

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни «Основи забезпечення єдності вимірювань»
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю «Інформаційно-вимірювальні технології»

Затверджено редакційно-
видавничою радою університету,
протокол № 1 від 13.02.2025 р.

Харків
НТУ «ХП»
2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Основи забезпечення єдності вимірювань» для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю «Інформаційно-вимірювальні технології» / уклад.: Дроздова Т.В. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2025. – 44 с.

Укладачі: Т. В. Дроздова

Рецензент доц. С. Г. Львов

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій і систем

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота 1. Одиниці фізичних величин.	5
Практична робота 2. Еталони одиниць вимірювань. Державні, первинні та вторинні.....	9
Практична робота 3. Методика та засоби калібрування електромеханічних амперметрів і вольтметрів.	11
Практична робота 4. Методика та засоби калібрування електромеханічних омметрів.	20
Практична робота 5. Методика та засоби калібрування електронних осцилографів.	28
Практична робота 6. Методика та засоби калібрування цифрових частотомірів	38

ВСТУП

Дисципліна «Основи забезпечення єдності вимірювань» є фундаментальною складовою підготовки фахівців спеціальності «Інформаційно-вимірювальні технології».

Метою вивчення дисципліни є набуття знань і практичних навичок у галузі забезпечення єдності вимірювань, ознайомлення з класифікацією еталонів та засобів вимірювальної техніки, а також оволодіння методиками калібрування приладів і устаткування. Особлива увага приділяється вимогам національних та міжнародних стандартів, що регламентуються порядок створення, реєстрації та застосування еталонів одиниць вимірювань.

Практичні роботи спрямовані на закріплення теоретичного матеріалу, розвиток умінь застосовувати стандартизовані методики та користуватися сучасними засобами калібрування. У процесі виконання завдань студенти ознайомлюються з принципами функціонування та калібрування засобів вимірювання електричних величин, таких як: електромеханічні амперметри, вольтметри, омметри, а також електронних осцилографів і цифрових частотомірів.

Засвоєння матеріалу забезпечує формування у майбутніх фахівців професійних компетентностей, необхідних для проведення вимірювань із заданою точністю, аналізу результатів, контролю якості та забезпечення відповідності вимірювань вимогам чинних технічних регламентів і стандартів.

Практичне заняття 1

ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Мета заняття: закріпити знання студентів про Міжнародну систему одиниць (SI), її структуру, основні та похідні одиниці, а також вивчити правила їх застосування відповідно до чинних нормативних документів.

Основні відомості про систему одиниць SI

Єдність вимірювань ґрунтується на використанні єдиної системи одиниць фізичних величин. На сьогодні в Україні, як і в більшості країн світу, офіційно прийнятою є Міжнародна система одиниць SI.

Одиниця фізичної величини – це фізична величина розміру, чисельне значення якого дорівнює 1, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин.

Сукупність певних одиниць фізичних величин утворюють систему одиниць SI, в якій прийняті *основні, додаткові і похідні* одиниці. З них утворюються *кратні і часткові*.

В системі SI прийняті 7 *основних* одиниць ФВ: одиниця довжини – метр; одиниця маси – кілограм; одиниця часу – секунда; одиниця сили струму – Ампер; одиниця термодинамічної температури – Кельвін; одиниця кількості речовини – моль; одиниця сили світла – Кандела.

Таблиця 1.1 – Основні і додаткові одиниці системи SI

Величина		Одиниця		
Найменування	Розмір – ність	Наймену – вання	Позначення	
			міжна – рodne	укра – інське
ОСНОВНІ ОДИНИЦІ				
Довжина	L	Метр	m	м
Маса	M	Кілограм	kg	кг
Час	T	Секунда	s	с
Сила електричного струму	I	Ампер	A	А
Термодинамічна температура	Θ	Кельвін	K	К
Кількість речовини	N	Моль	mol	моль
Сила світла	J	Кандела	cd	кд
ДОДАТКОВІ ОДИНИЦІ				
Плоский кут	-	Радіан	rad	рад
Тілесний кут	-	Стерадіан	sr	ср

Похідні одиниці ФВ (113) утворюються з основних одиниць шляхом застосування математичного виразу фізичного закону або визначення ФВ, для якої вона вводиться. Тому розмірність похідної одиниці $[Q]$ є добутком піднесених до певних ступенів розмірностей основних одиниць з використанням співвідношення

$$[Q]=[M]^{\alpha} \cdot [L]^{\beta} \cdot [T]^{\gamma},$$

де M – маса (кг), L – довжина (м), T – час (с) тощо.

Наприклад, швидкість – це відстань (довжина), яку тіло проходить за одиницю часу. Одиниця вимірювання швидкості – це м/с (метр за секунду).

Одиниці, які не належать ні до основних, ні до похідних одиниць цієї системи, називаються *додатковими* (радіан – рад; стерадіан – ср), а одиниці, що не входять в цю систему, є *позасистемними* (літр – л; тонна – т; градус – °).

Часто одна і та ж одиниця може бути записана з різного набору одиниць SI. Проте на практиці використовуються встановлені вирази, які якнайкраще відображають фізичний сенс величини. Наприклад, для запису значення моменту сил слід використати одиницю Н·м, а не Дж (Джоуль).

Одиниця, що в ціле число разів більша за системну або позасистемну, називається *кратною* одиницею. Одиниця, що в ціле число разів менша за системну або позасистемну, називається *дольною (частковою)* одиницею.

Десяткові кратні і часткові одиниці утворюються за допомогою множників і приставок, найменування і позначення яких наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Десяткові кратні і часткові одиниці

Множник	Найменування	Позначення	
		міжнародне	українське
10^{18}	екса	E	Е
10^{15}	пета	P	П
10^{12}	тера	T	Т
10^9	гіга	G	Г
10^6	мега	M	М
10^3	кіло	k	к
10^2	гекто	h	г
10^1	дека	da	да
10^{-1}	деці	d	д
10^{-2}	санти	c	с
10^{-3}	мілі	m	м
10^{-6}	мікро	μ	мк
10^{-9}	нано	n	н
10^{-12}	піко	p	п
10^{-15}	фемто	f	ф
10^{-18}	атто	a	а

Завдання до роботи

Завдання 1. Виведіть одиницю вимірювання частоти періодичних коливань.

Завдання 2 Розшифруйте позначення десяткових кратних і часткових одиниць фізичних величин (табл. 1.2). Приведіть відповідні множники до основних або похідних одиниць.

Таблиця 1.3 – Позначення кратних і часткових одиниць по варіантам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
kΩ	MS	МГц	ТОм	кДж	μWb	кПа	ТОм	МСм	пФ
нФ	кДж	мг	кВ	mg	mV	мкс	мм	см	μF
kV	GΩ	pF	μF	мм	пФ	кА	kV	кПа	МГц
mA	μs	kΩ	км	кВ	мВт	пФ	МГц	GHz	МВб
мг	нВ	μs	kW	нм	ms	GΩ	nF	кВт	кОм
ГГц	мм	нА	мТл	пФ	км	mg	μs	мкФ	nF
МГц	мВт	кН	мкс	ms	кА	см	пФ	МГц	см
ТОм	МГц	мТл	mH	MHz	nA	мс	mW	pF	МВт
мкс	pF	nH	ГГц	nF	TΩ	МГц	МОм	kΩ	mV

Завдання 3. В електричному ланцюзі з резистором амперметром виміряна сила струму 10 мкА. Падіння напруги на резисторі 1 мВ. Визначити значення опору резистора, його електричну провідність і потужність споживання. Результати представити в похідних одиницях.

Завдання 4. Визначити магнітну індукцію в сердечнику електромагніта площею поперечного перерізу 25 см², якщо через нього проходить магнітний потік 250 мкВб.

Завдання 5. У колі з опором R протікає постійний струм I. Потрібно визначити напругу джерела U; потужність, споживану навантаженням P; електричну енергію W, яку споживає навантаження за час t. При цьому врахувати, що електрична енергія виражається в одиницях Вт/год.

Таблиця 1.4 – Значення параметрів

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, mA	20	20	30	40	25	35	20	45	50	30
R, kΩ	2	3	3	4	7	8	4	2	1	6
t, годин	2	2	3	3	4	2	2	1	2	1

Завдання 6. Необхідно визначити, з якого металу виготовлений провідник довжиною l, якщо відомі його діаметр d та електричний опір R (табл. 1.5). Для ідентифікації матеріалу слід використати значення питомого

електричного опору ρ різних металів, наведені в табл. 1.6 (одиниці вимірювання – Ом·мм²/м).

Таблиця 1.5 – Значення параметрів

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l, см	50	50	100	80	10	10	10	25	25	50
d, мм	2,5	1,0	2,0	1,5	2,5	0,2	1,5	1,0	1,0	1
R, мОм	51	89,2	8,6	54,4	10,2	86,3	6,8	5,6	44,6	11,2

Таблиця 1.6 – Значення питомого електричного опору різних металів

Метал	Мідь	Ніхром	Алюміній	Сталь	Константан
ρ , Ом·мм ² /м	0,0175	0,12	0,0271	0,14	0,5

Контрольні питання

1. Які одиниці є основними у системі SI?
2. Які принципи покладено в основу сучасних визначень метр, кілограм, секунда?
3. Які існують правила застосування кратних і часткових одиниць?
4. Чим відрізняються похідні одиниці від основних?
5. Яке значення має уніфікація системи одиниць у метрології та практичних вимірюваннях?

Список літератури

1. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук [та ін.]. Львів, 2012. 544 с.
2. Метрологія та вимірювання : навч. посіб. / М. М. Дорожовець [та ін.]. Львів, 2012. 312 с.
3. Основи метрології та вимірювальної техніки: У 2 т. / М. Дорожовець [та ін.]. Львів, 2005. Т. 1. Основи метрології. 532 с.

