

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва та архітектури

**МЕТРОЛОГІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ І ПРИЛАДИ**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю  
174 «Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка»  
та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Київ 2024

УДК 658.52.011.56

ББК 30ф

Укладачі: В.Ю. Луценко, канд. техн. наук, доцент;  
С.В. Іносов, канд. техн. наук, доцент;  
М.В. Волчков, асистент

Рецензент Л.І. Мазуренко, доктор техн. наук., професор, зав. каф.  
електротехніки та електроприводу КНУБА

Відповідальний за випуск А.В. Заприводе, канд. техн. наук, завідувач кафедри  
АТП

Затверджено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів,  
протокол № від грудня 2023 року.

В авторській редакції.

**Метрологія**, технологічні вимірювання і прилади: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / уклад.: Луценко В.Ю., Іносов С.В., Волчков М.В. – Київ: КНУБА, 2024. – 16с.

Розглянуто приклади вирішення практичних питань, що пов'язані з що пов'язані з комп'ютерним моделюванням різних процедур вимірювання

Призначено для студентів спеціальності для студентів спеціальностей  
174 «Автоматизація, комп'ютерноінтегровані технології та робототехніка»  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

© КНУБА, 2024

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
Робота № 1. Фільтрація аномальних відхилень результатів спостережень (грубих похибок).....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 2. Дослідження Інтервалу невизначеності при оцінці випадкової похибки із групи спостережень.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 3. Синтез коректора нелінійності датчика температури	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 4. Синтез динамічного коректора датчика температури	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 5. Дослідження похибки випрямляючого детектора у порівнянні з ідеальним квадратичним детектором. ....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 6. Синтез коректора перехресних впливів каналів вимірювання.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 7. Дисперсійний факторний аналіз похибок серії вимірювальних приладів.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 8. Введення результатів вимірювання в контролер на фоні наводки від мережі змінного струму .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 9. Дослідження статистичних властивостей шуму квантування за рівнем при вводі неперервного сигналу в контролер	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Робота № 10. Дослідження залежності коефіцієнту нелінійних спотворень від амплітуди сигналу .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Лабораторні роботи з курсу “Метрологія і технологічні вимірювання” виконуються з допомогою комп’ютерів. Для виконання робіт використовуються електронні таблиці EXCEL з офісного пакету Microsoft Office в операційному середовищі Windows.

Вихідні дані можуть бути видані за варіантами на бригади студентів, або індивідуально. Наведений перелік робіт слід розглядати як базовий, бо він може оперативне поповнюватися аналогічними роботами.

Зміст робіт викладено досить стисло, враховуючи те, що студенти прослухали необхідні пояснення на лекціях і мають відповідний матеріал в конспектах. Роботи якраз і розраховані на практичну ілюстрацію лекційного матеріалу. Якщо ж, незважаючи на це, будь який пункт завдання здається незрозумілим, треба звернутися за поясненням до викладача, що проводить заняття.

Результати виконаних робіт оформлюються і здаються в письмовій формі. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки. Як правило, звіт оформлюється під час заняття на окремому аркуші паперу.

**Робота № 1**  
**Фільтрація аномальних відхилень**  
**результатів спостережень (грубих похибок)**

1. Переписати постановку задачі: З масиву даних треба видалити декілька чисел, що записані з грубою помилкою (наприклад, оператор переплутав показання, не там поставив кому, тощо). Такі грубі помилки виходять за рамки нормально розподілених випадкових відхилень.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.

3. Завантажити файл Anomalous deviations.XLS і відкрити аркуш “Графіки”.

4. Ввести такі параметри моделі процесу виміру. Точне значення вимірюваної величини (невідоме спостережнику) – 50; грубі відхилення – 60 і 90 (невідомі спостережнику).

5. Наступні два пункти виконати для двох варіантів: а) правильний метод вимірювання і фільтрації (через медіану і квартилі); б) неправильний метод (через середнє значення і середньоквадратичне відхилення). Для вибору варіанту ввести TRUE або FALSE в комірку “Правильний метод”

6. Натискаючи на клавішу F9 одержувати різні реалізації результатів спостережень, що випадково варіюються в околі точного значення.

