МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МЕТРОЛОГІЯ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Методичні вказівки

до лабораторних робіт з курсу
для студентів спеціальності 7.092501
“Автоматизоване управління технологічними процесами і виробництвами”

### Київ 2001

УДК 658.52.011.56

ББК 30ф

0-75

Укладачі: В.С. Шикалов, канд.техн.наук., доцент

 С.В. Іносов, канд.техн.наук., доцент

 М.В. Волчков, асистент

Рецензент: Г.І.Сторожилова, канд.техн.наук., доцент

Відповідальний
за випуск: С.В. Іносов, канд.техн.наук., доцент

Затверджено на засіданні кафедри АБВ,
протокол № 8 від 26.02.2001 р.

Видається в авторській редакції.

Метрологія і технологічні вимірювання:

0-75 Методичні вказівки до лабораторних робіт/ Уклад.: В.С. Шикалов, С.В.Іносов, М.В. Волчков. – К. :КНУБА, 2001. – 16 с.

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

Призначено для студентів спеціальності 8.092501 “Автоматизоване управління технологічними процесами і виробництвами” для використання при проведенні лабораторних робіт в комп’ютерному класі.

 ЗМІСТ стор.

[ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ 4](#_Toc508029137)

[Робота № 1. Фільтрація аномальних відхилень результатів спостережень (грубих похибок) 4](#_Toc508029138)

[Робота № 2. Дослідження Інтервалу невизначеності при оцінці випадкової похибки із групи спостережень. 5](#_Toc508029139)

[Робота № 3. Синтез коректора нелінійності датчика температури 6](#_Toc508029140)

[Робота № 4. Синтез динамічного коректора датчика температури 7](#_Toc508029141)

[Робота № 5. Дослідження похибки випрямляючого детектора у порівнянні з ідеальним квадратичним детектором. 8](#_Toc508029142)

[Робота № 6. Синтез коректора перехресних впливів каналів вимірювання. 9](#_Toc508029143)

[Робота № 7. Дисперсійний факторний аналіз похибок серії вимірювальних приладів. 10](#_Toc508029144)

[Робота № 8. Введення результатів вимірювання в контролер на фоні наводки від мережі змінного струму 11](#_Toc508029145)

[Робота № 9. Дослідження статистичних властивостей шуму квантування за рівнем при вводі неперервного сигналу в контролер 12](#_Toc508029146)

[Робота № 10. Дослідження залежності коефіцієнту нелінійних спотворень від амплітуди сигналу 13](#_Toc508029147)

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 14](#_Toc508029148)

# 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 оперативно 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.

# **Лабораторна робота № 1Визначення основних статистичних характеристикмасиву експериментальних даних.**

**Ціль** – *ознайомитися та засвоїти основні прийоми обробки результатів багаторазових прямих вимірювань.*

**Короткі теоретичні відомості**

Для характеристики частоти появи різних значень випадкової величини ***X*** (у нашому випадку похибки приладу або результату вимірювання з урахуванням систематичної складової похибки) теорія вірогідності пропонує підхід, що основується на визначенні виду та параметрів закону розподілу цієї величини. Розрізняють два способи опису законів розподілу: інтегральний та диференціальний.

Інтегральним законом або функцією розподілу вірогідності називають функцію, значення якої для кожного є вірогідністю події, що полягає в тому що випадкова величина Х набуває значення менші за , тобто . Це неспадна функція , яка змінюється від до
. Вона існує для будь-яких випадкових величин, як дискретних, так і неперервних.

Для випадкової величини з неперервною і диференційованою функцією розподілу можна знайти диференціальний закон розподілу вірогідності, що фактично є похідною від , тобто . Ця залежність називається кривою щільності розподілу вірогідності. Вона завжди додатня і задовольняє умові нормування:

**Мірами центральної тенденції** називають чисельні показники типових властивостей емпіричних даних. Ці показники дають відповіді на питання, наприклад, «Яке середнє значення величин, що вимірюється?». Існує порівняно невелика кількість таких показників – мір і в першу чергу це: мода, медіана, середнє арифметичне.