Практична робота 2

ЕТАЛОНИ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ: ДЕРЖАВНІ, ПЕРВИННІ ТА ВТОРИННІ

Мета роботи: ознайомитися з класифікацією еталонів одиниць вимірювань відповідно до ДСТУ 3231:2007 «Еталони одиниць вимірювань. державні, первинні та вторинні. основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування», їх роллю у забезпеченні єдності вимірювань, порядком створення, затвердження, реєстрації та застосування. Засвоїти принципову схему передачі розмірів одиниць від еталонів до робочих засобів вимірювань.

Основні відомості про еталони одиниць вимірювань

ДСТУ 3231:2007 «Еталони одиниць вимірювань. державні, первинні та вторинні. основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування»:

1. Установлює порядок розроблення та затвердження еталонів.
2. Регламентує процедуру їх державної реєстрації.
3. Визначає правила зберігання та застосування еталонів.
4. Встановлює вимоги до періодичного підтвердження метрологічних характеристик.

Еталон одиниці вимірювання – це засіб вимірювальної техніки, який забезпечує відтворення та зберігання одиниці з найвищою точністю і використовується для передавання її розміру іншим засобам вимірювань.

Відтворення одиниці (фізичної величини) – встановлення високостабільного еталона, який може бути вимірювальною системою, матеріальною мірою або стандартним зразком.

Зберігання еталона – сукупність операцій, необхідних для збереження метрологічних характеристик еталона у встановлених границях.

Відповідно до ДСТУ 3231:2007 еталони поділяються на такі види:

Державний еталон – еталон, що затверджується центральним органом виконавчої влади у сфері метрології як основа для відтворення одиниці на території держави.

Первинний еталон – еталон, який має найвищу метрологічну якість у країні та використовується для передачі одиниці іншим еталонам.

Вторинний еталон – еталон, розмір одиниці якого встановлено за допомогою первинного еталона.

Робочий еталон – еталон, який застосовується для калібрування та повірки робочих засобів вимірювань.

Особливостями первинних еталонів у порівнянні з іншими засобами вимірювальної техніки є наявність процедури визнання еталона, регламентація правил і умов зберігання і застосування еталона; що необхідність підтримання метрологічних характеристик еталона в установлених границях та звірення з еталонами інших країн; призначення ученого зберігача, який несе відповідальність за додержанням умов зберігання і використання державного еталона та його вдосконалення; регламентація необхідної документації до еталона, її своєчасна актуалізація.

Принципова схема передачі одиниць: Державний еталон → Первинний еталон → Вторинні еталони → Робочі еталони → Робочі засоби вимірювань.

У разі вибору еталону для застосування його як вихідного або робочого еталона, враховують метрологічні, технічні та економічні вимоги.

Для визнання еталона встановлюють такі вимоги: еталон має бути ідентифікованим, а його метрологічні і технічні характеристики документально оформленими; простежуваність величини, відтвореної еталоном, повинна бути документально зареєстрована; правила застосування і зберігання еталону повинні бути документально оформлені; невизначеність вимірювання за результатами калібрування еталона мусить бути оцінена та відповідати вимогам його застосування за призначеністю.

Завдання до роботи

1. Ознайомитися з положеннями ДСТУ 3231:2007.
2. Скласти таблицю з видами еталонів, їх призначенням та прикладами.

Таблиця 2.1 – Класифікація еталонів

Вид еталона	Характеристика та призначення	Приклад
Державний		
Первинний		
Вторинний		
Робочий		

Контрольні питання

1. Що таке еталон одиниці вимірювання?
2. Які види еталонів передбачені ДСТУ 3231:2007? Які основні положення визначає цей стандарт?
3. Як здійснюється передача розміру одиниці від еталона до робочих засобів вимірювань?
4. Чому державні еталони мають вирішальне значення для єдності вимірювань в Україні?

Список літератури

1. ДСТУ 3231:2007. Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування. 12.12.2007. Держспоживтсандрт, Київ.

Практична робота 3

МЕТОДИКА ТА ЗАСОБИ КАЛІБРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ВОЛЬТМЕТРІВ І АМПЕРМЕТРІВ

Мета роботи – вивчити методику та засоби калібрування електромеханічних вольтметрів та амперметрів на калібрувальній установці У-300.

Вивчення калібрувальної установки У-300, зовнішній огляд і випробування приладу, що калібрується

В установці У-300 застосовано релейний захист напівпровідникових випрямлячів високовольтного блоку від навантаження. Металевий корпус для зручності переміщення поставлено на колеса 5. Установка не екранована від впливу постійних магнітних та електричних полів (крім земного магнітного поля); всі її металеві панелі блоків та каркас повинні бути надійно електрично з'єднані між собою та заземлені.

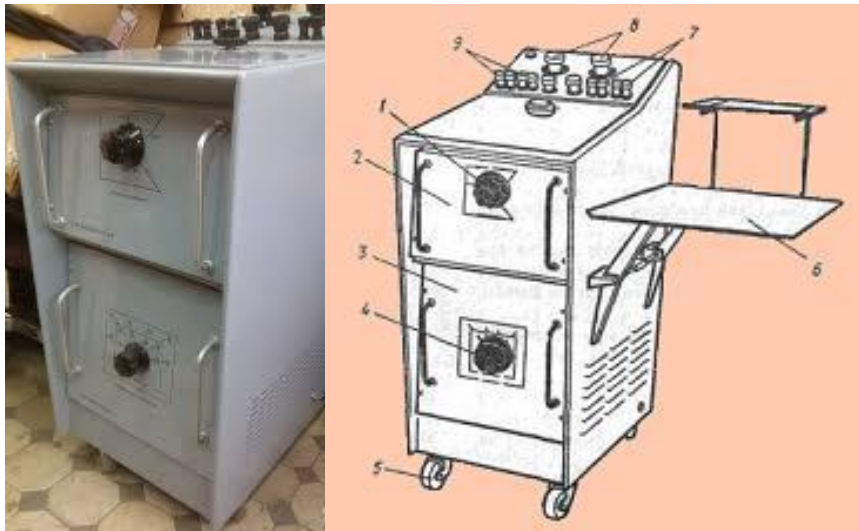


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд калібрувальної установки У-300

Установка забезпечена столиком 6 для приладів, що калібруються. Блок ферорезонансного стабілізатора з додатковими фільтрами виконаний на двох монтажних панелях.

На вхід стабілізатора напруга мережі подається через перемикач "Мережа", нормально закритий контакт реле захисту та перемикач "50 Гц до 500 Гц", коли він знаходиться в положенні "50 Гц".

Блок регулювання виконаний на двоцітковому регулювальному варіаторі з двома коаксіальними ручками 8. Плавне регулювання здійснюється внутрішньою ручкою меншого діаметра.

Низьковольтний блок 3 розташований у нижній частині установки. Випрямляч блоку виконаний за двонапівперіодною схемою випрямлення. Перемикач меж регулювання 4 розташований в центрі блоку і має шість фіксованих положень. У 6-му положенні перемикача (0,2 А/0,15 В) на вихідні затискачі блоку подається напруга до 150 мВ, що служить для перевірки мілівольтметрів з напругами, що найбільш часто зустрічаються 45, 75, 150 мВ. Напруга на обмотці ~ 300 А є у будь-якому положенні перемикача і може бути використана при перевірці амперметрів змінного струму від 50 до 300 А.

Високовольтний блок розташований 2 в середній частині установки. Перемикач меж регулювання 1 в центрі блоку має 17 фіксованих положень.

Установка У-300 є регульованим джерелом стабільного постійного і змінного (50 Гц) струму ($I=$, $I\sim$) і напруги ($U=$, $U\sim$), призначений для живлення амперметрів і вольтметрів класу точності 1,0 і менш точних при їх калібруванні. Установка живиться від мережі змінного струму 220, 50 Гц і

працює при температурі від $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$. На верхній та передній панелях установки знаходяться:

- тумблер «МЕРЕЖА» та лампа, що сигналізує про включення установки;
- затискачі для підключення еталонного (ЕП) та каліброваного (КП) приладів;
- регулятор вихідних сигналів (плавне регулювання здійснюється ручкою регулятора меншого діаметра);
- тумблер "1000 V" для включення високовольтного блоку;
- затискачі « $\sim 300\text{ A}$ » для підключення сильноточних приладів;
- сигнальна лампа для інформації про навантаження;
- низьковольтний перемикач меж регулювання;
- високовольтний перемикач меж регулювання.

Установка У-300 містить: стабілізатор живлення 1, регулятор вихідних сигналів 2, випрямляч 3 блок перемикачів виду вихідних сигналів 4. Спрощена структурна схема У-300 наведена на рис. 3.2.

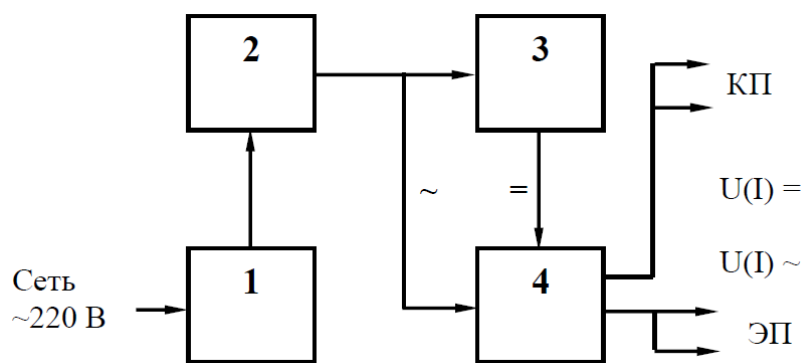


Рисунок 3.2– Структурна схема установки У-300

Установка У-300 забезпечує: регульовану постійну та змінну напругу від 0,01 до 1000 В при струмі до 100 мА; регульований постійний струм до 50 А при напрузі не менше ніж 2 В; регульований змінний струм до 50 А при напрузі не менше 5 і до 300 А при напрузі 0,5 В.