7. Змінюючи чисельні значення двох грубих відхилень в діапазоні 0 – 100 провести дослідження залежностей між вихідними даними, верхнім та нижнім порогами фільтрації, результатами фільтрації, результатом вимірювання. Звернути увагу, що неправильний метод дає надто широкі межі фільтрації і дозволяє відкинути тільки одне (найбільше) відхилення.

8. Зробити висновки: а) Грубі відхилення сильно впливають на середнє значення і середньоквадратичне відхилення, тому ці статистики не придатні для фільтрації грубих відхилень. б) Грубі відхилення слабо впливають на медіану і квартилі, тому ці статистики більш придатні для фільтрації грубих відхилень.

9. Відкрити аркуш “Моделювання”

10. Переписати формули і словесно описати алгоритм вимірювання і фільтрації для обох варіантів. (За правильним методом відкидаються результати, що відхиляються від медіани більше ніж на два квартилі. Неправильно відкидати результати, що відхиляються від середнього більше ніж на три середньоквадратичних відхилення. Остаточний результат вимірювання в обох випадках вираховується як середнє відфільтрованих даних.)

11. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовки роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

**Робота № 2**  
**Дослідження Інтервалу невизначеності**  
**при оцінці випадкової похибки із групи спостережень**

1. Переписати постановку задачі: Для оцінки випадкової похибки виконується група 15 – 25 спостережень вимірюваної еталонної величини, вираховується середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  і максимальна похибка оцінюється як  $2\sigma$ . Але ця оцінка не точна і в контрольних групах спостережень може бути іншою. Наша задача оцінити інтервал невизначеності цієї оцінки (в якому вона може змінюватися для різних контрольних груп) і як він залежить від кількості спостережень в групі.
2. Запустити електронні таблиці EXCEL.
3. Завантажити файл Error's Error.xls, відкрити аркуш Observations.
4. Натискати клавішу F9 для моделювання нової реалізації групи спостережень.
5. Натиснувши на клавішу F9 двадцять разів, одержати двадцять контрольних оцінок випадкової похибки.
6. Записати інтервал невизначеності оцінки випадкової похибки (from .... to ..... ) і кількість спостережень в групі (Number of observations in group).
7. Повторити два останніх пункти, змінюючи кількість спостережень в групі (30, 50, 70, 100). Для зміни треба переключитись на аркуш Observations і продовжити стовпчик даних Group of observations нижче (виділити останню комірку і протягнути її донизу за правий нижній кут).
8. Побудувати графік залежності інтервалу невизначеності (верхньої і нижньої границі) від кількості спостережень в групі.
9. Записати висновок: Збільшення кількості спостережень в групі зменшує інтервал невизначеності оцінки випадкової похибки.
10. Переписати формули, за якими моделюються результати спостережень, оцінюється випадкова похибка, оцінюються границі інтервалу невизначеності.
11. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

**Робота № 3**  
**Синтез коректора нелінійності датчика температури**

1. Переписати постановку задачі: Призначення коректора – вираховувати значення температури по значенню вихідного електричного параметра датчика (опір, напруга), введеному в комп'ютер. Коректор реалізує нелінійну

