

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з виконання лабораторних робіт дисципліни
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»
для студентів спеціальності
G3 Електрична інженерія
усіх форм навчання

Частина II

Методичні вказівки з виконання лабораторних робіт дисципліни «Основи метрології та електричні вимірювання» для студентів спеціальності G3 Електрична інженерія усіх форм навчання. Частина II. /Укл: О.С. Назарова, І.А. Мелешко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 30 с.

Укладачі:

О.С. Назарова, к.т.н., доцент
І.А. Мелешко, асистент

Рецензент: А.В. Пирожок, к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск: О.С. Назарова, к.т.н., доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
Електропривода і автоматизації
промислових установок
протокол № 01 від 28.08.2025 р.

Рекомендовано
до видання НМК ЕТФ
протокол № 04 від 20.11.2025 р.

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Лабораторна робота №5	
Дослідження індукційного лічильника електричної енергії.....	5
2 Лабораторна робота №6	
Вимірювання опорів мостом постійного струму.....	13
3 Лабораторна робота №7	
Вимірювання електричних величин цифровим осцилографом..	19
Перелік джерел посилання.....	29

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять опис трьох лабораторних робіт з дисципліни «Основи метрології та електричні вимірювання» у відповідності до навчальних планів ОКР бакалаврів спеціальності G3 Електрична інженерія і рекомендації до їх виконання.

Лабораторні роботи містять короткі теоретичні відомості згідно теми роботи, завдання, рекомендації щодо їх виконання і контрольні запитання для кращого засвоєння матеріалу і перевірки отриманих студентом знань та навичок.

Для студентів спеціальності G3 Електрична інженерія усіх форм навчання.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Дослідження індукційного лічильника електричної енергії.

Мета: ознайомитися з будовою і принципом дії індукційного лічильника, методикою його перевірки, дослідження залежності похибки лічильника від струму навантаження.

Короткі теоретичні відомості.

Найбільш поширеним приладом для вимірювання енергії змінного струму є індукційний лічильник із вимірювальним механізмом тангенціального типу. Будова такого лічильника показана на рисунку 1.1 [1], векторна діаграма – на рисунку 1.2.

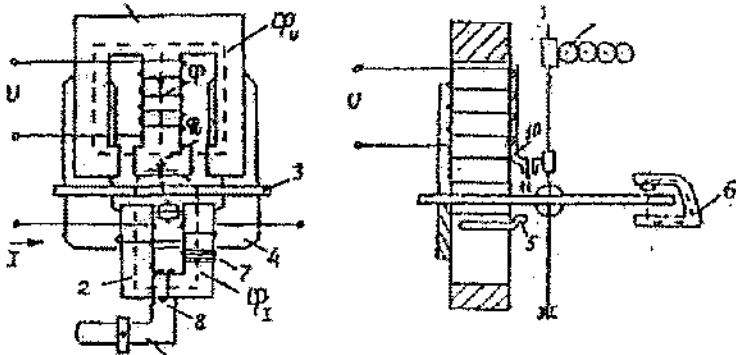


Рисунок 1.1 – Будова індукційного лічильника

Індукційний вимірювальний механізм лічильника складається з таких вузлів і деталей: Ш-подібного магнітопроводу 1 з обмоткою напруги, П-подібного магнітопроводу 2 з обмоткою струму, алюмінієвого диска 3, закріпленого на осі, протиполюсу 4 із магніто-м'якої сталі, сталевого повідця 5 для створення компенсаційного моменту, магніту 6 для створення гальмівного моменту, короткозамкнених витків 7, додаткової обмотки 8, замкненої на дровотий резистор 9, пластини з прапорцем 10, виконаних із магніто-м'якої сталі, сталевого гачка 11, рахункового механізму 12.

При підмиканні лічильника до мережі напруга U , прикладена до обмотки напруги, створює в обмотці струм I_U , який відстає за фазою на кут близький до 90° через великий індуктивний опір обмотки [2].

