

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних занять та самостійної роботи з дисциплін

"ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ"

для студентів спеціальності

152 „Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка“
(освітня програма: „Якість, стандартизація та сертифікація“)
денної й заочної форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни "Основи метрології та інформаційно-вимірювальної техніки " для студентів спеціальності 152 „Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка“ (освітня програма: „Якість, стандартизація та сертифікація“) денної і заочної форм навчання /Укл.: О.В.Томашевський, Ігнаткін В.У. – Запоріжжя: НУ "Запорізька політехніка", 2020.– 35 с.

Укладачі: Томашевський О.В., доц., канд. техн. наук

Рецензент: Сніжної Г.В., доц., канд. фіз.-матем. наук

Відповід. за випуск: А. В. Коротун, доц., канд. фіз.-мат. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
мікро- та наноелектроніки

Протокол №5
від „20“ жовтня 2020 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
Протокол № 3
від „ 22 “ жовтня 2020 р.

ЗМІСТ

1 Лабораторна робота № 1	
«Методика однократних вимірювань»	5
1.1 Мета роботи	5
1.2 Стислі теоретичні відомості	5
1.3 Завдання до лабораторної роботи	6
1.4 Контрольні запитання	7
2 Лабораторна робота № 2	
«Методика багатократних вимірювань»	8
2.1 Мета роботи	8
2.2 Стислі теоретичні відомості	8
2.3 Завдання до лабораторної роботи	10
2.4 Контрольні запитання	14
3 Лабораторна робота № 3	
«Певірка засобів вимірювань»	14
3.1 Мета роботи	14
3.2 Стислі теоретичні відомості	14
3.3 Завдання до лабораторної роботи	17
3.4 Контрольні запитання	19
4 Лабораторна робота № 4	
«Прямі вимірювання. Статистична обробка результатів прямих вимірювань»	19
4.1 Мета роботи	19
4.2 Стислі теоретичні відомості	19
4.2.1 Основні поняття і початкова обробка даних	20
4.3 Завдання до лабораторної роботи	23
4.4 Контрольні запитання	24
5 Лабораторна робота № 5	
«Робота з осцилографом»	25
5.1 Мета роботи	25
5.2 Стислі теоретичні відомості	25
5.2.1 Принцип дії осцилографа	26
5.2.2 Управління осцилографом	28
5.2.3 Вимірювання осцилографом	29
5.2.4 Вимірювання напруги	29
5.2.5 Вимірювання частоти	30

5.2.6. Вимірювання зсуву фаз	30
5.3 Завдання до лабораторної роботи	32
5.4 Контрольні запитання	33
6. Самостійна робота	33
Перелік посилань.	34

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

«МЕТОДИКА ОДНОКРАТНИХ ВИМІРЮВАНЬ»

1.1 Мета роботи

Вивчити конструкцію та метрологічні характеристики універсальних вимірювальних засобів для визначення лінійних розмірів; засвоїти методику однократного виміру.

1.2 Стислі теоретичні відомості

До універсальних вимірювальних засобів для визначення лінійних розмірів відносять:

- штрихові міри (лінійки);
- штангенінструменти – штрихові прилади з шкалою ноніуса (штангенциркулі; штангенглибиноміри; штангенрейсмуси);
- прилади з застосуванням мікрометричних гвинтових пар (мікрометри);
- важільно-механічні прилади (важільні – мінометри; зубчаті – «годинникові»; важільно – зубчаті; пружинні; важільно-пружинні.)

Лінійки забезпечують визначення розмірів з точністю до 1 мм - це визначається "ціною" позначок. Штангенінструменти виготовляють з "ціною" - значенням відліку на шкалі ноніуса 0,1 мм або 0,05 мм. Мікрометри та зубчаті вимірювальні прилади забезпечують точність вимірів до 0,01 мм, важільно-зубчаті – 1 мкм або 2 мкм.

Більшість вимірів, які виконуються на виробництві і у побуті є однократними. Точність таких вимірів визначається точністю використовуваного приладу. Згідно з метрологічними нормами методика однократного вимірювання передбачає використання значення відліку з шкали приладу за середнє значення вимірюваної величини. Інтервальну оцінку вимірюваної величини отримують з співвідношення

$$\bar{X} - \delta \leq X \leq \bar{X} + \delta \quad (1.1)$$

де δ – найбільше з відхилень (похибка), яке припускає використання приладу.

Для універсальних засобів вимірювань лінійних розмірів найбільше відхилення визначають через ціну позначки шкали. Наприклад, для звичайної лінійки "ціна позначки" становить 1 мм. Для інших приладів використовується поняття "класу точності".

Позначення класу точності на шкалі приладу вказує, що дійсне значення вимірюваної величини не відрізняється від значення відліку з шкали приладу більше ніж на вказане число відсотків.

Відхилення δ обчислюють відносно відліку (показання приладу), якщо клас точності вказано у колі, або відносно верхньої межі вимірювань (максимальне значення на шкалі приладу), якщо вказано лише число.

Отже, використовуючи значення відліку та клас точності приладу можна визначити інтервал, в якому з певною ймовірністю знаходиться дійсне (істинне) значення вимірюваної величини.

Для підвищення точності однократних вимірів рекомендується виконати вимірювання тричі і не здійснюючи ніяких математичних дій взяти за результат вимірювання середнє значення з отриманих трьох. Наприклад, виміряти характерний розмір в трьох різних точках і взяти середнє значення, або те значення яке повторюється, як результат вимірювання.

1.3 Завдання до лабораторної роботи

Для заданого розміру зразка визначити можливі межі зміни значень цього розміру без застосування засобів вимірювання - зробити оцінку значення розміру тобто одержати апріорну інформацію про розмір деталі. Далі, за методикою однократного вимірювання викопати виміри та визначити інтервальну оцінку цього розміру послідовно використовуючи такі засоби вимірювань: лінійка; штангенциркуль; мікромметр. Результати вимірів звести до таблиці 1.1. Порівняти значення вимірів та інтервальні оцінки розміру зразка одержані різними засобами вимірювань. Обчислити кількість інформації, яку одержують при підвищенні класу точності засобів вимірювань

$$I = \ln \left(\frac{x_2 - x_1}{x_4 - x_3} \right) \quad (1.2)$$

де $x_2 - x_1$ – граничні значення інтервальної оцінки вимірювального розміру, визначені засобом вимірювань більш низького класу точності;

$x_4 - x_3$ – граничні значення інтервальної оцінки того самого розміру, але одержані з використанням засобу вимірювань більш високого класу точності.

Таблиця 1.1 – Результати однократних вимірів

Характеристики вимірювальної величин	Апріорна інформація	Вимірювальна інформація одержана при використанні:		
		лінійки	штанген-циркуля	мікрометру
Клас точності (ціна позначки)				
Значення відліку				
Інтервальна оцінка				
Кількість інформації				

Зробити вимірювання на трьох зразка та записати одержані результати

1.4 Контрольні запитання

1. Як позначається точність засобів вимірювань для визначення лінійних розмірів?
2. Як позначається клас точності приладів ?
3. Як при однократному вимірюванні отримують інтервальну оцінку вимірюваної величини ?
4. Як оцінюють інформативність вимірів?
5. Що означає позначення класу точності приладу?

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

«МЕТОДИКА БАГАТОКРАТНИХ ВИМІРЮВАНЬ»

2.1 Мета роботи

Вивчити методика багатократних вимірювань.