Коефіцієнт змінної складової постійної напруги та струму не перевищує 1%. Коефіцієнт нелінійних спотворень змінної напруги та струму не перевищує 2%. Плавність регулювання вихідних сигналів трохи більше 0,1% межі регулювання (регулювання кожному діапазоні двухступенчатая).

Зміна вихідного струму і напруги У-300 при зміні напруги мережі живлення 220 В, 50 Гц на $\pm 10\%$ не перевищує $\pm 1\%$.

При зовнішньому огляді приладу, що калібрується, повинно бути встановлено:

- відсутність пошкоджень приладу та пошкоджень покриття шкали;
- чіткість усіх написів на шкалі та корпусі приладу;
- надійність кріплення затискачів;
- відсутність сторонніх предметів усередині приладу;
- укомплектованість приладу допоміжним обладнанням;
- необхідними для проведення його калібрування.

*** Якщо ці вимоги не виконуються, то прилад визнається непридатним і калібруванню не підлягає. Оформляється довідка про непридатність.**

Перед початком калібрування необхідно встановити нормальні умови роботи засобів вимірювання визначальними з яких є:

- температура навколишнього повітря:
(20 ± 2) °С – для приладів класу точності 0,05–0,5;
(20 ± 5) °С – для приладів класу точності 1,0–4,0;
- відносна вологість повітря 30–80 %;
- атмосферний тиск (100 ± 6)кПа.

Після встановлення нормальних умов необхідно зібрати калібрувальну схему, наведену на рис. 3.3, виконавши наведені нижче дії:

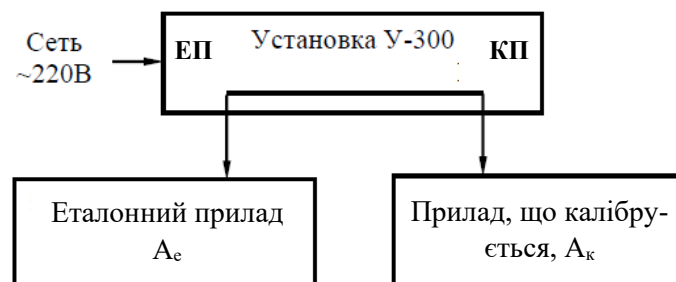


Рисунок 3.3 – Калібрувальна схема

1. Тумблер «МЕРЕЖА» калібрувальної установки У-300 перевести в положення «ВИМКНЕНО».

2. Встановити перемикачі меж та ручки грубого та плавного регулювання в крайні ліві положення.

3. Підключити прилад (КП), що калібрується, до відповідних затискачів установки з дотриманням полярності.

4. Вибрати та підключити до установки еталонний прилад (ЕП).

5. Підготувати прилади до роботи відповідно до вимог інструкцій з експлуатації (при необхідності коригувати нульове положення покажчика відлікового пристрою).

6. Встановити калібрований та еталонний прилади в нормальні робочі положення.

При випробуванні приладу, що калібрується, необхідно включити установку У-300 тумблером «МЕРЕЖА», подати вимірювану величину (наприклад, струм при калібруванні амперметра) на затискачі КП і переконатися, що його стрілка відхиляється пропорційно значенню цієї величини. При цьому значення вимірюваної величини не повинно перевищувати значення встановленої межі вимірювання КП.

** Якщо прилад, що калібрується, не реагує на наявність і плавну зміну вимірюваної величини або його стрілка переміщається стрибками, він бракується і подальшому калібруванню не підлягає.*

Визначення часу встановлення показань КП

Для цього досліду слід: включити тумблером «МЕРЕЖА» установку У-300; встановити, регуляторами У-300 стрілку приладу, що калібрується, на відліковий поділ розташований приблизно на середині його шкали; відключити живлення У-300 за допомогою тумблера «МЕРЕЖА» і знову включити його, вимірявши секундоміром час t до встановлення стрілки приладу, що калібрується, проти вибраного відлікового поділу.

Дослід виконати 3 рази і занести отримані результати до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати визначення часу встановлення показань КП

№ пп	Тип КП	Значення вимірюваної величини A_k	Час встановлення показів t_k , с	Гранично-допустимий час t_d , с

Жодне з отриманих значень часу встановлення показань КП не повинно перевищувати гранично допустимого значення, вказаного в його нормативно-технічній документації (для більшості приладів $t_d=4$ с). Тобто має виконуватися умова: $t_k \leq t_d$.

** Якщо ця умова не виконується, КП бракується та подальшого калібрування не підлягає.*

Визначення похибки від зміни робочого положення КП

При виконанні цього досліду (даний дослід не проводиться для КП, оснащених вбудованим рівнем) використовується спеціальний пристрій, показаний на рис 3.4, що являє собою площину з кутом нахилу 5° , яке встановлюють на горизонтальній поверхні калібрувального стенду або столу.

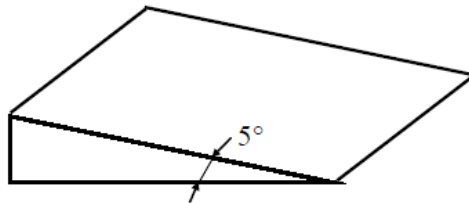


Рисунок 3.4 – Калібрувальний пристрій

Далі необхідно виконати такі операції:

1. Зібрати схему, наведену на рис. 3.3.
2. Увімкнути установку У-300.
3. Змінюючи значення вимірюваної величини, встановити стрілку КП, що у робочому стані на відліковий поділ $A_{кс}$ розташований приблизно у середині шкали, відзначивши у своїй показання еталонного приладу, тобто дійсне значення вимірюваної величини $A_{дс}$.
4. Відхилити КП від нормального робочого положення за допомогою калібрувального пристрою (вправо, вліво, вгору, вниз) і в цих положеннях, встановлюючи стрілку КП на той же відліковий поділ, визначити чотири значення $A_{д}$ за показами ЕП.
5. Визначити абсолютну та наведену похибки при кожному відхиленні КП за такими формулами та занести отримані результати до табл. 3.2.

$$\Delta_{\text{нахилу}} = |A_{д} - A_{дс}|;$$
$$\gamma_{\text{нахилу}} = \frac{\Delta_{\text{нахилу}}}{A_{н}} \cdot 100\%,$$

де $A_{н}$ – номінальне значення вимірюваної величини за шкалою КП.

Жодне з отриманих значень $\gamma_{\text{нахилу}}$ не повинно перевищувати значення, найбільшої допустимої наведеної похибки $\gamma_{д}$, визначеної за класом k точності КП, тобто повинна виконуватися умова:

$$\gamma_{\text{нак}} \leq |\gamma_{д}|.$$

** Якщо ця умова не виконується, прилад бракується і подальшому калібруванню не підлягає.*

Таблиця 3.2 – Похибки від зміни робочого стану КП

Положення КП	Значення похибок			
	A_d	A_{dc}	$\Delta_{нахилу}$	$\gamma_{нахилу}, \%$
→				
←				
↑				
↓				
Значення: $A_n =$ k: $\gamma_d =$				

Визначення основної похибки КП

Для визначення основної похибки КП необхідно:

1. Встановити ЕП та КП у нормальні робочі положення за нормальних умов експлуатації.
2. Встановити покажчики ЕП та КП на нульові позначки.
3. Зібрати калібрувальну схему, наведену на рис. 3.3 та вибрати діапазони вимірювання КП та ЕП.

4. Плавню змінюючи регуляторами установки У-300 значення вимірюваної величини встановити стрілку КП на першу (крім нульової) оцифровану позначку A_k шкали при підході до неї зліва і визначити при цьому дійсне значення вимірюваної величини, відраховане за шкалою ЕП.

5. Обчислити абсолютну похибку КП за формулою:

$$\vec{\Delta} = |\vec{A}_k - \vec{A}_d|.$$

6. Визначити основну наведену похибку приладу, що калібрується, у цій точці за формулою:

$$\vec{\gamma} = \frac{\vec{\Delta}}{A_n} \cdot 100\%,$$

де $\vec{\gamma}$ – основна наведена похибка;

A_k – значення вимірюваної величини, що визначається за показаннями приладу, що калібрується;

\vec{A}_d – дійсне значення вимірюваної величини, що визначається за показаннями зразкового приладу;

A_n – номінальне значення (умовно прийняте значення, яке залежно від виду КП може бути рівним верхній межі вимірювань, довжині шкали та ін.)

7. Послідовно зробити три операції 4, 5, 6 при підході до кожної оцифрованої точки КП ліворуч і праворуч і занести отримані результати в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати визначення основної похибки та похибки від варіації показань КП

№	Значення вимірюваної величини за шкалою ПП, Ап	Показання зразкового приладу		Значення абсолютної похибки КП		Значення основної похибки КП		Похибка від варіації показань
		$\bar{A}_д$	$\bar{A}_д$	$\bar{\Delta}$	$\bar{\Delta}$	$\bar{\gamma},\%$	$\bar{\gamma},\%$	$\gamma_{вар},\%$
1								
...								
$\gamma_d = \quad \%$								

Визначення похибки від варіації показань КП

Похибка від варіації показань КП визначають у кожній оцифрованій точці його шкали за результатами попереднього дослідження 4. Абсолютне значення цієї похибки на відмітці, що калібрується, шкали визначають як різницю дійсних значень вимірюваної величини при одному і тому ж показанні сторони у сторони значень (ліворуч і праворуч). Значення наведеної похибки від варіації у відсотках визначають за такою формулою:

$$\gamma_{вар} = \frac{|\vec{A}_д - \overleftarrow{A}_д|}{A_n},$$

$\vec{A}_д, \overleftarrow{A}_д$ – дійсні значення вимірюваної величини при підході стрілки КП до відмітки, що калібрується A_k ліворуч і праворуч;

A_n – номінальне значення шкали КП.