**Мода (*Мо*)** – це значення, яке найбільш часто зустрічається у масиві отриманих у результаті вимірювань результатів, тобто значення вимірюваної величини з найвищою частотою появи. Якщо всі значення в групі зустрічаються з однаковою частотою, то вважається, що моди немає. Якщо два сусідніх значення мають однакову частоту і ця частота є більшою за частоту будь-якого іншого значення, мода є середнє цих двох значень.

**Середнє арифметичне значень** (вибіркове середнє або середнє) **М** – це результат ділення суми всіх значень (X) на їх кількість (N).

**Медіана (Me)** – це значення, яке приходиться на середину упорядкованої послідовності емпіричних даних. Медіана не обов'язково повинна збігатися з конкретним значенням. Збіг відбувається у випадку непарного числа значень (відповідей), розбіжність – при парному їх числі. В останньому випадку медіана обчислюється як середнє арифметичне двох центральних значень у впорядкованому ряді даних.

**Міри мінливості даних** – це статистичні показники, що дозволяють судити про ступінь однорідності отриманої множини даних, її компактності. Найбільш поширеними показники, що ілюструють мінливість даних, є розмах, дисперсія, стандартне відхилення.

**Розмах (R)** – це інтервал між максимальним і мінімальним значеннями результатів вимірювання. Він визначається легко і швидко, але чутливий до випадкових даних особливо при малій кількості проведених вимірювань. Це найпростіша міра відхилення. Розмах визначається лише крайніми значеннями:

**Дисперсія (D)** обчислюються тільки для інтервальних та абсолютних шкал. Дисперсія є середнім арифметичним значенням квадратів відхилень окремих значень результатів вимірювань від їхнього середнього арифметичного значення. Дисперсія має розмірність рівну квадратові розмірності фізичної величини, що вимірюється, і обчислюється за формулою:

**Стандартне відхилення (δ)** визначається наступним чином

 **Асиметрія (*Ax*)** характеризує ступінь несиметричності розподілу відносно його середнього.

Позитивна асиметрія вказує на відхилення вершини розподілу в бік від'ємних значень, негативна – у бік додатних.

**Ексцес (*Ex*)** характеризує відносну опуклість або згладженість розподілу вибірки порівняно з нормальним розподілом:

Позитивний ексцес позначає відносно загострений розподіл, негативний – відносно згладжений. «Стандартом» розподілів служить нормальний розподіл з нульовою асиметрією і ексцесом.

**Міри положення**, які ще називаються квантилями розподілу.

**Квантиль** – це точка на числовій осі виміряної величини, яка ділить всю сукупність упорядкованих даних на дві групи з відомим співвідношенням їх чисельності. З один з квантилів це медіана – значення, яке ділить всю сукупність вимірювань на дві групи з рівною кількістю. Крім медіани часто використовуються процентилі та квартили.

**Процентилі (персентилі)** ділять упорядковану сукупність значень вимірюваної величини на сто частин, тобто відокремлюють від сукупності по 0,01 частині (по 1%).

**Квартилі** ділять сукупність значень вимірюваної величини на чотири частини. Перший квартиль відокремлює зліва 0,25 обсягу сукупності. Другий квартиль ділить сукупність на дві рівних частини по 0,5 (медіана). Третій квартиль відокремлює зліва 0,75 обсягу сукупності.