2.2 Стислі теоретичні відомості

Багатократні виміри, як правило виконують лише у випадках підвищених вимог до точності вимірювань. Методика багатократних вимірювань ґрунтується на визначенні вимірюваної величини як випадкової і передбачає виконання таких дій:

- 1 для $n=11$ – аналіз апріорної (до досліду) інформації;
- 2 – виконання вимірів, результатом яких є одержання n значень відліків з показань приладу;
- 3 – внесення поправок у значення відліків в результаті чого отримуємо n значень результатів вимірювань;
- 4 – визначення статистичних характеристик \bar{x} та S_x для вибірки обсягом n значень вимірювальної величини;
- 5 – перевірка наявності аномальних значень x_a ;
- 6 – визначення інтервальної оцінки для істинного значення вимірюваної величини.

Статистичні характеристики визначаються з формул:

- а) – середньоарифметичне значення випадкової вимірюваної величини:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (2.1)$$

- б) – середньоквадратичне відхилення вимірюваної величини від середньоарифметичного

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.2)$$

Далі методикою передбачено виконання перевірки наявності аномальних значень. Для виявлення у масиві вимірів аномальних,

тобто таких, які значно відрізняються від усіх інших, з врахуванням припущень про нормальний закон розподілення та про те, що дисперсія відома, може бути використано правило «трьох сигм»

$$|x_a - \bar{x}| \geq 3S_x \quad (2.3)$$

Якщо виконується ця умова, то сумнівне значення x_a вважається аномальним. Цей вимір необхідно вилучити з вибірки і повторити розрахунки статистичних характеристик. Можливе використання критерію Гребса.

$$Z = \frac{|X_a - \bar{X}|}{S_x} \geq Z_{kp} \quad (2.4)$$

Критичне значення цього критерію, для $\alpha = 0,05$, дорівнює:

при $n = 5$ $Z_{kp} = 1,87$; при $n = 10$ $Z_{kp} = 2,29$;
 при $n = 20$ $Z_{kp} = 2,62$; при $n = 25$ $Z_{kp} = 2,72$;

Будемо вважати, що гіпотеза про нормальний закон розподілення виконується, величину S обчислюють за формулою:

$$S = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Інтервал вірогідності розраховують як добуток S та коефіцієнту Стьюдента, який визначають з таблиць в залежності від n та α .

Наприклад, $\alpha = 0,05$;

n-1	4	5	7	9	10	15	20	25	30
t	2.776	2.571	2.365	2.262	2.228	2.131	2.086	2.06	2.042

Отже, визначивши інтервал вірогідності (надійності)

$$\varepsilon = t g S \quad (2.6)$$

Одержуємо інтервальну оцінку істинного значення вимірюваної величини

$$\bar{x} - \varepsilon \leq X \leq \bar{x} + \varepsilon \quad (2.7)$$

Цей запис означає, що істинне значення вимірюваної величини знаходиться у визначеному інтервалі з надійністю у $(1-a)*100$ відсотків.

2.3 Завдання до лабораторної роботи

Використовуючи відтинок будь-якого гарячекатаного профілю або спеціальний калібр виконати вимірювання:

- однократне вимірювання з визначенням інтервальної оцінки за класом точності засобу вимірювань;

- повторити вимірювання того самого розміру на 10 інших ділянках і визначити розмір профілю за методикою багатократного вимірювання (для $n=11$);

- збільшити кількість вимірів до 25 і повторити обробку результатів багатократного вимірювання.

Результати вимірів записати у зошиті у довільній формі, а результати розрахунків завести до таблиці, форма якої представлена таблицею 2.1. За отриманими даними проаналізувати як впливає кількість вимірів на їх точність.

Використання заданих значень результатів вимірювань, згідно варіантів наведених в таблиці 2.2

Таблиця 2.1 – Результати багатократних вимірів

Кількість вимірів	Середньозважені			Коеф. t	Інтервал надійності і ε	Інтервальна оцінка результату
	арифметичне \bar{x}	квадратичне вимірів S_x	квадратичне середньо-арифметичного S			
1						
11						
25						

Таблиця 2.2 – Умови індивідуальних завдань (для $n=1, \dots, 9$)

Номер Варіан ту	Номер відліку при багатократному вимірюванні								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,25	1,79	1,59	1,57	1,29	1,41	1,67	1,51	1,82
2	19,59	18,29	20,04	18,79	19,36	21,15	21,22	17,41	21,9
3	29,19	29,23	30,26	32,19	30,94	32,53	32,25	31,42	29,07
4	4,41	3,96	4,15	4,46	4,21	3,98	4,76	4,35	3,81
5	5,31	5,34	5,03	5,66	4,89	5,26	4,67	5,01	5,61
6	6,18	5,1	6,35	6,05	5,85	6,33	5,64	5,89	5,03
7	15,6	15,43	16,39	15,51	16,82	17,45	18,03	17,39	16,52
8	28,06	25,42	29,37	27,78	27,95	28,68	28	28,55	28,22
9	18,91	18,23	19,55	18,78	19,11	18,77	19,75	18,6	18,94
10	9,34	9,96	10,76	9,74	10,8	9,69	9,53	9,56	8,02
11	12,22	12,47	10,56	11,53	10,45	12,37	9,98	10,24	14,34
12	12,14	12,22	12,05	11,87	11,28	11,87	11,98	11,72	11,88
13	13,09	12,84	12,87	13,06	13,05	12,7	13,22	13,4	13,2
14	14,45	14,66	14,07	14,31	13,89	15,45	13,58	14,17	12,81
15	27,73	24,07	24,27	25,56	25,43	25,36	25,42	25,11	23,93
16	36,60	36,69	36,18	36,28	35,95	36,3	35,52	35,32	35,91
17	5,96	7,1	7,66	8,6	6,89	7,05	7,49	7,87	7,34
18	48,88	46,99	45,58	47,85	48,32	47,63	43,84	44,61	46,25
19	92,76	90,19	93,06	91,21	85,2	90,51	85,16	94,88	94,45
20	47,78	53,32	49,86	41,19	44,95	57,37	49,9	56,03	53,28
21	18,47	20,75	21,86	23,4	17,54	21,26	20,32	22,11	17,35
22	41,51	37,06	48,69	43,59	43,63	41,77	43	37,04	47,96
23	21,94	21,6	21,92	22,33	21,76	22,2	21,55	22,14	22,28
24	21,11	25,27	23,73	20,7	23,99	18,9	23,39	22,95	22,12
25	64,36	52,44	55,64	59,71	58,59	66,52	44,23	60,47	61,67
26	31,95	33,11	32,16	31,26	32,23	31,57	31,83	32,02	32,63
27	5,27	5,24	10,41	7,69	7,53	3,02	5,44	8,14	6,49
28	18,46	15,74	18,03	15,39	20,72	18,01	14,47	16,39	16,23
29	9,19	8,89	8,96	9,03	9,69	8,06	10,2	8,52	8,95
30	33	29,23	34,75	34,07	32,3	34,79	30,36	36,11	31,82