Аналогічно необхідно визначити похибки $\gamma_{вар}$ у всіх оцифрованих точках шкали КП і занести результати в табл. 3.3.

Жодне із значень похибок γ і $\gamma_{вар}$, отриманих при двох вимірах у кожній (крім нульової) оцифрованій точці, не повинно перевищувати значення γ_d граничної допустимої похибки КП, визначеної за його класом точності k , тобто для кожного значення похибок повинні виконуватись умови:

$$\vec{\gamma} \leq |\gamma_d|, \quad \overleftarrow{\gamma} \leq |\gamma_d|, \quad \gamma_{вар} \leq |\gamma_d|.$$

** Якщо ці умови не виконуються хоча б в одній точці, то прилад що калібрується, бракується.*

Оформлення результатів калібрування

Позитивні результати калібрування мають бути оформлені видачею свідоцтва про калібрування за формою, встановленою центральним органом

виконавчої влади в галузі метрології (ЦОВМ), та нанесенням відбитку калібрувального тавра в місці, зазначеному в експлуатаційній документації, що виключає доступ всередину приладу.

На звороті свідоцтва про калібрування вказують рід струму, на якому калібрований прилад, і похибка варіації його показань.

При негативних результатах калібрування видається довідка про непридатність засобу вимірювання із зазначенням причин, тавро попереднього калібрування знищують (гасять), прилади забороняють до випуску в обіг та застосування. Свідоцтво про попереднє калібрування анулюють.

Контрольні питання

1. Призначення та пристрій та характеристики калібрувальної установки У1-300.
2. Як і навіщо проводиться зовнішній огляд і випробування приладу, що калібрується?
3. Як проводиться визначення часу встановлення показань приладу, що калібрується?
4. Що таке основна похибка приладу, що калібрується, і як вона визначається при калібруванні?
5. Що таке похибка від варіації показань і як визначається при калібруванні?

Список літератури

1. Калібровка засобів вимірювальної техніки : лаб. практикум / В.К. Гусельников, , О.Є. Тверитникова, В.В. Лисенко, А.В. Гусельников. Харків : НТУ «ХП», 2013.-97 с.
2. У300 установка . URL: <https://standart-pribor.com.ua/product/u300-ustanovka/>

Практична робота № 4

МЕТОДИКА ТА ЗАСОБИ КАЛІБРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ОМЕТРІВ

Мета роботи – вивчити методику та засоби калібрування електро-
ханічних омметрів.

Вивчення пристрою та метрологічних характеристик еталонних та приладів, що калібруються

Омметрами називають прилади прямої дії, що служать безпосеред-
ньому виміру електричного опору.

Калібрування омметрів проводиться за методом безпосереднього зві-
рення їх показань з багатозначною мірою, в якості якої використовуються
еталонні магазини опорів класів точності $k = (0,05-0,2)$. Клас точності ета-
лонного магазину повинен бути в 4-5 разів вищий за клас точності омметра,
що калібрується. Еталонний магазин опорів повинен забезпечувати доста-
тню плавність регулювання опорів і перекриття всього робочого діапазону
омметра. Для цього допускається послідовне з'єднання кількох зразкових
магазинів. Як зразковий при перевірці омметрів найбільш часто використо-
вується магазин опорів типу Р-33, що забезпечує в діапазоні температур від
10 °С до 35 °С при відносній вологості до 80 % наступні характеристики:

- клас точності 0,2;
- діапазон зміни опорів (0,1 ... 99999,9) Ом;
- номінальний опір розряду молодшої декади 0,1 Ом;
- номінальний опір розряду старшої декади 10000 Ом;
- варіація початкового опорів магазину трохи більше 0,004 Ом;
- номінальна потужність одного ступеня не перевищує 0,25 Вт.

Магазин опорів Р-33 містить шість декад (R1-R6), його спрощену
схему наведено на рис. 4.1.

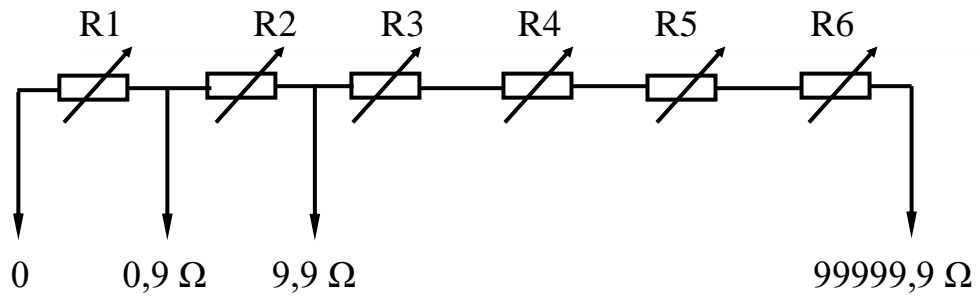


Рисунок 4.1 – Схема магазину опорів Р-33

При проведенні калібрування омметрів виконують такі операції:

1. Зовнішній огляд.
2. Випробування.
3. Вимір часу встановлення показань.
4. Визначення впливу нахилу приладу.
5. Визначення основної похибки приладу.
6. Визначення похибки від варіації.

Схема з'єднання міри (еталонного магазину опорів) і омметра, що калібрується, наведена на рис.4.2.

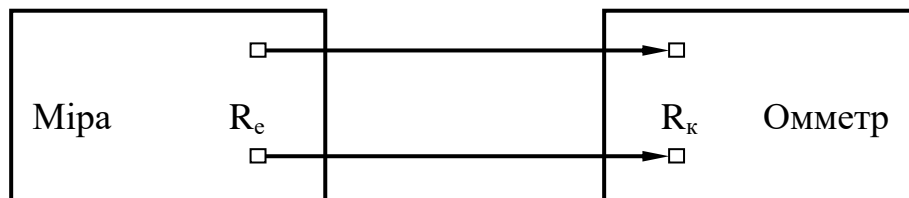


Рисунок 4.2 – Калібрувальна схема омметра

При проведенні калібрування повинні бути дотримані нормальні умови експлуатації засобів вимірювання:

- температура навколишнього середовища $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря (45–80) %.

При калібруванні, змінюючи значення опору магазину, встановлюють стрілку омметра на оцифровану позначку шкали R_{Π} і відраховують дійсне значення опору R_e положення перемикачів магазину. Абсолютне значення похибки приладу розраховують за формулою:

$$\Delta = R_{\kappa} - R_e \quad (4.1)$$

Похибку на кожній відмітці шкали визначають двічі: підводячи стрілку омметра до позначки, що калібрується, спочатку зліва \vec{R}_e потім праворуч \vec{R}_e . Похибка варіації показань обчислюють за формулою:

$$\Delta_{\text{вар}} = |\vec{R}_e - \vec{R}_e| \quad (4.2)$$

При калібруванні слід враховувати особливості нормування меж допустимої похибки омметрів різних типів. Так в омметрах з рівномірною або ступеневою шкалою, клас точності яких позначається десятковим дробом (наприклад, 2,5), похибка нормується у відсотках від верхнього значення R_B діапазону змін і розраховується за формулою:

$$\gamma = \frac{\Delta}{R_B} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

В омметрах межа допустимої похибки, яких нормується у відсотках від значення вимірюваного опору R_i , клас точності позначається числом поміщеним у кружок (наприклад, $\textcircled{2,5}$) похибка у відсотках розраховується за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta}{R_i} \cdot 100\% \quad (4.4)$$

В омметрах з суттєво нелінійною шкалою межа допустимої похибки нормується у відсотках від довжини шкали або її робочої частини L мм. Клас точності таких приладів позначається числом, поміщеним між двома лініями розташованими під кутом (наприклад, $\sphericalangle 2,5 \sphericalangle$) і похибка розраховується за формулою:

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot S}{L} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

де S – чутливість омметра у точці вимірювання:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta R}$$

Де ΔL – відстань між відміткою шкали, що калібрується, і найближчою до неї, мм;

ΔR – різниця показань омметра, що відповідає цим відміткам, Ом.

Зовнішній огляд та випробування омметра

Під час проведення зовнішнього огляду приладу має бути встановлена відсутність таких дефектів:

1. Незадовільне кріплення контактних затискачів.
2. Неміцне кріплення, тріщини, подряпини скла.
3. Забрудненість антипаралаксного пристрою та шкали.
4. Грубі механічні ушкодження зовнішніх частин омметра.
5. Потьмянілий або розбитий пристрій;
6. Наявність сторонніх предметів усередині омметра.

**За наявності хоча б одного з перерахованих дефектів омметр бракується і подальшому калібруванню не підлягає.*

При випробуванні омметр необхідно:

1. Встановити еталонний прилад та прилад, що калібрується, у нормальні робочі положення з дотриманням нормальних умов їх експлуатації.
2. Включити омметр, що калібрується, і підготувати його до роботи (виконати калібрування) на вибраному діапазоні вимірювання.
3. Підключити омметр до зразкового магазину згідно з перевіркою схемою наведеною на рис. 4.2.
4. Змінюючи значення опору магазину переконатися у можливості установки покажчика у цьому діапазоні будь-яку позначку шкали, і у відсутності затирання рухомої частини вимірювального механізму омметра.
5. Аналогічно перевірити працездатність омметра на інших діапазонах виміру.

