

**МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ЗВ'ЯЗКУ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С.ПОПОВА**

Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

**Модуль 2: “Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління
якістю”**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи № 8**

**«Оцінка невизначеності результатів вимірювання
фізичних величин»**

за напрямом вищої освіти

0924 – Телекомунікації, 0907 – Радіотехніка

Частина II

Одеса 2011

УКЛАДАЧІ:

Козаченко М.Т., Зіангірова Л.Т., Солодка В.І. (Лабораторна робота № 8)

Козаченко М.Т., Зіангірова Л.Т., Солодка В.І., Жмурко Ю.В.

(Індивідуальне завдання №8)

У методичних вказівках до лабораторної роботи та індивідуального завдання розглянуто основні типи невизначеності результатів вимірювання фізичних величин, методику оцінки невизначеності за типом А та за типом В. Показано основні поняття невизначеності, види невизначеності, типи невизначеності. Розглянута оцінка невизначеності результатів вимірювання фізичних величин при прямих та косвених вимірюваннях.

Вказівки розраховані на студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання.

ЗАТВЕРДЖЕНО
методичною радою академії зв'язку.
Протокол №8 від 11.02.11 р.

Загальна характеристика дисципліни

Дисципліна „Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю” (МСС та УЯ) включена до стандартів освіти (Наказ Міністерства освіти України № 1/9-39 від 05.10.99 р.) і забезпечує базову підготовку студентів напряму 0924 – “Телекомунікації”.

Дисципліна має 4 кредити ECTS, модулів – 2, змістових модулів – 6, загальна кількість годин – 144, у тому числі: лекції – 32 год.; лабораторні заняття – 16 год.; практичні заняття – 16 год.; самостійна робота – 80 год.; вид контролю – іспит.

Лабораторна робота «Оцінка невизначеності результатів вимірювання фізичних величин» входить до складу залікового модуля 2

Структура залікового модуля 2

Змістовий модуль	Лекції (годин)	Заняття		Самостійна робота (у тому числі ІНДЗ)
		практичні	лабораторні	
Модуль 2: Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю (2 кредити; 72 год.)				
1. Основи стандартизації	4	2	2	10
2. Управління якістю та елементи системи якості	4	2	2	10
3. Невизначеності результів вимірювання фізичних величин	4	2	2	10
4. Оцінка та підтвердження відповідності	4	2	2	10
Разом 2 модуль, год. 72	16	8	8	40

Зміст змістових модулів (лекційних годин):

2.1. Основи стандартизації.

Загальні відомості. Теоретичні основи стандартизації. Національна стандартизація України. Категорії і види нормативних документів. Організація робіт із стандартизації в Україні. Державний нагляд за додержанням стандартів норм та правил. Ефективність робіт із стандартизації. Міжнародна стандартизація. Засади прийняття та впровадження міжнародних стандартів в Україні.

2.2. Управління якістю та елементи системи якості.

Загальні положення. Показники якості продукції й методи їхнього визначення. Система загального управління якістю. Система якості й стандарти серії ISO 9000. Концепція системи якості послуг, телекомунікаційних послуг. Управління процесами надання послуги.

2.3. Невизначеності результатів вимірювання фізичних величин.

Дається нова концепція обробки результатів вимірювання. Основним в ній є:

– відмова від використання понять «похибки» і «дійсне значення вимірюваної величини» на користь понять «невизначеності» і «оцінки значення вимірюваної величини»

– перехід від класифікації похибок за природою їх виявлення на випадкові і систематичні до іншого поділу за способом оцінювання невизначеності вимірів (за типом А – методами математичної статистики і за типом В – з використанням характеристик вимірюваного об'єкта і ЗВТ), не ідентичних попередній класифікації.

2.4. Оцінка та підтвердження відповідності.

Оцінки відповідності. Загальні положення. Підтвердження відповідності в законодавчо-регульованій та нерегульованій сферах.

Технічний регламент модулів оцінки відповідності. Організація проведення робіт із сертифікації.

Організація діяльності випробувальних лабораторій (центрів).

Акредитація органів з оцінки відповідностей та випробувальних лабораторій.

Порядок проведення робіт з атестації виробництв та сертифікації систем якості.

Особливості сертифікації послуг зв'язку.

Міжнародне співвиробництво у сфері підтвердження відповідності.

Теми практичних занять модуля 2

	Тема	Годин
1	Використання рядів переважних чисел для визначення параметрів виробів. Вивчення системи штрихового кодування	2
2	Визначення показників рівня уніфікації конкретних виробів	2
3	Оцінка невизначеності результатів вимірювання фізичних величин.	2
4	Складання схеми сертифікації продукції залежно від обраної моделі та результатів виконання окремих етапів.	2
	Усього:	8

Таблиця – Перелік лабораторних робіт модуля 2

	Тема	Годин
1	Оцінка невизначеності результатів вимірювання фізичних величин.	4
2	Калібрування та повірка ЗВТ.	2
3	Елементи сертифікації засобів вимірювальної техніки.	2
	Усього:	8

Вхідні вимоги до вивчення даної лабораторної роботи:

– **знати** базові поняття невизначеності та їх класифікацію; засоби вимірювальної техніки та їх класифікацію; основи теорії ймовірностей; статистичну обробку результатів вимірювань з багаторазовими спостереженнями; невизначеність результатів вимірювань; типи обчислення невизначеності; порівняльну характеристику різних підходів до оцінки невизначеності вимірювань;

– **уміти** вимірювати параметри періодичних процесів; оброблювати результати вимірювань; обчислювати невизначеності результатів вимірювань; проводити обробку прямих та непрямих одноразових та багаторазових вимірювань.

Вихідні знання та уміння з лабораторної роботи:

Внаслідок виконання лабораторної роботи студент повинен:

– **знати** базові поняття невизначеності; нормовані метрологічні характеристики ЗВТ; поняття класу точності ЗВТ; систематизацію похибок ЗВТ; процедуру визначення оцінок основних числових характеристик ЗВТ; методи обробки результатів вимірювань та набути практичних навичок виконання метрологічної атестації ЗВТ на відповідність НТД;

– **уміти** провести випробування досліджуваного приладу на відповідність НТД та виконати обробку результатів випробування.

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Короткі теоретичні відомості про оцінку невизначеності результатів вимірювань фізичних величин.

Фізична величина (ФВ) [3] визначена як властивість, загальна в якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів (фізичних систем, їх стану і процесів, що відбуваються в них), але в кількісному відношенні індивідуальна для кожного об'єкта. Розмір ФВ є кількісним вмістом в даному об'єкті властивості, відповідної поняттю «фізична величина».

Одиниця ФВ – фізична величина певного розміру, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин [3]. Різні одиниці однієї і тієї ж величини розрізняють за розміром.

Розмір одиниці фізичної величини – кількісна характеристика одиниці, визначувана кількістю величини в одиниці вимірювання. Розмір основних одиниць встановлюється довільно і незалежно один від одного за визначеннями. Розмір похідної одиниці визначається характером залежності між величинами і розмірами одиниць і встановлюється з рівняння, що визначає цю одиницю з основних або інших похідних одиниць.

Розмірність ФВ – вираз, що показує зв'язок даної величини з фізичними величинами, покладеними в основу системи одиниць. Розмірність служить якісною характеристикою ФВ, записується у вигляді добутку символів (розмірностей) відповідних основним величинам, піднесеним до певних степенів, званих показниками розмірності. Чисельне значення показників розмірності визначається з рівнянь зв'язку похідних і основних ФВ. Величини, в які всі основні величини входять в степені рівної нулю, називаються *безрозмірними*.

Виміри, як експериментальні процеси, вельми всілякі. Це пояснюється безліччю експериментальних величин, різним характером виміру величин, різними вимогами точності виміру і ін.

Метою *виміру* є визначення значення вимірюваної величини, тобто значення певної величини, яку треба виміряти. Тому вимір починається відповідною специфікацією вимірюваної величини, методу виміру і вимірювальної процедури.

Найбільш поширеною є класифікація видів вимірів залежно від способу обробки експериментальних даних. Відповідно до цієї класифікації виміри діляться на прямі, непрямі, спільні і сукупні.

Прямий вимір – це вимір, при якому шукане значення фізичної величини знаходиться безпосередньо з дослідних даних в результаті порівняння вимірюваної величини з еталонами (вимір довжини лінійкою, вимір електричної напруги вольтметром).

Непрямий вимір – вимір, при якому шукане значення величини знаходиться на підставі відомої залежності між цією величиною і величинами, що піддаються прямим вимірам (наприклад, опір резистора знаходимо на

підставі закону Ома підстановкою значень струму і напруги, що дотримуються в результаті прямих вимірів.)

Спільний вимір – одночасний вимір декількох неоднойменних величин, при якому шукані значення величин знаходяться рішенням системи рівнянь, що складаються з результуючих прямих вимірів різних поєднань цих величин.

Сукупний вимір – одночасний вимір декількох однойменних величин, при якому шукані значення величин знаходяться рішенням системи рівнянь, що складаються з результуючих прямих вимірів різних поєднань цих величин.

У теперішній час оцінка якості виміру ФВ виробляється при використанні поняття «Невизначеність виміру». Слово «невизначеність» означає сумнів і, таким чином, в своєму найширшому значенні «невизначеність виміру» означає сумнів відносно достовірності результату виміру. У вузькому значенні невизначеність виміру – це параметр, пов'язаний з результатом виміру, який характеризує розсіювання значень, що могли б бути обгрунтовано привласнені вимірюваній величині.

Інакше кажучи, невизначеність вимірів розуміють як неповне знання про значення вимірюваної величини, і для кількісного виразу цієї неповноти використовують закон розподілу ймовірностей можливих (обгрунтовано привласнених) значень вимірюваної величини. Параметр цього розподілу (також званий – невизначеність) кількісно характеризує точність результату вимірів.

Ідейною основою заміни терміну «похибка» результату виміру на термін «невизначеність» є філософська передумова агностицизму про те, що дійсне значення непізнаване, і похибка, що базується на використанні дійсного значення вимірюваної величини, втрачає сенс.

Таким чином, у теперішній час стався відхід від розроблених методів оцінювання точності результатів виміру на основі розподілу похибок на випадкову і систематичну складову.

При класичному підході до оцінки точності вимірів як постулат приймалося, що:

- а) існує дійсне значення вимірюваної величини;
- б) дійсне значення визначити неможливо;
- в) дійсне значення — величина не випадкова.

У сучасних міжнародних і українських нормативних документах [1, 2, 3] дається нова концепція обробки результатів виміру ФВ. Основним в ній є:

– відмова від використання понять «похибка» і «дійсне значення вимірюваної величини» на користь понять «невизначеність» і «оцінене значення вимірюваної величини»

– перехід від класифікації похибок за природою їх прояви на випадковій і систематичній до іншого ділення за способом оцінювання невизначеності вимірів (за типом *A* – методами математичної статистики і за типом *B* – з використанням характеристик вимірюваного об'єкту і ЗВТ), не ідентичних попередній класифікації.

При оцінці невизначеності за типом *B* необхідно враховувати закони розподілу як основної так і додаткової похибки ЗВТ.

Розрізняють такі види невизначеності: стандартна, сумарна стандартна і розширена невизначеності.

Стандартна невизначеність (H): невизначеність результату вимірів, виражена у вигляді середнього квадратичного відхилення (СКВ); вона є основним кількісним виразом невизначеності вимірів.

Сумарна стандартна невизначеність (H_c): стандартна невизначеність результату вимірів, отриманого через значення інших величин, рівна позитивному квадратному кореню суми членів, причому члени є дисперсіями або коваріаціями цих інших величин, зваженими відповідно до того, як результат вимірів змінюється при зміні цих величин; вона є основним кількісним виразом невизначеності вимірів, при якому результат визначають через значення інших величин

Розширена невизначеність (H_p): величина, що визначає інтервал довкола результату вимірів, в межах якого, як можна чекати, знаходиться велика частина розподілу значень, які з достатньою підставою могли б бути привласнені вимірюваній величині.

У загальному вигляді вимірювану величину Y можна представити у вигляді:

$$Y=f(x_1, \dots, x_m), \quad (1)$$

де $x_1, \dots, x_m$ — вхідні величини (безпосередньо вимірювані або інші величини, що впливають на результат виміру);

m — число цих величин;

f — вигляд функційної залежності.

Розрізняють два типи обчислення стандартної невизначеності:

— обчислення за типом **A** — шляхом статистичного аналізу результатів вимірів;

— обчислення за типом **B** — з використанням інших способів.

Оцінка невизначеності результатів вимірів за типами **A** і **B** здійснюється як при прямому, так і при непрямому способах вимірів.

Обчислення невизначеностей за типом A

Вихідними даними для обчислення H_A за типом **A** є статистичний ряд вимірюваних вхідних величин : $\{x_q\}$ (де $q = 1, \dots, m$).

Стандартну невизначеність одиничного виміру q -ої вхідної величини H_{Aq} обчислюють за формулою:

$$H_{Aq}(x_{qi}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2}, \quad (2)$$

де $\bar{x}_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{iq}$ – середнє арифметичне результатів вимірів q -ої вхідної величини; n – число вимірів вхідної величини.

Стандартну невизначеність $H_A(x_q)$ вимірювань ряду вхідної величини $\{x_q\}$ (де $q = 1, \dots, m$) за яких результат визначають як середнє арифметичне, обчислюють за формулою:

$$H_A(x_q) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2}. \quad (3)$$

Сумарна стандартна невизначеність (H_{cA}) в разі некорельованих оцінок непрямих вимірів ФВ (x_l, x_m) визначається як

$$H_{cA}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m C_{x_q}^2 H_A^2(x_q)}. \quad (4)$$

де $C_{x_q} = \frac{\partial y}{\partial x_q}$ – коефіцієнт чутливості.

В разі прямих вимірювань сумарна стандартна невизначеність має вигляд

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

Для оцінки невизначеності результату непрямих вимірювань ФВ використовуються поняття *кореляція* і *коваріація* випадкових величин.

Кореляція і *коваріація* – це міра лінійної залежності двох величин. Кореляція і коваріація несуть одне і те ж значення, ці поняття показують, чи є лінійний взаємозв'язок між двома випадковими величинами, і можуть розглядатися як «двовимірна дисперсія». Проте, на відміну від коефіцієнта кореляції, який міняється від -1 до 1, коваріація не інваріантна відносно масштабу, тобто масштабу випадкових величин.

Знак коваріації вказує на вид лінійного зв'язку між даними величинами: якщо вона більше нуля – це означає прямий зв'язок (при зростанні однієї величини зростає і інша), коваріація менше нуля вказує на зворотний зв'язок. При коваріації, рівній 0, лінійний зв'язок між змінними відсутній.

В разі корельованих оцінок x_l, x_m сумарну стандартну невизначеність за типом A обчислюють за формулою:

$$H_{cA}(y) = \sqrt{\sum_{k=1}^m C_{x_k}^2 H_A^2(x_k) + \sum_{k=1}^m \sum_{q=1}^m C_{x_k} \cdot C_{x_q} \cdot r(x_k, x_q) H_A(x_k) \cdot H_A(x_q)}, \quad (5)$$

де $r(x_k, x_q)$ – коефіцієнт кореляції.

Коефіцієнт кореляції є мірою відносної взаємної залежності двох випадкових величин, рівної відношенню їх коваріацій до позитивного квадратного кореня з добутку їх дисперсій.

$$r(x_k, x_q) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k) \cdot \sum_{j=1}^n (x_{qj} - \bar{x}_q)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k)^2 \cdot \sum_{j=1}^n (x_{qj} - \bar{x}_q)^2}},$$

де $i, j = 1, 2, \dots, n$; $k, q = 1, 2, \dots, m$.

Для обчислення коефіцієнта кореляції $r(x_k, x_q)$ використовують погоджені пари вимірів (x_{kd}, x_{qd}) (де $d = 1, \dots, n_{kq}$; n_{kq} – число погоджених пар результатів вимірів).

Обчислення невизначеностей за типом В

Як вихідні дані для обчислення H_B використовують:

- дані передуючих вимірів величин, що входять в рівняння виміру; відомості про закон розподілу ймовірності;
- дані, засновані на досвіді дослідника або загальних знаннях про поведінку і властивості відповідних приладів і матеріалів;
- невизначеності констант і довідкових даних;
- дані повірки, калібрування, відомості виробника про прилад і т. п..