**Хід роботи**

1. Виконати 15 – 25 індивідуальних вимірів (спостережень) однорідної фізичної величини. Наприклад, виміряти опори резисторів з контрольної групи резисторів одного номіналу. Точність вимірювання повинна бути достатньою для надійного виявлення варіації результатів спостережень.
2. Результати спостережень ввести в електронну таблицю EXCEL в два стовпчики (номер по порядку, результат спостереження).
3. Для введеного масиву даних в окремих комірках, користуючись відповідними стандартними функціями, вирахувати: мінімальне значення, 10% персентиль, нижній квартіль, медіану, верхній квартіль, 90% персентиль, максимальне значення, середнє значення, середньоквадратичне відхилення.
4. Побудувати графік інтегрального (кумулятивного) розподілу даних. Для цього відсортувати дані в порядку їх зростання і побудувати графік залежності номера по порядку (функція) від значення даних (аргумент).
5. На той самий графік нанести теоретичну криву кумулятивного нормального розподілу даних з таким самим середнім значенням і середньоквадратичним відхиленням, як і для експериментального масиву даних. Для цього теоретичні значення вирахувати в третьому стовпчику за допомогою стандартної формули нормального розподілу вірогідностей, помноживши її на кількість спостережень. В якості аргументу використати експериментальні значення: в якості параметрів використати експериментальне середнє значення і експериментальне середньоквадратичне відхилення. Третьому параметру присвоїти значення ІСТИНА (вибір формули кумулятивного розподілу). Теоретичні значення за фізичним змістом це вирахуваний за формулою номер по порядку, який може бути не обов’язково цілим числом. Теоретичний графік – це залежність одержаних теоретичних значень номеру від експериментальних даних.
6. Зробити висновок про відповідність даних нормальному розподілу в межах точності аналізу. Пояснити причини такої відповідності, спираючись на центральну граничну теорему.
7. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

**Контрольні питання.**

1. Що таке інтегральний та диференціальний закони розподілу?
2. Які основні властивості функції, що описує щільність розподілу вірогідності?
3. Який зв'язок між інтегральний та диференціальний закони розподілу.
4. Що таке мода, медіана, середнє арифметичне? Як їх розрахувати?
5. Що таке дисперсія, середнє квадратичне відхилення? Який їх фізичний сенс та як їх розрахувати?
6. Які властивості характеризують показники асиметрії та ексцесу?
7. Що таке квантиль та процентиль?
8. Яке співвідношення існує між квартилями та персентилями?

#

# **Лабораторна робота № 2.Дослідження похибки візуального зчитування данихз лінійної шкали вимірювального приладу**

**Ціль** – *набути практичних навичок та вмінь визначення значення систематичної складової похибки вимірювань.*

**Короткі теоретичні відомості**

Похибкою засобу вимірювань називається відхилення його показання (вихідного сигналу) від значення вимірюваної величини, яка діє на його вхід (вхідного сигналу).

Похибки, що виникають в процесі вимірювань, можна розділити на систематичні та випадкові. Крім цього, в процесі вимірювання можуть з'явитися грубі (дуже великі) похибки, а також можуть мати місце промахи.

**Систематична похибка** – це похибка, обумовлена дією сталих у часі факторів. Зазначимо суттєву особливість такого типу похибок – їхня величина і знак зберігаються під час проведення експерименту. Такі похибки можуть бути пов’язані з помилками під час вимірювання недосконалими приладами («неправильна» шкала, нерівномірний крок мікрометричного гвинта, не рівні плечі терезів, тощо) і з самою постановкою досліду (наприклад, визначення швидкості поїзда на ділянці, де рух проходить з прискоренням, яке не було враховано експериментатором). Унаслідок систематичних похибок результати досліду, які відмінні між собою через випадкові похибки, коливаються не навколо істинного х, а навколо деякого зміщеного значення x ′.

Одним із завдань вимірювального експерименту є виявлення систематичних похибок. Важливість його полягає в тому, що така невиявлена похибка небезпечніша, ніж випадкова, бо вона постійно спотворює результат вимірювання.

Кінцевою метою виявлення систематичних похибок є їх вилучення і врахування. Під вилученням систематичних похибок розуміють зменшення їх значень до рівня окремих невеликих складових випадкової похибки. Невилучені залишки систематичних похибок трактуються як випадкові.

Універсального способу вилучення систематичних похибок немає. Серед відомих способів найпоширенішими є такі.

**Метод заміщення**, коли заміняють вимірювану величину відомою величиною, причому так, щоб в стані і діях всіх використаних засобів вимірювання не відбулось ніяких змін. Для реалізації цього методу потрібна регульована міра, вихідна величина якої є однорідною до вимірюваної. Наприклад, вимірювання опору за допомогою моста постійного струму і мір опорів. Рiзновидностями методу замiщення є метод рiзночасового компарування, метод зразкових сигналiв i тестовий метод.

В якостi вiдомих регульованих величин при використаннi методу рiзночасового компарування застосовують величини, вiдмiннi вiд вимiрюваної спектральним складом i дозволяють створювати на виходi компаруючого перетворювача такий же сигнал, як i вимiрювана величина.