Продовження таблиці 2.2

Номер Варіанту	Номер відліку при багатократному вимірюванні								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1,21	1,63	1,96	1,21	1,05	1,29	1,97	2,3	1,9
2	18,76	17,58	14,75	17,25	20,05	18,58	16,31	22,02	23,26
3	28,6	31,92	31,88	30,83	21,13	28,47	28,28	25,46	33,31
4	4,19	3,93	5,12	3,69	4,66	3,73	3,71	3,79	3,59
5	5,74	5,04	6,27	4,95	5,64	5,12	4,83	5,91	5,14
6	6,08	5,91	4,42	4,46	6,44	5,54	5,89	5,3	5,93
7	16,03	17,85	16,88	18,96	16,95	16,6	16,62	18,07	16,51
8	28,06	28,92	28,27	27,86	28,44	27,61	28,75	27,88	28,4
9	18,08	18,8	18,79	17,83	20,56	17,21	17,9	19,72	18,14
10	10,99	9,9	9,88	9,08	9,97	10,35	2,81	11,3	10,51
11	11,65	11,89	12	10,71	10,58	11,28	11,36	10,87	9,87
12	11,59	12,08	11,98	12,44	12,16	11,87	11,86	12,11	12,01
13	12,94	13,1	12,59	13,56	12,83	12,98	12,6	13,38	13,17
14	14,78	13,38	13,88	13,75	14,14	13,67	14,14	13,81	13,71
15	24,36	24,72	25,48	25,78	24,66	25,1	24,73	25,12	24,93
16	35,65	35,97	36,22	36,37	35,25	36,07	35,87	35,34	36,14
17	7,39	6,64	8,7	7,24	6,31	7,32	6,93	6,8	7,28
18	46,57	45,7	48,51	42,64	48,64	47,21	48,14	46,56	45,09
19	89,17	92,06	88,45	84,09	87,22	93,04	86,21	88,56	84,5
20	48,98	46,35	53,47	44,89	54,99	55,34	52,61	45,64	59,61
21	21,82	20,31	22,01	17,16	20,42	22,75	19,19	20,75	25,45
22	36,43	41,33	42,46	37,27	34,75	42,93	41,04	45,22	46,67
23	21,86	22,1	22,05	22,5	22,29	21,78	21,92	22,05	22,01
24	24,15	20,26	18,38	21,72	19,45	18,34	21,28	24,69	17,36
25	67,22	63,82	50,27	51,33	50,51	57,11	53,51	53,14	42,92
26	32,3	31,41	32,37	32,66	31,61	33,14	31,31	32,02	31,02
27	1,93	2,35	7,4	5,09	3,07	9,4	8,39	7,03	8,51
28	15,53	16,96	17,81	16,83	16,99	19,98	16,44	17,47	18,64
29	9,34	7,74	9,56	9,1	8,34	9,22	9,26	8,3	8,29
30	35,08	34,88	33,06	29,94	35,39	31,41	35,6	29,72	31,77

Продовження таблиці 2.2

Номер Варіанту	Номер відліку при багатократному вимірюванні						
	19	20	21	22	23	24	25
1	1,27	1,82	1,04	1,87	1,35	1,33	1,45
2	19,68	20,73	22,71	18,99	18,59	21,24	19,8
3	28,01	30,69	32,45	30,14	26,86	26,39	32,57
4	4,14	3,83	4,12	4,33	3,25	3,34	4,52
5	4,86	4,91	5,16	4,99	5,03	4,91	4,52
6	5,39	6,88	6,44	4,73	6,87	5,9	6,18
7	17,22	18,63	17,32	17,17	17,84	17,64	16,88
8	26,32	28,67	27,21	27,26	28,23	29	28,93
9	19,85	18,78	17,87	17,57	19,98	19,56	19,4
10	9,66	7,83	11,84	8,84	10,49	10,76	8,73
11	12,05	10,36	12,05	10,96	10,98	10,37	9,25
12	12,14	12,14	11,83	12,08	12,12	11,76	11,98
13	12,77	13,72	12,7	11,35	13,08	13,36	13,25
14	13,3	13,91	14,81	14,37	14,04	14,05	14,15
15	23,42	24,71	25,64	25,08	25,54	24,97	25,93
16	36,47	36,75	37,12	35,82	36,45	36,22	36,54
17	7,21	7,81	6,31	6,19	6,96	7,79	7,54
18	46,56	46,39	50,54	47,21	48,27	47,49	49,32
19	82,3	84,29	91,05	91,69	91,88	86,82	87,89
20	47,24	56,63	43,08	38,38	56,53	52,87	51,74
21	20,16	20,47	19,82	20,78	19,74	21,06	20,07
22	38,49	40,8	40,98	43,01	46,52	47,97	36,93
23	21,69	22,14	22,23	22,29	22,1	21,88	22,17
24	21,11	21,23	28,55	18,53	23,04	22,09	23,57
25	59,13	63,02	67,46	60,26	60,46	53,48	52,52
26	32,19	31,59	31,87	31,77	31,97	32,25	31,41
27	8,58	5,43	10,9	8,09	8,53	6,68	9,99
28	15,28	16,36	18,61	16,48	17,82	18,45	16,26
29	10,15	9,14	9,55	9,83	9,17	8,46	8,76
30	30,48	31,23	36,93	40,24	31,31	28,17	34,06

2.4 Контрольні запитання

1. Як позначається точність засобів вимірювань для визначення лінійних розмірів?
2. В чому відмінні результати однократних та багатократних вимірювань однієї й тієї ж величини?
3. Яке середньоквадратичне відхилення характеризують величини S_x та $S^?$
4. Як оцінюють інформативність вимірів?
5. Для чого використовують і що характеризує параметр t ?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 «ПОВІРКА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ»

3.1 Мета роботи

Вивчення методики повірки засобів вимірювань та визначення критеріїв їх придатності.

3.2 Стислі теоретичні відомості

Повірка – це визначення метрологічної придатності приладу, для повірки необхідно мати зразковий засіб вимірювань та забезпечити отримання значення вимірюваної величини. В разі відсутності зразкового засобу можливо використання засобу вимірювань з більш високим класом точності. Повірку починають з того, що на шкалі приладу, який повіряють, вибирають контрольні точки. Рекомендується вибирати певні значення в першій та останній третинах шкали. Далі, змінюючи значення вимірюваної величини, виконують не менше п'яти відліків при наближенні до вибраного значення на шкалі приладу з боку менших та більших значень. Дійсне значення вимірюваної величини фіксують за показанням зразкового засобу вимірювань. Відтак розраховують похибки вимірювань

$$\Delta_{m_i} = X_{m_i} - X; \quad (3.1)$$

$$\Delta_{\delta_i} = X_{\delta_i} - X, \quad (3.2)$$

де X_{m_i} , X_{δ_i} – відліки на зразковому приладі при наближенні до X з боку менших та більших значень, відповідно;

X – вибране значення (контрольна точка) на шкалі приладу, який повіряють.

Далі визначають середні похибки $\overline{\Delta}_m, \overline{\Delta}_\delta$

$$\overline{\Delta}_m = \frac{\sum \Delta_{m_i}}{n}; \quad \overline{\Delta}_\delta = \frac{\sum \Delta_{\delta_i}}{n}; \quad (3.3)$$

та систематичну складову похибки приладу

$$\Delta_c = \frac{\overline{\Delta}_m + \overline{\Delta}_\delta}{2} \quad (3.4)$$

де n – кількість вимірів (рекомендовано не менше 5).