Для розрахунку *стандартної невизначеності* за типом В – $H_B(x_q)$, необхідно враховувати впливаючі чинники:

- 1) технічні характеристики приладу (межа основної відносної похибки, межа додаткової похибки приладу, резистивна вхідна складова опору приладу);
- 2) схему виміру (напруга на виході джерела з внутрішнім опором, межа виміру приладу);
- 3) умови вимірів (температуру навколишнього середовища, вологість, тиск і т.д.).

Також для розрахунку стандартної невизначеності необхідно враховувати функцію розподілу (прямокутна, трапецієвидна, трикутна) основної і додаткової похибки.

Наприклад формула розрахунку невизначеності результату виміру напруги вольтметром має вигляд:

$$H_B(U) = \sqrt{H_B^2(a) + \sum_{l=1}^L H_B^2(\xi_l)}, \quad (6)$$

де $l = 1, 2, 3, \dots, L$, a – основна похибка вольтметра, ξ – впливаючі чинники на результат вимірювання.

Сумарна стандартна невизначеність результату вимірювання напруги має вигляд:

$$H_{cB}(U) = \sqrt{H_{aB}^2(U) + H_{T^0B}^2(U) + H_B^2(\rho)}, \quad (7)$$

де $H_{aB}(U)$ – невизначеність, викликана основною похибкою вольтметра;

$H_{T^0B}(U)$ – невизначеність, викликана зміною температури;

$H_B(\rho)$ – стандартна невизначеність, викликана шунтуванням вихідного опору досліджуваного об'єкту вхідним опором ЗВТ.

Стандартну невизначеність, викликану основною похибкою вольтметра, обчислювану за типом B – $H_{aB}(U)$, визначають за формулами:

- для прямокутної (рівномірної) функції розподілу

$$H_{aB}(U) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

де a – основна похибка ЗВТ, виражена через клас точності приладу. Для інших функцій розподілу використовуються інші форми представлені в додатку А.

Невизначеність результату виміру, обумовлена шунтуванням опору джерела вхідним опором вольтметра R_{BX} . При цьому

$$U_V = U_{R_H} \frac{R_{BX}}{R_H + R_{BX}}, \quad (8)$$

де U_V – показання вольтметра; U_{R_H} – напруга на опорі навантаження.

Крім того, необхідно врахувати невизначеність вхідного опору H_{RBX} невизначеність опору навантаження H_{RH} . Так само необхідно визначити поправку (ρ):

$$\rho = -(U_V - U_H) = U_V \frac{R_H}{R_{BX}}, \quad (9)$$

Невизначеність виміру вносимої поправки (ρ), визначається вираженням:

$$H_B(\rho) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2}, \quad (10)$$

де коефіцієнти чутливості $C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U_V}{R_{BX}}$, $C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U_V \frac{R_H}{R_{BX}^2}$;

H_{R_H} – невизначеність опору навантаження і $H_{R_{BX}}$ – невизначеність вхідного опору. Оскільки значення опору навантаження і вхідного опору відомі приблизно і знаходяться, в межах деяких границь $[R_{min}; R_{max}]$, $[R_{BXmin}; R_{BXmax}]$, і

вважаючи всі значення опорів усередині відмічених границь рівноймовірними, оцінимо їх невизначеності як:

$$H_{R_H} = \frac{(R_{H\max} - R_{H\min})}{\sqrt{3}}$$

$$H_{R_H} = \frac{(R_{\text{вх max}} - R_{\text{вх min}})}{\sqrt{3}}$$

Для оцінки невизначеності H_{T^0B} , обумовленої відхиленням температури від нормальної $T_{\text{норм}} = 20^\circ\text{C}$ прийнято вважати, що межа додаткової похибки приладу, викликаної відхиленням температури навколишнього середовища ($T_{\text{навк.сер.}}$) від нормальної в межах робочої області температури, яка буде не більше за межу основної похибки на кожних 10°C зміни температури:

$$H_{T^0B} = \left(\frac{T_{\text{навк.сер.}} - T_{\text{норм}}}{10} \right) a. \quad (11)$$

Для цифрових приладів необхідно обчислити невизначеність квантування $H_{\text{кв} \cdot B}(U)$, яка визначається з границь похибки квантування ($\Delta_{\text{кв}}$) з урахуванням рівномірного закону розподілу:

$$H_{\text{кв} \cdot B}(U) = \frac{\Delta_{\text{кв}}}{\sqrt{3}}. \quad (12)$$

У розглянутому прикладі пропонується рівномірний розподіл ймовірності похибок ЗВТ, параметрів досліджуваного об'єкту.

Сумарна стандартна невизначеність $H_{\text{св}}$ при непрямих вимірах в разі некорельованих оцінок $x_1, \dots, x_m$ обчислюється за формулою:

$$H_{\text{св}}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_q} \right)^2 H_B^2(x_q)}, \quad (13)$$

де $H_B(x_q)$ – стандартна невизначеність результатів вимірювань q -й вхідної величини.

Результуючу стандартну невизначеність визначають за формулою:

$$H_{\Sigma}(y) = \sqrt{H_{\text{св}}^2(x) + H_{\text{св}}^2(x)} \quad (14)$$

Розширену невизначеність H_p отримують шляхом множення результуючої стандартної невизначеності результату виміру на коефіцієнт обхвату (k).

$$H_p = k \cdot H_\Sigma, \quad (15)$$

У загальному випадку коефіцієнт охопту k вибирають відповідно до виразу

$$k = t_p(v_{eff}) \quad (16)$$

де $t_p(v_{eff})$ – квантиль розподілу Стюдента з ефективним числом степенів свободи v_{eff} і довірчою ймовірністю (рівнем довіри) p . Значення коефіцієнта наведені в додатку Б.

Степінь свободи – це характеристика ФВ. Число степенів свободи визначає мінімальну кількість незалежних змінних, необхідних для повного опису досліджуваного процесу. Також число степенів свободи дорівнює повному числу незалежних чисел.

Ефективне число *степенів свободи для непрямих багатократних вимірів* визначають за формулою:

$$v_{eff} = \frac{H_c^4}{\sum_{q=1}^m \frac{H_{c(x_q)}^4}{v_q} \left(\frac{\partial f}{\partial x_q} \right)^4}, \quad (17)$$

де v_q – число степенів свободи при визначенні оцінки q -й вхідної величини; $v_q = n_q - 1$ – при обчисленні невизначеності за типом A .

Для прямих багаторазових вимірів $v_{eff} = n - 1$.

У багатьох практичних випадках при обчисленні невизначеностей результатів вимірів будують припущення про нормальність закону розподілу можливих значень вимірюваної величини і вважають:

$$k = 2 \text{ при } p \approx 0,95 \text{ і } k = 3 \text{ при } p \approx 0,99.$$

При припущенні про рівномірність закону розподілу вважають:

$$k = 1,65 \text{ при } p \approx 0,95 \text{ і } k = 1,71 \text{ при } p \approx 0,99.$$

При записі результату вимірів наводиться дійсне значення вимірюваної величини (y), результуюча сумарна невизначеність ($H_\Sigma(y)$), розширена невизначеність (H_p), ефективне число степенів свободи (v_{eff}) і довірна ймовірність (p_d).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Оцінка невизначеності результатів вимірювань фізичних величин

Частина 1. Оцінка невизначеності результатів прямих вимірювань напруги інформаційних сигналів.

1. Мета роботи

1.1. Вивчити основні види і типи невизначеностей результатів вимірювання фізичних величин, методику оцінки невизначеності за типами A і B .

1.2. Експериментально дати оцінку невизначеності результатів прямих вимірювань за результатом статистичного аналізу за типом A і за апіорними відомостях характеристик ЗВТ і об'єктів вимірювань за типом B .

1.3. Дати порівняльний аналіз оцінок невизначеності результатів вимірювань за типом A і за типом B .

2. Ключові положення

2.1 *Невизначеність вимірювань* – параметр, пов'язаний з результатом вимірювань і характеризуючи розсіювання значень, які могли б бути обгрунтовано привласнені вимірюваній величині.

Розрізняють такі види невизначеності:

- стандартна,
- сумарна стандартна,
- розширена.

2.2 Розрізняють два типа обчислення стандартної невизначеності:

- обчислення за типом A – шляхом статистичного аналізу результатів вимірювань;
- обчислення за типом B – з використанням апіорної інформації про вимірювану вхідну величину і характеристики ЗВТ.

У загальному вигляді вимірювану величину Y можна представити у виді (1).

2.3 Обчислення невизначеності за типом A . Ісходними даними для обчислення H_A є статистичний ряд вимірюваної вхідної величини: x_q . Далі обчислюють стандартну невизначеність одиноразових виміру q -й вхідної величини H_{Aq} (2) і стандартну невизначеність $H_A(x_q)$ вимірів ряду вхідної величини x_{qi} , де $i = 1, 2, \dots, n$ (3).

2.4 При оцінці невизначеності результату вимірювання за типом B користуємося формулами (6) (7) (8) (9) (10) (11).

Стандартну невизначеність $H_B(a, \xi)$ визначають за формулами функцій розподілу (прямокутна, трапецієвидна, трикутна) основної і додаткової похибки (додаток А), де a – визначається через клас точності приладу.

2.5 Результуючу стандартну невизначеність визначають за формулою (14).

2.6 Ефективне число степенів свободи визначається – $\nu_{eff} = n - 1$.

2.7 Розширену невизначеність (H_p) отримують шляхом множення результуючої стандартної невизначеності результату виміру на коефіцієнт охопту (k) (15).

3. Ключові питання

- 3.1. Що називають фізичною величиною?
- 3.2. Що називають розміром одиниці фізичної величини?
- 3.3. Що показує розмірність ФВ?
- 3.4. Які виміри називають прямими?
- 3.5. Що розуміють під невизначеністю вимірів?
- 3.6. У чому сутність концепції обробки результатів виміру з використанням невизначеності результату вимірів?
- 3.7. Що таке стандартна невизначеність результату вимірів?
- 3.8. Що таке сумарна стандартна невизначеність результату вимірів?
- 3.9. Що таке розширена невизначеність результату вимірів?

4. Домашнє завдання

- 4.1. Вивчити теоретичні відомості про оцінку невизначеності результатів виміру фізичних величин.
- 4.2. Розробити алгоритм оцінки невизначеності результату прямих вимірів за типом A .
- 4.3. Виробити розрахунок невизначеності результату виміру напруги за типом B (відповідно до варіанту). Додаток Г. Результати розрахунків занести в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок невизначеності напруги за типом B

U	$H_{aB}(U)$	$H_{T^0B}(U)$	$H_{R_{xx}B}(U)$	$H_{R_{II}B}(U)$	$H_{cB}(U)$

5. Лабораторне завдання

- 5.1. Проаналізувати умови виміру, технічні характеристики приладів, використовуваних при вимірі.
- 5.2. Виконати необхідні виміри напруги для здобуття статистичного ряду.
- 5.3. Результати вимірів напруги і оцінку їх невизначеності за типом A (результуюча невизначеність, ефективне число степенів свободи(ν_{eff}), коефіцієнт охопту (k) і розширена невизначеність (H_p)) записати в табл. 5.1.
- 5.4. Записати результат виміру напруги відповідно до стандарту.

Таблиця 5.1 – Результати статистичного аналізу вимірів

$\begin{matrix} n \\ \text{Параметри} \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U										
$\bar{U}$										
$H_A(U_i)$										
$H_A(U)$										
$H_B(U)$										
$H_\Sigma(U)$										
ν_{eff}										
k										
$H_p(U)$										

6. Протокол лабораторної роботи (№ ..назва...)

6.1. Мета лабораторної роботи.

6.2. Перелік використовуваної апаратури в табл.. 6.1.

Таблиця 6.1

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики			
			клас точності	діапазон виміру	частотний діапазон	

6.3. Схема виміру.

6.4. Результати лабораторної роботи.

6.5. Висновки.

Частина 2. Оцінка невизначеності результатів непрямих вимірів коефіцієнта амплітуди інформаційного сигналу.

1. Мета роботи

1.1. Вивчити основні типи невизначеностей результатів непрямих вимірів фізичних величин, методику оцінки невизначеностей за типами A і B .

1.2. За результатами експерименту дати оцінку невизначеності коефіцієнта амплітуди K_a за типами A і B (визначити стандартну, сумарну і розширену невизначеності).

2. Ключові положення

2.1 Вихідними даними для обчислення H_A за типом A є статистичні ряди вимірюваних вхідних величин: $\{x_q\}$ (де $q = 1, \dots, m$). Стандартна невизначеність за типом A непрямих вимірів ФВ визначається згідно виразам (2) і (3).

2.2 Сумарна стандартна невизначеність (H_{cA}) в разі некорельованих оцінок непрямих вимірів ФВ визначається за формулою (4).

2.3 Оцінка невизначеності непрямих вимірів за типом B (H_{Bc}) в разі некорельованих оцінок $x_1, \dots, x_m$ обчислюється за формулою (13).

2.4 В разі корельованих оцінок обчислення виконуються за формулою (5).

2.5 Результуючу стандартну невизначеність визначають через H_{cA} і H_{Bc} за формулою (14).

2.6 Розширену невизначеність H_p отримують шляхом множення результуючої стандартної невизначеності результату виміру на k (формула (15)), де k – коефіцієнт охопту (числовий коефіцієнт, використовуваний як множник при сумарній стандартній невизначеності для розрахунку розширеної невизначеності). Для цього визначаються коефіцієнт охопту k відповідно до виразу:

$$k = t_p(v_{eff}),$$

де v_{eff} – ефективне число степенів свободи, визначуване за формулою:

$$v_{eff} = \frac{H_c^4}{\sum_{q=1}^m \frac{H_{c(x_q)}^4}{v_q} \left(\frac{\partial f}{\partial x_q} \right)^4}.$$

3. Ключові питання

3.1. Які виміри називають непрямыми?

3.2. Що називають коефіцієнтом охопту і як він вибирається?

3.3. Як знаходиться ефективне число степенів свободи?

3.4. Що використовують як вихідні дані для обчислення стандартної

невизначеності за типом $B - H_B$?

3.5. Що використовують як вихідні дані для обчислення стандартної невизначеності за типом $A - H_A$?

3.6. Що називають кореляцією і коваріацією?

3.7. Що називають коефіцієнтом кореляції і як він розраховується?

4. Домашнє завдання

4.1. Вивчити теоретичні відомості про оцінку невизначеності результатів непрямих вимірів фізичних величин.

4.2. Вивчити методику оцінки невизначеності результату непрямих вимірів за типами A і B .

4.3. Записати алгоритм оцінювання невизначеності результату непрямих вимірів за типом A .

4.4. Привести алгоритм оцінювання і розрахунків невизначеності результату непрямих вимірів за типом B (відповідно до варіанту). Додаток Д. Результати розрахунків невизначеності записати в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 — Результат невизначеності коефіцієнта амплітуди $K_a = \frac{U_m}{U}$.

U_m	U	K_a	$H_B(U_m)$	$H_B(U)$	$H_{cB}(K_a)$

5. Лабораторне завдання

5.1. Проаналізувати умови виміру, технічні характеристики приладів, використовуваних при вимірі.

5.2. Виявити джерела невизначеності при вимірі ФВ, функційно залежної від двох вхідних величин.

5.3. Зробити багаторазові виміри вхідних величин функційно пов'язаних з вимірюваною ФВ.

5.4. Виконати необхідні розрахунки з оцінювання невизначеності багаторазових непрямих вимірів ФВ.

5.5. Результати багаторазових непрямих вимірів ФВ і оцінку невизначеності результатів виміру записати в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати аналізу вимірів невизначеності коефіцієнта амплітуди ($K_a = \frac{U_m}{U}$)

n Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_m										
U										
$\overline{U_m}$										
$\overline{U}$										
$H_A(\overline{U_m})$										
$H_A(\overline{U})$										
$\overline{K_a} = \frac{\overline{U_m}}{\overline{U}}$										
$r(K_a)$										
$H_{cA}(K_a)$ некорел.										
$H_{cA}(K_a)$ корел.										
ν_{eff}										
k										
$H_p(K_a)$										

6. Протокол лабораторної роботи (№ ..назва...)

6.1. Мета лабораторної роботи.

6.2. Перелік використовуваної апаратури в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики			
			клас точності	діапазон виміру	частотний діапазон	

6.3. Схема виміру.

6.4. Результати лабораторної роботи.