 **Метод зразкових сигналiв** полягає в тому, що на вхiд ЗВ перiодично подаються зразковi сигнали такого ж роду, що й вимiрювана величина. В точках вимiрюваного дiапазону, якi вiдповiдають зразковим сигналам, здiйснюється порiвняння калібруючих характеристик, що дозволяють вносити поправки в результат вимiрювань.

 До класу методів зразкових сигналів відносяться **тестові методи**. Тестовими називають значення фізичних величин, які є функціями вимірюваної величини і відрізняються від неї окремими математичними закономірностями. Так наприклад: Х1=Х+ΔХ; Х2=аХ; Х3=(Х=ΔХ)/в.

У цих формулах: Х1,Х2,Х3 – значення тестів; Х – значення вимірюваної величини; ΔХ – відомий приріст величини, створений мірою; а,в – постійні коефіцієнти. Про наявність систематичних похибок судять порівнюючи вимірювану величину з її тестами.

**Метод протиставлення**, полягає в тому, що вимірювана величина двічі порівнюється з величиною, яка відтворюється мірою, причому перед другим порівнянням вони взаємно міняються місцями у вимірювальному колі. Такий метод застосовують при вимірюваннях з приладами зрівноважування, в яких є можливість переставити місцями вимірювану величину і регульовану міру.

**Метод компенсації похибки за знаком**, коли проводиться вимірювання з двома спостереженнями, проведеними таким чином, щоб постійна систематична похибка входила в результат кожного з них з різними знаками. Наприклад, треба виміряти ЕРС потенціометром постійного струму, який має паразитну термоЕРС. При проведенні одного вимірювання одержимо ЕРС . Змінимо полярність вимірюваної ЕРС і напрям струму в потенціометрі. Знову проведемо його зрівноваження – одержимо значення . Якщо термоЕРС дає похибку  і , а , тоді

Таким чином вдається усунути систематичну складову похибки, щообумовлена дією термоЕРС.

**Метод рандомізації** – найбільш універсальний метод виключення невідомих постійних систематичних похибок. Одна і та сама величина вимірюється різними методами (приладами). Систематичні похибки кожного разу є різними випадковими величинами. Внаслідок цього при збільшенні числа використаних методів (приладів) систематичні похибки взаємокомпенсуються.

**Метод симетричних в часі спостережень –** застосовується для зменшення прогресуючих похибок.  Прогресуючою називають похибку, що в часі змінюється лінійно (наростає чи спадає). Оскільки загалом лінія описується двома параметрами: початковим значенням   та крутизною  , то похибка в часі:

При невідомому значенні вимірюваної величини для корекції прогресуючої похибки треба виконати принаймні три вимірювання.

- В момент часу вимірюють відоме значення *Хм*вихідної величини міри і отримують показ:

.

- В момент часу  вимірюють значення *X*вимірюваної величини і отримують показ:

.

- В момент часу  вимірюють це ж саме відоме значення *Хм*вихідної величини міри і отримують показ:

.

Обчисливши середнє значення першого і третього результату знаходять значення прогресуючої похибки в момент часу

або

Отримане значення прогресуючої похибки підставляють у друге рівняння і знаходять значення вимірюваної величини:

.

**Хід роботи**

1. Запустити електронні таблиці EXCEL.
2. Завантажити файл SCALE.XLS і відкрити аркуш SCALE.
3. Кожному студентові індивідуально виконати наступні пункти.
4. Візуально зчитати результат вимірювання з шкали в %.
5. Ввести результат в зелену комірку, помічену як “Take a reading and enter here”.
6. Повторювати останні пункти 4 та 5 доки замість червоного попередження “There were crude errors in the data. Go on measuring!” не з’явиться “Data are correct”. Для цього треба підряд виконати не менше 25 правильних зчитувань, без грубих помилок.
7. Переключитися на аркуш Calibration table.
8. Занести у звіт значення середньої похибки (Mean Error), максимальної, мінімальної похибки (Maximum Error, Minimum Error), середньоквадратичної похибки (Standard Deviation).
9. Змалювати діаграму розкиду похибок (Scatter Diagram).
10. Переключитися на аркуш Ogive.
11. Змалювати інтегральний (кумулятивний) графік розподілу похибок (Ogive) з експериментальними точками (Experiment) і теоретичною нормальною апроксимуючою кривою (Normal).
12. Зробити висновки:
а) Моя персональна систематична (середня) похибка візуального зчитування складає ....... %. В результат кожного вимірювання я повинен вносити персональну поправку ....... %.
б) Моя персональна середньоквадратична похибка візуального зчитування складає ....... %.
в) Мої персональні похибки візуального зчитування підкоряються (або не підкоряються) нормальному закону розподілу вірогідностей в межах точності аналізу. Причиною цього я вважаю .....
13. Оформити звіт.