залежність, зворотно до нелінійності чутливого елемента. При цьому весь канал вимірювання стає лінійним.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.
3. В електронну таблицю ввести стандартну градууювальну таблицю будьякого датчика температури, наприклад платинового термометру опору або термопар платинаплатинородій тощо. Дані взяти з довідника або у викладача. Таблицю ввести у два стовпчика, а) температура в) електричний опір або напруга.
4. Побудувати графік залежності електричного параметра (опір, напруга) від температури.
5. Скопіювати градууювальну залежність на окремий аркуш таблиці, помінявши місцями стовпчики. Це буде таблиця коректора нелінійності. Ця нова таблиця задає зворотно нелінійну функціональну залежність температури від електричного параметра для коректора нелінійності в табличній формі.
6. Побудувати графік табличної залежності температури від електричного параметра для коректора нелінійності.
7. На графік нанести по черзі апроксимуючі криві регресії у вигляді поліномів першого, другого, третього і четвертого порядків. Для кожної кривої вивести на екран і записати відповідну формулу і достовірність апроксимації  $R^2$ .
8. Для кожної кривої вирахувати похибку апроксимації за формулою  $100\% \cdot \sqrt{1-R^2}$
9. Побудувати таблицю і графік залежності похибки від порядку поліному від 0 до 4. Похибку поліному нульового порядку прийняти за 100%. Для похибки вибрати логарифмічну шкалу на графіку.
10. Визначити, при якому порядку апроксимуючого поліному похибка перестає зменшуватися. Вибрати відповідну формулу поліному в якості аналітичної функціональної залежності коректора нелінійності.
11. На окремому аркуші реалізувати коректор нелінійності таким чином, щоб при вводі в певну комірку результатів вимірювання електричного параметра в іншій комірці автоматично вираховувалась за формулою відповідна температура.
12. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовки роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

## Робота № 4

### Синтез динамічного коректора датчика температури

1. Переписати постановку задачі: Призначення коректора – підвищення швидкодії каналу вимірювання температури. Коректор повинен форсувати перехідні процеси, зв'язані з тепловою інерційністю датчика. Синтез коректора реалізується як оптимізаційна задача. Вагові коефіцієнти коректуючого фільтру підбираються із умови мінімуму динамічної похибки вимірювального каналу. Постановка оптимізаційної задачі така. Перехідна функція датчика (одержана експериментально), пропускається через коректуючий цифровий ЛПС фільтр з ваговими коефіцієнтами  $b_0$ ;  $b_1$ ;  $b_2$ ;  $b_3$ ; .... Одержана скоректована функція порівнюється з ідеальною реакцією (затриманий на 1 – 2 такти одиничний стрибок). Вираховується похибка корекції (середньоквадратичне відхилення обох сигналів). Ця похибка є критерієм оптимізації. Блок автоматичної оптимізації підбирає вагові коефіцієнти так, щоб досягнути мінімуму похибки корекції. Обмеженням є коефіцієнт підсилення коректором шумів вимірювання, який не повинен перевищувати прийняте значення в межах 2 – 5.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.

3. Завантажити файл Corrector.xls, відкрити аркуш Calculations

4. Виконати процедуру оптимізації (меню “Пошук рішення”). В якості параметрів, що варіюються, вказати масив комірок Weights (вагові коефіцієнти). В якості цільової функції мінімізації вказати комірку Total error, в якій вираховується похибка корекції. В якості обмеження задати умову, щоб значення комірки Noise amplification factor не перевищувало значення 3.0.

5. Відкрити аркуш Weights і змалювати графік вагової функції фільтру.

6. Відкрити лист Step і змалювати графіки перехідної функції датчика, тобто вхідного сигналу коректора (Input), вихідної реакції коректора (Output), і ідеальної реакції вимірювального каналу (Ideal).

7. Відкрити аркуш Ramp, змалювати реакцію вимірювального каналу на підвищення температури з постійною швидкістю (сигнал типу Ramp). Записати значення запізнення, що його вносить вимірювальний канал для сигналів, що змінюються повільно.

8. Повторити пункти 4, 7 шість разів при різних значеннях обмеження рівня шумів ( 5; 2; 1.5; 1.2).

9. Побудувати графік залежності між зменшенням запізнення і збільшенням рівня шумів.



10. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовки роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

## Робота № 5

### Дослідження похибки випрямляючого детектора у порівнянні з ідеальним квадратичним детектором

1. Переписати вступ: При вимірюванні рівня вібрацій, змінних електричних напруг тощо використовується так звані детектори. Ідеальний детектор повинен вимірювати середньоквадратичне значення періодичного сигналу. Але значно простіше реалізується випрямляючий детектор, що вимірює середнє значення модуля періодичного сигналу, яке потім перераховується в середньоквадратичне множенням на 1,1. Якщо сигнал змінюється синусоїдально, таке вимірювання буде точним. Але якщо сигнал має вищі гармонійні складові, випрямляючий детектор дає похибку.