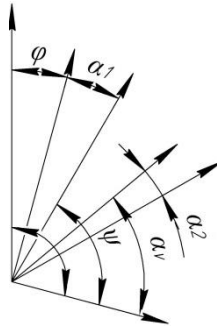


Рисунок 1.2 – Векторна діаграма

Струм I_U створює магнітний потік Φ в середньому стрижні магнітопроводу 1. Потік Φ поділяється на два потоки Φ_U і Φ_L ; робочий потік Φ_U перетинає диск 3 і замикається на магнітопроводі 1 через протиполіус 4; неробочий потік Φ_L замикається через бічні стрижні магнітопроводу й значної участі у створенні оберտального моменту лічильника не приймає. Потоки Φ_U і Φ_L відстають від струму I_U на кути α_U і α_L , відповідно, причому $\alpha_U > \alpha_L$, тому що Φ_U перетинає диск і замикається через протиполіус. При вмиканні навантаження струм I створює у магнітопроводі 2 магнітний потік Φ_1 , що двічі перетинає диск і проходить через магнітопровід 2. Потік Φ_1 – відстає від струму I на кут α . Магнітні потоки Φ_U і Φ_1 перетинаючи диск, наводять у ньому ЕРС, а тому, що диск є короткозамкненим провідником, у диску протікають вихрові струми. На диск діє пара сил, що створює обертальний момент:

$$M_{ог} = Cf\Phi_U\Phi_1 \sin \psi, \quad (1.1)$$

де f – частота змінного струму мережі;

ψ – кут між потоками.

При роботі на лінійній ділянці кривої намагнічування магнітопроводів маємо:

$$\Phi_I = k_1 I; \quad \Phi_U = k_2 \frac{U}{Z_U} = k_2 \frac{U}{2\pi f L_U}, \quad (1.2)$$

де L_U – індуктивність обмотки напруги;

k_1, k_2 – стала величина.

Підставляючи значення потоків отримаємо

$$M_{об} = kUI \sin \psi. \quad (1.3)$$

Якщо $\beta = \psi + \varphi + \alpha_1 > \frac{\pi}{2}$, то регулюючи α_1 , можна домогтися

того, що $\psi + \varphi = \frac{\pi}{2}$ тобто $\psi = \frac{\pi}{2} - \varphi$. Тоді $\sin \psi = \cos \varphi$, а

$$M_{об} = kUI \cos \varphi = kP, \quad (1.4)$$

де k – стала величина.

Забезпечення рівності $\psi = \frac{\pi}{2} - \varphi$ досягається регулюванням кута

α_1 , шляхом зміни кількості короткозамкнених витків 7 (грубо) на магнітопроводі 2 і зміною опору дровового резистора 9 (точно). Для того, щоб диск обертався з рівномірною швидкістю, яка пропорційна споживаній потужності, обертальний момент повинний врівноважуватися гальмівним моментом $M_{Г}$, який пропорційний швидкості обертання диска. Гальмівний момент створюється постійним магнітом, поле якого перетинає диск. Якщо знехтувати моментом тертя, то при $M_{об} = M_{Г}$ диск буде обертатися з рівномірною швидкістю. Кількість оборотів диска

$$N = AW_H, \quad (1.5)$$

де W_H – енергія, що вимірюється лічильником.

Коефіцієнт A дорівнює кількості оборотів на одиницю енергії (1кВт/год) називається передавальним числом лічильника і вказується на його щитку [3]. Величина, обернена передавальному числу лічильника, тобто енергія, що враховується за 1 оборот диска, називається номінальною сталою лічильника C_H :

$$C_H = \frac{3600 \cdot 10^3}{A}, \quad (1.6)$$

де 10^3 , 3600 – коефіцієнти переходу від кВт/год до Вт/с.

Дійсна стала лічильника C_D не дорівнює номінальній, її значення визначається споживаним струмом навантаження, тому і похибка лічильника залежить від струму навантаження

$$C_D = \frac{W_D}{N}. \quad (1.7)$$

Суттєвий вплив на похибку здійснює момент тертя у відліковому механізмі й опорах рухомої частини. Очевидно, що момент тертя буде зменшувати обертальний момент і виміряна лічильником енергія буде менше дійсною. Для компенсації цієї систематичної похибки створюється додатковий обертаючий момент (компенсаційний). У даній конструкції лічильника цей момент створюється за допомогою повідця 5, прикріпленого до протиполюсу під диском лічильника, через який відгалужується додатковий потік Φ_K . При зсуві повідця від радіального напрямку виникає додатковий обертальний момент, що компенсує момент тертя [4].

При експлуатації лічильника рівність компенсаційного моменту і моменту тертя порушується і диск лічильника може почати обертання навіть при $I_H=0$, тобто коли споживання енергії немає. Таке явище називається самоходом лічильника. Для його усунення у конструкції лічильника передбачений прапорець 10 і гачок 11. Прапорець 10 намагнічується потоком Φ_K і, коли гачок підійде до нього, він його утримує за рахунок магнітного зв'язку. Сила взаємодії прапорця і гачка повинна бути відрегульована так, щоб лічильник мав припустиму межу чутливості. Межа чутливості – це найменше нормоване значення струму у відсотках від номінального струму, при якому починається обертання лічильника при $U = U_H$ і $\cos\varphi=1$ [5]. Для лічильників класу 1,0 межа чутливості не повинна перевищувати 0,5%, при класі точності 2,5 – 1%.