**За наявності хоча б однієї з перелічених несправностей омметр бракується і подальшому калібруванню не підлягає.*

Визначення часу встановлення показів

Для визначення часу (t_k) встановлення показань омметра необхідно виконати такі операції:

1. Зібрати схему, наведену на рис.
2. Встановити омметр у нормальне робоче положення, увімкнувши його на довільно вибраному діапазоні вимірювань.
3. Змінюючи опір магазину, виставити стрілку омметра на позначку R_1 розташовану приблизно середині його шкали.
4. Розірвати електричний ланцюг між омметром та магазином опорів.

5. Відновити електричний ланцюг і визначити за допомогою секундо-міра час (t_k) протягом якого стрілка омметра встановиться проти вибраної позначки на середині шкали.

6. Дві останні операції 4 і 5 зробити тричі і занести отримані результати в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Результати визначення часу встановлення показань омметра

№ п.п.	Марка и тип омметра	Значення R_i , Ом	Час встановлення t_k , с	Граничне значення t_d , с
1				
2				
3				

Жодне з отриманих значень t_k не повинно перевищувати граничного значення t_d , що допускається, для каліброваного омметра (для більшості омметрів $t_d = 4$ с).

Тобто має дотримуватися умова:

$$t_k \leq t_d .$$

** Якщо цієї умови не дотримується омметр, що калібрується, бракується і подальшому калібруванню не підлягає.*

Визначення впливу нахилу омметра

Для визначення впливу нахилу омметра на його показання необхідно:

1. Зібрати схему, наведену на рис. 4.2.
2. Встановити омметр у нормальне робоче положення, увімкнувши його на довільно вибраному діапазоні вимірювань з граничним верхнім значенням R_v .
3. Виставити за допомогою магазину стрілку омметра на оцифровану позначку R_i розташовану приблизно на середині його шкали, визначивши при цьому значення опору магазину R_0 .
4. Відхилити омметр за допомогою спеціального шаблону на кут 5 градусів від вказаного на його шкалі нормального робочого положення в напрямку \uparrow і знову встановити стрілку на позначку R_i при новому значенні опору R'_0 магазину.

5. Визначити похибку від впливу нахилу приладу, залежно від виду її нормування, з урахуванням виразів (2.3, 2.4, 2.5) за однією з формул:

$$\gamma_{\text{нак}} = \frac{|R'_0 - R_0|}{R_B} \cdot 100\%$$

$$\delta_{\text{нак}} = \frac{|R'_0 - R_0|}{R_i} \cdot 100\%$$

$$\gamma_{\text{нак}} = \frac{S \cdot |R'_0 - R_0|}{L_B} \cdot 100\%$$

6. Зіставити це значення із гранично допустимою похибкою γ_d (δ_d), визначеної за класом точності k омметра.

7. Повторити три останні операції 4, 5, 6 послідовно відхиляючи омметр у положення \downarrow , \rightarrow \leftarrow і занести отримані результати в табл. 4.2.

Омметр вважається придатним до застосування, якщо за всіх положень його відхилення дотримується умова:

$$\gamma_{\text{нак}} \leq \gamma_d \quad (\delta_{\text{нак}} \leq |\delta_d|).$$

Таблиця 4.2 – Визначення похибки впливу нахилу омметра

Положення омметра	Значення R'_0 , Ом	Значення R_0 , Ом	Значення $\gamma_{\text{нак}}(\delta_{\text{нак}})$, %	Значення $\gamma_d(\delta_d)$, %
↑				
↓				
→				
←				
Значення:				
k :	$R_B =$	$R_i =$	$L_B =$	$S = \dots$ мм/Ом

* Якщо ця умова порушується хоча б в одному випадку, прилад бракується та подальшому калібруванню не підлягає.

Визначення основної похибки та похибки від варіації

Для визначення основної похибки омметра необхідно:

1. Зібрати схему, наведену на рис. 4.2.
2. Встановити та підтримувати нормальні умови експлуатації зразкового та засобу вимірювання, що калібрується.
3. Включити омметр на діапазон вимірювання, що калібрується, і зробити градування приладу відповідно до інструкції або за вказівкою викладача.

4. Вибрати оцифровану позначку, що калібрується, на шкалі омметра і змінюючи опір зразкового магазину, встановити стрілку приладу на цю позначку при підході до неї спочатку з одного боку (наприклад, ліворуч), потім з іншого (наприклад, праворуч). При цьому стрілка не повинна переходити через позначку, що калібрується.

5. Визначити два значення абсолютної похибки $\bar{\Delta}$, і $\bar{\Delta}$ по формулам:

$$\bar{\Delta} = |R_{\Pi} - \bar{R}_0| \text{ и } \bar{\Delta} = |R_{\Pi} - \bar{R}_0|$$

де R_{Π} – номінальне значення опору, що відповідає оцінці шкали, що калібрується;

\bar{R}_0 и \bar{R}_0 – значення опорів зразкового магазину при плавному підведенні покажчика до точки R_{Π} ліворуч і праворуч.

6. Визначити основну наведену або відносну похибку омметра в точці, що калібрується, при підході до неї зліва, з урахуванням виразів (3, 4, 5) за однією з формул:

$$\vec{\gamma} = \frac{\bar{\Delta}}{R_B} \cdot 100\% \quad \vec{\delta} = \frac{\bar{\Delta}}{R_i} \cdot 100\% \quad \vec{\gamma} = \frac{S \cdot \bar{\Delta}}{L_B} \cdot 100\% .$$

7. Аналогічно, з урахуванням виразів, визначити основну наведену або відносну похибку омметра в точці, що калібрується, при підході до неї праворуч.

8. Послідовно повторюючи три останні операції 5, 6, 7, визначити значення основних наведених та відносних похибок для всіх оцифрованих точок шкали приладу, що калібрується, і занести отримані результати в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати визначення основної похибки та варіації

$R_0, \text{ Ом}$	$\bar{R}_0, \text{ Ом}$	$\bar{R}_0, \text{ Ом}$	$\vec{\gamma}(\vec{\delta}), \%$	$\vec{\gamma}(\vec{\delta}), \%$	$\gamma_{\text{вар}}, \%$
Значення: k : ; $\gamma_d = \dots, \%$; $\delta_d = \dots, \%$					

8. За отриманими щодо основної похибки значенням \bar{R}_0 и \bar{R}_0 визначити та занести в табл. 4.3, похибки від варіації показань омметра, у кожній оцифрованій точці його шкали, по одній із формул:

$$\gamma_{\text{вар}} = \frac{|\bar{R}_0 - \bar{R}_0|}{R_B} \cdot 100\%, \quad \delta_{\text{вар}} = \frac{|\bar{R}_0 - \bar{R}_0|}{R_i} \cdot 100\%, \quad \gamma_{\text{вар}} = \frac{S \cdot |\bar{R}_0 - \bar{R}_0|}{L_B} \cdot 100\% .$$

Омметр вважається таким, що пройшов калібрування і придатним до застосування, якщо жодне з значень похибок $\bar{\gamma}$, $\tilde{\gamma}$, $\gamma_{\text{вар}}$ не перевищує значення його гранично припустимої похибки $|\gamma_{\text{д}}|$, визначеною за класом точності k , тобто:

$$\bar{\gamma} \leq |\gamma_{\text{д}}|; \quad \tilde{\gamma} \leq |\gamma_{\text{д}}|; \quad \gamma_{\text{вар}} \leq |\gamma_{\text{д}}|$$

або

$$\bar{\delta} \leq |\delta_{\text{д}}|; \quad \tilde{\delta} \leq |\delta_{\text{д}}|; \quad \delta_{\text{вар}} \leq |\delta_{\text{д}}|$$

** Якщо хоча б одне з набутих значень похибок не задовольняє цим умовам омметр бракується, забороняється до застосування.*

Оформлення результатів калібрування

На омметр, що пройшов калібрування, ставиться тавро і оформляється свідоцтво про калібрування, що діє на період міжкалібрувального інтервалу. Забракований прилад оформляється довідка про непридатність.

Контрольні питання

1. Перерахуйте та дайте характеристики різних видів омметрів.
2. Як визначається основна похибка омметра?
3. Як визначається похибка від варіації свідчень?
4. Які критерії використовуються для калібрування омметрів?
5. Навіщо проводять зовнішній огляд та випробування омметра?
6. Наведіть та поясніть формули для визначення основної похибки різних видів омметрів.

Список літератури

1. Калібровка засобів вимірювальної техніки : лаб. практикум / В.К. Гусельников, , О.Є. Тверитникова, В.В. Лисенко, А.В. Гусельников. Харків : НТУ «ХПІ», 2013.-97 с.
2. Р33 магазин опору URL: <https://standart-pribor.com.ua/product/r33-magazin-soprotivleniya> .

Практична робота 5

МЕТОДИКА ТА ЗАСОБИ КАЛІБРУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ОСЦИЛОГРАФІВ

Мета роботи – вивчити методику та технічні засоби калібрування електронних осцилографів., провести калібрування осцилографа С1-67

Вивчення калібратора осцилографів П1–9

Калібратор осцилографів П1–9 є еталонним засобом вимірювальної техніки та призначений для калібрування електронних осцилографів із смугою пропускання до 100 МГц.

Умови експлуатації калібратора П1–9:

- температура навколишнього середовища від 5 до 40 °С;
- відносна вологість повітря до 95 % за температури 30 °С;
- напруга живильної мережі 220 ± 22 В, частотою $50 \pm 0,9$ Гц;
- атмосферний тиск 100 ± 4 кПа (750 ± 30 мм рт. ст.).

Калібратор формує сигнали у вигляді електричної напруги (U_k) для калібрування коефіцієнта відхилення каналу вертикального відхилення осцилографів таких видів:

- прямокутні імпульси додатної полярності з частотою повторення 1 кГц ± 10 %;
- додатна та від’ємна напруга постійного струму.

Напруги сигналів встановлюються в діапазоні амплітуд від 30 мкВ до 100 В з абсолютною похибкою, що не перевищує $\pm (2,5 \cdot 10^{-3} U_k + 3 \text{ мкВ})$.