Оцінку середньоквадратичного відхилення випадкової складової похибки приладу обчислюють по формулі:

$$S_\Delta = \sqrt{\frac{1}{2n-1} \left[\sum (\Delta_{m_i} - \overline{\Delta}_m)^2 + \sum (\Delta_{\delta_i} - \overline{\Delta}_\delta)^2 \right]} \quad (3.5)$$

Потому визначають загальну похибку для кожного з реалізацій вимірювань, що дорівнює сумарній похибки при наближенні до контрольної точки з боку менших та більших значень.

$$\Delta_{\sum_i} = |\Delta_{m_i}| + |\Delta_{\delta_i}| \quad (3.6)$$

та вибирають найбільше з цих значень – $\Delta_{\sum_{\max}}$

Варіація різних показань приладу становитиме:

$$Var = |\overline{\Delta}_m - \overline{\Delta}_\delta|. \quad (3.7)$$

Розраховані систематична складова Δ_c похибки, середньоквадратичне відхилення S_Δ та загальна похибка $\Delta_{\Sigma \max}$ є абсолютними характеристиками (оцінками) точності приладу.

Відносні показники точності розраховують за формулами:

$$- \text{відносна систематична } \delta_c = \frac{\Delta_c}{X} \cdot 100\%; \quad (3.8)$$

$$- \text{відносна випадкова } \delta_\Delta = \frac{S_\Delta}{X} \cdot 100\%; \quad (3.9)$$

$$- \text{відносна максимальна } \delta = \frac{\Delta_{\Sigma \max}}{N} \cdot 100\%; \quad (3.10)$$

де N – нормуючий множник, за який приймають значення контрольної точки, при позначенні класу точності на приладах у колі, або приймають верхню межу вимірювань на шкалі приладу, при позначенні класу точності без кола. Нормуючий множник для випадків позначення класу точності у колі також може бути розрахований з співвідношень:

$$\begin{aligned} \overline{X}_m &= \frac{1}{n} \sum X_m, & \overline{X}_\delta &= \frac{1}{n} \sum X_\delta, & (3.11) \\ N &= \frac{(\overline{X}_m + \overline{X}_\delta)}{2} \end{aligned}$$

Прилад вважається метрологічне придатним, якщо виконується умова «приведена похибка приладу не перевищує зазначеного класу точності», тобто $\delta \leq K_N$.

Якщо наведена умова не виконується, то прилад вважається метрологічне непридатним й підлягає ремонту. В деяких випадках якщо умови роботи приладу не дозволяють, прилад переводять в нижчий клас точності K_N , який вибирають з ряду:

$$(1; 1,5; 2.; 2,5; 4; 5; 6) * 10^k$$

де $k = 0, -1, -2$.

Бракованою ознакою може бути також перевищення розрахованих відносних похибок від значень, наведених в паспорті приладу.

3.3 Завдання до лабораторної роботи

Виконати обробку повірочних вимірів вольтметра класу точності K_N , верхня межа якого An . Показання зразкового приладу для однієї відмітки шкали – X , наведені в таблиці 3.1. По цим значенням визначити метрологічні характеристики приладу: варіацію показань Var ; систематичну складову Δ_c ; оцінку середньоквадратичного відхилення S_Δ ; загальну похибку $\Delta_{\Sigma \max}$; клас точності фактичний δ . Зробити висновки про придатність приладу для використання.

Абсолютні характеристики			Відносні характеристики		
Δ_c	S_Δ	Δ_Σ	δ_c	δ_Δ	δ_{\max}

$$\delta_{\max} < K_N$$

Таблиця 3.1 – Вихідні данні для повірки приладу

№ Варіанта	Контрольна точка X на шкалі	Клас точності K_N	Верхня межа вимірювань An	Показання (відліки) зразкового засобу вимірювань при наближенні до X - х				
				- з боку менших (верхній рядок) X_m ;		- та більших (нижній рядок) значень X_b ;		
1	5	1,75	7,5	4,85	4,90	4,90	4,95	5,0
				5,15	5,10	5,05	5,15	5,2
2	10	1,0	15	9,75	9,85	9,80	9,90	9,95
				10,1	10,15	10,05	10,1	10,2
3	15	0,5	30	14,95	14,80	14,85	14,95	14,90
				15,10	15,20	15,15	15,05	15,10
4	20	2.5	50	19,75	19,85	19,90	19,70	19,75
				20,10	20,25	20,05	20,15	20,20

5	50	1,5	100	49,75	49,90	49,80	49,95	49,85
				49,95	50,00	50,10	50,05	50,15
6	100	0,5	150	99,5	98,5	98,0	99,5	97,5
				102,0	101,5	100,5	102,5	101,0
7	150	1,0	200	148	150	145	147	145
				155	154	156	158	157
8	200	2,5	250	184	186	180	190	196
				200	195	205	210	195
9	250	1,5	300	240	245	248	250	245
				265	260	270	275	270
10	100	0,2	500	95	100	98	96	102
				100	102	104	103	101
11	400	0,5	500	380	385	390	387	395
				397	400	401	405	410
12	500	1,5	750	450	455	456	460	470
				490	500	510	515	520
13	600	4,0	750	590	595	595	600	605
				625	620	615	630	635
14	200	2,0	1000	198	195	200	197	196
				201	203	205	210	208
15	800	5,0	1000	750	760	765	770	755
				790	800	815	805	810
16	1,5	2,5	10	1,48	1,40	1,45	1,38	1,50
				1,50	1,52	1,55	1,57	1,51
17	2,0	0,5	6	1,96	1,97	1,95	1,98	1,99
				2,05	2,15	2,05	2,10	2,20
18	25	1,5	100	24,1	24,5	24,4	24,7	24,8
				25,15	25,9	25,25	25,30	25,05
19	65	4,0	100	64,2	64,3	64,5	64,8	64,4
				66,1	65,5	65,4	65,6	65,2
20	650	2,5	750	638	635	645	640	655
				655	660	665	670	675
21	20	2,5	500	19,6	19,8	19,5	19,7	19,6
				20,2	20,9	21,	20,5	20,7
22	380	4,0	500	378	377	375	370	380
				381	383	382	386	384
23	220	1,5	700	219	216	215	217	218
				228	226	225	224	222
24	24	0,5	200	23,5	23,6	23,4	23,1	23,9
				24,1	24,9	24,5	24,6	24,3
25	12	0,5	20	11,5	11,6	11,0	11,2	11,8
				12,2	12,6	12,8	13,0	12,4

3.4 Контрольні запитання

1. Як позначається клас точності приладів ?
2. Які головні метрологічні характеристики засобів вимірювань?
3. За рахунок якої складової похибок та яким чином можна підвищити точність вимірів?
4. Чому при повірці розраховують абсолютне значення систематичної складової похибки, а для випадкової – оцінку середньоквадратичного відхилення?
5. Хто і коли виконує повірку приладів?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

«ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ»

4.1 Мета роботи

Навчитися проводити статистичну обробку групи результатів прямих вимірювань на основі результатів багаторазового вимірювання; навчитися оцінювати похибку вимірювань і правильно записувати результат вимірювання.

4.2 Стислі теоретичні відомості

Головним завданням будь-яких вимірювань є отримання з заданою точністю і достовірністю кількісної інформації про фізичні величини, закономірності процесів, що протікають. Оскільки вимірювання практично завжди супроводжуються появою випадкових похибок, то обробка результатів вимірювань повинна включати в себе операції над випадковими процесами або випадковими величинами. Ці операції виконуються за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики.