Оскільки лічильник є інтегруючим приладом, його клас точності визначається відносною похибкою:

$$\delta\% = \frac{W_H - W_D}{W_D} 100\% = \frac{C_H N - C_D N}{C_D N} 100\% = \frac{C_H - C_D}{C_D} 100\% , \quad (1.8)$$

де W_D – дійсне значення енергії, визначене за показаннями зразкових приладів.

Залежність похибки лічильника від струму навантаження називається навантажувальною кривою.

Прилади та обладнання.

У таблицю 1.1 занесені паспортні дані вимірювальних приладів.

Таблиця 1.1 – Перелік приладів і обладнання

Найменування приладу, обладнання	Тип приладу, обладнання	Клас точності	Основні характеристики
Лічильник індукційний	СО-Н446	2,5	$A=1200$; $U_H=220V$; $I_H=5...17A$
Амперметр	Э59	0,5	0-2,5-5,0 А
Міліамперметр	Э34	1,0	0-70 мА
Вольтметр	Э-378	1,5	0-250 В
Автотрансформатор лабораторний ЛАТР	навчальний		
Фазорегулювач	-	-	

Завдання.

Зберіть схему (рисунок 1.3). Після вмикання установить номінальне значення струму і $\cos\varphi = 1$. Для цього ручку фазорегулювача обертайте до максимального показання ватметра. Прогрійте лічильник номінальним струмом протягом 15 хв.

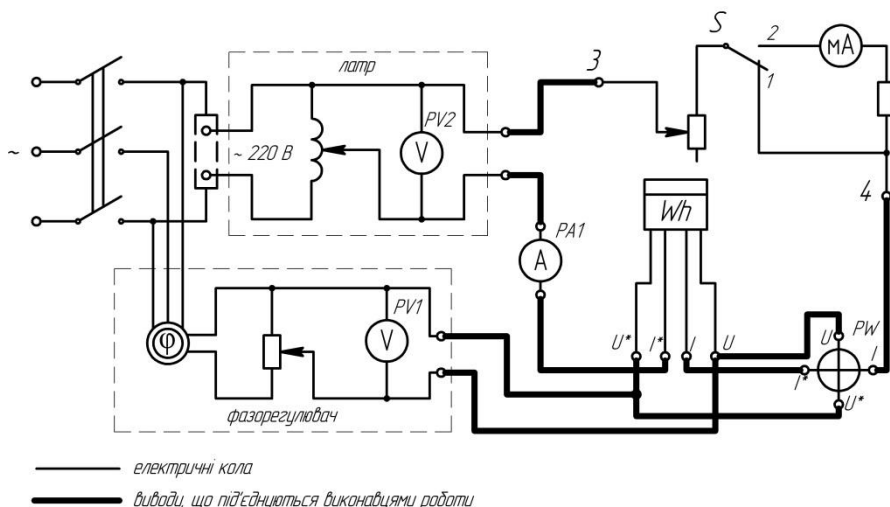


Рисунок 1.3 – Схема лабораторної установки.

Перевірте відсутність самоходу – для цього установіть напругу мережі 240 В при $I=I_H$ і при проходженні червоної мітки через віконце розірвіть коло струму перемикачем S. Якщо після цього диск виконає не більш одного оберту, то самохід відсутній.

Визначте межу чутливості лічильника – для цього установіть напругу мережі $U=U_H = 220$ В і перемикач у положення 2. Збільшуйте струм від 0 до значення, при якому диск лічильника почне обертатися. Межу чутливості визначите за формулою

$$S_{\Pi} = \frac{I_{np}}{I_H} 100.$$

Зробіть часткову повірку лічильника одним із наступних методів:

- ватметра і секундоміра, за показаннями яких визначають дійсне значення електричної енергії, врахованої лічильником;

- зразкового лічильника, клас точності якого суттєво вище класу точності лічильника, що перевіряється. Повірка лічильника повинна здійснюватися за нормальних умов, тобто при температурі навколишнього повітря $20^{\circ}\text{C}-3^{\circ}\text{C}$, напругою $U_H \pm 1\%U$, відхилення від вертикального положення не більш $\pm 1^{\circ}$ і таке інше.

Повірка лічильника в даній роботі робиться за методом ватметра і секундоміра при номінальній напрузі мережі 220 В, $\cos\phi=1$ шляхом визначення відносної похибки лічильника за формулою (1.8) при струмах $I = 20, 40, 60, 80$ і 100% від $I_n = 5$ А.

