офіційним технічним документом, який підтверджує факт виконання експерименту та достовірність отриманих результатів. Оформлення має відповідати вимогам ДСТУ 3008:2015. При написанні тексту потрібно використовувати аркуші формату А4 (210 мм x 297 мм), текстовий редактор MS Word або Google Docs.

1. Загальні параметри тексту

- Шрифт: Times New Roman.
- Розмір шрифту (кегель): 14 пунктів (для таблиць допускається 12).
- Міжрядковий інтервал: 1,5 (полуторний).
- Абзацний відступ: п'ять знаків.
- Вирівнювання: по ширині сторінки.
- Поля: ліве: 30 мм, праве: 10 мм, верхнє та нижнє: по 20 мм.

2. Оформлення заголовків

- Назви розділів пишуться великими літерами, жирним шрифтом, вирівнювання по центру (наприклад: **1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА**).
- Назви підрозділів пишуться малими літерами (крім першої), жирним шрифтом, з абзацного відступу.
- Крапка в кінці заголовка не ставиться. Відстань між заголовком та текстом — 1 порожній рядок.

3. Написання математичних формул

При написанні формул потрібно використовувати вбудований редактор формул MS Word або Google Docs.

- Формули виділяються в окремий рядок і вирівнюються по центру.

- Справа від формули в круглих дужках ставиться її порядковий номер, якщо на дану формулу є посилання в тексті, наприклад, (1).

- Символи та індекси мають бути в єдиному стилі; пояснення символів: після кожної формули (якщо символи вживаються вперше) пишеться слово «де», після якого йде перелік використаних значень з їх розмірністю.

4. Оформлення таблиць та рисунків

- Таблиці: заголовок над таблицею з правого боку або по центру (наприклад: *Таблиця 1.1. Результати вимірювань напруги*).

- Рисунки: підпис під рисунком по центру (наприклад: *Рисунок 1.2. Схема підключення мультиметра*).

- У тексті обов'язково має бути посилання на кожну таблицю та рисунок. Наприклад: "...як показано на рис. 1.2", "...(див. табл. 1.1)".

5. Метрологічні особливості запису результатів

- Числові значення: кількість значущих цифр у результаті має відповідати точності вимірювання. Одиниці вимірювання: завжди вказуються через пробіл після числа (крім знаків градуса, мінути, секунди).

7. Структура протоколу

а) титульний аркуш з назвою дисципліни, назвою та номером лабораторної роботи, прізвищем студента, номером навчальної групи, датою виконання роботи; прізвищем викладача, який буде перевіряти виконану лабораторну роботу;

б) мету роботи;

в) перелік обладнання, матеріалів та електричних компонентів для виконання лабораторної роботи;

г) основні теоретичні положення, методику проведення дослідження (включаючи схему вимірювань, блок-схеми, розрахункові співвідношення);

д) завдання до лабораторної роботи;

е) експериментальну частину роботи (хід роботи), яка включає таблиці даних з усіма результатами вимірювань, правильно оформлені розрахунки (додаток Б), короткі коментарі по виконанню кожного пункту завдання;

є) висновки по роботі (всебічний аналіз отриманих результатів на відповідність теоретичним положенням та меті роботи);

ж) список використаних джерел.

Зразок оформлення протоколу наведено у додатку А. Звіт з лабораторної роботи по п.п. а - д повинен бути підготовлено і представлено викладачу перед початком відповідної лабораторної роботи.