6.5. Висновки.

Індивідуальне завдання № 8

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

1. Мета роботи

1.1 Набути практичних навичок розрахунку невизначеності результату вимірів фізичних величин (ФВ).

1.2 Освоїти оцінку невизначеності прямих і непрямих багаторазових і одноразових вимірів фізичної величини за типами *A* і *B*.

2. Ключові положення

2.1. Основні терміни і визначення

Невизначеність виміру – це параметр, пов'язаний з результатом виміру, характеризуючий розсіювання значень, які могли б бути обґрунтовано привласнені вимірюваній величині.

Розрізняють наступні види невизначеності: стандартна, сумарна стандартна і розширена невизначеності.

Стандартна невизначеність (H): невизначеність результату вимірів, виражена у вигляді середнього квадратичного відхилення (СКВ); вона є основним кількісним виразом невизначеності вимірів.

Сумарна стандартна невизначеність (H_c): стандартна невизначеність результату вимірів, отриманого через значення інших величин, рівна позитивному квадратному корню суми членів, причому члени є дисперсіями або коваріаціями цих інших величин, зваженими відповідно до того, як результат вимірів змінюється при зміні цих величин; вона є основним кількісним виразом невизначеності вимірів, при якому результат визначають через значення інших величин

Розширена невизначеність (H_p): величина, що визначає інтервал довкола результату вимірів, в межах якого, як можна чекати, знаходиться велика частина розподілу значень, які з достатньою підставою могли б бути привласнені вимірюваній величині.

Розрізняють двох типів обчислення стандартної невизначеності:

– обчислення за типом *A* – шляхом статистичного аналізу результатів вимірів;

– обчислення за типом *B* – з використанням інших способів.

Оцінка невизначеності результатів вимірів за типами *A* і *B* здійснюється як при прямому так і при непрямому способах вимірів.

2.2 *Оцінка невизначеності результатів виміру фізичних величин при прямих вимірах ФВ:*

Оцінка невизначеності результату виміру за типом A.

Вихідними даними для обчислення H_A є статистичний ряд вимірюваних вхідних величин: x_i (де $i = 1, 2, \dots, n$). Стандартна невизначеність одиничного виміру q -ї вхідної величини H_{Aq} визначається:

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

Стандартна невизначеність $H_A(x)$ вимірів всього ряду вхідної величини дорівнює

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

Сумарна стандартна невизначеність (H_{cA}) у випадку в разі прямих вимірів визначається:

$$H_{cA}(x) = H_A(x) \quad (3)$$

Оцінка невизначеність результату виміру за типом B

Стандартна невизначеність результату виміру за типом B:

$$H_B(x) = \sqrt{H_B^2(a) + \sum_{l=1}^L H_B^2(\xi_l)}, \quad (4)$$

де $l = 1, 2, 3 \dots L$, a – основна похибка, ξ – впливаючі чинники на результат виміру.

Тут $H_B(a)$ – стандартна невизначеність викликана зміною основній похибки ЗВ; $H_B(\xi_l)$ – стандартні невизначеності тих факторів, які впливають на результат виміру ФВ.

Для аналогових ЗВТ невизначеність обчислюється відповідно з формули:

$$H_B(\xi_l) = H_{T,B}(x) + H_{\rho,B}(x) \quad (5)$$

де $H_{T^0,B}(x)$ – стандартна невизначеність викликана зміною температури T^0 ; $H_{\rho,B}(x)$ – стандартна невизначеність, викликана шунтуванням вихідного опору досліджуваного об'єкту вхідним опором ЗВТ. Для цифрових ЗВТ необхідно також врахувати невизначеність, що виникає при квантуванні аналогового сигналу.

Стандартну невизначеність $H_{aB}(x)$, визначають за формулами залежно від функції розподілу основної похибки (додатку А):

– для прямокутної (рівномірною) функції розподілу:

$$H_{aB}(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

де a – основна похибка, обумовлена класом точності приладу.

Для оцінки невизначеності H_{T^0B} , обумовленої відхиленням температури від нормальної $T_{\text{норм}} = 20^\circ\text{C}$ прийнято вважати, що межа додаткової похибки приладу, викликаної відхиленням температури навколишнього середовища ($T_{\text{навк.сер.}}$) від нормальної в межах робочої області температури, яка буде не більше за межу основної похибки на кожних 10°C зміни температури тобто:

$$H_{T^0B} = \left(\frac{T_{\text{навк.сер.}} - T_{\text{норм}}}{10} \right) a. \quad (7)$$

Невизначеність $H_B(\rho)$ визначається виразом:

$$H_B(\rho) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2}, \quad (8)$$

де коефіцієнти чутливості $C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U_V}{R_{BX}}$, $C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U_V \frac{R_H}{R_{BX}^2}$;

H_{R_H} – невизначеність опору навантаження і $H_{R_{BX}}$ – невизначеність вхідного опору. Оскільки значення опору навантаження і вхідного опору відомі приблизно і знаходиться в межах деяких границь $[R_{\min}; R_{\max}]$, $[R_{\text{вх}\min}; R_{\text{вх}\max}]$, а також вважаючи всі значення опорів усередині відмічених границь рівноймовірними, оцінімо їх невизначеності як:

$$H_{R_H} = \frac{(R_{H\max} - R_{H\min})}{\sqrt{3}}$$

$$H_{R_{BX}} = \frac{(R_{\text{вх}\max} - R_{\text{вх}\min})}{\sqrt{3}}$$

Для прямих вимірювань сумарна стандартна невизначеність за типом B дорівнює стандартній невизначеності за типом B :

$$H_B(x) = H_{cB}(x) \quad (9)$$

Результуючу стандартну невизначеність визначають за формулою:

$$H_\Sigma(x) = \sqrt{H_{cA}^2(x) + H_{cB}^2(x)} \quad (10)$$

2.3 Оцінка невизначеності результатів непрямих виміри ФВ:

У загальному вигляді вимірювана величина Y визначається:

$$Y=f(x_1,\dots,x_m)$$

Вихідними даними для обчислення H_A за типом A є статистичний ряд вимірюваних вхідних величин: $\{x_q\}$ (де $q = 1, \dots, m$). Стандартна невизначеність за типом A непрямих вимірів ФВ визначається згідно виразом:

$$H_{Aq}(x_{qi}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2} \quad (11)$$

$$H_A(x_q) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2} \quad (12)$$

Сумарна стандартна невизначеність (H_{cA}) в разі *некорельованих* оцінок непрямих вимірів ФВ визначається формулою:

$$H_{cA}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m C_{x_q}^2 H_A^2(x_q)} \quad (13)$$

де $C_{x_q} = \frac{\partial y}{\partial x_q}$ – коефіцієнт чутливості.

Оцінка сумарної стандартної невизначеності непрямих вимірів за типом B (H_{cB}) в разі *некорельованих* оцінок $x_1, \dots, x_m$ обчислюється за формулою:

$$H_{cB}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_q} \right)^2 H_B^2(x_q)}, \quad (14)$$

де $H_B(x_q)$ – стандартна невизначеність результатів вимірів q -ої вхідної величини.

Результуючу стандартну невизначеність визначають через H_{cA} і H_{cB} за формулою:

$$H_{\Sigma}(y) = \sqrt{H_{cA}^2(x) + H_{cB}^2(x)}. \quad (15)$$

Розширену невизначеність H_p при заданій ймовірності p і відомому законі розподілу визначають таким чином:

$$H_p = k \cdot H_\Sigma \quad (16)$$

де k – коефіцієнта охопту. Відповідно до рекомендацій ДСТУ [2] і припущенні про нормальність закону розподілу значень вимірюваної величини приймаємо k :

$$k = f(t_p, p_\delta)$$

де t_p – коефіцієнт Стюдента,

p_δ – довірча ймовірність.

3. Приклад рішення завдання

Розрахунок невизначеності для коефіцієнта амплітуди K_a .

Таблиця 1 — Умова завдання

№ варіанта	Найменування вхідних величин	n - (кількість вимірів)										Формула вимірювання	T^0 окр. ср.	Довірча ймовірність (p_d)	Функція розподілу	Форма сигналу	$R_{н, кОм}$
z	U_m , В	8,10	8,20	8,15	8,10	8,00	8,15	7,90	8,00	8,10	8,00	$K_a = \frac{U_m}{U}$	21	0,95	Прямокутна		10±5%
	U , В	8,15	8,00	7,90	8,00	8,10	8,00	8,20	8,10	8,15	8,10						

Таблиця 2 — Метрологічні характеристики приладу

№ варіанта	Найменування ЗВТ	Тип приладу	Метрологічні характеристики		
			клас точність (основна допустима похибка)	$R_{вх}$	граничне значення
z	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	10В
	Вольтметр СКЗ	В3-42	4	10МОм±5%	10В

Рішення

1. Визначаємо середнє арифметичне значення пікового значення напруги:

$$\bar{U}_m = U_{\text{ср}} = \frac{U_{m1} + U_{m2} + \dots + U_{mn}}{n} = 8,07\text{В}$$

Визначаємо середнє арифметичне значення середньоквадратичне значення напруги:

$$\bar{U} = U_{\text{ср}} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} = 8,07\text{В}$$

Обчислення неопределенностей K_a за типом A

2. Визначимо стандартну невизначеність одиничного виміру пікового значення (ПЗ) напруги $H_A(U_m)$

$$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{9} 0,0825} = 0,096\text{В}$$

Так само розрахуємо стандартну невизначеність одиничного виміру середньоквадратичного значення (СКЗ) напруги $H_A(U)$

$$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = \sqrt{\frac{1}{9} 0,0825} = 0,096\text{В}$$

3. Визначимо стандартну невизначеність вимірів ряду ПЗ і СКЗ $H_A(U_m)$ і $H_A(U)$:

$$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{90} 0,0825} = 0,03\text{В}$$

$$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = \sqrt{\frac{1}{90} 0,0825} = 0,03\text{В}$$

4. Визначимо сумарну стандартну невизначеність $H_{\text{сА}}(K_a)$ в разі некорельованих оцінок непрямих вимірів

$$H_{\text{сА}}(K_a) = \sqrt{\sum_{q=1}^m C_{K_a}^2 H_A^2(K_a)}$$

де $C_U = \frac{\partial K_a}{\partial U}$ і $C_{U_m} = \frac{\partial K_a}{\partial U_m}$ коефіцієнт чутливості.

$$C_U = \frac{\partial K_a}{\partial U} = \frac{1}{U_m} (U)' = -\frac{U_m}{U^2};$$

$$C_{U_m} = \frac{\partial K_a}{\partial U_m} = \frac{1}{U} (U_m)' = \frac{1}{U};$$

$$H_{cA}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_U^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_U^2} = 0,017$$

Обчислення неопределенностей K_a за типом **B**

Для розрахунку стандартної невизначеності за типом **B** – $H_B(K_a)$, необхідно враховувати впливаючі чинники:

1) технічні характеристики приладу (межа основної відносної похибки, межа додаткової похибки приладу, резистивна вхідна складова опору приладу)

2) схему виміру (напруга на виході джерела з внутрішнім опором, границі виміру приладу)

3) умови вимірів (температура навколишнє середовище, вологість, тиск і т. д.).

Також для розрахунку стандартної невизначеності необхідно враховувати прямокутну функцію розподілу.

5. Визначимо стандартну невизначеність для кожної напруги $U_m = 8,10\text{В}$ і $U = 8,15\text{В}$ окремо, із заданою функцією розподілу (див. таб.2). Оскільки у варіанті z вольтметри В7-26 і В3-42 мають однаковий клас точності і однакову границю виміру, то H_{aB} рівні.

$$H_{aB}(U) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

де a – границя основної допустимої похибки, отримана з класу точності приладу. Оскільки в прикладі z клас точності позначається просто числом 4,0 – це означає, що нормується граничне значення приведеної похибки $\gamma_{\text{пред}} = 4\%$. Приведена похибка це відношення абсолютної похибки до нормуючого значення:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%.$$

Як нормуюче значення (X_N) приймаємо границі виміру використовуваного вольтметра.

Визначимо абсолютну похибку: $\Delta = 0,4\text{В}$, тобто $a = 0,4\text{В}$.

$$H_{aB}(U) = H_{aB}(U_m) = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23\text{В}$$

6. Далі враховуємо невизначеність, обумовлену відхиленням температури від нормальної $T_{\text{норм}} = 20^\circ\text{С}$.

$$H_{T^0B} = \left(\frac{T_{\text{навк.ср.}} - T_{\text{норм}}}{10} \right) a = \left(\frac{21 - 20}{10} \right) 0,4 = 0,04\text{В}$$

7. Визначимо невизначеність виміру вносиму поправкою (ρ):

$$H_B(\rho) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2}$$

де коефіцієнти чутливості $C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U_V}{R_{BX}}$, $C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U_V \frac{R_H}{R_{BX}^2}$.

Розрахунок для 1-ої точки в ряду, виділеної курсивом в табл.1 U_m :

$$C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U_m}{R_{BX}} = 0,81 \cdot 10^{-6} \text{ В/Ом};$$

$$C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U_m \frac{R_H}{R_{BX}^2} = 8,1 \cdot 10^{-10} \text{ В/Ом}.$$

Розрахунок для 1-ої точки в ряду, виділеної курсивом в табл.1 U :

$$C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U}{R_{BX}} = 0,815 \cdot 10^{-6} \text{ В/Ом};$$

$$C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U \frac{R_H}{R_{BX}^2} = 8,15 \cdot 10^{-10} \text{ В/Ом}.$$

Оскільки значення опору навантаження і вхідного опору відомі приблизно і знаходиться, в межах деяких границь $[R_{\min}; R_{\max}]$, $[R_{\text{BXmin}}; R_{\text{BXmax}}]$, а також вважаючи всі значення опорів усередині відмічених границь рівноймовірними, оцінимо їх невизначеності як:

$$H(R_H) = \frac{R_{H\max} - R_{H\min}}{\sqrt{3}} = 0,58\text{МОм}$$

$$H(R_{\text{BX}}) = \frac{R_{\text{BXmax}} - R_{\text{BXmin}}}{\sqrt{3}} = 0,58\text{кОм}$$

$$H_B(\rho_{U_m}) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2} = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ В};$$

$$H_B(\rho_U) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2} = 0,46 \cdot 10^{-6} \text{ В}.$$

8. Визначимо сумарну стандартну невизначеність:

$$H_{cB}(U) = \sqrt{H_{aB}^2(U) + H_{T^0_B}^2(U) + H_B^2(\rho)} = 0,48 \text{ В},$$

$$H_{cB}(U_m) = \sqrt{H_{aB}^2(U) + H_{T^0_B}^2(U) + H_B^2(\rho)} = 0,48 \text{ В}.$$

9. Визначимо сумарну стандартну невизначеність H_{cB} при непрямих вимірах:

$$H_{cB}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = 0,082.$$

10. Визначимо результуючу стандартну невизначеність:

$$H_{\Sigma}(K_a) = \sqrt{H_{cA}^2(K_a) + H_{cB}^2(K_a)} = 0,084$$

11. Розширену невизначеність H_p при заданій ймовірності p і відомому законі розподілу визначають таким чином:

$$H_p = k \cdot H_{\Sigma} = 0,18$$

де k – коефіцієнта охопту. Відповідно до рекомендацій ДСТУ і припущенні про нормальність закону розподілу значень вимірюваної величини приймаємо k . При $p_d = 0,95$, $k = 2,228$ (додаток Б).

12. Результат вимірів коефіцієнта амплітуди K_a отримуємо з формули:

$$K_a = \frac{\overline{U_m}}{\overline{U}} = \frac{8,07}{8,07} = 1$$

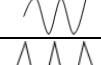
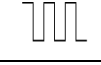
Всі результати вносимо в таблицю 3.