Установить $I=0,2 I_n$ і запишіть показання приладів – амперметра, ватметра, вольтметра у таблицю 1.2. Для визначення W виміряйте секундоміром відрізок часу, приблизно рівний 50-60 с і число обертів лічильника N за цей інтервал. Визначите інтервал часу Δt , що відповідає N , обертам, три рази, за обмірюване значення Δt і візьміть середнє арифметичне з трьох вимірів.

Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати вимірювань

Виміряно				Обчислено				
I, А	U, В	P _w , Вт	Δt , с	N, об	$W_D = P_w \Delta t$	$W_n = C_n N$	$C_D = \frac{W_D}{N}$, Вт/об	δ , %

Визначте значення відносної похибки при кожному значенні струму навантаження і запишіть у таблицю 1.2.

Побудуйте навантажувальну криву лічильника і письмово поясніть причини зростання й убавання похибки на кожній ділянці.

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити тему, мету лабораторної роботи, законспектовані короткі теоретичні відомості, електричні схеми і векторну діаграму, заповнені таблиці 1.1 та 1.2, необхідні розрахунки, графіки залежності $\delta = f(I)$, висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання.

1. Назвіть основні вузли індукційного лічильника і поясніть, які сили створюють обертальний момент.
2. За яких умов диск обертається з рівномірною швидкістю, пропорційною споживаній потужності?
3. Чим створюється гальмівний момент, що діє на диск? Чому він дорівнює і як регулюється?
4. Чим регулюється кут між потоками електромагнітів кола струму і кола напруги?
5. Для чого необхідний компенсаційний момент? Як він створюється і регулюється?
6. Що таке самохід лічильника? Як він усувається?
7. Що таке межа чутливості лічильника?
8. Як визначити енергію, виміряну лічильником і відносну похибку лічильника?
9. Поясніть характер зміни навантажувальної кривої лічильника.
10. Назвіть основні причини появи похибок у лічильнику.
11. Напруга на навантаженні 220 В, струм – 5,45 А. За 10 хв лічильник енергії зробив 246 обертів. Передавальне число лічильника $A=1200$ об/(кВт/год). Навантаження активне. Визначити енергію, враховану лічильником, і похибку її виміру, прийнявши показання вольтметра й амперметра за дійсні значення напруги і струму у колі.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Вимірювання опорів мостом постійного струму.

Мета: ознайомитися з мостовими методами вимірювання опорів і освоїти методику вимірювання.

Короткі теоретичні відомості.

Схема, наведена на рисунку 6.1, є мостом постійного струму або мостом Уїтстона; точки А, В, С і D – вершинами моста; кола між суміжними вершинами А і С, В і D та т.п. – плечима моста, а кола між протилежними вершинами А і В, С і D – діагоналями. На одну з діагоналей подається напруга живлення U , а в другу вмикають вимірювальний прилад [6, 7].

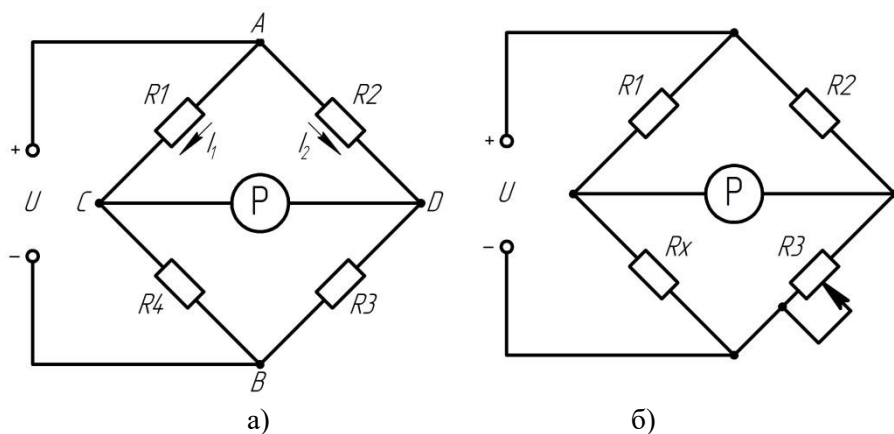


Рисунок 2.1 – Чотириплечий міст постійного струму (а), міст із невідомим опором (б)

Мостова схема має властивість: якщо $U_{BC} = U_{BD}$, струм у вимірювальній діагоналі відсутній. Такий стан моста називають рівноважним, а рівняння $U_{BC} = U_{BD}$ умовою рівноваги [8].

$$U_{BC} = I_1 R_4; \quad U_{BD} = I_2 R_3; \quad I_1 = \frac{U}{(R_1 + R_4)}; \quad I_2 = \frac{U}{(R_2 + R_3)}.$$