Калібратор забезпечує установку девіації (зміни) Δ_n напруги U_k у діапазонах ± 3 % і ± 10 % з абсолютною похибкою встановлення, що не перевищує $\pm (2,5 \cdot 10^{-2} \Delta_n)$.

Калібратор формує періодичний сигнал (U_T) для калібрування тривалості розгортки осцилографів (з можливістю девіації періоду повторення T_k), параметри якого відповідають таким вимогам:

- полярність – додатна;
- розмах не менше 1 В;
- діапазон встановлення періоду повторення від 100 нс до 10 с з похибкою, що не перевищує $\pm 10^{-4} T_k$.

Калібратор забезпечує установку девіації Δ_T періоду повторення сигналу T_k у діапазонах $\pm 3\%$ і $\pm 10\%$ з абсолютною похибкою встановлення, що не перевищує $\pm (2,5 \cdot 10^{-2} \Delta_T)$.

Калібратор формує сигнал (U_x) для градуювання перехідної характеристики каналу вертикального відхилення осцилографів, параметри якого відповідають таким вимогам:

- форма – прямокутна;
- амплітуда плавно регулюється від 0,36 В до 0,44 В;
- час наростання – не більше 1 нс;
- викид на вершині імпульсу та нерівномірність вершини – не більше 5 % протягом перших 5 нс і не більше 2 % від 5 до 10 нс;
- нерівномірність вершини імпульсу після перших 10 нс – не більше 1 %;
- вершина імпульсу не має спаду;
- діапазон встановлення періоду повторення – від 1 мкс до 1 с.

Калібратор формує періодичний сигнал (U_c) для синхронізації осцилографів, параметри якого відповідають таким вимогам:

- полярність – додатна;
- розмах – не менше 1 В;
- частота повторення – 100 кГц.

Калібратор формує періодичний сигнал (U_{cc}) з частотою мережі для перевірки запуску схем синхронізації осцилографів від мережі, амплітуда якого плавно регулюється від 0,05 В до 1 В.

Структурна схема та позначення вихідних сигналів і роз'ємів калібратора ПІ–9 наведені на рис. 5.1.

До складу калібратора входять 5 блоків:

блок 1 – калібрування коефіцієнта підсилення каналу вертикального відхилення осцилографів (калібратор напруги);

блок 2 – калібрування тривалості розгортки осцилографів;

блок 3 – калібрування перехідної характеристики каналу вертикального відхилення осцилографів;

блок 4 – перевірка синхронізації осцилографів від мережі;

блок 5 – живлення калібратора.

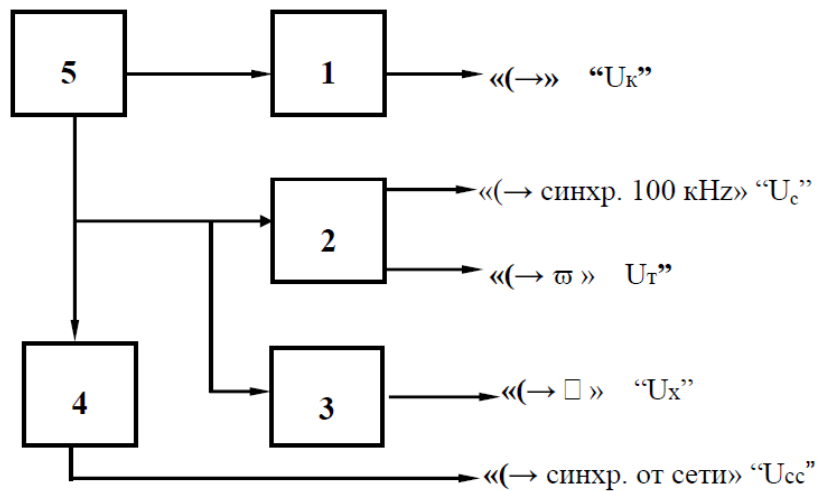


Рисунок 5.1 – Структурна схема калібратора ІІ –9

Вивчення універсального осцилографа

Як калібрований прилад використовується універсальний осцилограф С1–67 (рис.5.2). Умови експлуатації осцилографа:

- робоча температура навколишнього повітря від -30 до $+50$ °С;
- гранична температура від -50 до $+65$ °С;
- відносна вологість повітря до 98 % при температурі до $+35$ °С.



Рисунок 5.2 – Осцилограф С1–67

Осцилограф забезпечує:

- спостереження на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ) періодичних сигналів у діапазоні частот від 5 Гц до 10 МГц;

– спостереження форми імпульсів обох полярностей з тривалістю від 0,1 мкс до 0,2 с і розмахом від 5 мВ до 200 В;

– вимірювання амплітуд досліджуваних сигналів від 28 мВ до 140 В; вимірювання часових інтервалів від 0,4 мкс до 0,2 с. Робоча частина екрана становить 7 поділок (42 мм) по вертикалі та 10 поділок (60 мм) по горизонталі. Товщина лінії променя не перевищує 0,6 мм.

Тракт вертикального відхилення променя має такі параметри:

– смуга пропускання від 0 до 10 МГц при нерівномірності частотної характеристики в смузі не більше 3 дБ;

– нелінійність амплітудної характеристики – не більше 5 %;

– вхідний опір підсилювача при відкритому вході – 1 МОм із паралельною ємністю 40 пФ.

Коефіцієнти підсилювача вертикального відхилення встановлюються:

– плавно з перекриттям не менше ніж 1:2,5;

– ступінчасто – від 10 мВ/поділ до 20 В/поділ.

Похибка градуйованих коефіцієнтів відхилення не перевищує ± 4 %.

Основна похибка вимірювання амплітуд імпульсних та синусоїдальних сигналів не перевищує відповідно ± 5 % і ± 10 %.

Внутрішнє джерело калібрувальної напруги генерує П-подібні імпульси з частотою 2 кГц, амплітудою 0,06 В та 0,6 В з похибкою встановлення амплітуди та частоти не більше ± 2 %.

Розгортка може працювати як у очікуваному, так і в періодичному режимі та має такі параметри:

– діапазон градуйованих тривалостей розгортки (градуйованих коефіцієнтів розгортки) від 50 мс/поділ до 0,1 мкс/поділ;

– похибка градуйованих коефіцієнтів розгортки не перевищує ± 4 %, а при використанні множника $X0,2$ – ± 8 %.

Основна похибка вимірювання часових інтервалів не перевищує ± 5 % у діапазоні від 0,4 мкс до 0,2 с і ± 10 % при використанні множника розгортки $X0,2$.

Тракт горизонтального відхилення променя має такі параметри:

– нерівномірність частотної характеристики не перевищує від 4 до 3 дБ у діапазоні від 0 до 1 МГц;

– чутливість не менше 6 мм/В.

Живлення приладу здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В ± 10 % частотою 50 Гц ± 1 % із вмістом гармонік до 5 %.

Час самопрогріву приладу для нормальної роботи – не менше 15 хвилин. Перед калібруванням необхідно встановити та підтримувати нормальні умови роботи осцилографа, зазначені в інструкції з експлуатації:

- температура навколишнього повітря (20 ± 5) °С;
- відносна вологість (65 ± 15) %;
- атмосферний тиск (750 ± 30) мм рт. ст.;
- напруга мережі живлення ($220 \pm 4,4$) В;
- частота мережі ($50 \pm 0,1$) Гц.

Зовнішній огляд і випробування осцилографа

Під час зовнішнього огляду має бути встановлено відповідність каліброваного приладу таким вимогам:

- калібрований осцилограф не повинен мати механічних пошкоджень кожуха, кришок, лицьової панелі, регулювальних і з'єднувальних елементів та пристроїв, що можуть порушувати його роботу;
- повинна бути забезпечена чітка фіксація всіх перемикачів у всіх позиціях при збігу покажчика позиції з відповідними написами на панелі приладу.

Перед увімкненням приладу органи керування необхідно встановити:

- тумблер «МЕРЕЖА»** – вимкнено;
- «ЯСКРАВІСТЬ»** – у крайнє ліве;
- «ФОКУС»** – у середнє;
- «ВОЛЬТ/ДІЛ.»** – у положення «▼ 6 ДІЛ.»;
- «ПІДСИЛЕННЯ»** – у крайнє праве;
- регулятори «↑» та «↔»** – у середні положення;
- перемикач «~, L, ≈»** – у положення «≈»;
- «СТАБІЛЬНІСТЬ»** – у крайнє праве;
- «ЧАС/ДІЛ.»** – «0,5 мс»;
- «ТРИВАЛІСТЬ»** – у крайнє праве;
- тумблер «X1, X0,2»** – у положення «X1»;
- перемикач виду синхронізації «□, □, X»** – у положення «□»;
- перемикач полярності «≈, ~, +, -»** – у положення «≈, +»;
- тумблер «П»** – у положення «П».

Після виконання вищезазначених операцій прилад під'єднується до джерела живлення і вмикається тумблером «МЕРЕЖА». При цьому має за-світитися сигнальна лампа.

Випробування осцилографа полягає у перевірці його працездатності, для чого необхідно переконатися в наявності сигналів та можливості вико-нання операцій і регулювань його параметрів, перелічених у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Контрольовані сигнали і операції

№	Сигнали та операції	Є	Немає
1	Наявність зображення (точка, лінія) на екрані		
2	Можливість зміни яскравості зображення		
3	Можливість фокусування зображення		
4	Можливість зміщення зображення по вертикальній осі		
5	Можливість зміщення зображення по горизонтальній осі		
6	Наявність розгортки зображення на всіх діапазонах		
7	Наявність сигналу калібрування		
8	Можливість регулювання амплітуди зображення		
9	Можливість синхронізації зображення		

Примітка. У разі відсутності будь-якого з перелічених сигналів або неможли-вості його регулювання осцилограф бракується і подальшому калібруванню не підля-гає.