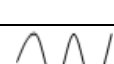
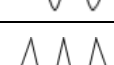
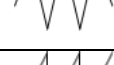
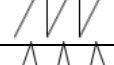
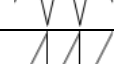
Таблиця 3 – Рішення прикладу

1	$\bar{U}_m = U_{mcp} = \frac{U_{m1} + U_{m2} + \dots + U_{mn}}{n} = 8,07 \text{ В}$
2	$\bar{U} = U_{cp} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} = 8,07 \text{ В}$
3	$K_a = \frac{\bar{U}_m}{\bar{U}} = \frac{8,07}{8,07} = 1$
4	$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = 0,096 \text{ В}$
5	$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = 0,096 \text{ В}$
6	$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = 0,03 \text{ В}$
7	$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = 0,03 \text{ В}$
8	$H_{cA}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_U^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_U^2} = 0,017$
9	$H_{aB}(U) = H_{aB}(U_m) = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23 \text{ В}$
10	$H_{TB}^0 = ((T_{окp.cp} - T_{норM})/10) \Delta = 0,04 \text{ В}$
11	$H_B(\rho_{U_m}) = \sqrt{C_{RH}^2 H_{RH}^2 + C_{RBX}^2 H_{RBX}^2} = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ В}$
12	$H_B(\rho_U) = \sqrt{C_{RH}^2 H_{RH}^2 + C_{RBX}^2 H_{RBX}^2} = 0,46 \cdot 10^{-6} \text{ В}$
13	$H_{cB}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = 0,082$
14	$H_{\Sigma}(K_a) = \sqrt{H_{cA}^2(K_a) + H_{cB}^2(K_a)} = 0,084$
15	$H_p = k \cdot H_{\Sigma} = 0,18$
16	$K_a = 1, H_{cA}(K_a) = 0,017, H_{cB}(K_a) = 0,082, H_{\Sigma}(K_a) = 0,084, k = 2,228, P_o = 0,95, H_p = 0,18$

Варіанти індивідуальних завдань

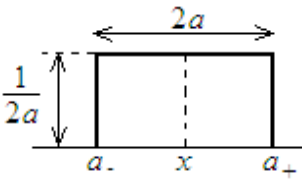
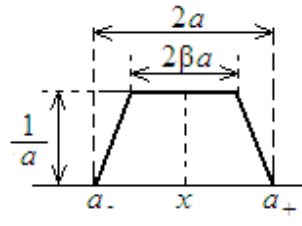
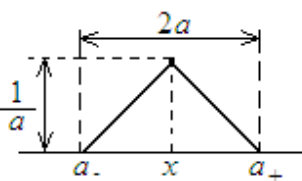
Таблиця 1 – Варіанти завдань

№ варіанта	Найменування вхідних величин	<i>n</i> - (кількість вимірів)										Формула вимірювання	T^0 навк.сер.	Довіря ймовірність (ρ_d)	Функція розподілу	Форма сигнала	R_n , кОм
1	U_m , В	18,3	18,4	18,0	17,9	18,1	18,8	18,7	18,2	18,4	18,2	$K_a = \frac{U_m}{U}$	25	0,9	Трапецієвидна		10±5%
	U , В	13,0	13,2	13,1	12,8	12,9	13,3	12,9	12,8	13,1	12,9						
2	U , В	220	218	222	225	219	215	220	217	219	221	$P = \frac{U^2}{R}$	23	0,95	Прямокутна	----	10±5%
	R ,кОм	11	12	10	11	9	9	10	10	9	9						
3	U_5 , В	3,0	3,1	3,2	2,9	2,8	3,1	3,2	2,9	2,8	3,0	$K_{r5} = \frac{U_5}{U_1}$	21	0,95	Трикутна		10±5%
	U_1 , В	15,00	15,50	16,00	14,5	14,00	15,50	16,00	14,5	14,00	15,00						
4	U_m , В	25,0	24,8	25,3	25,1	25,0	24,9	25,2	25,4	25,1	25,2	$K_y = \frac{U_m}{U_{свз}}$	21	0,95	Трикутна		10±5%
	$U_{свз}$, В	12,5	12,4	12,3	12,6	12,5	12,5	12,6	12,7	12,4	12,5						
5	$U_{свз}$, В	3,10	2,80	2,90	3,10	3,20	3,00	3,10	2,90	3,20	3,10	$K_{отк} = \frac{2U_m}{h}$	26	0,95	Прямокутна		10±5%
	h , дел.	3,40	3,35	3,30	3,40	3,50	3,45	3,40	3,35	3,50	3,45						
6	U , В	7,00	7,10	7,30	7,20	7,10	6,90	7,20	7,10	7,00	7,10	$K_\phi = \frac{U}{U_{свз}}$	25	0,99	Прямокутна		10±5%
	$U_{свз}$, В	6,30	6,20	6,40	6,50	6,60	6,50	6,60	6,40	6,30	6,20						
7	f , Гц	601	604	603	600	602	604	601	603	604	600	f , Гц	21	0,90	Прямокутна		10±5%
8	T ,мс	0,497	0,502	0,501	0,498	0,505	0,490	0,500	0,497	0,501	0,502	$K_p = \frac{T}{l}$	25	0,90	Трикутна		10±5%
	l , дел.	4,4	4,5	4,6	4,3	4,5	4,2	4,4	4,3	4,4	4,5						
9	U_m , В	6,00	5,90	6,10	5,80	6,00	6,20	6,00	5,90	6,00	6,10	U_m , В	21	0,98	Трапецієвидна		10±5%
10	U_m , В	1,40	1,30	1,50	1,40	1,60	1,40	1,50	1,30	1,20	1,40	$K_a = \frac{U_m}{U}$	24	0,99	Прямокутна		10±5%
	U , В	0,70	0,60	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	0,70	0,80	0,80						
11	U_m , В	1,83	1,90	1,76	1,69	1,90	1,76	1,83	1,76	1,90	1,83	$K_{отк} = \frac{2U_m}{h}$	21	0,99	Трапецієвидна		10±5%
	h , дел.	2,2	2,3	2,15	2,1	2,3	2,15	2,2	2,15	2,3	2,2						
12	U_3 , В	8,58	8,57	8,59	8,56	8,60	8,57	8,59	8,56	8,60	8,58	$K_{r3} = \frac{U_3}{U_1}$	26	0,98	Прямокутна		10±5%
	U_1 , В	26,00	25,97	26,03	25,94	26,06	25,97	26,03	25,94	26,06	26,00						
13	U , В	15,00	14,90	14,80	14,60	14,60	15,10	14,70	14,70	14,90	14,70	$K_\phi = \frac{U}{U_{свз}}$	22	0,95	Трикутна		10±5%
	$U_{свз}$, В	14,20	14,00	13,90	14,10	14,10	14,00	13,90	14,10	14,30	13,80						
14	T , мс	1,680	1,674	1,679	1,674	1,675	1,682	1,680	1,680	1,674	1,682	T , мс	24	0,99	Трикутна		10±5%
15	U_m , В	0,80	0,70	0,90	0,60	1,00	0,90	0,80	0,70	1,00	0,60	$K_y = \frac{U_m}{U_{свз}}$	24	0,9	Трапецієвидна		10±5%
	$U_{свз}$, В	0,70	0,60	0,90	0,70	0,60	0,80	0,70	0,50	0,70	0,80						

16	$T_{\text{мкс}}$	0,201	0,199	0,204	0,205	0,196	0,204	0,205	0,196	0,201	0,199	$K_p = \frac{T}{l}$	24	0,90	Трикутна		10±5%
	$l, \text{ дел.}$	4,8	4,7	4,9	5,0	4,6	4,9	5,0	4,6	4,8	4,7						
17	$Um, \text{ В}$	2,50	2,45	2,50	2,50	2,50	2,40	2,50	2,45	2,50	2,40	$K_y = \frac{U_m}{U_{\text{свз}}}$	26	0,99	Прямокутна		10±5%
	$U_{\text{свз}}, \text{ В}$	1,20	1,25	1,25	1,26	1,25	1,25	1,25	1,30	1,20	1,25						
18	$U_m, \text{ В}$	7,33	6,90	7,05	5,92	6,35	7,05	5,92	6,35	7,33	6,90	$K_{\text{отк}} = \frac{U_m}{h/2}$	22	0,99	Трикутна		10±5%
	$h, \text{ дел.}$	2,4	2,2	2,3	2,0	2,1	2,3	2,0	2,1	2,4	2,2						
19	$U, \text{ В}$	5,00	4,90	4,80	4,60	4,60	5,10	4,70	4,70	4,90	4,70	$K_\phi = \frac{U}{U_{\text{свз}}}$	22	0,95	Трикутна		10±5%
	$U_{\text{свз}}, \text{ В}$	4,20	4,00	3,90	4,10	4,10	4,00	4,20	4,10	4,30	4,10						
20	$U_5, \text{ В}$	0,20	0,25	0,15	0,30	0,10	0,15	0,30	0,10	0,20	0,25	$K_{15} = \frac{U_5}{U_1}$	24	0,98	Прямокутна		10±5%
	$U_l, \text{ В}$	5,00	6,25	3,75	7,50	2,50	3,75	7,50	2,50	5,00	6,25						
21	$U_{\text{свз}}, \text{ В}$	0,40	0,42	0,41	0,40	0,38	0,39	0,40	0,42	0,38	0,40	$U_{\text{свз}}, \text{ В}$	25	0,9	Трикутна		10±5%
22	$Um, \text{ В}$	2,70	2,60	2,40	2,40	2,50	2,50	2,80	2,60	2,70	2,80	$K_y = \frac{U_m}{U_{\text{свз}}}$	22	0,99	Прямокутна		10±5%
	$U_{\text{свз}}, \text{ В}$	1,60	1,70	1,80	1,50	1,70	1,70	1,80	1,60	1,90	1,70						
23	$T, \text{ мс}$	0,031	0,0306	0,0315	0,0321	0,0326	0,0315	0,0321	0,0326	0,0311	0,0306	$K_p = \frac{T}{l}$	26	0,95	Прямокутна		10±5%
	$l, \text{ дел.}$	5,9	5,8	6,0	6,1	6,2	6,0	6,1	6,2	5,9	5,8						
24	$U_3, \text{ В}$	0,77	0,78	0,76	0,79	0,75	0,76	0,79	0,75	0,77	0,78	$K_{13} = \frac{U_3}{U_1}$	25	0,90	Трапеціє- видна		10±5%
	$U_l, \text{ В}$	7,00	7,09	6,91	7,18	6,82	6,91	7,18	6,82	7,00	7,09						
25	$Um, \text{ В}$	14,0	13,0	15,0	14,0	16,0	14,0	15,0	13,0	12,0	14,0	$K_a = \frac{U_m}{U}$	21	0,99	Трапецієвид- на		10±5%
	$U, \text{ В}$	7,00	6,00	8,00	9,00	10,0	8,00	9,00	7,00	8,00	8,00						
26	$U, \text{ В}$	1,50	1,30	1,70	1,60	1,50	1,40	1,50	1,60	1,40	1,50	$U, \text{ В}$	26	0,99	Трапеціє- видна		10±5%
27	$U_m, \text{ В}$	0,63	0,62	0,65	0,64	0,63	0,65	0,62	0,63	0,64	0,62	$K_{\text{отк}} = \frac{U_m}{h/2}$	22	0,98	Трапецієви- дна		10±5%
	$h, \text{ дел.}$	5,30	5,20	5,40	5,40	5,30	5,00	5,20	5,30	5,40	5,20						
28	$T, \text{ мс}$	2,471	2,527	2,501	2,465	2,473	2,509	2,485	2,512	2,525	2,528	$K_p = \frac{T}{l}$	23	0,95	Прямокутна		10±5%
	$l, \text{ дел.}$	4,6	4,8	4,7	4,5	4,6	4,7	4,6	4,7	4,8	4,8						
29	$U, \text{ В}$	2,40	2,50	2,70	2,60	2,40	2,30	2,60	2,50	2,70	2,30	$K_\phi = \frac{U}{U_{\text{свз}}}$	26	0,98	Трапецієви- дна		10±5%
	$U_{\text{свз}}, \text{ В}$	2,20	2,40	2,50	2,30	2,20	2,60	2,40	2,30	2,60	2,50						
z	$Um, \text{ В}$	8,10	8,20	8,15	8,10	8,00	8,15	7,90	8,00	8,10	8,00	$K_a = \frac{U_m}{U}$	21	0,95	Прямокутна		10±5%
	$U, \text{ В}$	8,15	8,00	7,90	8,00	8,10	8,00	8,20	8,10	8,15	8,10						

Додаток А

Таблиця А.1 – Види функцій розподілів основної похибки

Вид функції розподілу	Формули для розрахунку стандартної невизначеності за типом В	Випадки вживання
Прямокутна 	$H_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$	У документації вказані граничні межі вхідної величини a_+, a_- або максимальне значення діапазону ($\pm a$) без вказівки закону розподілу і довірчої ймовірності.
Трапецієвидна 	$H_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{6}} \cdot \sqrt{1 + \beta^2} = \frac{a}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{1 + \beta^2},$ де $0 < \beta < 1$	1. У документації вказані максимальні значення діапазону ($\pm a$) симетричного розподілу (без вказівки довірчої ймовірності), в якого значення вхідної величини біля меж менш ймовірні, ніж ті, які знаходяться біля центра. 2. Коли вхідна величина може бути сумою або різницею двох величин, розподілених рівноймовірно з різними значеннями діапазонів.
Трикутна 	$H_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{6}} = \frac{a}{\sqrt{6}}$	1. Граничний випадок трапецієвидного розподілу при $\beta=0$. 2. Коли вхідна величина може бути сумою або різницею двох величин, розподілених рівноймовірно з однаковими значеннями діапазонів.

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Розподіл Стюдента для визначення параметра (коефіцієнта) t_p

ν	p				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,314	12,706	31,821	63,657	636,62
2	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,597
11	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646

Додаток В

Таблиця В.1 – Метрологічні характеристики приладів для індивідуального завдання за варіантами.

№ варіанта	Найменування ЗВТ	Тип приладу	Метрологічні характеристики		
			клас точність (основна допустима похибка)	$R_{вх}$	граничне значення
1	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	$10MOM \pm 5\%$	30В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-20	1,5	$10MOM \pm 5\%$	30В
2	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10MOM \pm 5\%$	300В
	Омметр	В7-26	2,5	$10MOM \pm 5\%$	200кОм
3	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	$10MOM \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10MOM \pm 5\%$	30В
4	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	$10MOM \pm 5\%$	30В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	$10MOM \pm 5\%$	30В
5	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10MOM \pm 5\%$	3В
	Осцилограф	С1-65	6	$10MOM \pm 10\%$	$h = 6$ поділ
6	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10MOM \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-39	4	$10MOM \pm 5\%$	10В
7	Частотомір	ЧЗ-35	Відносна похибка 10^{-8}	$10MOM \pm 5\%$	1кГц
8	Частотомір	ЧЗ-35А	Відносна похибка 10^{-7}	$10MOM \pm 5\%$	1мс
	Осцилограф	С1-65А	6	$10MOM \pm 10\%$	$l = 10$ поділ
9	Вольтметр (ПЗ)	В4-14	6	$10MOM \pm 5\%$	10В
10	Вольтметр (ПЗ)	В4-14	6	$10MOM \pm 5\%$	3В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-45	4	$10MOM \pm 5\%$	3В
11	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	$10MOM \pm 5\%$	3В
	Осцилограф	С1-72	6	$10MOM \pm 10\%$	$h = 6$ поділ
12	Вольтметр (ПЗ)	ВК7-15	6	$10MOM \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10MOM \pm 5\%$	30В
13	Вольтметр (СКЗ)	В3-53	2,5	$10MOM \pm 5\%$	30В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-33	2,5	$10MOM \pm 5\%$	30В
14	Частотомір	ЧЗ-35А	Відносна похибка 10^{-7}	$10MOM \pm 5\%$	10мс
15	Вольтметр (ПЗ)	В4-18	6	$10MOM \pm 5\%$	1В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10MOM \pm 5\%$	1В
16	Частотомір	ЧЗ-35	Відносна похибка 10^{-8}	$10MOM \pm 5\%$	1мс
	Осцилограф	С1-49	5	$10MOM \pm 10\%$	$l = 10$ поділ