2. Переписати ціль роботи: Дослідити вплив вищих гармонійних складових періодичного сигналу на величину похибки випрямляючого детектора.

3. Запустити електронні таблиці EXCEL.

4. Завантажити файл Detector.xls, де моделюється процес вимірювання.

5. Осцилограма вимірюваного сигналу  $x(t)$  зображена на графіку. Сигнал синтезуються як сума першої, другої і третьої гармонійних складових. При натисканні на клавішу F9 автоматично перебираються різні комбінації фаз другої і третьої гармонік. При цьому форма сигналу змінюється, але показання середньоквадратичного детектора (Ideal RMS detector) не залежать від фаз (а тільки від амплітуд), тому він і вважається ідеальним. Показання ж випрямляючого детектора (Rectifier detector) будуть змінюватися. Треба діждатись такої комбінації фаз, коли відхилення показань випрямляючого детектора відносно ідеального стане максимальним.

6. Для цього найгіршого варіанту записати величину похибки (Error of the rectifier detector) в %, записати амплітуди другої і третьої гармонік в % від основної гармоніки, змалювати осцилограму сигналу  $x(t)$ .

7. Виконати попередні два пункти декілька разів, змінюючи амплітуди другої і третьої гармонік довільно в діапазоні 0 – 20% в різних комбінаціях.

8. Дати відповідь на такі питання: а) Які гармоніки більше впливають на похибку, парні чи непарні? б) Чи можна вважати що похибка пропорційна амплітуді гармоніки? в) Чи можна вважати, що гармоніки впливають на

максимальну похибку незалежно одна від одної? г) Чи можна вважати що внески різних гармонік до максимальної похибки додаються алгебраїчно?

9. Переписати формули, за якими синтезується періодичний сигнал, вираховуються показання середньоквадратичного і випрямляючого детекторів, вираховується похибка.

10. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

Робота № 6.

Синтез коректора

перехресних впливів каналів вимірювання.

1. Переписати вступ: Для вимірювання вертикальної, повздожньої і бокової сил різання ґрунту на мірному зубі ковша екскаватора встановлюються три тензодатчики. Треба синтезувати алгоритм корекції вихідних сигналів тензодатчиків з метою усунення перехресних впливів між каналами вимірювання.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.

3. Завантажити файл Channel separation.xls, що моделює процес вимірювання.

4. Вводячи чисельні значення вектору вимірюваних сил  $\{F_x, F_y, F_z\}$ , імітуйте навантаження мірного зубу і спостерігайте вектор виходів тензодатчиків (Strain gauges' outputs).

5. Для тарування мірного зубу завантажуйте його по черзі горизонтальною, боковою і повздожньою одиничними силами. Це відповідає таким значенням вектору вимірюваних сил:  $\{1,0,0\}$ ,  $\{0,1,0\}$ ,  $\{0,0,1\}$ . Кожного разу записуйте вектор вихідних сигналів тензодатчиків у відповідний стовпчик тарувальної матриці (Calibration matrix). Зверніть увагу на наявність перехресних впливів між каналами вимірювання.

6. Вирахуйте зворотню матрицю (Inverse matrix) в окремому масиві комірок.

7. Скопіюйте вираховану зворотню матрицю в якості матриці коректора (Channels' Separator).

8. Перевірте той факт, що вихідний вектор коректора точно повторює вектор вимірюваних сил.

9. Записати висновок: Для точного розділення каналів вимірювання матриця коефіцієнтів коректора повинна біти зворотною до матриці тарувальних коефіцієнтів вимірювального пристрою.

10. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

**Робота № 7**  
**Дисперсійний факторний аналіз**  
**похибок серії вимірювальних приладів**

1. Переписати вступ: При серійному випуску стрілочних вимірювальних приладів два основні фактори дають внесок в загальну похибку: а) Варіація показань від приладу до приладу б) Варіація похибки для одного приладу в різних точках діапазону вимірювання. Ціль роботи: Оцінити і окремо внесок кожного з вказаних факторів в загальну середньоквадратичну похибку контрольної групи приладів за результатами еталонного повірення.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL

3. Завантажити файл Error Factor Analysis.xls, де моделюється процедура еталонного повірення контрольної групи приладів, відкрити аркуш Calibration Table.