**Контрольні питання**

1. Які похибки називаються систематичними ?
2. Наведіть класифікацію систематичних похибок?
3. Джерела виникнення систематичних похибок. Приклад.
4. Які похибки називаються інструментальними ?
5. Які похибки належать до методичних ?
6. Які існують методи виявлення систематичних похибок ?
7. Основні методи виключення та зменшення похибок.
8. Суть методу компенсації похибок згідно знаку.
9. Суть методу заміщення.
10. У чому полягають методи різночасового компарування та зразкових сигналів ?
11. Суть тестового методу ?
12. Суть методу допоміжних вимірювань.

# **Лабораторна робота № 3.Дослідження інтервалу невизначеності при оцінці випадкової похибки із групи спостережень**

**Ціль** – *набути практичних навичок та вмінь визначення значення випадкової складової похибки вимірювань.*

**Короткі теоретичні відомості**

Вивчення закономірностей, яким підпорядковуються випадкові похибки, можна зробити наочними, якщо побудувати діаграму, що показує, як часто отримуються ті або інші результати вимірювання. Така діаграма називається гістограмою розподілу результатів вимірювання. Гістограма – східчаста діаграма, що показує, як часто при вимірюваннях виникають результати, що потрапили у той або інший інтервал Δx між найменшим xmin і найбільшим xmax з обмірюваних значень величини x. Гістограму будують у таких координатах: по осі абсцис відкладають вимірювану величину x, по осі ординат – Δn/nΔx (n – повна кількість проведених вимірювань, Δn – кількість результатів, що потрапили в інтервал [x, x+Δx]) .

Відношення Δn/n є часткою результатів, що попали в зазначений інтервал і має сенс імовірності потрапляння результату окремого вимірювання в даний інтервал. Вираз Δn/(n·Δx), одержуване після розподілу Δn/n на ширину інтервалу Δx, набуває сенсу щільності ймовірності.

При дуже великій кількості вимірювань (n→∞) весь діапазон зміни величини x можна розбити на нескінченно малі інтервали Δx, як це робиться в математиці, і знайти кількість результатів Δn у кожному з них. У цьому випадку гістограма перетвориться в плавну криву – графік функції

*,*

Таку функцію називають щільністю ймовірності, або розподілом імовірності, іноді – просто розподілом величини x. Розподіл виступає в ролі остаточної характеристики випадкової величини. Закон розподілу можна задати у вигляді функціонального вираження, графіка, таблиці або іншим способом. При будь-якому варіанті завдання встановлюється зв'язок між імовірністю того, що результат однократного вимірювання випадкової величини потрапить у заданий інтервал можливих значень і шириною цього інтервалу.

Розподіл містить найбільш повну інформацію про випадкову величину, однак користуватися ним не завжди зручно. Оперуючи результатами проведеного експерименту, замість функції розподілу більш зручно користуватися звичними числовими величинами – середнім значенням і дисперсією.

У ході аналізу гістограми встановлюється факт її симетричності. Якщо побудована гістограма практично симетрична, має вигляд дзвону, а положення її максимуму близьке до істинного значення – X, це означає, що випадкові похибки приблизно з однаковою частотою набувають як позитивних, так і негативних значень; більші похибки трапляються рідше, ніж менші.