17	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	3В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	10МОм±5%	3В
18	Вольтметр (ПЗ)	В4-14	6	10МОм±5%	10В
	Осцилограф	С1-72	6	10МОм±10%	$h = 6$ поділ
19	Вольтметр (СКЗ)	В3-45	4	10МОм±5%	10В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	10МОм±5%	10В
20	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	1В
	Вольтметр (ПЗ)	ВК7-15	6	10МОм±5%	10В
21	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	10МОм±5%	1В
22	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	3В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	10МОм±5%	3В
23	Частотомір	ЧЗ-35А	Відносна похибка 10^{-7}	10МОм±5%	0,1мс
	Осцилограф	С1-65А	6	10МОм±10%	$l = 10$ поділ
24	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	10МОм±5%	1В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-20	1,5	10МОм±5%	10В
25	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	10МОм±5%	30В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-20	1,5	10МОм±5%	10В
26	Вольтметр (СКЗ)	В3-53	2,5	10МОм±5%	3В
27	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	1В
	Осцилограф	С1-49	5	10МОм±10%	$h = 6$ поділ
28	Частотомір	ЧЗ-34А	Відносна похибка 10^{-8}	10МОм±5%	1мс
	Осцилограф	С1-65	6	10МОм±10%	$l = 10$ поділ
29	Вольтметр (СКЗ)	В3-53	2,5	10МОм±5%	3В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-33	2,5	10МОм±5%	3В
z	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	10МОм±5%	10В

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Метрологічні характеристики приладів для рішення домашнього завдання частина 1. «Оцінка невизначеності результатів прямих вимірів напруги інформаційних сигналів»

Номер бригади	Найменування ЗВТ	Тип приладу	Метрологічні характеристики		
			клас точності (основна допустима похибка)	$R_{вх}$	граничне значення
1	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
2	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
3	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
4	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
5	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
6	Вольтметр (СКЗ)	В3-40	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
7	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
8	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В

Таблиця Г.2 – Варіанти до домашнього завдання (частина 1)

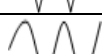
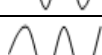
Номер бригади	Напруга (U , В)	$T^0_{навк.сер.}$	Довірча ймовірність (p_d)	Функція розподілу	Форма сигналу	R_n , кОм
1	2,5	25	0,9	Трапецієвидна		$10 \pm 5\%$
2	6	23	0,95	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
3	0,7	21	0,95	Трикутна		$10 \pm 5\%$
4	1,5	21	0,95	Трикутна		$10 \pm 5\%$
5	5,5	26	0,95	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
6	0,5	25	0,99	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
7	2,0	21	0,90	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
8	0,4	25	0,90	Трикутна		$10 \pm 5\%$

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Метрологічні характеристики приладів для рішення домашнього завдання частина 2. «Оцінка невизначеності результатів непрямих вимірів коефіцієнта амплітуди інформаційного сигналу»

Номер бригади	Найменування ЗВТ	Тип приладу	Метрологічні характеристики		
			клас точності (основна допустима похибка)	$R_{вх}$	граничне значення
1	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
2	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-56	1	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
3	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
4	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-48А	2,5	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
5	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
6	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-40	2,5	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
7	Вольтметр (ПЗ)	В7-15	6	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-48А	2,5	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
8	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-48	2,5	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В

Таблиця Г.2 – Варіанти до домашнього завдання (частина 2)

Номер бригади	Напруга (U_m , В)	Напруга (U , В)	$T^0_{навк.сер.}$	Довірча ймовірність (p_d)	Функція розподілу	Форма сигналу	R_n , кОм
1	7	5	25	0,9	Трапецеїдальна		$10 \pm 5\%$
2	2,6	1,5	23	0,95	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
3	0,7	0,68	21	0,95	Трикутна		$10 \pm 5\%$
4	4	2,3	21	0,95	Трикутна		$10 \pm 5\%$
5	6,5	4,5	26	0,95	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
6	2,5	1,8	25	0,99	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
7	0,78	0,8	21	0,90	Прямокутна		$10 \pm 5\%$
8	5	2,6	25	0,90	Трикутна		$10 \pm 5\%$

**Модуль 2: “Метрология, стандартизация, сертификация и управление
качеством”**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К лабораторной работе № 8

**«Оценка неопределенности результатов измерения
физических величин»**

0924 – Телекоммуникации, 0907 – Радиотехника

Часть II

Одесса 2011

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Краткие теоретические сведения об оценке неопределенности результатов измерения физических величин.

Физическая величина (ФВ) [3] определена, как свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояния и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. *Размером ФВ* называется количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию физическая величина.

Единица ФВ – физическая величина определенного размера, принятая по соглашению для количественного отображения однородных с ней величин. [3] Разные единицы одной и той же величины различают по размеру.

Размер единицы физической величины – количественная характеристика единицы, определяемая количеством величины в единице измерения. Размер основных единиц устанавливается произвольно и независимо один от другого по определению. Размер производной единицы определяется характером зависимости между величинами и размерами единиц и устанавливается из уравнения, определяющего эту единицу из основных или других производных единиц.

Размерность ФВ – выражение, показывающее связь данной величины с физическими величинами, положенными в основу системы единиц. Размерность служит качественной характеристикой ФВ, записывается в виде произведения символов (размерностей) соответствующих основным величинам, возведенным в определенные степени, называемые показателями размерности. Численное значение показателей размерности определяется из уравнений связи производных и основных ФВ. Величины, в которые все основные величины входят в степени равной нулю, называются *безразмерными*.

Измерения, как экспериментальные процессы, весьма разнообразны. Это объясняется множеством экспериментальных величин, различным характером измерения величин, различными требованиями точности измерения и др.

Целью измерения является определение значения измеряемой величины, т.е. значения определенной величины, которую надо измерить. Поэтому измерение начинается соответствующей спецификацией измеряемой величины, метода измерения и измерительной процедуры.

Наиболее распространена классификация видов измерений в зависимости от способа обработки экспериментальных данных. В соответствии с этой классификацией измерения делятся на прямые, косвенные, совместные и совокупные.

Прямое измерение – это измерение, при котором искомое значение физической величины находится непосредственно из опытных данных в результате сравнения измеряемой величины с эталонами (измерение длины линейкой, измерение электрического напряжения вольтметром).

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям (например, сопротивление резистора находим на основании закона Ома подстановкой значений тока и напряжения, получаемых в результате прямых измерений.)

Совместное измерение – одновременное измерение нескольких неоднородных величин, при котором искомые значения величин находятся решением системы уравнений, состоящих из результирующих прямых измерений различных сочетаний этих величин.

Совокупное измерение – одновременное измерение нескольких однородных величин, при котором искомые значения величин находятся решением системы уравнений, состоящих из результирующих прямых измерений различных сочетаний этих величин.

В настоящее время оценка качества измерения ФВ производится при использовании понятия «неопределенность измерения». Слово «неопределенность» означает сомнение и, таким образом, в своем самом широком смысле «неопределенность измерения» означает сомнение относительно достоверности результата измерения. В узком смысле неопределенность измерения – это параметр, связанный с результатом измерения, характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно присвоены измеряемой величине.

Иначе говоря, неопределенность измерений понимают как неполное знание о значении измеренной величины, и для количественного выражения этой неполноты используют закон распределения вероятностей возможных (обоснованно присвоенных) значений измеренной величины. Параметр этого распределения (также называемый – неопределенность) количественно характеризует точность результата измерений.

Идейной основой замены термина «погрешность» результата измерения на термин «неопределенность» является философская предпосылка агностицизма о том, что истинное значение непознаваемо, и погрешность, базирующаяся на использовании истинного значения измеряемой величины, теряет смысл.

Таким образом, в настоящее время произошел отход от разработанных методов оценивания точности результатов измерения на основе распределения погрешностей на случайную и систематическую составляющую.

При классическом подходе к оценке точности измерений в качестве постулата принималось, что:

- а) существует истинное значение измеряемой величины;
- б) истинное значение определить невозможно;
- в) истинное значение – величина неслучайная.

В современных международных и украинских нормативных документах [1, 2, 3] дается новая концепция обработки результатов измерения ФВ. Основным в ней является:

– отказ от использования понятий «погрешность» и «истинное значение измеряемой величины» в пользу понятий «неопределенность» и «оцененное значение измеряемой величины»

– переход от классификации погрешностей по природе их проявления на случайные и систематические к другому делению по способу оценивания неопределенности измерений (по типу А – методами математической статистики и по типу В – с использованием характеристик измеряемого объекта и СИТ), не идентичных предыдущей классификации.

При оценке неопределенности по типу В необходимо учитывать законы распределения как основной так и дополнительной погрешности СИТ.

Различают следующие виды неопределенности: стандартная, суммарная стандартная и расширенная неопределенности.

Стандартная неопределенность (H): неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения (СКО); она является основным количественным выражением неопределенности измерений

Суммарная стандартная неопределенность (H_c): стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин; она является основным количественным выражением неопределенности измерений, при котором результат определяют через значения других величин.

Расширенная неопределенность (H_p): величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть присвоены измеряемой величине.

В общем виде измеряемую величину Y можно представить в виде:

$$Y=f(x_1,\dots,x_m), \quad (1)$$

где $x_1, \dots, x_m$ – входные величины (непосредственно измеряемые или другие величины, влияющие на результат измерения);

m – число этих величин;

f – вид функциональной зависимости.

Различают два типа вычисления стандартной неопределенности:

– вычисление по типу **A** – путем статистического анализа результатов измерений;

– вычисление по типу **B** – с использованием других способов.

Оценка неопределенности результатов измерений по типу **A** и по типу **B** производится как при прямом так и при косвенном способах измерений.

Вычисление неопределенностей по типу A

Исходными данными для вычисления H_A по типу **A** являются статистический ряд измеряемых входных величин: $\{x_q\}$ (где $q = 1, \dots, m$).

Стандартную неопределенность единичного измерения q -й входной величины H_{Aq} вычисляют по формуле:

$$H_{Aq}(x_{qi}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2}, \quad (2)$$

где $\bar{x}_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{iq}$ – среднее арифметическое результатов измерений q -й входной величины; n – число измерений входной величины.

Стандартную неопределенность $H_A(x_q)$ измерений ряда входной величины $\{x_q\}$ (где $q = 1, \dots, m$) при которых результат определяют как среднее арифметическое, вычисляют по формуле:

$$H_A(x_q) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2}. \quad (3)$$

Суммарная стандартная неопределенность (H_{cA}) в случае некоррелированных оценок косвенных измерений ФВ ($x_1, \dots, x_m$) определяется как

$$H_{cA}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m C_{x_q}^2 H_A^2(x_q)}. \quad (4)$$

где $C_{x_q} = \frac{\partial y}{\partial x_q}$ — коэффициент чувствительности.

В случае прямых измерений суммарная стандартная неопределенность имеет вид

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

При оценке неопределенности результата косвенных измерений ФВ используются понятия *корреляция* и *ковариация* случайных величин.

Корреляция и *ковариация* — это мера линейной зависимости двух величин. Корреляция и ковариация несут один и тот же смысл, эти понятия показывают, есть ли линейная взаимосвязь между двумя случайными величинами, и могут рассматриваться как «двумерная дисперсия». Однако, в отличие от коэффициента корреляции, который меняется от -1 до 1 , ковариация не инвариантна относительно масштаба, т.е. масштаба случайных величин.

Знак ковариации указывает на вид линейной связи между рассматриваемыми величинами: если она больше нуля — это означает прямую связь (при росте одной величины растет и другая), ковариация меньше нуля указывает на обратную связь. При ковариации, равной 0 , линейная связь между переменными отсутствует.

В случае коррелированных оценок $x_1, \dots, x_m$ суммарную стандартную неопределенность по типу A вычисляют по формуле:

$$H_{cA}(y) = \sqrt{\sum_{k=1}^m C_{x_k}^2 H_A^2(x_k) + \sum_{k=1}^m \sum_{q=1}^m C_{x_k} \cdot C_{x_q} \cdot r(x_k, x_q) H_A(x_k) \cdot H_A(x_q)}, \quad (5)$$

где $r(x_k, x_q)$ — коэффициент корреляции.

Коэффициент корреляции, который является мерой относительной взаимной зависимости двух случайных величин, равной отношению их ковариаций к положительному квадратному корню из произведения их дисперсий.

$$r(x_k, x_q) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k) \cdot \sum_{j=1}^n (x_{qj} - \bar{x}_q)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k)^2 \cdot \sum_{j=1}^n (x_{qj} - \bar{x}_q)^2}},$$

где $i, j = 1, 2, \dots, n$; $k, q = 1, 2, \dots, m$.

Для вычисления коэффициента корреляции $r(x_k, x_q)$ используют согласованные пары измерений (x_{kd}, x_{qd}) (где $d = 1, \dots, n_{kq}$; n_{kq} – число согласованных пар результатов измерений).

Вычисление неопределенностей по типу В

В качестве исходных данных для вычисления H_B используют:

- данные предшествовавших измерений величин, входящих в уравнение измерения; сведения о законе распределения вероятностей;
- данные, основанные на опыте исследователя или общих знаниях о поведении и свойствах соответствующих приборов и материалов;
- неопределенности констант и справочных данных;
- данные поверки, калибровки, сведения изготовителя о приборе и т.п.

Для расчета *стандартной неопределенности* по типу В – $H_B(x_q)$, необходимо учитывать влияющие факторы:

1) технические характеристики прибора (предел основной относительной погрешности, предел дополнительной погрешности прибора, резистивная входная составляющая сопротивления прибора),

2) схему измерения (напряжение на выходе источника с внутренним сопротивлением, предел измерения прибора),

3) условия измерений (температура окружающей среды, влажность, давление и т.д.).

Также для расчета стандартной неопределенности необходимо учитывать функцию распределения (прямоугольная, трапецеидальная, треугольная) основной и дополнительной погрешности.

Например формула расчета неопределенности результата измерения напряжения вольтметром имеет вид:

$$H_B(U) = \sqrt{H_B^2(a) + \sum_{l=1}^L H_B^2(\xi_l)}, \quad (6)$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, L$, a – основная погрешность вольтметра, ξ – влияющие факторы на результат измерения.

Суммарная стандартная неопределенность результата измерения напряжения имеет вид:

$$H_{cB}(U) = \sqrt{H_{aB}^2(U) + H_{T^0B}^2(U) + H_B^2(\rho)}, \quad (7)$$

где $H_{aB}(U)$ – неопределенность, вызванная основной погрешностью вольтметра;

$H_{T^0_B}(U)$ – неопределенность, вызванная изменением температуры;

$H_B(\rho)$ – стандартная неопределенность, вызванная шунтированием выходного сопротивления исследуемого объекта входным сопротивлением СИТ.

Стандартную неопределенность вызванную основной погрешностью вольтметра, вычисляемую по типу $B - H_{aB}(U)$, определяют по формулам:

– для прямоугольной (равномерной) функции распределения

$$H_{aB}(U) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

где a – основная погрешность СИТ, выраженная через класс точности прибора. Для других функций распределения используются иные формы представленные в приложении А.

Неопределенность результата измерения, обусловленная шунтированием сопротивления источника входным сопротивлением вольтметра $R_{вх}$. При этом

$$U_V = U_{R_H} \frac{R_{вх}}{R_H + R_{вх}}, \quad (8)$$

где U_V – показание вольтметра; U_{R_H} – напряжение на нагрузке.

Кроме того, необходимо учесть неопределенность входного сопротивления $H_{R_{вх}}$ неопределенность сопротивления нагрузки H_{R_H} . Так же необходимо определить поправку (ρ):

$$\rho = -(U_V - U_H) = U_V \frac{R_H}{R_{вх}}, \quad (9)$$

Неопределенность измерения вносимой поправки (ρ) определяется выражением:

$$H_B(\rho) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{вх}}^2 H_{R_{вх}}^2}, \quad (10)$$

где коэффициенты чувствительности $C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U_V}{R_{вх}}$, $C_{R_{вх}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{вх}} = U_V \frac{R_H}{R_{вх}^2}$;

H_{R_H} – неопределенность сопротивления нагрузки и $H_{R_{вх}}$ – неопределенность входного сопротивления. Так как значение сопротивления нагрузки и входного сопротивления известны приблизительно и находится, в пределах некоторых границ $[R_{\min}; R_{\max}]$, $[R_{вх\min}; R_{вх\max}]$, считая все значения сопротивлений внутри отмеченных границ равновероятными, оценим их неопределенности как:

$$H_{R_H} = \frac{(R_{H_{\max}} - R_{H_{\min}})}{\sqrt{3}}$$

$$H_{R_H} = \frac{(R_{\text{вх max}} - R_{\text{вх min}})}{\sqrt{3}}$$

Для оценки неопределенности $H_{T^0_B}$, обусловленной отклонением температуры от нормальной $T_{\text{норм}} = 20^\circ\text{C}$ принято считать, что предел дополнительной погрешности прибора, вызванной отклонением температуры окружающей среды ($T_{\text{окр.ср.}}$) от нормальной в пределах рабочей области температуры, которая будет не более предела основной погрешности на каждые 10°C изменения температуры т.е.:

$$H_{T^0_B} = \left(\frac{T_{\text{окр.ср.}} - T_{\text{норм}}}{10} \right) a. \quad (11)$$

Для цифровых приборов необходимо вычислить неопределенность квантования $H_{\text{кв.}B}(U)$, определяемую из границ погрешности квантования ($\Delta_{\text{кв}}$) с учетом равномерного закона распределения:

$$H_{\text{кв.}B}(U) = \frac{\Delta_{\text{кв}}}{\sqrt{3}}. \quad (12)$$

В рассмотренном примере предлагается равномерное распределение вероятности погрешностей СИТ, параметров исследуемого объекта.