4. Натиснути клавішу F9 для одержання нової реалізації.

5. Переписати тарувальну таблицю (показання приладу/вимірювана еталонна величина/номер приладу в групі).

6. Переключитися на аркуш Calibration diagram.

7. Змалювати сімейство нелінійних тарувальних графіків (вимірювана еталонна величина/показання приладу) для різних приладів.

8. На окремому аркуші побудувати таблицю похибка/вимірювана еталонна величина (стовпчики)/номер приладу в групі (рядки).

9. Вирахувати середньоквадратичну похибку для всієї таблиці.

10. Для кожного стовпчика і рядка вирахувати групові середні.

11. Вирахувати два середньоквадратичних відхилення для групових середніх (для стовпчиків і рядків окремо). Це і будуть внески кожного з вказаних факторів в загальну похибку.

12. Оцінити, який з факторів переважає і дати рекомендації. Якщо переважає фактор а) – “Деякі операції технологічного процесу недостатньо стабільні (наприклад, не виконується індивідуальна настройка нуля). Рекомендується прийняти міри по стабілізації виробничого процесу.” Якщо переважає фактор б) – “Градування шкали не відповідає нелінійності вимірювального механізму. Скоректувати градування шкали.”

13. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовки роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

### **Робота № 8**

#### **Введення результатів вимірювання в контролер на фоні наводки від мережі змінного струму**

1. Переписати вступ: При вводі інформації від датчика температури в цифровий контролер вибірка неперервного сигналу здійснюється періодично (типовий період від 1 до 30 с). Якщо на неперервний сигнал накладається високочастотна ( частота більше подвійної частоти вибірки) наводка від електричної мережі 50 Гц, то вона після вибірки перетворюється на низькочастотну заваду, яку не можна відрізнити від корисного сигналу. Це явище називається транспонуванням частот і є слідством теореми Найквіста (Котельникова). Дослідження властивостей цієї завади від електричної мережі є метою роботи.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.

3. Завантажити файл Num.xls, в якому моделюється процес вимірювання, відкрити аркуш Periodic Sampling.

4. Натискаючи на клавішу F9 одержувати нові реалізації процесу. Період вибірки для кожної реалізації різний. Він поступово змінюється від 30 с до 0.2 с на протязі хвилини.

5. Наступні 6 пунктів виконати для двох типових значень періоду вибірки – а) великий (більше 5 с), б) – малий (менше 1 с).

6. Змалювати графік зміни вибіркового даних (Sampled).

7. Відкрити аркуш Disrtibution.

8. Змалювати графік щільності розподілу вимірюваної величини.

9. Відкрити аркуш Autocorrelation.

10. Змалювати функцію автокореляції завади.

11. Відкрити аркуш Phase trajectory.

12. Змалювати графік фазової траєкторії в координатах “поточна вибірка – наступна вибірка”.

13. Записати висновки: а) Якщо період вибірки великий (більше 5 с), транспонована завада буде некорельованим випадковим сигналом, бо фаза електричної мережі нестабільна і непередбачено змінюється за період вибірки. Щільність розподілу завади різко відрізняється від нормального закону і її графік має мінімум в центрі розподілу. б) Якщо період вибірки малий (менше 1 с), сусідні значення транспонованої завади будуть сильно корельовані, бо фаза

електричної мережі не встигає суттєво змінитися за такий короткий час. В цьому випадку транспонована завада має характер низькочастотних коливань.

14. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовки роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

### **Робота № 9**

#### **Дослідження статистичних властивостей шуму квантування за рівнем при вводі неперервного сигналу в контролер**

1. Переписати вступ: При вводі інформації від датчика в цифровий контролер неперервний сигнал квантується за рівнем. При цьому виникає шум (похибка) квантування. Вивчення статистичних властивостей цього шуму є метою роботи.