Ширина гістограми, що практично не залежить від кількості вимірювань, характеризує зону розсіювання результатів вимірювань, тобто випадкові похибки одиничних (окремих) вимірювань. Гістограми розподілу результатів вимірювання, отримані при вимірюваннях фізичних величин, виконаних за допомогою різноманітних приладів і методів, здебільшого дуже схожі за формою між собою. Вони розрізняються тільки шириною гістограми і положенням максимуму, тобто величиною X. При такому розподілі говорять, що вони підпорядковуються закону Гауса (розподіл Гауса, або нормальний розподіл):

де X — істинне значення вимірюваної величини;

 – середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання.

На рис.1 показані криві 1 і 2 нормального розподілу випадкових похибок для двох значень середнього квадратичного відхилення , причому в кривій 1 це відхилення у два рази менше, ніж у кривій 2. Криві розподілу симетричні щодо осі ординат, тобто поява рівних за величиною, але протилежних за знаком випадкових похибок має однакову ймовірність, у середній частині криві утворять опуклість, по обидва боки від якої перебувають точки перегину а і b, нижче яких криві стають угнутими, асимптотично наближаючись до осі абсцис. Найбільша ймовірність для обох кривих відповідає випадковій похибці Δc=0. При зростанні похибки з будь-яким знаком імовірність її появи зменшується.

Криві розподілу 1 і 2 мають різні відстані між точками а і b перегину кривих. Проміжки між цими точками і віссю ординат дорівнюють середньому квадратичному відхиленню ±σ результату вимірювання, що характеризує ступінь розсіювання (розкиду) значень випадкових похибок. Результати вимірювання групуються навколо істинного значення X і тим тісніше, чим менше σ. Чим нижче значення σ, тим менше розсіювання похибок, тому що при цьому майже вся площа під кривою розподілу розміщується поблизу осі ординат, що збільшує ймовірність появи менших і зменшує появу більших похибок. Отже, зменшення σ приводить до підвищення точності вимірювань.



Рисунок 1 – Криві нормального розподілу випадкових похибок: 1– для ; 2– для .

Імовірність того, що випадкові похибки не вийдуть за межі (границі) якого-небудь інтервалу, визначається за площею, обмеженої кривою розподілу і цим інтервалом, відкладеним по осі абсцис. Такий інтервал ±ε називається довірчим інтервалом, а відповідна йому ймовірність появи випадкової похибки – довірчою ймовірністю.

Довірчий інтервал, що характеризує ступінь відтворюваності результатів вимірювання, може мати різні значення, причому при великому довірчому інтервалі виходить і більша довірча ймовірність. При вимірюванні може задаватися або довірчий інтервал і за ним визначатися довірча ймовірність, або, навпаки, за довірчою імовірністю підраховуватися довірчий інтервал. Таким чином, для характеристики значення випадкової похибки необхідно мати дві величини – довірчий інтервал і довірчу ймовірність.

Довірча ймовірність – характеризує надійність результату серії вимірювань оскільки це вірогідність  того, що істинне значення Х вимірюваної величини потрапляє в даний довірчий інтервал.

Чим більше довірчий інтервал, тим з більшою надійністю шукана величина Х потрапляє в цей інтервал. Природно, що величина  залежить від числа *n* проведених вимірювань, а також від похибки, що задається .

Так, при  вибираючи  рівним , ми набудемо значення . Ймовірність того, що будь-яке значення вимірюваної величини буде лежати в інтервалах ,  дорівнює, відповідно 95% і 99% (рис.2). Значення 0,99 рекомендується брати для випадків, коли вимірювання не можна повторити.



Рисунок 2 – До визначення довірчого інтервалу результатів вимірювання.

Імовірність 0,997 означає, що з 1000 вимірювань у середньому 997 потраплять в інтервал від до і тільки три вимірювання будуть мати відхилення більше . Тому з деякою часткою умовності величину Δх=Зσ  називають граничною похибкою вимірювання (іноді замість Зσ беруть абсолютну похибка вимірювального приладу). Якщо при вимірюванні абсолютна похибка більша за , то це вимірювання слід віднести до грубих похибок або промаху.