Суммарная стандартная неопределенность $H_{\text{св}}$ при косвенных измерениях в случае некоррелированных оценок $x_1, \dots, x_m$ вычисляется по формуле:

$$H_{\text{св}}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_q} \right)^2 H_B^2(x_q)}, \quad (13)$$

где $H_B(x_q)$ – стандартная неопределенность результатов измерений q -й входной величины.

Результирующую стандартную неопределенность определяют по формуле:

$$H_{\Sigma}(y) = \sqrt{H_{cA}^2(x) + H_{cB}^2(x)} \quad (14)$$

Расширенную неопределенность H_p получают путем умножения результирующей стандартной неопределенности результата измерения на коэффициент охвата (k).

$$H_p = k \cdot H_{\Sigma}, \quad (15)$$

В общем случае коэффициент охвата k выбирают в соответствии с выражением

$$k = t_p(v_{eff}) \quad (16)$$

где $t_p(v_{eff})$ — квантиль распределения Стьюдента с эффективным числом степеней свободы v_{eff} и доверительной вероятностью (уровнем доверия) p . Значения коэффициента $t_p(v_{eff})$ приведены в приложении Б.

Степень свободы — это характеристика ФВ. Число степеней свободы определяет минимальное количество независимых переменных, необходимых для полного описания исследуемого процесса. Также число степеней свободы равно полному числу независимых чисел.

Эффективное число степеней свободы для косвенных многократных измерений определяют по формуле:

$$v_{eff} = \frac{H_c^4}{\sum_{q=1}^m \frac{H_{c(x_q)}^4}{v_q} \left(\frac{\partial f}{\partial x_q} \right)^4}, \quad (17)$$

где v_q — число степеней свободы при определении оценки q —й входной величины; $v_q = n_q - 1$ — при вычислении неопределенности по типу A .

Для прямых многократных измерений $v_{eff} = n - 1$.

Во многих практических случаях при вычислении неопределенностей результатов измерений строят предположения о нормальности закона распределения возможных значений измеренной величины и полагают:

$k = 2$ при $p \approx 0,95$ и $k = 3$ при $p \approx 0,99$.

При предположении о равномерности закона распределения полагают:

$k = 1,65$ при $p \approx 0,95$ и $k = 1,71$ при $p \approx 0,99$.

При записи результата измерений приводится действительное значение измеренной величины (y), результирующая суммарная неопределенность ($H_{\Sigma}(y)$), расширенная неопределенность (H_p), эффективное число степеней свободы (ν_{eff}) и доверительная вероятность (p_d).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Оценка неопределенности результатов измерения физических величин

Часть 1. Оценка неопределенности результатов прямых измерений напряжения информационных сигналов.

1. Цель работы

1.1. Изучить основные виды и типы неопределенностей результатов измерения физических величин, методику оценки неопределенностей по типу A и по типу B .

1.2. Экспериментально дать оценку неопределенности результатов прямых измерений по результату статистического анализа по типу A и по априорным сведениям характеристик СИТ и объектов измерений по типу B .

1.3. Дать сравнительный анализ оценок неопределенности результатов измерения по типу A по типу B .

2. Ключевые положения

2.1 *Неопределенность измерения* — параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно присвоены измеряемой величине.

Различают следующие виды неопределенности:

- стандартная,
- суммарная стандартная,
- расширенная.

2.2 Различают два типа вычисления стандартной неопределенности:

– вычисление по типу A – путем статистического анализа результатов измерений;

– вычисление по типу B – с использованием априорной информации об измеренной входной величине и характеристиках СИТ.

В общем виде измеряемую величину Y можно представить в виде (1).

2.3 Вычисление неопределенностей по типу A . Исходными данными для вычисления N_A являются статистический ряд измеряемой входной величины: x_q . После не обходимо считать стандартную неопределенность единичного измерения q -й входной величины N_{Aq} (2) и стандартную неопределенность $N_A(x_q)$ измерений ряда входной величины x_{qi} , где $i = 1, 2, \dots, n$ (3).

2.4 При оценки неопределенности результата измерения по типу B пользуемся формулами (6), (7), (8), (9), (10), (11).

Стандартную неопределенность $H_B(a, \xi)$ определяют за формулами функций распределения (прямоугольная, трапецеидальная, треугольная) основной и дополнительной погрешности (приложение А), где a – определяется через класс точности прибора.

2.5 Результирующую стандартную неопределенность определяют по формуле (14).

2.6 Эффективное число степеней свободы определяется – $\nu_{eff} = n - 1$.

2.7 Расширенную неопределенность (H_p) получают путем умножения результирующей стандартной неопределенности результата измерения на коэффициент охвата (k) (15).

3. Ключевые вопросы

- 3.1. Что называют физической величиной?
- 3.2. Что называют размером единицы физической величины?
- 3.3. Что показывает размерность ФВ?
- 3.4. Какие измерения называют прямыми?
- 3.5. Что понимают под неопределенностью измерений?
- 3.6. В чем сущность концепции обработки результатов измерения с использованием неопределенности результата измерений?
- 3.7. Что такое стандартная неопределенность результата измерений?
- 3.8. Что такое суммарная стандартная неопределенность результата измерений?
- 3.9. Что такое расширенная неопределенность результата измерений?

4. Домашнее задание

4.1. Изучить теоретические сведения об оценке неопределенности результатов измерения физических величин.

4.2. Разработать алгоритм оценки неопределенности результата прямых измерений по типу А.

4.3. Произвести расчет неопределенности результата измерения напряжения по типу В (в соответствии с вариантом). Приложение Г. Результаты расчетов занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет неопределенностей напряжения по типу В

U	$H_{aB}(U)$	$H_{T^0B}(U)$	$H_{R_{вх}B}(U)$	$H_{R_{н}B}(U)$	$H_{сB}(U)$

5. Лабораторное задание

5.1. Проанализировать условия измерения, технические характеристики приборов, используемых при измерении.

5.2. Выполнить необходимые измерения напряжения для получения статистического ряда.

5.3. Результаты измерений напряжения и оценку их неопределенности по типу A (результатирующая неопределенность, эффективное число степеней свободы (ν_{eff}), коэффициент охвата (k) и расширенная неопределенность (H_p)) записать в табл. 5.1.

5.4. Записать результат измерения напряжения в соответствии с стандартом.

Таблица 5.1 — Результаты статистического анализа измерений

$\begin{matrix} n \\ \text{Параметры} \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U										
$\bar{U}$										
$H_A(U_i)$										
$H_A(U)$										
$H_B(U)$										
$H_\Sigma(U)$										
ν_{eff}										
k										
$H_p(U)$										

6. Протокол лабораторной работы (№название ...)

6.1. Цель лабораторной работы.

6.2. Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики			
			класс точности	диапазон измерения	частотный диапазон	

6.3. Схема измерения.

6.4. Результаты лабораторной работы.

6.5. Выводы.

Часть 2. Оценка неопределенности результатов косвенных измерений коэффициента амплитуды информационного сигнала.

1. Цель работы

1.1. Изучить основные типы неопределенностей результатов косвенных измерений физических величин, методику оценки неопределенностей по типу A и по типу B .

1.2. По результатам эксперимента дать оценку неопределенности коэффициента амплитуды K_a по типу A и по типу B (определить стандартную, суммарную и расширенную неопределенность).

2. Ключевые положения

2.1 Исходными данными для вычисления H_A по типу A являются статистические ряды измеряемых входных величин: $\{x_q\}$ (где $q = 1, \dots, m$). Стандартная неопределенность по типу A косвенных измерений ФВ определяется согласно выражения (2) и (3).

2.2 Суммарная стандартная неопределенность ($H_{сА}$) в случае некоррелированных оценок косвенных измерений ФВ определяется формулой (4).

2.3 Оценка неопределенности косвенных измерений по типу B ($H_{вс}$) в случае некоррелированных оценок $x_1, \dots, x_m$ вычисляется по формуле (13).

2.4 В случае коррелированных оценок вычисления выполняются по формуле (5).

2.5 Результирующую стандартную неопределенность определяют через $H_{сА}$ и $H_{сВ}$ по формуле (14).

2.6 Расширенную неопределенность H_p получают путем умножения результирующей стандартной неопределенности результата измерения на k (формула (15)), где k — коэффициент охвата (числовой коэффициент, используемый как множитель при суммарной стандартной неопределенности для получения расширенной неопределенности). Для этого определяются коэффициент охвата k в соответствии с выражением:

$$k = t_p(v_{eff}),$$

где v_{eff} — эффективное число степеней свободы, определяемое по формуле:

$$v_{eff} = \frac{H_c^4}{\sum_{q=1}^m \frac{H_{c(x_q)}^4}{v_q} \left(\frac{\partial f}{\partial x_q} \right)^4}.$$

3. Ключевые вопросы

- 3.1. Какие измерения называют косвенными?
- 3.2. Что называют коэффициентом охвата и как он выбирается?
- 3.3. Как находится эффективное число степеней свободы?
- 3.4. Что используют в качестве исходных данных для вычисления стандартной неопределенности по типу В – H_B ?
- 3.5. Что используют в качестве исходных данных для вычисления стандартной неопределенности по типу А – H_A ?
- 3.6. Что называют корреляцией и ковариацией?
- 3.7. Что называют коэффициентом корреляции и как он рассчитывается?

4. Домашнее задание

- 4.1. Изучить теоретические сведения об оценке неопределенности результатов косвенных измерений физических величин.
- 4.2. Изучить методику оценки неопределенности результата косвенных измерений по типу А и типу В.
- 4.3. Записать алгоритм оценивания неопределенности результата косвенных измерений по типу А.
- 4.4. Привести алгоритм оценивания и расчет неопределенности результата косвенных измерений по типу В (в соответствии с вариантом). Приложение Д. Результаты расчетов неопределенности записать в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результат неопределенности коэффициента амплитуды $K_a = \frac{U_m}{U}$.

U_m	U	K_a	$H_B(U_m)$	$H_B(U)$	$H_{cB}(K_a)$

5. Лабораторное задание

- 5.1. Проанализировать условия измерения, технические характеристики приборов, используемых при измерении.
- 5.2. Выявить источники неопределенности при измерении ФВ, функционально зависящей от двух входных величин.
- 5.3. Произвести многократные измерения входных величин функционально связанных с измеряемой ФВ.

5.4. Выполнить необходимые расчеты по оцениванию неопределенности многократных косвенных измерений ФВ.

5.5. Результаты многократных косвенных измерений ФВ и оценку неопределенности результатов измерения записать в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 — Результаты анализа измерений неопределенности коэффициента амплитуды ($K_a = \frac{U_m}{U}$)

n Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_m										
U										
$\overline{U_m}$										
$\overline{U}$										
$H_A(\overline{U_m})$										
$H_A(\overline{U})$										
$\overline{K_a} = \frac{\overline{U_m}}{\overline{U}}$										
$r(K_a)$										
$H_{сА}(K_a)$ некоррел.										
$H_{сА}(K_a)$ коррел.										
v_{eff}										
k										
$H_p(K_a)$										

6. Протокол лабораторной работы (№название ...)

6.1. Цель лабораторной работы.

6.2. Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики			
			Класс точности	Диапазон измерения	Частотный диапазон	

6.3. Схема измерения.

6.4. Результаты лабораторной работы.

6.5. Выводы

Индивидуальное задание № 8

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

1. Цель работы

1.1 Приобрести практические навыки расчета неопределенности результата измерений физических величин (ФВ).

1.2 Освоить оценку неопределенности прямых и косвенных многократных и однократных измерений физической величины по типу *A* и по типу *B*.

2. Ключевые положения

2.1 Основные термины и определения

Неопределенность измерения – это параметр, связанный с результатом измерения, характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно присвоены измеряемой величине.

Различают следующие виды неопределенности: стандартная, суммарная стандартная и расширенная неопределенности.

Стандартная неопределенность (H): неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения (СКО); она является основным количественным выражением неопределенности измерений

Суммарная стандартная неопределенность (H_c): стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин; она является основным количественным выражением неопределенности измерений, при котором результат определяют через значения других величин,

Расширенная неопределенность (H_p): величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть присвоены измеряемой величине.

Различают два типа вычисления стандартной неопределенности:

– вычисление по типу *A* – путем статистического анализа результатов измерений;

– вычисление по типу *B* – с использованием других способов.

Оценка неопределенности результатов измерений по типу *A* и по типу *B* производится как при прямом так и при косвенном способах измерений.

2.2 Оценка неопределенности результатов измерения физических величин при прямых измерениях ФВ:

Оценка неопределенностей результата измерения по типу A.

Исходными данными для вычисления H_A являются статистический ряд измеряемых входных величин: x_i (где $i = 1, 2, \dots, n$). Стандартная неопределенность единичного измерения q -й входной величины H_{Aq} определяется:

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

Стандартная неопределенность $H_A(x)$ измерений всего ряда входной величины

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

Суммарная стандартная неопределенность (H_{cA}) в случае в случае прямых измерений определяется:

$$H_{cA}(x) = H_A(x) \quad (3)$$

Оценка неопределенность результата измерения по типу B.

Стандартная неопределенность результата измерения по типу B:

$$H_B(x) = \sqrt{H_B^2(a) + \sum_{l=1}^L H_B^2(\xi_l)}, \quad (4)$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, L$, a – основная погрешность, ξ – влияющие факторы на результат измерения.

Здесь $H_B(a)$ – стандартная неопределенность вызванная изменением основной погрешности СИ; $H_B(\xi_l)$ – стандартные неопределенности влияющих на результат измерения ФВ.

Для аналоговых СИГ неопределенность вычисляется в соответствии с формулой:

$$H_B(\xi_l) = H_{T,B}(x) + H_{\rho,B}(x) \quad (5)$$

где $H_{T^0_B}(x)$ – стандартная неопределенность вызванная изменением температуры T^0 ; $H_{\rho,B}(x)$ – стандартная неопределенность, вызванная шунтированием выходного сопротивления исследуемого объекта входным сопротивлением СИТ. Для цифровых СИТ необходимо также учесть неопределенность, возникающую при квантовании аналогового сигнала.

Стандартную неопределенность $H_{aB}(x)$, определяют по формулам в зависимости от функции распределения основной погрешности (приложении А):

– для прямоугольной (равномерной) функции распределения:

$$H_{aB}(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

где a – основная погрешность, определяемая классом точности прибора.

Для оценки неопределенности $H_{T^0_B}$, обусловленной отклонением температуры от нормальной $T_{\text{норм}}=20^\circ\text{C}$ принято считать, что предел дополнительной погрешности прибора вызванной отклонением температуры окружающей среды ($T_{\text{окр.ср}}$) от нормальной в пределах рабочей области температуры, не более предела основной погрешности на каждые 10°C изменения температуры т.е.:

$$H_{T^0_B} = \left(\frac{T_{\text{окр.ср.}} - T_{\text{норм}}}{10} \right) a \quad (7)$$

Неопределенность $H_B(\rho)$ определяется выражением:

$$H_B(\rho) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{Bx}}^2 H_{R_{Bx}}^2}, \quad (8)$$

где $C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H}$, $C_{R_{Bx}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{Bx}}$ – коэффициенты чувствительности

$\rho = -(U_V - U_H) = U_V \frac{R_H}{R_{Bx}}$; H_{R_H} – неопределенность сопротивления нагрузки; $H_{R_{Bx}}$ – неопределенность входного сопротивления.