Градування осцилографа

Відрегулюйте яскравість і фокусування лінії розгортки за допомогою ручок «ЯСКРАВИСТЬ» і «ФОКУС». Перемістіть промінь у межі робочої ча-стини екрана за допомогою ручок «↑» та «←→». Збалансуйте тракт вертика-льного відхилення променя після 15-хвилинного прогрівання осцилографа. Виконайте для цього такі операції:

1. Переведіть ручку «ВОЛЬТ/ДІЛ» у положення «0,05».
2. Перемістіть лінію розгортки в середнє положення робочої частини екрана ЕПТ ручкою «↑».
3. Перемкніть ручку «ВОЛЬТ/ДІЛ» у положення «0,01».
4. Поверніть лінію розгортки у попереднє положення за допомогою регулятора «БАЛАНС».

Повторюйте ці операції доти, доки лінія розгортки не перестане змі-щуватися під час перемикаання ручки «ВОЛЬТ/ДІЛ».

Установіть ручку «ВОЛЬТ/ДІЛ» у положення «▼ 6 ДІЛ», а ручку «ПІДСИЛЕННЯ» — вправо до упору. Відкалібруйте тракт вертикального відхилення за допомогою регулятора «КАЛІБРУВАННЯ ЧУТЛИВОСТІ», розташованого з лівого боку приладу.

Амплітуда зображення каліброваної напруги повинна дорівнювати шести поділкам вертикальної шкали ЕПТ осцилографа. Після цього прилад готовий до проведення вимірювань амплітуд.

Для калібрування швидкості розгортки виконайте такі операції:

1. Установіть ручку «ЧАС/ДІЛ» у положення «0,5 мс».
2. Проверніть ручку «ТРИВАЛІСТЬ» у крайнє праве положення (за годинниковою стрілкою до упору).
3. Укладіть 10 періодів каліброваної напруги в 10 поділок шкали ЕПТ за допомогою регулятора «КАЛІБРУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ Х1», розташованого на правій боковій стінці приладу.

4. Переведіть тумблер множника в положення «Х0,2».

5. Укладіть 2 періоди каліброваної напруги в 10 поділок шкали ЕПТ за допомогою регулятора «КАЛІБРУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ Х0,2».

Після виконання цих операцій прилад готовий до роботи.

Під час проведення вимірювань слід пам'ятати, що шкала осцилографа розділена на:

- 7 поділок (42 мм) по вертикалі,
- 10 поділок (60 мм) по горизонталі,
- одна поділка шкали становить 6 мм.

На осьових лініях шкали кожна поділка розділена на 5 рівних частин по 1,5 мм.

Визначення ширини лінії променя у вертикальному напрямку

Ширину лінії променя у вертикальному напрямку визначають методом косового вимірювання за схемою, наведеною на рис. 5.3.

Калібрований осцилограф переводять у автоколивальний режим розгортки і встановлюють:

- перемикач «~, 1, ≈»** у положення «≈»;
- перемикач «ЧАС/ДІЛ.»** у положення «0,5 мс»;
- тумблер «Х1, Х0,2»** у положення «Х1»;
- перемикач «ВОЛЬТ/ДІЛ.»** у положення «10».



Рисунок 5.3 – Схема калібрування каналу вертикального відхилення осцилографа:

- 1 – вихід «(→)» калібратора напруги П1-9;
 2 – вхід підсилювача вертикального відхилення осцилографа «(→)».

Органи керування калібратора встановлюють у такі положення:

кнопку «КАЛІБРАТОР НАПР.» у положення «ВКЛ»;

кнопку «МОД.» у положення «П»;

кнопки «V/ДІЛ.» у положення «10»;

кнопки «КІЛЬКІСТЬ ПОДІЛОК» у положення «5».

На екрані ЕПТ спостерігають дві горизонтальні лінії. За допомогою органів зміщення осцилографа переміщують зображення до верхньої границі робочої ділянки екрана. Встановлюють зручну для вимірювань яскравість та фокусування зображення.

Послідовним перемиканням кнопок «V/ДІЛ.» змінюють амплітуду вихідного сигналу калібратора до значення L'_k , при якому світлові лінії на екрані осцилографа торкаються одна одної.

Ширину D лінії променя по вертикалі в поділках обчислюють за формулою:

$$D = \frac{L'_k \cdot N}{L_0},$$

де L'_k – положення кнопок «V/ДІЛ.» калібратора;

L_0 – положення перемикача «ВОЛЬТ/ДІЛ.» осцилографа;

N – положення кнопок «КІЛЬКІСТЬ ПОДІЛОК» калібратора.

З урахуванням того, що одна поділка шкали дорівнює 6 мм, визначають ширину D' лінії променя в міліметрах за формулою: $D' = 6D$

Ширину лінії променя визначають у середині та на границях робочої ділянки шкали осцилографа.

Ширина D' лінії променя не повинна перевищувати 0,6 мм, тобто повинна виконуватися умова: $D' \leq 0,6$ мм.

Якщо ця умова не виконується, осцилограф бракується і подальший калібруванню не підлягає.

Визначення похибки коефіцієнтів відхилення каналу вертикального відхилення

Цю похибку (δ_k) визначають методом прямого вимірювання за калібрувальною схемою, наведеною на рис. 5.3, починаючи з діапазону 20 В/поділ. Калібрований осцилограф переводять у автоколивальний режим розгортки і встановлюють:

- перемикач «~, L, ≈»** у положення «≈»;
- перемикач «ЧАС/ДІЛ»** – «0,5 мс»;
- тумблер «X1, X0,2»** – у положення «X1»;
- перемикач «ВОЛЬТ/ДІЛ»** – у положення «20».

Перед калібруванням осцилограф повинен бути попередньо відкалібрований.

У калібраторі виконують такі установки:

1. Натискають кнопку «ДЕВІАЦІЯ, КАЛІБРАТОР НАПРУГИ».
2. Кнопка «ДЕВІАЦІЯ, КАЛІБРАТОР ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛІВ» повинна бути віджата.
3. Вибирають діапазон вимірювання похибки $\pm 10\%$ або $\pm 3\%$, натискаючи відповідну кнопку.
4. Кнопки «V/ДІЛ.» встановлюють у положення «10».
5. Кнопки «КІЛЬКІСТЬ ПОДІЛОК» у положення «5 поділок X2».
6. Перемикач «МОД.» – у положення П.

На екрані осцилографа повинні бути видні дві горизонтальні лінії, відстань між якими приблизно дорівнює 5 поділок.

Оцінка похибки коефіцієнта відхилення на межі 20 В/поділ проводиться наступним чином:

1. Обертаючи ручку «ДЕВІАЦІЯ, КАЛІБРАТОР НАПРУГИ», добиваються точного збігу двох горизонтальних ліній з нижнім (нульовим) та верхнім (п'ятим) поділом шкали осцилографа і при цьому відраховують похибку δ_k у відсотках безпосередньо по шкалі вимірювального приладу калібратора.

2. Аналогічно, змінюючи положення перемикачів калібратора, визначають похибку на всіх інших межах, встановлюваних перемикачем осцилографа «ВОЛЬТ/ДІЛ.».

Отримані результати вносять у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Похибки коефіцієнтів відхилення каналу вертикального відхилення осцилографа

№	Перемикачі осцилографа		Перемикачі калібратора		Похибка, %
	«час/діл.»	«X1,X0,2»	s/діл,ms/діл,μs/діл	«X2,X5»	

Найбільше з отриманих значень похибок коефіцієнтів розгортки не повинно перевищувати:

$\delta_{тд} = \pm 5\%$ при встановленні перемикача «X1, X0,2» у положення X1,

$\delta_{тд} = \pm 10\%$ при встановленні перемикача у положення X0,2,

тобто для всіх значень δt повинна виконуватися умова:

$$|\delta t| \leq |\delta_{тд}|$$

Якщо ця умова не виконується, осцилограф бракується, і його експлуатація забороняється.

Оформлення результатів калібрування

При позитивних результатах калібрування на калібрований осцилограф видається свідоцтво про калібрування з указанням результатів калібрування, підписаних представником ЦОСМ. При негативних результатах калібрування прилад визнається непридатним, і на нього видається довідка з указанням причини непридатності.

Міжкалібрувальний інтервал осцилографа С1-67 – один рік.

Контрольні питання

1. Призначення та будова калібратора осцилографів П1–9.
2. Перерахуйте метрологічні характеристики електронного осцилографа, що підлягають контролю під час калібрування.
3. Які умови експлуатації осцилографа вважаються нормальними?
4. Як і з якою метою здійснюється градування осцилографа?
5. За якими критеріями осцилограф, що калібрується, може бути забракований.

Список літератури

1. ПІ-9 прилад для імпульсних вимірювань. URL: <https://standart-pribor.com.ua/product/i1-9-pribor-dlya-impulsnykh-izmereniy> .
2. СІ-67 осцилограф універсальний URL: <https://standart-pribor.com.ua/product/s1-67-ostsillograf-universalnyy> .
3. Калібровка засобів вимірювальної техніки : лаб. практикум / В.К. Гусельников, , О.Є. Тверитникова, В.В. Лисенко, А.В. Гусельников. Харків : НТУ «ХП», 2013.-97 с.

Практична робота 6

МЕТОДИКА ТА ЗАСОБИ КАЛІБРУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЧАСТОТОМІРІВ

Мета роботи – вивчення методики та технічних засобів калібрування цифрових частотомірів, проведення калібрування цифрового частотоміра.