Статистична обробка результатів вимірювань – це обробка вимірювальної інформації з метою отримання достовірних даних. Статистична обробка використовується для підвищення точності

вимірювань з багаторазовими спостереженнями, а також визначення статистичних характеристик випадкової похибки.

Необхідність в багаторазових спостереженнях деякої фізичної величини виникає при наявності в процесі вимірювань значних випадкових похибок. При цьому завдання обробки полягає в тому, щоб за результатами спостережень визначити найкращу (оптимальну) оцінку вимірюваної величини і довірчий інтервал, в якому вона знаходиться з заданою вірогідністю. Дане завдання вирішується способом статистичної обробки результатів спостережень, заснованим на гіпотезі про розподіл випадкових похибок результатів по нормальному закону.

Порядок такої обробки повинен проводитися відповідно до державних стандартів і рекомендацій з метрології, що характеризують прямі вимірювання з багаторазовими спостереженнями і методи обробки їх результатів.

4.2.1 Основні поняття і початкова обробка даних

Випадковою величиною називається змінна, яка може приймати ті чи інші числові значення в залежності від різних випадкових обставин. Результати спостережень або вимірювань утворюють вибірку, яка характеризується центром групування, розсіюванням і статистичним розподілом.

Для оцінки центру групування вибірки випадкових величин використовуються:

- середнє арифметичне;
- медіана;
- мода.

Середнє арифметичне \bar{x} для вибірки випадкових величин x_1, x_2, \dots, x_n розраховується за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

Медіана дорівнює середньому члену вибірки випадкових чисел x_1, x_2, \dots, x_n розташованих в порядку зростання, при непарному n . Якщо n -парне, медіана дорівнює пів сумі двох середніх членів. Модою називається таке значення випадкової величини, ймовірність отримання якого найбільша.

Розсіювання випадкових величин всередині вибірки характеризується:

- емпіричною дисперсією;
- розмахом.

Емпірична дисперсія S_2 для вибірки випадкових величин x_1, x_2, \dots, x_n розраховується за формулою:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.2)$$

Розмах визначається як різниця максимального і мінімального члена вибірки.

Статистичним розподілом випадкової величини називається розташована в порядку зростання сукупність значень випадкових величин із зазначенням ймовірності їх виникнення.

Статистичний розподіл може бути представлено у вигляді гістограми, тобто ступеневої графіка, ординати якого відповідають частоті потрапляння даної випадкової в певний інтервал значень, відкладених по осі абсцис.

При побудові гістограм частот f_i і кількість інтервалів K визначаються за формулами:

$$f_i = \frac{m_i}{n}; \quad (4.3)$$

$$K = 1 + 3,32 \lg n; \quad (4.4)$$

де m_i - кількість влучень значень випадкової величини в i -й інтервал; n - обсяг вибірки.

Ширину інтервалів δ_K зазвичай приймають постійною (або необхідно кожного разу враховувати питому вагу ширини інтервалу) для всіх інтервалів і вибирають за формулою:

$$\delta_K = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K} \quad (4.5)$$

де x_{\max} - найбільше значення x в даній сукупності; x_{\min} - найменше з усіх x ; K число інтервалів.

Число K , розраховане по (4.4), округлюють до найближчого цілого. Зазвичай $K = 6 \dots 12$. При занадто малому числі K інтервалів можна пропустити характерні особливості кривої розподілу, а при

занадто великому K і порівняно малій N навіть в середні інтервали потрапляє мало елементів статистичної сукупності, і результати розрахунків будуть мати велику похибку.

Розглянемо приклад побудови гістограми на основі вибірки випадкових величин x_1, x_2, \dots, x_n , где $n = 100$, наведеної в таблиці 4.1.

Таблиця 4.2.1 – Випадкові величини

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	944,8	993,4	920,8	899,4	1042,0	840,6	958,5	1043,0	1018,4	1034,4
2	867,4	666,5	937,4	763,2	701,3	889,0	795,2	919,6	975,9	883,6
3	800,8	1006,0	998,5	842,4	883,5	1019,6	1002,1	1114,7	937,4	1091,8
4	943,5	917,2	808,4	842,0	981,1	989,3	972,1	754,3	897,2	1052,3
5	745,2	869,5	915,9	991,1	1090,9	1016,4	938,9	942,5	851,4	925,8
6	687,6	891,5	818,5	1028,3	965,0	975,6	770,9	690,5	934,9	888,8
7	950,0	870,7	901,8	1004,3	892,8	946,9	882,7	810,8	827,4	1042,5
8	889,6	954,7	961,4	966,5	1083,6	920,6	785,3	831,3	938,6	1103,1
9	1049,7	976,9	857,6	968,1	828,0	981,4	930,6	835,7	882,9	991,1
10	1046,9	766,0	946,1	876,7	903,2	860,1	930,0	869,5	820,9	874,8

У табл. 4.2.2 показано число елементів, що потрапили в кожен i -й інтервал і результати підрахунку відносних частот f_i .

Таблиця 4.2.2 – Таблиця розподілу випадкових величин по інтервалам

i	$(X_i \div X_{i+1})$	m_i	f_i
1	$(650 \div 700]$	3	0,03
2	$(700 \div 750]$	2	0,02
3	$(750 \div 800]$	6	0,06
4	$(800 \div 850]$	12	0,12
5	$(850 \div 900]$	20	0,20
6	$(900 \div 950]$	21	0,21
7	$(950 \div 1000]$	17	0,17
8	$(1000 \div 1050]$	13	0,13
9	$(1050 \div 1100]$	4	0,04
10	$(1100 \div 1150]$	2	0,02
11	$(1150 \div 1200]$	0	0
	Σ	100	1

Відмітимо, що

$$\sum_{i=1}^L m_i = n, \quad (4.6)$$

де L - число всіх інтервалів, наведених в табл.; i -номер інтервалів.

За даними табл.4.2.2 будемо емпіричну (експериментальну) функцію розподілу, яка може бути показана у вигляді гістограми (рис.4.1.).

При невеликому числі N дослідів іноді багатокутник розподілу виявляється сильно перекрученим. У таких випадках рекомендується збільшити ширину інтервалів.

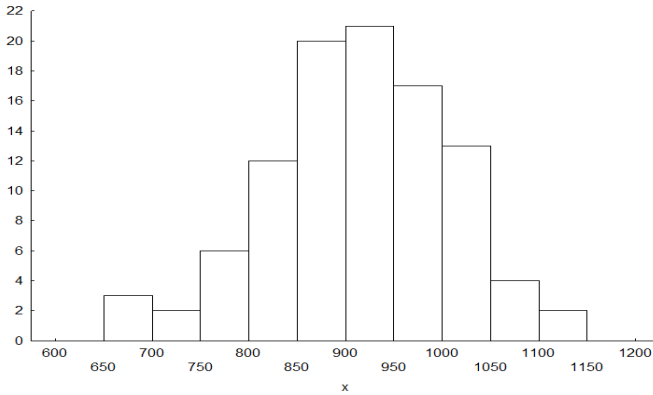


Рисунок 4.1 – Емпірическая функция розподілу у вигляді гістограми.

Для обчислення середнього арифметичного, дисперсії і побудові гістограми може бути використана програма Excel. Особливості комп'ютерної технології статистичної обробки за допомогою програми Excel викладені в навчальному посібнику [1] на С.31-33.