Так как значение сопротивления нагрузки и входного сопротивления известны приблизительно и находятся, в пределах некоторых границ $[R_{\min}; R_{\max}]$, $[R_{Bx\min}; R_{Bx\max}]$, считая все значения сопротивлений внутри отмеченных границ равновероятными, их неопределенности можно оценить как:

$$H_{R_H} = \frac{(R_{H\max} - R_{H\min})}{\sqrt{3}}$$

$$H_{R_H} = \frac{(R_{\text{вх max}} - R_{\text{вх min}})}{\sqrt{3}}$$

Для прямых измерений суммарная стандартная неопределенность по типу B равняется стандартной неопределенности по типу B :

$$H_B(x) = H_{cB}(x) \quad (9)$$

Результирующую стандартную неопределенность определяют по формуле:

$$H_{\Sigma}(x) = \sqrt{H_{cA}^2(x) + H_{cB}^2(x)} \quad (10)$$

2.3 Оценка неопределенности результатов косвенных измерения ФВ:

В общем виде измеряемая величина Y определяется:

$$Y = f(x_1, \dots, x_m)$$

Исходными данными для вычисления H_A по типу A является статистический ряд измеряемых входных величин: $\{x_q\}$ (где $q = 1, \dots, m$). Стандартную неопределенность по типу A косвенных измерений ФВ определяется согласно выражениям:

$$H_{Aq}(x_{qi}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2} \quad (11)$$

$$H_A(x_q) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_q)^2} \quad (12)$$

Суммарная стандартная неопределенность (H_{cA}) в случае *некоррелированных* оценок косвенных измерений ФВ определяется формулой:

$$H_{cA}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m C_{x_q}^2 H_A^2(x_q)} \quad (13)$$

где $C_{x_q} = \frac{\partial y}{\partial x_q}$ — коэффициент чувствительности.

Оценка суммарной стандартной неопределенности косвенных измерений по типу B ($H_{вс}$) в случае некоррелированных оценок $x_1, \dots, x_m$ вычисляется по формуле:

$$H_{cB}(y) = \sqrt{\sum_{q=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_q} \right)^2 H_B^2(x_q)}, \quad (14)$$

где $H_B(x_q)$ — стандартная неопределенность результатов измерений q -й входной величины.

Результирующую стандартную неопределенность определяют через H_{cA} и H_{cB} по формуле:

$$H_{\Sigma}(y) = \sqrt{H_{cA}^2(x) + H_{cB}^2(x)} \quad (15)$$

Расширенную неопределенность H_p при заданной вероятности p и известном законе распределения определяют следующим образом:

$$H_p = k \cdot H_{\Sigma} \quad (16)$$

где k — коэффициента охвата. В соответствии с рекомендациями ДСТУ [2] и предположении о нормальности закона распределения значений измеряемой величины принимаем k

$$k = f(t_p, p_o)$$

где t_p — коэффициент Стьюдента,

p_o — доверительная вероятность.

3. Пример решения задания

Расчет неопределенности для коэффициента амплитуды K_a .

Таблица 1 – Условие задания

№ варианта	Наименование входных величин	n – (количество измерений)										Формула измерения	$T^{\text{окр. ср.}}$	Доверительная вероятность (p_d)	Функция распределения	Форма сигнала	$R_{\text{н, кОм}}$
z	$U_m, \text{В}$	8,10	8,20	8,15	8,10	8,00	8,15	7,90	8,00	8,10	8,00	$K_a = \frac{U_m}{U}$	21	0,95	Прямоугольная		10±5%
	$U, \text{В}$	8,15	8,00	7,90	8,00	8,10	8,00	8,20	8,10	8,15	8,10						

Таблица 2 – Метрологические характеристики прибора

№ варианта	Наименование СИТ	Тип прибора	Метрологические характеристики		
			Класс точности (основная допустимая погрешность)	$R_{\text{вх}}$	Предельное значение
z	Вольтметр (ПЗ)	В7—26	4	10МОм±5%	10В
	Вольтметр СКЗ	В3—42	4	10МОм±5%	10В

Решение

1. Определяем среднее арифметическое значение пикового значения напряжения определяется:

$$\bar{U}_m = U_{mcp} = \frac{U_{m1} + U_{m2} + \dots + U_{mn}}{n} = 8,07\text{В}$$

Определяем среднее арифметическое значение среднеквадратического значения напряжения:

$$\bar{U} = U_{cp} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} = 8,07\text{В}$$

Вычисление неопределенностей K_a по типу A

2. Определим стандартную неопределенность единичного измерения пикового значения (ПЗ) напряжения $H_A(U_m)$

$$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{9} 0,0825} = 0,096\text{В}$$

Так же рассчитаем стандартную неопределенность единичного измерения среднеквадратического значения (СКЗ) напряжения $H_A(U)$

$$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = \sqrt{\frac{1}{9} 0,0825} = 0,096\text{В}$$

3. Определим стандартную неопределенность измерений ряда ПЗ и СКЗ $H_A(U_m)$ и $H_A(U)$:

$$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{90} 0,0825} = 0,03\text{В}$$

$$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = \sqrt{\frac{1}{90} 0,0825} = 0,03\text{В}$$

4. Определим суммарную стандартную неопределенность $H_{cA}(K_a)$ в случае некоррелированных оценок косвенных измерений

$$H_{cA}(K_a) = \sqrt{\sum_{q=1}^m C_{K_a}^2 H_A^2(K_a)}$$

где $C_U = \frac{\partial K_a}{\partial U}$ и $C_{U_m} = \frac{\partial K_a}{\partial U_m}$ коэффициент чувствительности.

$$C_U = \frac{\partial K_a}{\partial U} = \frac{1}{U_m} (U)' = -\frac{U_m}{U^2};$$

$$C_{U_m} = \frac{\partial K_a}{\partial U_m} = \frac{1}{U} (U_m)' = \frac{1}{U};$$

$$H_{cA}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_U^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_U^2} = 0,017$$

Вычисление неопределенностей K_a по типу **B**

Для расчета *стандартной неопределенности* по типу **B** — $H_B(K_a)$, необходимо учитывать влияющие факторы:

1) технические характеристики прибора (предел основной относительной погрешности, предел дополнительной погрешности прибора, резистивная входная составляющая сопротивления прибора),

2) схему измерения (напряжение на выходе источника с внутренним сопротивлением, предел измерения прибора),

3) условия измерений (температура окружающей среды, влажность, давление и т.д.).

Также для расчета стандартной неопределенности необходимо учитывать прямоугольную функцию распределения.

5. Определим стандартную неопределенность для каждого напряжения $U_m = 8,10\text{В}$ и $U = 8,15\text{В}$ отдельно, с заданной функцией распределения (см. таб.2). Так как в варианте z вольтметры В7—26 и В3—42 имеют одинаковый класс точности и одинаковый предел измерения, то H_{aB} равны.

$$H_{aB}(U) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

где a — границы основной допустимой погрешности, полученные из класса точности прибора. Так как в примере z класс точности обозначается просто числом 4,0 — это означает, что нормируется предельное значение приведенной

погрешности и $\gamma_{\text{пред}} = 4\%$. Приведенная погрешность это отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%.$$

В качестве нормирующего значения (X_N) принимаем предел измерения используемого вольтметра.

Определим абсолютную погрешность: $\Delta = 0,4\text{В}$, т.е. $a = 0,4\text{В}$.

$$H_{aB}(U) = H_{aB}(U_m) = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23\text{В}.$$

6. Далее учитываем неопределенность, обусловленную отклонением температуры от нормальной $T_{\text{норм}} = 20^\circ\text{C}$.

$$H_{T^0B} = \left(\frac{T_{\text{окр.ср.}} - T_{\text{норм}}}{10} \right) a = \left(\frac{21 - 20}{10} \right) 0,4 = 0,04\text{В}$$

7. Определим неопределенность измерения вносимую поправкой (ρ):

$$H_B(\rho) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2},$$

где коэффициенты чувствительности $C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U_V}{R_{BX}}$, $C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U_V \frac{R_H}{R_{BX}^2}$.

Расчет для 1-ой точки в ряде, выделенной курсивом в табл.1 U_m :

$$C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U_m}{R_{BX}} = 0,81 \cdot 10^{-6} \text{ В/Ом};$$

$$C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U_m \frac{R_H}{R_{BX}^2} = 8,1 \cdot 10^{-10} \text{ В/Ом}.$$

Расчет для 1-ой точки в ряде, выделенной курсивом в табл.1 U :

$$C_{R_H} = \frac{\partial \rho}{\partial R_H} = \frac{U}{R_{BX}} = 0,815 \cdot 10^{-6} \text{ В/Ом};$$

$$C_{R_{BX}} = \frac{\partial \rho}{\partial R_{BX}} = U \frac{R_H}{R_{BX}^2} = 8,15 \cdot 10^{-10} \text{ В/Ом}.$$

Так как значение сопротивления нагрузки и входного сопротивления известны приблизительно и находится в пределах некоторых границ $[R_{\min}; R_{\max}]$, $[R_{\text{вх}\min}; R_{\text{вх}\max}]$, считая все значения сопротивлений внутри отмеченных границ равновероятными, оценим их неопределенности как:

$$H(R_H) = \frac{R_{H\max} - R_{H\min}}{\sqrt{3}} = 0,58 \text{ МОм}$$

$$H(R_{\text{вх}}) = \frac{R_{\text{вх}\max} - R_{\text{вх}\min}}{\sqrt{3}} = 0,58 \text{ кОм}$$

$$H_B(\rho_{U_m}) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{\text{вх}}}^2 H_{R_{\text{вх}}}^2} = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ В};$$

$$H_B(\rho_U) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{\text{вх}}}^2 H_{R_{\text{вх}}}^2} = 0,46 \cdot 10^{-6} \text{ В}.$$

8. Определим суммарную стандартную неопределенность:

$$H_{cB}(U) = \sqrt{H_{aB}^2(U) + H_{T^0B}^2(U) + H_B^2(\rho)} = 0,48 \text{ В},$$

$$H_{cB}(U_m) = \sqrt{H_{aB}^2(U) + H_{T^0B}^2(U) + H_B^2(\rho)} = 0,48 \text{ В}.$$

9. Определим суммарную стандартную неопределенность H_{cB} при косвенных измерениях:

$$H_{cB}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = 0,082.$$

10. Определим результирующую стандартную неопределенность:

$$H_{\Sigma}(K_a) = \sqrt{H_{cA}^2(K_a) + H_{cB}^2(K_a)} = 0,084$$

11. Расширенную неопределенность H_p при заданной вероятности p и известном законе распределения (приложение А) определяют следующим образом:

$$H_p = k \cdot H_{\Sigma} = 0,18$$

где k — коэффициента охвата. В соответствии с рекомендациями ДСТУ и предположении о нормальности закона распределения значений измеряемой величины принимаем k . При $P_d = 0,95$, $k = 2,228$ (приложение В).

12. Результат измерений коэффициента амплитуды K_a получаем из формулы:

$$K_a = \frac{\overline{U_m}}{U} = \frac{8,07}{8,07} = 1$$

Все результаты заносим в таблицу 3

Таблица 3 – Решение примера

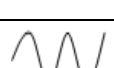
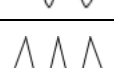
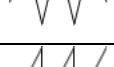
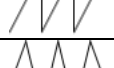
1	$\bar{U}_m = U_{mcp} = \frac{U_{m1} + U_{m2} + \dots + U_{mn}}{n} = 8,07 \text{ В}$
2	$\bar{U} = U_{cp} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} = 8,07 \text{ В}$
3	$K_a = \frac{\bar{U}_m}{\bar{U}} = \frac{8,07}{8,07} = 1$
4	$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = 0,096 \text{ В}$
5	$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = 0,096 \text{ В}$
6	$H_A(U_m) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_{mi} - \bar{U}_m)^2} = 0,03 \text{ В}$
7	$H_A(U) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2} = 0,03 \text{ В}$
8	$H_{cA}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_U^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{U_m}^2 + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_U^2} = 0,017$
9	$H_{aB}(U) = H_{aB}(U_m) = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23 \text{ В}$
10	$H_{\Gamma B}^0 = ((T_{\text{окр.ср}} - T_{\text{норм}})/10) \Delta = 0,04 \text{ В}$
11	$H_B(\rho_{U_m}) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2} = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ В}$
12	$H_B(\rho_U) = \sqrt{C_{R_H}^2 H_{R_H}^2 + C_{R_{BX}}^2 H_{R_{BX}}^2} = 0,46 \cdot 10^{-6} \text{ В}$
13	$H_{cB}(K_a) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_a}{\partial U_m}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{\partial K_a}{\partial U}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\right)^2 H_{cB}^2(U_m) + \left(\frac{U_m}{U^2}\right)^2 H_{cB}^2(U)} = 0,082$
14	$H_{\Sigma}(K_a) = \sqrt{H_{cA}^2(K_a) + H_{cB}^2(K_a)} = 0,084$
15	$H_p = k \cdot H_{\Sigma} = 0,18$
16	$K_a = 1, H_{cA}(K_a) = 0,017, H_{cB}(K_a) = 0,082, H_{\Sigma}(K_a) = 0,084, k = 2,228, P_{\delta} = 0,95, H_p = 0,18$

Варианты индивидуальных заданий

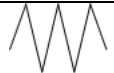
Таблица 1 – Варианты заданий

№ ва ри ан та	Наименование входных величин	n — (количество измерений)										Формула измере- ния	$T_{ок}^0$ р.ср.	Довери тельная вероят ность (p_d)	Функция распреде- ления	Форма сигнала	R_n , кОм
1	U_m , В	18,3	18,4	18,0	17,9	18,1	18,8	18,7	18,2	18,4	18,2	$K_a = \frac{U_m}{U}$	25	0,9	Трапецеи- дальная		10±5%
	U , В	13,0	13,2	13,1	12,8	12,9	13,3	12,9	12,8	13,1	12,9						
2	U , В	220	218	222	225	219	215	220	217	219	221	$P = \frac{U^2}{R}$	23	0,95	Прямоу- гольная	-----	10±5%
	R , кОм	11	12	10	11	9	9	10	10	9	9						
3	U_5 , В	3,0	3,1	3,2	2,9	2,8	3,1	3,2	2,9	2,8	3,0	$K_{15} = \frac{U_5}{U_1}$	21	0,95	Треуголь ная		10±5%
	U_l , В	15,00	15,50	16,00	14,5	14,00	15,50	16,00	14,5	14,00	15,00						
4	U_m , В	25,0	24,8	25,3	25,1	25,0	24,9	25,2	25,4	25,1	25,2	$K_y = \frac{U_m}{U_{свз}}$	21	0,95	Треуголь-ная		10±5%
	$U_{свз}$, В	12,5	12,4	12,3	12,6	12,5	12,5	12,6	12,7	12,4	12,5						
5	$U_{свз}$, В	3,10	2,80	2,90	3,10	3,20	3,00	3,10	2,90	3,20	3,10	$K_{отк} = \frac{2U_m}{h}$	26	0,95	Прямоу- гольная		10±5%
	h , дел.	3,40	3,35	3,30	3,40	3,50	3,45	3,40	3,35	3,50	3,45						
6	U , В	7,00	7,10	7,30	7,20	7,10	6,90	7,20	7,10	7,00	7,10	$K_\phi = \frac{U}{U_{свз}}$	25	0,99	Прямоу- гольная		10±5%
	$U_{свз}$, В	6,30	6,20	6,40	6,50	6,60	6,50	6,60	6,40	6,30	6,20						
7	f , Гц	601	604	603	600	602	604	601	603	604	600	f , Гц	21	0,90	Прямоу- гольная		10±5%
8	T , мс	0,497	0,502	0,501	0,498	0,505	0,490	0,500	0,497	0,501	0,502	$K_p = \frac{T}{l}$	25	0,90	Треуголь ная		10±5%
	l , дел.	4,4	4,5	4,6	4,3	4,5	4,2	4,4	4,3	4,4	4,5						
9	U_m , В	6,00	5,90	6,10	5,80	6,00	6,20	6,00	5,90	6,00	6,10	U_m , В	21	0,98	Трапецеи дальная		10±5%
10	U_m , В	1,40	1,30	1,50	1,40	1,60	1,40	1,50	1,30	1,20	1,40	$K_a = \frac{U_m}{U}$	24	0,99	Прямоу- гольная		10±5%
	U , В	0,70	0,60	0,80	0,90	1,00	0,80	0,90	0,70	0,80	0,80						
11	U_m , В	1,83	1,90	1,76	1,69	1,90	1,76	1,83	1,76	1,90	1,83	$K_{отк} = \frac{2U_m}{h}$	21	0,99	Трапецеи дальная		10±5%
	h , дел.	2,2	2,3	2,15	2,1	2,3	2,15	2,2	2,15	2,3	2,2						