Вивчення та підготовка до роботи еталонного генератора сигналів ГЗ-110

Генератор сигналів низькочастотний прецизійний ГЗ-110 представляє собою джерело синусоїдальних електричних коливань з високою точністю встановлення та стабільністю частоти. Генератор призначений для калібрування та налаштування пристроїв для вимірювання частоти та забезпечує такі технічні характеристики:

- частота вихідного сигналу встановлюється в діапазоні від 0,01 до 1 999 999,99 Гц з дискретністю 0,01 Гц за допомогою 9-декадного перемикача.
- основна відносна похибка дискретного встановлення частоти не перевищує $\pm 5 \cdot 10^{-7}$.
- відносна нестабільність частоти у дискретних точках не перевищує $\pm 5 \cdot 10^{-9}$ протягом будь-яких 15 хв та $\pm 3 \cdot 10^{-8}$ протягом 16 годин роботи приладу за умов навколишньої температури, підтримуваної з точністю ± 1 °С.
- додаткова похибка дискретного встановлення частоти, обумовлена зміною температури навколишнього повітря на кожні 10 °С у межах робочого діапазону, не перевищує $\pm 3 \cdot 10^{-8}$.

- у приладі забезпечується плавне перенастроювання частоти при натисканні однієї з кнопок задаючого генератора «ЧАСТОТА ПЛАВНО».
- прилад оснащений атенюатором та вбудованим вимірювачем вихідної напруги ($U_{\text{вих}}$) на роз'ємах «ВИХІД I» та «ВИХІД II».
- основна похибка встановлення вихідної напруги за показами вимірювача, приведена до кінцевого значення діапазону вимірювання, не перевищує $\pm 6\%$.
- максимальне значення струму в навантаженні, підключеній до гнізда «ВИХІД I», – 20 мА.

Зовнішній вигляд приладу наведений на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 - Еталонний генератор сигналів ГЗ-110

Генератор може експлуатуватися за наступних умов:

- температура навколишнього повітря від 5 до 40 °С;
- відносна вологість до 95 % при температурі навколишнього повітря 303 К (30 °С);
- атмосферний тиск від 60 до 106 кПа (від 460 до 800 мм рт. ст.);
- напруга живлення мережі (220 \pm 22) В, частота (50 \pm 0,5) Гц.

Вивчення калібруемого частотоміра

У якості калібруемого приладу обрано вимірювач частоти промислової мережі ІЧПС-1, призначений для безперервного вимірювання та індикації частоти електричної мережі в діапазоні від 45 до 55 Гц.

Принцип дії приладу базується на вимірюванні тривалості кількох періодів частоти шляхом підрахунку за цей час кількості коливань кварцового генератора опорних імпульсів.

Частотомір має такі технічні характеристики:

- робочий діапазон: 45 – 55 Гц;
- межі допустимої абсолютної похибки: $\pm 0,005$ Гц.

- кількість розрядів цифрового індикатора (І) – 5;
 - ціна одиниці найменшого розряду індикатора – 0,001 Гц;
 - час встановлення робочого режиму – 30 с;
 - час циклу вимірювання одного параметра – $1 \pm 0,2$ с;
 - параметри вимірювального каналу « ~ 2 В» – $2 -0,2 +1$ В;
 - живлення від мережі змінного струму – $(220 -33 +22)$ В, (50 ± 5) Гц.
- Структурна схема приладу наведена на рис. 6.2.

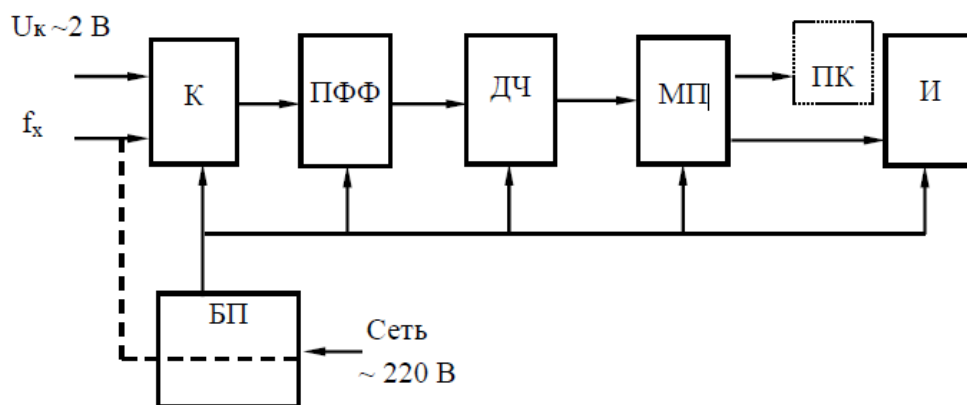


Рисунок 6.2 – Структурна схема ІЧПС-1

Вхідний сигнал f_x (частота електричної мережі 220 В або калібрувальний сигнал 2 В) через комутатор К надходить на смуговий фільтр-формувач ПФФ, призначений для підвищення точності вимірювання шляхом подавлення вищих гармонік вимірюваного сигналу та формування прямокутних імпульсів з періодом повторення, пропорційним періоду вимірюваного сигналу.

Дільник частоти (ДЧ) збільшує тривалість періоду вимірюваного сигналу, що дає можливість проведення більш точних вимірювань та знижує вплив імпульсних завад.

Мікропроцесор (МП) здійснює:

- обчислення частоти за виміряним значенням часових інтервалів;
- обчислення середнього значення частоти;
- підготовку даних для індикатора;
- виконання допоміжних тестувальних функцій.

Індикатор (І) забезпечує відображення вимірних значень частоти. Блок живлення (БП) формує напруги, необхідні для роботи елементів

приладу. Результати вимірювань можуть передаватися на персональний комп'ютер.

Зовнішній огляд приладу та підготовка до калібрування

Під час зовнішнього огляду необхідно встановити відсутність грубих механічних пошкоджень зовнішніх частин приладу:

- міцність кріплення роз'ємів та перемикачів;
- чіткість написів та позначень на робочих панелях.

Якщо будь-яка з перелічених вимог не виконана, прилад бракується і подальшому калібруванню не підлягає.

Для проведення калібрування ІЧПС-1 необхідно забезпечити нормальні умови експлуатації:

- напруга живлення: $220 -33 +22$ В;
- температура навколишнього повітря: 20 ± 5 °С;
- відносна вологість повітря: 30–80 %;
- атмосферний тиск: 100 ± 6 кПа.

Підключення приладів виконати відповідно до схеми, наведеної на рис. 6.3.

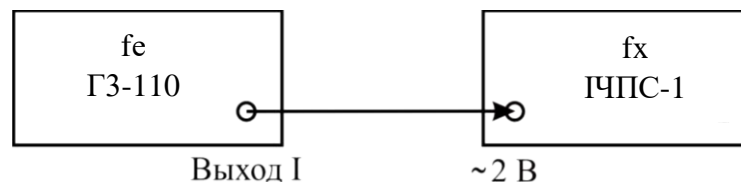


Рисунок 6.3 – Схема підключення приладів

Випробування калібруємого приладу

Для випробування ІЧПС-1 та визначення його основних метрологічних характеристик використовується наведена вище схема.

Під час випробування приладу необхідно виконати такі операції:

- підключити сигнальний кабель до ІЧПС-1 до роз'єму «2 В»;
- підключити сигнальний кабель до роз'єму «ВИХІД I» генератора ГЗ-110;
- підключити прилад нуль-модемним кабелем до роз'єму COM1 (COM2) ПК;

- увімкнути генератор ГЗ-110;
- встановити на шкалі генератора частоту 51 Гц та амплітуду вихідного сигналу ($2 \pm 0,2$) В;
- увімкнути ІЧПС-1;
- спостерігати тест індикації (на ЦОУ відображаються символи 00000, потім «біжучі» числа від 1 до 9) та вибір вимірювального сигналу (U-2 для повірочного сигналу напругою 2 В);
- плавно змінюючи частоту генератора в діапазоні від 45 до 55 Гц, переконатися, що в кожному з розрядів індикатора може бути включений будь-який із передбачених символів. Переконатися, що при частоті сигналу менше ($45 \pm 0,1$) Гц на індикаторі приладу відображається повідомлення «--45», а при частоті більшій ніж ($55 \pm 0,1$) Гц – повідомлення «55---»;
- встановити частоту сигналу (50 ± 1) Гц і, знижуючи вихідну напругу генератора еталонної частоти, перевірити спрацювання приладу (індикація «F---0») при напрузі сигналу ($1,8 \pm 0,3$) В.

**Якщо під час випробування не виконується будь-яка з перелічених операцій, прилад бракується і подальшому калібруванню не підлягає.*

Прогріти прилади протягом 30 хвилин.

Контрольні питання

1. Призначення та основні характеристики генератора ГЗ-110.
2. Призначення та основні характеристики вимірювача ІЧПС-1.
3. Які умови експлуатації є нормальними для калібрування ІЧПС-1?
4. Як і навіщо проводиться зовнішній огляд та випробування калібруємого приладу?

Список літератури

1. ГЗ-110 генератор низькочастотний сигналів. URL: <https://standart-pribor.com.ua/product/g3-110-generator-signalov-nizkochastotnyy> .
2. Калібровка засобів вимірювальної техніки : лаб. практикум / В.К. Гусельніков, , О.Є. Тверитникова, В.В. Лисенко, А.В. Гусельников. Харків : НТУ «ХП», 2013.-97 с.

ДЛЯ ПОДАТОК

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни «Основи забезпечення єдності вимірювань»
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю «Інформаційно-вимірювальні технології»

Укладачі:
ДРОЗДОВА Тетяна Василівна

Відповідальний за випуск доц. Балєв В.М.
Роботу до видання рекомендував доц. Львов С.Г.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 149

Підп. до друку Формат 60x84 1/16.
Папір офсет. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 2,0.
Обл.вид. арк. Наклад 30 прим. Замовлення №

Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
Електронна версія