2. Запустити електронні таблиці EXCEL.

3. Завантажити файл Num.xls, відкрити аркуш Quantization.

4. Натискаючи на клавішу F9 одержувати нові реалізації процесу, спостерігаючи зміну осцилограм вхідного сигналу і шуму квантування. Переписати формули, що моделюють процес квантування за рівнем.

5. Відкрити аркуш Distribution.

6. Змалювати гістограму розподілу шуму квантування, його статистичні дані (максимальне та мінімальне значення, середньоквадратичне відхилення, ексцес). Переписати формули вирахування статистичних даних.

7. Зробити висновки: Шум квантування має рівномірний розподіл, його середньоквадратичне відхилення складає 30% від порогу квантування.

8. Відкрити аркуш Autocorrelation.

9. Змалювати графік функції автокореляції. Переписати формулу вирахування функції автокореляції.

10. Зробити висновок: Шум квантування являє собою “білий шум” (відсутня кореляція між сусідніми значеннями шуму).

11. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовки роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

**Робота № 10**  
**Дослідження залежності коефіцієнту**  
**нелінійних спотворень від амплітуди сигналу**

12. Переписати вступ: Підсилювачі сигналів повинні бути лінійними з високою точністю, тобто синусоїдальний сигнал після проходження через підсилювач повинен залишатися синусоїдальним тієї ж частоти. Найменша нелінійність призводить до появи гармонічних складових вищих частот. Відношення вищих гармонік до основної оцінюється коефіцієнтом нелінійних спотворень. Цей коефіцієнт залежить від амплітуди вхідної синусоїди. Дослідження вказаної залежності для експоненційної нелінійності є метою роботи.

13. Запустити електронні таблиці EXCEL.

14. Завантажити файл NLDistortion.xls, відкрити аркуш Data.

15. Переписати формули, за якими моделюються вхідний і вихідний сигнали.

16. Наступні шість пунктів повторювати тричі, для різних амплітуд вхідного сигналу (2; 1; 0.5).

17. Ввести амплітуду вхідного сигналу до комірки Input amplitude.

18. Відкрити аркуш Nonlinearity і змалювати графік нелінійної залежності між входом і виходом.

19. Відкрити аркуш Oscillogram і змалювати осцилограми вхідного и вихідного сигналів.

20. Відкрити аркуш Fourier і виконати перетворення Фур'є для вихідного сигналу, керуючись наведеними на листі підказками.

21. Відкрити аркуш Spectrum і змалювати графік частотного спектра вихідного сигналу.

22. Відкрити аркуш Nonlinear distortion і переписати амплітуди гармонійних складових і коефіцієнт нелінійності.

23. Побудувати графік залежності коефіцієнта нелінійних спотворень від амплітуди вхідного сигналу.

24. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вмещувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шикалов В.С. Технологічні вимірювання : навчальний посібник. –Київ : Кондор, 2007.–168 с.
2. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: Навч. посіб. – 3е вид., К.: Знання, 2006 – 242 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
3. Кульбовський І.І. Метрологія та інформаційновимірювальна техніка в системах та мережах: Методичні вказівки до самостійного виконання самостійної роботи для студентів денної форми навчання: К.: ДУІТ.2018.- 15с.
4. Величко О.М., Кучерук В.Ю. та ін.. Основи стандартизації та сертифікації. Підручник для студентів вищ. навч. закл. / О.М. Величко, В.Ю. Кучерук, Т.Б. Гордієнко, В.М. Севастьянов: за заг. ред. О.М. Величка. – Херсон: Олдіплюс, 2013. – 364 с.
5. Тарасова В.В., Малиновський А.С., Рибак М.Ф. Метрологія, стандартизація і сертифікація. Підручник /За заг. ред. В.В.Тарасової. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 264 с.
6. Дорожавец М. Основи метрології та вимірювальної техніки Т.1 / М. Дорожавец , В. Мотало, Б. Стадник та інш. – М. : Індрік, 2005. - 532с