Продолжение таблицы 1

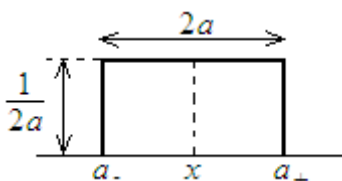
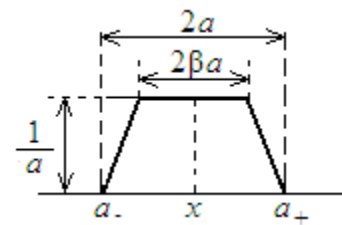
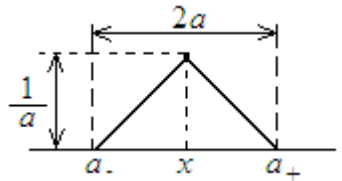
12	U_3 , В	8,58	8,57	8,59	8,56	8,60	8,57	8,59	8,56	8,60	8,58	$K_{r3} = \frac{U_3}{U_1}$	26	0,98	Прямоугольная		10±5%
	U_l , В	26,00	25,97	26,03	25,94	26,06	25,97	26,03	25,94	26,06	26,00						
13	U , В	15,00	14,90	14,80	14,60	14,60	15,10	14,70	14,70	14,90	14,70	$K_\phi = \frac{U}{U_{свз}}$	22	0,95	Треугольная		10±5%
	$U_{свз}$, В	14,20	14,00	13,90	14,10	14,10	14,00	13,90	14,10	14,30	13,80						
14	T , мс	1,680	1,674	1,679	1,674	1,675	1,682	1,680	1,680	1,674	1,682	T , мс	24	0,99	Треугольная		10±5%
15	U_m , В	0,80	0,70	0,90	0,60	1,00	0,90	0,80	0,70	1,00	0,60	$K_y = \frac{U_m}{U_{свз}}$	24	0,9	Трапецидальная		10±5%
	$U_{свз}$, В	0,70	0,60	0,90	0,70	0,60	0,80	0,70	0,50	0,70	0,80						
16	T , мкс	0,201	0,199	0,204	0,205	0,196	0,204	0,205	0,196	0,201	0,199	$K_p = \frac{T}{l}$	24	0,90	Треугольная		10±5%
	l , дел.	4,8	4,7	4,9	5,0	4,6	4,9	5,0	4,6	4,8	4,7						
17	U_m , В	2,50	2,45	2,50	2,50	2,50	2,40	2,50	2,45	2,50	2,40	$K_y = \frac{U_m}{U_{свз}}$	26	0,99	Прямоугольная		10±5%
	$U_{свз}$, В	1,20	1,25	1,25	1,26	1,25	1,25	1,25	1,30	1,20	1,25						
18	U_m , В	7,33	6,90	7,05	5,92	6,35	7,05	5,92	6,35	7,33	6,90	$K_{отх} = \frac{U_m}{h/2}$	22	0,99	Треугольная		10±5%
	h , дел.	2,4	2,2	2,3	2,0	2,1	2,3	2,0	2,1	2,4	2,2						
19	U , В	5,00	4,90	4,80	4,60	4,60	5,10	4,70	4,70	4,90	4,70	$K_\phi = \frac{U}{U_{свз}}$	22	0,95	Треугольная		10±5%
	$U_{свз}$, В	4,20	4,00	3,90	4,10	4,10	4,00	4,20	4,10	4,30	4,10						
20	U_5 , В	0,20	0,25	0,15	0,30	0,10	0,15	0,30	0,10	0,20	0,25	$K_{r5} = \frac{U_5}{U_1}$	24	0,98	Прямоугольная		10±5%
	U_l , В	5,00	6,25	3,75	7,50	2,50	3,75	7,50	2,50	5,00	6,25						
21	$U_{свз}$, В	0,40	0,42	0,41	0,40	0,38	0,39	0,40	0,42	0,38	0,40	$U_{свз}$, В	25	0,9	Треугольная		10±5%
22	U_m , В	2,70	2,60	2,40	2,40	2,50	2,50	2,80	2,60	2,70	2,80	$K_y = \frac{U_m}{U_{свз}}$	22	0,99	Прямоугольная		10±5%
	$U_{свз}$, В	1,60	1,70	1,80	1,50	1,70	1,70	1,80	1,60	1,90	1,70						
23	T , мс	0,031	0,0306	0,0315	0,0321	0,0326	0,0315	0,0321	0,0326	0,031	0,0306	$K_p = \frac{T}{l}$	26	0,95	Прямоугольная		10±5%
	l , дел.	5,9	5,8	6,0	6,1	6,2	6,0	6,1	6,2	5,9	5,8						
24	U_3 , В	0,77	0,78	0,76	0,79	0,75	0,76	0,79	0,75	0,77	0,78	$K_{r3} = \frac{U_3}{U_1}$	25	0,90	Трапецидальная		10±5%
	U_l , В	7,00	7,09	6,91	7,18	6,82	6,91	7,18	6,82	7,00	7,09						
25	U_m , В	14,0	13,0	15,0	14,0	16,0	14,0	15,0	13,0	12,0	14,0	$K_a = \frac{U_m}{U}$	21	0,99	Трапецидальная		10±5%
	U , В	7,00	6,00	8,00	9,00	10,0	8,00	9,00	7,00	8,00	8,00						
26	U , В	1,50	1,30	1,70	1,60	1,50	1,40	1,50	1,60	1,40	1,50	U , В	26	0,99	Трапецидальная		10±5%

Окончание таблицы 1

27	U_m , В	0,63	0,62	0,65	0,64	0,63	0,65	0,62	0,63	0,64	0,62	$K_{\text{отк}} = \frac{U_m}{h/2}$	22	0,98	Трапецеидальная		10±5%
	h , дел.	5,30	5,20	5,40	5,40	5,30	5,00	5,20	5,30	5,40	5,20						
28	T , мс	2,471	2,527	2,501	2,465	2,473	2,509	2,485	2,512	2,525	2,528	$K_p = \frac{T}{l}$	23	0,95	Прямоугольная		10±5%
	l , дел.	4,6	4,8	4,7	4,5	4,6	4,7	4,6	4,7	4,8	4,8						
29	U , В	2,40	2,50	2,70	2,60	2,40	2,30	2,60	2,50	2,70	2,30	$K_\phi = \frac{U}{U_{\text{свз}}}$	26	0,98	Трапецеидальная		10±5%
	$U_{\text{свз}}$, В	2,20	2,40	2,50	2,30	2,20	2,60	2,40	2,30	2,60	2,50						
z	Um , В	8,10	8,20	8,15	8,10	8,00	8,15	7,90	8,00	8,10	8,00	$K_a = \frac{U_m}{U}$	21	0,95	Прямоугольная		10±5%
	U , В	8,15	8,00	7,90	8,00	8,10	8,00	8,20	8,10	8,15	8,10						

Приложение А

Таблица А.1 – Виды функций распределений основной погрешности.

Вид функции распределения	Формулы для расчета стандартной неопределенности по типу <i>B</i>	Случаи применения
Прямоугольная 	$H_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$	В документации указаны предельные границы входной величины a_+, a_- или максимальное значение диапазона ($\pm a$) без указания закона распределения и доверительной вероятностью.
Трапецеидальная 	$H_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{6}} \cdot \sqrt{1 + \beta^2} = \frac{a}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{1 + \beta^2},$ при $0 < \beta < 1$	1. В документации указаны максимальное значение диапазона ($\pm a$) симметричного распределения (без указания доверительной вероятностью), у которого значение входной величины возле границ менее вероятны, чем те, которые находятся возле центра. 2. Когда входная величина может являться суммой или разностью двух величин, распределенных равномерно с разными значениями диапазонов.
Треугольная 	$H_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{6}} = \frac{a}{\sqrt{6}}$	1. Предельный случай трапецеидального распределения при $\beta=0$. 2. Когда входная величина может являться суммой или разностью двух величин, распределенных равномерно с одинаковыми значениями диапазонов.

Приложение Б

Таблица Б.1 – Распределение Стьюдента для определения параметра (коэффициента) t_p

ν	p				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,314	12,706	31,821	63,657	636,62
2	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,597
11	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646

Приложение В

Таблица В.1 – Метрологические характеристики приборов для индивидуального задания по вариантам

№ варианта	Наименование СИТ	Тип прибора	Метрологические характеристики		
			Клас точности (основная допустимая погрешность)	R_{BX}	Предельное значение
1	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	$10MOm \pm 5\%$	30В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-20	1,5	$10MOm \pm 5\%$	30В
2	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10MOm \pm 5\%$	300В
	Омметр	В7-26	2,5	$10MOm \pm 5\%$	200кОм
3	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	$10MOm \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10MOm \pm 5\%$	30В
4	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	$10MOm \pm 5\%$	30В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	$10MOm \pm 5\%$	30В
5	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10MOm \pm 5\%$	10В
	Осциллограф	С1-65	6	$10MOm \pm 10\%$	$h = 6$ дел
6	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10MOm \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-39	4	$10MOm \pm 5\%$	10В
7	Частотомер	ЧЗ-35	Относительная погрешность 10^{-8}	$10MOm \pm 5\%$	1кГц
8	Частотомер	ЧЗ-35А	Относительная погрешность 10^{-7}	$10MOm \pm 5\%$	1мс
	Осциллограф	С1-65А	6	$10MOm \pm 10\%$	$l = 10$ дел
9	Вольтметр (ПЗ)	В4-14	6	$10MOm \pm 5\%$	10В
10	Вольтметр (ПЗ)	В4-14	6	$10MOm \pm 5\%$	3В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-45	4	$10MOm \pm 5\%$	3В
11	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	$10MOm \pm 5\%$	3В
	Осциллограф	С1-72	6	$10MOm \pm 10\%$	$h = 6$ дел
12	Вольтметр (ПЗ)	ВК7-15	6	$10MOm \pm 5\%$	10В
	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10MOm \pm 5\%$	30В
13	Вольтметр (СКЗ)	В3-53	2,5	$10MOm \pm 5\%$	30В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-33	2,5	$10MOm \pm 5\%$	30В
14	Частотомер	ЧЗ-35А	Относительная погрешность 10^{-7}	$10MOm \pm 5\%$	10мс
15	Вольтметр (ПЗ)	В4-18	6	$10MOm \pm 5\%$	1В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10MOm \pm 5\%$	1В
16	Частотомер	ЧЗ-35	Относительная погрешность 10^{-8}	$10MOm \pm 5\%$	1мс
	Осциллограф	С1-49	5	$10MOm \pm 10\%$	$l = 10$ дел
17	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10MOm \pm 5\%$	3В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	$10MOm \pm 5\%$	3В
18	Вольтметр (ПЗ)	В4-14	6	$10MOm \pm 5\%$	10В
	Осциллограф	С1-72	6	$10MOm \pm 10\%$	$h = 6$ дел

Продолжение таблицы В.1

19	Вольтметр (СКЗ)	В3-45	4	10МОм±5%	10В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	10МОм±5%	10В
20	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	1В
	Вольтметр (ПЗ)	ВК7-15	6	10МОм±5%	10В
21	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	10МОм±5%	1В
22	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	3В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-41	4	10МОм±5%	3В
23	Частотомер	ЧЗ-35А	Относительная погрешность 10^{-7}	10МОм±5%	0,1мс
	Осциллограф	С1-65А	6	10МОм±10%	$t = 10$ дел
24	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	10МОм±5%	1В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-20	1,5	10МОм±5%	10В
25	Вольтметр (ПЗ)	В4-12	4	10МОм±5%	30В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-20	1,5	10МОм±5%	10В
26	Вольтметр (СКЗ)	В3-53	2,5	10МОм±5%	3В
27	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	1В
	Осциллограф	С1-49	5	10МОм±10%	$h = 6$ дел
28	Частотомер	ЧЗ-34А	Относительная погрешность 10^{-8}	10МОм±5%	1мс
	Осциллограф	С1-65	6	10МОм±10%	$t = 10$ дел
29	Вольтметр (СКЗ)	В3-53	2,5	10МОм±5%	3В
	Вольтметр (СВЗ)	В3-33	2,5	10МОм±5%	3В
z	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10МОм±5%	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	10МОм±5%	10В

Приложение Г

Таблица Г.1 – Метрологические характеристики приборов для решения домашнего задания часть 1. «Оценка неопределенности результатов прямых измерений напряжения информационных сигналов»

Номер бригады	Наименование СИТ	Тип прибор	Метрологические характеристики		
			класс точности (основная допустимая погрешность)	$R_{вх}$	предельное значение
1	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
2	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
3	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
4	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
5	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	10В
6	Вольтметр (СКЗ)	В3-40	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В
7	Вольтметр (СВЗ)	В3-38	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	3В
8	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	$10M_{ом} \pm 5\%$	1В

Таблица Г.2 – Варианты к домашнему заданию (часть 1)

Номер бригады	Напряжение (U , В)	$T^0_{окр.ср.}$	Доверительная вероятность (p_d)	Функция распределения	Форма сигнала	R_n , кОм
1	2,5	25	0,9	Трапецидальная		$10 \pm 5\%$
2	6	23	0,95	Прямоугольная		$10 \pm 5\%$
3	0,7	21	0,95	Треугольная		$10 \pm 5\%$
4	1,5	21	0,95	Треугольная		$10 \pm 5\%$
5	5,5	26	0,95	Прямоугольная		$10 \pm 5\%$
6	0,5	25	0,99	Прямоугольная		$10 \pm 5\%$
7	2,0	21	0,90	Прямоугольная		$10 \pm 5\%$
8	0,4	25	0,90	Треугольная		$10 \pm 5\%$

Приложение Д

Таблица Д.1 – Метрологические характеристики приборов для решения домашнего задания часть 2. «Оценка неопределенности результатов косвенных измерений коэффициента амплитуды информационного сигнала»

Номер брига-ды	Наименование СИТ	Тип прибор	Метрологические характеристики		
			класс точности (основная допустимая погрешность)	$R_{вх}$	предельное значение
1	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10Мом±5%	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	10Мом±5%	10В
2	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10Мом±5%	3В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-56	1	10Мом±5%	3В
3	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10Мом±5%	1В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	10Мом±5%	1В
4	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10Мом±5%	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-48А	2,5	10Мом±5%	3В
5	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10Мом±5%	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-42	4	10Мом±5%	10В
6	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10Мом±5%	3В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-40	2,5	10Мом±5%	3В
7	Вольтметр (ПЗ)	В7-15	6	10Мом±5%	1В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-48А	2,5	10Мом±5%	1В
8	Вольтметр (ПЗ)	В7-26	4	10Мом±5%	10В
	Вольтметр (СКЗ)	В3-48	2,5	10Мом±5%	3В

Таблица Г.2 – Варианты к домашнему заданию (часть 2)

Номер бригады	Напряже-ние (U_m , В)	Напряже-ние (U , В)	T^0 окр.ср.	Доверительная вероятность (p_d)	Функция распределения	Форма сигнала	R_n , кОм
1	7	5	25	0,9	Трапецеидаль-ная		10±5%
2	2,6	1,5	23	0,95	Прямоугольная		10±5%
3	0,7	0,68	21	0,95	Треугольная		10±5%
4	4	2,3	21	0,95	Треугольная		10±5%
5	6,5	4,5	26	0,95	Прямоугольная		10±5%
6	2,5	1,8	25	0,99	Прямоугольная		10±5%
7	0,78	0,8	21	0,90	Прямоугольная		10±5%
8	5	2,6	25	0,90	Треугольная		10±5%

Литература

Основная

1. Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю в системах зв'язку. Підручник / Л. В. Коломієць, П. П. Воробієнко, М. Т. Козаченко, і др. – Одеса: ТОВ «ВМВ», 2009.

2 ДСТУ — Н РМГ 43:2006 Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43—2001, IDT)

Вспомогательная

3 ДСТУ Метрологія. Термины и определения.

4 ГОСТ 8.009 — 84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

Редактор

Кодрул Л. А.

Комп'ютерна верстка

Корнійчук Є. С.

Здано в набір 13.05.2011 Підписано до друку 5.06.2011

Формат 60/88/16 Зам. № 4576.

Тираж 500 прим. Обсяг: 5,0 ум. друк. арк.

Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO

у друкарні редакційно-видавничого центру ОНАЗ ім. О.С. Попова

ОНАЗ, 2011