4.3 Завдання до лабораторної роботи

1. Виміряти величину опору в вибірці певного обсягу серійно виготовлених резисторів однакового номіналу, результати занести в таблицю.

2. Виконати статистичну обробку отриманих результатів (визначити середнє арифметичне, дисперсію і побудувати гістограму).

3. Прийняти припущення, що похибка в визначенні величини опору визначається в основному нестабільністю технологічного процесу виготовлення. Тоді відносна похибка ε_x , буде оцінювати якість серійного виготовлення резисторів даного номіналу.

4. Визначити відносну похибку ε_x за методикою викладеної у Лабораторній роботі №1.

5. Виконати п.2-4 для вибірки певного обсягу серійно виготовлених конденсаторів однакового номіналу.

6. Підготувати звіт.

4.4 Контрольні запитання

1. Вибіркові характеристики випадкової величини.
2. Форми представлення вибірки, формула Старджеса.
3. Випадкова величина, дискретні і неперервні випадкові величини.
4. Побудова гістограми і полігона частот.
5. Функція розподілу.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 «РОБОТА З ОСЦИЛОГРАФОМ»

5.1 Мета роботи

Навчитися працювати з осцилографом, провести вимірювання параметрів сигналу.

5.2 Стислі теоретичні відомості

Осцилограф - прилад, який показує форму напруги в часі. Також він дозволяє вимірювати ряд параметрів сигналу, такі як напруга, струм, частота, кут зсуву фаз. Але головна користь від осцилографа - можливість спостереження форми сигналу. У багатьох випадках саме форма сигналу дозволяє визначити, що саме відбувається в ланцюзі. На рис 5.1 показаний приклад подібної ситуації.

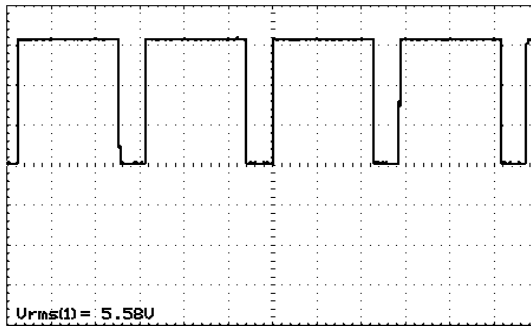


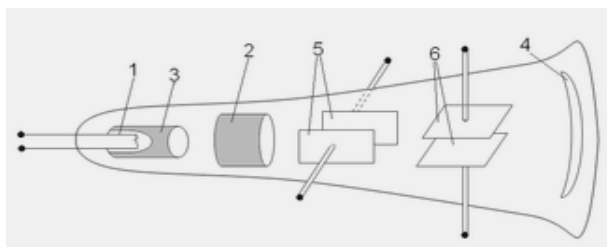
Рисунок 5.1 – Осцилограма складною сигналу

У цьому випадку напруга містить як постійну, так і змінну складові, причому форма змінної складової далека від синусоїдальної. На такому сигналі вольтметри дають велику похибку: стрілочний вольтметр змінного струму показав напругу 2,2 вольт, а цифровий - взагалі 1,99 вольт. Вольтметр постійного струму показав 4,8 вольт. Правильно діюче значення напруги показав Осцилограф - 5,58 вольт (цифрові осцилографи вимірюють напругу і дозволяють зберігати результат в комп'ютерному форматі). Крім того, осцилограма дозволяє побачити деякі властивості сигналу:

- сигнал має імпульсний характер;
- сигнал не приймає негативних значень (виміряло з відкритим входом осцилографа);
- сигнал дуже швидко змінюється від нуля до значення 6,4 вольт і назад до нуля (чутливість каналу вертикального відхилення 2 В/под);
- тривалість імпульсів більш ніж у три рази перевищує тривалість пауз.

5.2.1 Принцип дії осцилографа

«Серцем» приладу є електронно-променева трубка (ЕПТ), рис. 5.2.



- 1 – катод; 2 – система фокусуєчо-прискорювальних електродів; 3 – модулятор;
 4 – екран; 5 – система відхилення променів у горизонтальному напрямку;
 6 – система відхилення променів у вертикальному напрямку

Рисунок 5.2 – Будова електронно-променевої трубки з електростатичним керуванням.

ЕПТ є електронною лампою, і, як і всі лампи, вона «заповнена» вакуумом. Катод випромінює електрони, а система фокусування формує з них тонкий промінь. Цей електронний промінь потрапляє на екран, покритий люмінофором, який під впливом електронного бомбардування світиться, і в центрі екрану виникає точка, яка світиться. Дві пари пластин ЕПТ відхиляють електронний промінь у двох взаємно перпендикулярних напрямках, які можна розглядати як координатні осі, Тому для спостереження на екрані ЕПТ досліджуваної напруги необхідно, щоб промінь відхилявся по горизонтальній осі пропорційно часу, а по вертикальній осі – пропорційно досліджуваній напрузі.

На пластини горизонтального Відхилення променя (розташовані вертикально) подається напруга розгортки. Вона має пілкоподібну

форму: поступово лінійно наростає і швидко спадає. Негативна напруга відхиляє промінь вліво, а позитивна - вправо (якщо дивитися з боку екрану). В результаті промінь рухається по екрану зліва направо з певною постійною швидкістю, після чого дуже швидко повертається до лівої межі екрану і повторює свій рух. Відстань, яку проходить промінь уздовж горизонтальної осі, пропорційна часу. Цей процес називають розгорткою. а горизонтальну лінію, яку промінь прокреслює по екрану, називають лінією розгортки (іноді при вимірюваннях її називають нульовою лінією). Вона відіграє роль осі часу t графіка. Частоту повторення пілкоподібних імпульсів називають частотою розгортки. але її для вимірювань не використовують. Для вимірювань потрібно знати швидкість розгортки, про яку буде сказано нижче.

Якщо при цьому на пластини вертикального відхилення (розташовані горизонтально) подати досліджувану напругу, то промінь почне відхилятися і по вертикалі: при додатній напрузі вгору, а при від'ємній - униз. Рух по вертикалі і по горизонталі відбувається одночасно і в результаті досліджуваній сигнал «розгортається» в часі. Отримано зображення називають осцилограмою.

Насправді крім лінійної існує ще кругова і спіральна розгортки, а також фігури Ліссажу, коли один із сигналів є розгорткою для другого.

Важливим моментом є співвідношення частот розгортки і сигналу. Якщо ці частоти в точності рівні. то на екрані відображається рівно один період досліджуваного сигналу. Якщо частота сигналу вдвічі більше частот розгортки, то ми побачимо два періоди, якщо втричі - то три. Якщо частота сигналу вдвічі менше частоти розгортки, то ми побачимо тільки половину періоду сигналу. Частоту (швидкість) розгортки можна регулювати в широких межах. Але зображення буде стабільним тільки в тому випадку, якщо частоти розгортки і сигналу точно збігаються. При найменшій розбіжності частот, кожний початок руху променя по екрану буде відповідати новій точці функції вхідного сигналу, і її графік щоразу буде малюватися в новому положенні. При невеликій розбіжності частот (частки герца) це буде виглядати як графік, який «пливе» ліворуч або праворуч. При розбіжності частот у кілька герц і більше, осцилограма стає такою. яку неможливо прочитати (рис. 5.3).