Оскільки неможливо виконати дуже велике число вимірювань, то виникає питання: як змінюється надійність при зміні числа вимірювань? Залежність ця складна і не виражається в елементарних функціях. В багатьох випадках доцільним та виправданим є застосування коефіцієнтів Стьюдента, по яких можна визначити, в скільки разів потрібно збільшити стандартний довірчий інтервал, щоб при певному числі вимірювань n одержати задану надійність .

**Хід роботи**

1. Для визначення максимальної випадкової похибки нового приладу або методу вимірювання виконуються 15 – 20 контрольних спостережень (індивідуальних вимірювань) еталонних величин. Похибки реєструються. Потім можливі два методи обробки експериментальних даних: а) визначити середнє значення масиву даних в якості результату вимірювання і визначити максимальне відхилення від нього за абсолютною величиною. Останній результат взяти в якості максимальної випадкової похибки приладу Δ, б) визначити середньоквадратичне відхилення масиву даних σ і в якості максимальної похибки Δ взяти 2σ. Обидва результати слід вважати випадковими, бо в контрольних групах результати будуть іншими.
2. Визначити, який з вказаних методів кращий за стабільністю результатів, та встановити, чому множник (квантиль) береться рівним 2.
3. Запустити електронні таблиці EXCEL.
4. Завантажити файл Two sigma.xls де моделюється процедура вимірювання.
5. Відкрити аркуш Max error stability
6. В комірку Quantile Q ввести значення квантиля Q=3
7. Переписати формули, за якими вираховуються обидві оцінки похибки у відповідних комірках.
8. Одержати серію контрольних реалізацій експериментальних спостережень, натискаючи на клавішу F9, кожний раз порівнюючи оцінки похибки за вказаними двома критеріями на діаграмі.
9. Зробити висновок: при Q=3 критерій 2σ дає в середньому завищену оцінку максимальної похибки.
10. Повторити попередні три пункти з новим значенням квантиля Q=2
11. Обґрунтувати висновок: При Q=2 обидві оцінки максимальної похибки групуються біля одного середнього значення, що в даному випадку дорівнює ..... %. Тобто 2σ це незміщена середня оцінка максимального відхилення для групи з 15 – 20 спостережень.
12. Переключитися на аркуш Data Log, де реєструються оцінки похибок контрольних реалізацій.
13. Натиснути на клавішу F9 не менше 40 разів, щоб набрати статистику контрольних оцінок.
14. Змалювати діаграму розкиду контрольних оцінок.
15. Зробити висновок: Оцінка максимальної похибки через 2σ має менше випадкове відхилення, ніж оцінка через максимальне відхилення в контрольній групі спостережень. В даному прикладі середня оцінка максимальної похибки дорівнює ..... % Розкид результату відносно середньої оцінки на ± .....%.
16. Зробити загальний висновок: Непрямий метод оцінки максимальної похибки через 2σ є більш надійним, ніж пряма оцінка через максимальне відхилення в контрольній групі спостережень. Але навіть він не дозволяє оцінити похибку точніше, ніж ± 1/3 за даними типової контрольної групи з 15 – 20 спостережень.

**Контрольні питання**

1. Які похибки називаються випадковими?
2. Джерела виникнення випадкових похибок. Приклад.
3. Які існують методи оцінки випадкових похибок ?
4. Основні методи зменшення випадкових похибок?
5. Який сенс має закон розподілу?
6. Який сенс має довірчий інтервал та довірча вірогідність?
7. Як визначається нормальний закон розподілу?
8. Як впливає на нормальний закон розподілу значення середньоквадратичного відхилення результатів вимірювання?
9. Як впливає на нормальний закон розподілу середньоарифметичне значення результатів вимірювання?
10. В чому полягає правило 3?

# Робота № Фільтрація аномальних відхиленьрезультатів 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 квартілі); 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 квартілі, 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 квартілі. 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, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

# Робота № Дослідження Інтервалу невизначеностіпри 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 σ і максимальна похибка оцінюється як 2σ. 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 № Синтез коректора нелінійностідатчика 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, зворотню до нелінійності чутливого елемента. При цьому весь канал вимірювання стає лінійним.
2. Запустити електронні таблиці EXCEL.
3. В електронну таблицю ввести стандартну градуювальну таблицю будь-якого датчика температури, наприклад платинового термометру опору або термопари платина-платинородій 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 градуювальну залежність на окремий аркуш таблиці, помінявши місцями стовпчики. Це буде таблиця коректора нелінійності Ця нова таблиця задає зворотню 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 R2.
8. Для кожної кривої вирахувати похибку апроксимації за формулою
100%\*√(1-R2)
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, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

# Робота № 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 ЛІС фільтр з ваговими коефіцієнтами b0; b1; b2; b3; …. 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, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

# Робота № Дослідження похибки випрямляючого детекторау порівнянні з ідеальним квадратичним детектором.

1. Переписати вступ: При вимірюванні рівня вібрацій, змінних електричних напруг тощо використовується так звані детектори. Їдеальний 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 № Синтез коректораперехресних впливів каналів вимірювання.

1. Переписати вступ: Для вимірювання вертикальної, повздовжньої і бокової сил різання грунту 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 {Fx, Fy, Fz}, імітуйте навантаження мірного зубу і спостерігайте вектор виходів тензодатчиків (Strain gauges’ outputs).
5. Для тарування мірного зубу завантажуйте його по черзі горизонтальною, боковою і повздовжньою 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 № Дисперсійний факторний аналізпохибок серії вимірювальних приладів.

1. Переписати вступ: При серійному випуску стрілочних вимірювальних приладів два основі 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 повіряння.
2. Запустити електронні таблиці EXCEL
3. Завантажити файл Error Factor Analysis.xls, де моделюється процедура еталонного повіряння 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) – “Градуювання шкали не відповідає нелінійності вимірювального механізму. Скоректувати градуювання шкали.”
13. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

# Робота № 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 Hum.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 вибіркових 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, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

# Робота № Дослідження статистичних властивостейшуму квантування за рівнемпри 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 Hum.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, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

# Робота № Дослідження залежності коефіцієнтунелінійних спотворень від амплітуди сигналу

1. 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.
2. Запустити електронні таблиці EXCEL.
3. Завантажити файл NLDistortion.xls, відкрити аркуш Data.
4. Переписати формули, за якими моделюються вхідний і вихідний сигнали.
5. Наступні шість пунктів повторювати тричі, для різних амплітуд вхідного сигналу (2; 1; 0.5).
6. Ввести амплітуду вхідного сигналу до комірки Input amplitude.
7. Відкрити аркуш Nonlinearity і змалювати графік нелінійної залежності між входом і виходом.
8. Відкрити аркуш Oscillogram і змалювати осцилограми вхідного и вихідного сигналів.
9. Відкрити аркуш Fourier і виконати перетворення Фурьє для вихідного сигналу, керуючись наведеними на листі підказками.
10. Відкрити аркуш Spectrum і змалювати графік частотного спектра вихідного сигналу.
11. Відкрити аркуш Nonlinear distortion і переписати амплітуди гармонійних складових і коефіцієнт нелінійності.
12. Побудувати графік залежності коефіцієнта нелінійних спотворень від амплітуди вхідного сигналу.
13. Оформити і здати звіт. Звіт повинен вміщувати прізвище студента, найменування курсу, заголовок роботи, вступ, цифрові дані та графіки, основні формули, висновки.

# СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 296 с.
2. Евстихеев Н.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 307 с.
3. Кривоносов А.И. Задачник по контрольно-измерительным приборам и автоматике. – М.: Агропромиздат, 1990. – 137 с.
4. Нечаев Г.К. Электрические измерения и автоматический контроль. – К.: ВШ, 1983. – 188 с.
5. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешности результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 367 с.
6. Пиотровский Я.И. Теория измерений для инженеров. – М.: Мир, 1989. – 456 с.
7. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація та управління якістю. – К.: Либідь, 1993. – 321 с.

Навчальне видання

МЕТРОЛОГІЯ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Методичні вказівки

до практичних робіт з курсу
для студентів спеціальності 7.092501
“Автоматизоване управління технологічними процесами і виробництвами”

###  Укладачі: ШИКАЛОВ Володимир Степанович

###  ІНОСОВ Сергій Вікторович

###  ВОЛЧКОВ Максим Володимирович

#