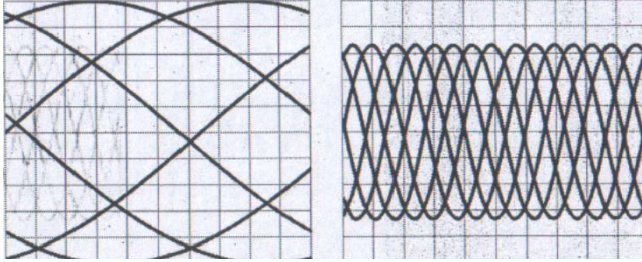
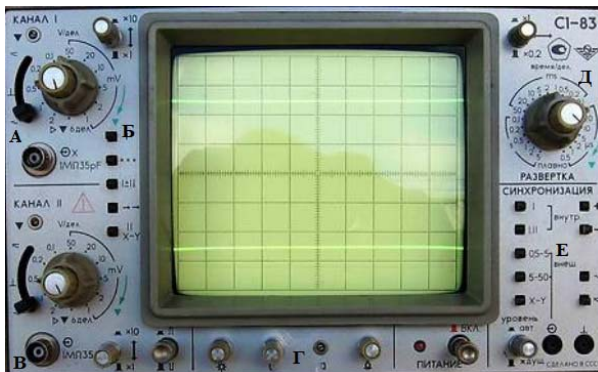


Рисунок 5.3 – Осцилограма за відсутності синхронізації

5.2.2 Управління осцилографом

Розглянемо передню панель двоканальною осцилографом CI-83 (рис. 5.4). Добре видно, що екран осцилографа розбитий на клітини. Ці клітини називається поділками, і використовуються при вимірюваннях: до них прив'язуються всі масштаби по вертикалі і горизонталі. Масштаб по вертикалі - вольти на поділку (В/под або V/под.), масштаб по горизонталі секунди (мілі - та мікросекунди) на поділку. Зазвичай осцилограф має 6...10 поділок по горизонталі і 4...8 поділок по вертикалі. Центральні вертикальна і горизонтальна лінії мають додаткові риски, які ділять поділку на 5 або 10. Риски служать для більш точних вимірювань, вони є частками поділки.



А – управління каналом I; Б – управління відображенням каналів;
 В – управління каналом II; Г – регулювання яскравості променя, фокусування і підсвічування екрану; Д – управління розгорткою; Е – управління синхронізацією

Рисунок 5.4 – Передня панель осцилографа CI-83

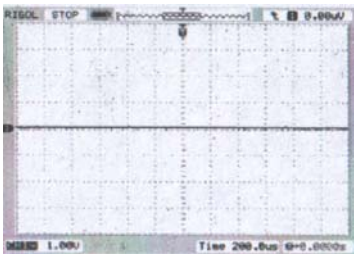
5.2.3 Вимірювання осцилографом

Вимірювання проводяться візуально і їх похибка виходить досить високою. Крім того, напруга розгортки має невисоку лінійність, тому похибка вимірювання частоти і зсуву фаз може досягати 5%. Для мінімізації похибки зображення повинне мати розмір 80...90% від розмірів екрану, При вимірюванні напруги і частоти (часових інтервалів) необхідно ручки плавного регулювання підсилення вхідного сигналу і швидкості розгортки встановити в крайнє праве положення.

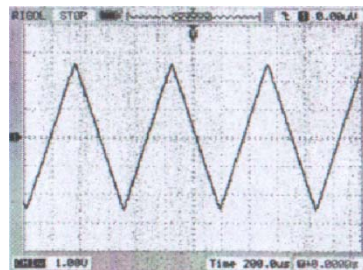
5.2.4 Вимірювання напруги

Для вимірювання напруги використовують відоме значення масштабу по вертикалі. Перед початком вимірювання необхідно замкнути накоротко вхідні клеми осцилографа (або встановити перемикач режиму входу в положення \perp) і ручкою b встановити лінію розгортки на горизонтальну лінію сітки екрану, щоб була можливість правильно визначити висоту осцилограми. рис. 5.2.5, а,

Після цього на вхід подається досліджуваний сигнал (або перемикач режиму входу встановлюється в одне з робочих положень). На екрані з'являється графік функції сигналу, рис. 5.5, б.



а)



б)

а - підготовка; б - вимірювання;

Рисунок 5.5 – Вимірювання напруги (скріншот цифрового осцилографа)

Для того щоб точніше виміряти висоту графіка осцилограма зсувається ручкою \leftrightarrow так, щоб точка, в якій вимірюються амплітуда, потрапила на центральну вертикальну лінію, яка має градуювання в

частках поділки. Одержуємо: чутливість каналу вертикального відхилення дорівнює 1 В/ под. розмір осцилограми 2,6 поділки, отже амплітуда сигналу 2,6 вольт.

Продемонструємо вимірювання напруги на самому осцилографі. Максимум напруги має величину 3,4 поділки. Визначення масштабу: риска на перемикачі чутливості показує 0,5 вольт/поділку. Множник масштабу встановлений в положення $\times 10$ (втоплений). Отже, вимірювана напруга дорівнює:

$$U_{\max} = 3,4 \cdot 0,5 \cdot 10 = 17 \text{ В.}$$

5.2.5 Вимірювання частоти

Осцилограф дозволяє вимірювати часові, інтервали, в тому числі і період сигналу. Частота сигналу обернено пропорційна його періоду. Період сигналу можна вимірювати в різних частинах осцилограми, але найбільш зручно і точно вимірювати його в точках перегину графіком осі часу. Тому перед вимірюванням лінію розгортки необхідно встановити на центральну горизонтальну лінію сітки екрану.

За допомогою ручки \leftrightarrow початок періоду поєднується з вертикальною лінією сітки. (найкраще початок періоду поєднувати із самою лівою вертикальною лінією екрану, тоді точність буде максимальною). Період сигналу дорівнює 6,8 поділок. Швидкість розгортки - 100 мкс/под. (оскільки грецька буква μ , що означає «мікро», не завжди доступна для відображення, її часто замінюють латинською літерою и, подібною по зображенню). Тоді період сигналу

$$T = 6,8 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 680 \text{ мксек,}$$

і його частота:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{680 \cdot 10^{-6}} \approx 1,47^3 = 1,47 \text{ кГц.}$$

5.2.6. Вимірювання зсуву фаз

Зсув фаз показує взаємне розташування двох коливальних процесів у часі. Але його вимірюють не в одиницях часу (які

відкладаються по горизонтальній осі), а в частках періоду сигналу (тобто в одиницях кута). У цьому випадку однаковому взаємному розташуванню сигналів буде відповідати однаковий фаховий зсув, незалежно від періоду і частоти сигналів (тобто незалежно від реальною масштабу графіків по осі часу) Тому найбільша точність вимірювань виходить, якщо розтягнути період сигналу на весь екран.

Оскільки в аналоговому осцилографі графіки сигналу обох каналів мають однаковий колір і однакову яскравість, то для того, щоб їх розрізнити між собою, рекомендується зробити їх різної амплітуди. При цьому напругу, яка вимірюється каналом I приладу, краще робити великою – в цьому випадку синхронізація буде краще «тримати» зображення Підготовка до вимірювань проводиться так:

1. Ручками **b** обох каналів їх лінії розгортки встановлюються на середню лінію сітки екрану (сигналів на входах немає).

2. Ручками регулювання підсилення каналів вертикального відхилення (ступінчасто і плавно) сигнал 1- го каналу встановлюється більшої амплітуди , а 2- го каналу - меншої амплітуди.

3. Ручками регулювання швидкості розгортки встановлюється така їй швидкість, щоб на екрані відображався приблизно один період сигналу.

4. Ручкою «Рівень синхронізації» домагаються того, щоб графік напруги починався з осі часу (з лінії розгортки) - точка А.

5. Ручкою \leftrightarrow домагаються того, щоб графік напруги починався з крайньої лівої вертикальної лінії сітки екрану – точка А.

6. Ручками «Швидкість розгортки» (ступінчасто і плавно) домагаються того, щоб період графіка напруги закінчувався на крайній правій вертикальній лінії сітки екрану.

7. Повторюють пункти 4...6 до тих пір, поки період графіка напруга не буде розтягнутий на весь екран. причому його початок і кінець повинні збігатися з лінією розгортки.

Перш, ніж вимірювати величину зсуву фаз, необхідно визначити, який із сигналів (напруга або струм) випереджає, а який відстає. Від цього залежить знак кута зсуву фаз ϕ . На рис. 5.6 ,а струм відстає від напруги - початок його періоду розташований в часі пізніше, ніж початок періоду напруги (початок періоду напруги в точці А, а періоду струму – в точці Б). Струм починається пізніше, отже, він відстає, а напруга випереджає, Цієї ситуації відповідають

позитивні значення кута зсуву фаз. На рис. 5.6, б струм випереджає, а напруга відстає. Оскільки початок періоду струму на екрані не відображається, то порівнюються закінчення першою півперіоду: першим до нуля повернеться той графік, який почався раніше (точка Г настає раніше у часі, ніж точка В). Кут зсуву фаз при цьому від'ємний.

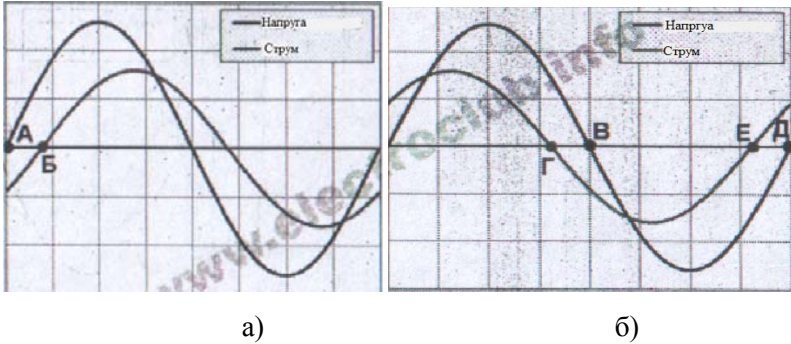


Рисунок 5.6 – Струм відстає від напруги, $\varphi > 0$ (а);
струм випереджає напругу, $\varphi < 0$ (б)

Модуль кута зсуву фаз φ - це відстань між початками або між кінцями періоду (позитивного півперіоду) сигналів у поділках сітки екрану. Далі значення модуля φ визначаються із пропорції, враховуючи, що один повний період будь-якого колишня дорівнює 360 градусів:

$$|\varphi| = \frac{360 \cdot a}{N},$$

де N – кількість поділок сітки, зайнятих одним періодом сигналу;
 a – кількість поділок сітки між початками періодів (кінцями позитивного півперіоду).

5.3 Завдання до лабораторної роботи

1 Ознайомитися з характеристиками і органами управління осцилографа.

2 Провести калібрування підсилювача “У”.

3 Провести візуальне спостереження осцилограм синусоїдального електричного сигналу.

4 Визначити амплітудне і діюче значення гармонійної напруги.

5 Провести вимірювання частоти періодичного сигналу.

6 Провести вимірювання зсуву фази, виробленого фазозсуваючим ланцюгом.

7 Провести вимірювання амплітуди, середнього значення, тривалості імпульсу, період імпульсною сигналу, одержуваного від імпульсною генератора.

8 Підключити зовнішній сигнал горизонтальної розгортки для:
а) побудови ВАХ; б) знайти зсув фази (отримати фігуру Лісажу).

5.4 Контрольні запитання

1. Нарисувати структурну схему ЕЛО, розповісти про призначення його блоків.

2. Які умови отримання стійкої осцилограми?

3. Якими перевагами володіють ЕЛО при вимірюванні напруги?

4. Яка похибка осцилографічних вимірів?

5. Як провести вимірювання напруги сигналу?

6. Як провести вимірювання струму сигналу?

7. Як провести вимірювання частоти періодичного сигналу?

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№	Назва теми
1	Структура державної метрологічної служби України.
2	Правова і нормативна база метрологічного забезпечення.
3	Державний метрологічний контроль і нагляд.
4	Метрологічне забезпечення підготовки виробництва.
5	Метрологічна експертиза технічної документації.
6	Міжнародні метрологічні організації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Бичківський Р.** Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. [Текст] / Р. Бичківський, П. Столярчук, П. Гамула; За ред. Р. Бичківського. – Львів; К.: Вид-во Національного ун-у «Львівська політехніка», 2004. – 559 с.
2. **Володарський Є. Т.** Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. [Текст] / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 244 с.
3. **Ігнаткін В. У.,** Туз Ю. М., Левківський К. М., Томашевський О. В. Метрологічне забезпечення контролю якості продукції : монографія. [Електронний ресурс] / В.У. Ігнаткін., Ю.М. Туз., К.М. Левківський., О.В. Томашевський. – Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, – 2017. – 202 с. – Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/309>
4. **Ігнаткін В.У.** Основи метрології / Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / В.У. Ігнаткін., О.В. Томашевський., В.М. Матюшин. - Запоріжжя:ЗНТУ, 2017-119 с. – Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/2174>
5. **Головко Д.Б.,** Основи метрології та вимірювань. [Текст] / Д.Б.Головко, К.Г.Рого, Ю.О.Скрипник - К.; Либідь, 2001. – 408 с.
6. **Кухарчук В.В.** Метрологія та вимірювальна техніка. Навчальний посібник. [Текст] / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, В.П. Долгополов, Л.В. Гурмінська - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 252 с.
7. **Поліщук Ю.К.** Метрологія та метрологічне забезпечення виробництва. [Текст] / Ю.К. Поліщук - Київ: КМУЦА, 1995. – 96 с.
8. **Радкевич Я. М.** Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для вузов. [Текст] / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.
9. **Тарасова В. В.** Метрологія, стандартизація і сертифікація: Підручник для вищих навчальних закладів. [Текст] / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак; Мін-во освіти і науки України, Державний агроекологічний ун-т. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 262 с.

10. **Томашевський О. В.** Комп'ютерні технології статистичної обробки даних навч. посіб. [Текст] / О. В. Томашевський, В. П. Рисіков. ЗНТУ, 2015. – 175 с.
11. **Цюцюра В.Д.** Метрологія та основи вимірювань. [Текст] / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра - К.:Знання-Прес, 2003.-80с.
12. **Шаповаленко О. Г.** Основи електричних вимірювань. [Текст] / О. Г. Шаповаленко, В. М. Бондар. – Київ: 2002. – 319 с.
13. **Електронний підручник STATSOFT.** [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://StatSoft.ru>