Тоді

$$R_2 R_4 = R_1 R_3. \quad (2.1)$$

Це рівняння рівноваги моста постійного струму. Властивості мостової схеми широко використовуються для вимірювання опорів. Якщо замість одного з резисторів, наприклад замість R_4 (рис.2.1, а) підімкнути резистор із невідомим опором R_x (рис.2.1, б), один з інших резисторів, наприклад R_3 , зробити регульовальним, то, регулюючи R_3 , міст можна привести в рівноважний стан [9, 10]. Тоді

$$R_x = R_3 \left(\frac{R_1}{R_2} \right). \quad (2.2)$$

З (2.2) видно, що результат вимірювання не залежить від прикладеної напруги або струмів у колі. Отже, урівноважені мостові схеми забезпечують дуже високу точність виміру [11, 12].

Мостові схеми використовують також для перетворення опору в напругу в невірноваженому режимі. Якщо міст невірноважений, струм у вимірювальній діагоналі

$$I_p = \frac{U(R_2 R_4 - R_1 R_3)}{R_p(R_2 + R_3)(R_1 + R_4) + R_2 R_3(R_1 + R_4) + R_1 R_4(R_2 + R_3)}. \quad (2.3)$$

При незмінних значеннях напруги живлення та опорів R_1, R_2, R_3 струм у діагоналі, а отже, і падіння напруги

$$U_{CD} = f(R_4). \quad (2.4)$$

Найчастіше такі схеми застосовуються для перетворення неелектричних величин – переміщення, деформації, температури і таке інше в електричні при їхньому вимірюванні. Прилад P в невірноважених мостах градується в вимірювальних величинах [13, 14]. Похибка вимірювання опорів урівноваженим мостом залежить від похибки калібрування зразкових резисторів R_1, R_2, R_3 , тобто від похибки міри і похибки за рахунок неповного зрівноважування моста.

Похибка за рахунок неповного зрівноважування моста залежить від чутливості мостової схеми. Чутливість моста – це відношення збільшення відхилення стрілки вимірювача $\Delta\alpha$ до відносної зміни опору:

$$S_M = \frac{\Delta\alpha}{\frac{\Delta R}{R}}. \quad (2.5)$$

Чутливість моста являє собою добуток чутливості вимірювальної схеми на чутливість вимірювача, тобто

$$S_M = \frac{\Delta\alpha}{\Delta R/R} = \frac{\Delta I}{\Delta R/R} \cdot \frac{\Delta\alpha}{\Delta I} S_{CX} S_B. \quad (2.6)$$

Чутливість мостової схеми залежить від співвідношення плечей моста, внутрішнього опору вимірювального приладу і значення напруги живлення. Якщо вимірювальним приладом є вольтметр або гальванометр із високим опором, то максимальну чутливість міст буде мати при

$$R_2 \approx R_3; R_1 \ll (R_2; R_2) \gg R_x. \quad (2.7)$$

При малому опорі гальванометра чутливість буде максимальною при

$$R_3 < R_2; R_1 < R_2; R_2 > R_x. \quad (2.8)$$

Для забезпечення високої чутливості моста при вимірюванні опорів у широкому діапазоні в стандартних мостах є можливість змінювати значення опорів плечей у широкому діапазоні [8].

Плеche R_x в схемі зрівноваженого моста (рис.2.1, б) виконується у вигляді багатodeкадного магазину опорів $10 \cdot 100 \text{ Ом}$; $10 \cdot 10 \text{ Ом}$; $10 \cdot 1 \text{ Ом}$; $10 \cdot 0,1 \text{ Ом}$; $10 \cdot 0,01 \text{ Ом}$ і називається плечем порівняння. Плечі R_1 і R_2 , (кожне складається з опорів $10, 10^2, 10^3, 10^4 \text{ Ом}$) називаються плечами відношення.

Розглянуту мостову схему називають чотириплечим мостом. Такі мости забезпечують вимірювання із великою точністю порівняно великих опорів від 10 до 10^5 Ом [15]. При вимірюванні цими мостами опорів від 1 до 10 Ом похибки досягають 1% і вище, а вимірювання такими мостами опорів менших $0,1 \text{ Ом}$ через значні похибки робити не можна. У цьому випадку перехідні опори контактів і опори сполучних проводів будуть приблизно дорівнювати вимірюваним опорам. Для виміру малих опорів, у діапазоні від 10^{-6} до 10 Ом застосовуються подвійні мости постійного струму [16].

Подвійний або шестиплечий міст (міст Томсона) зображений на рисунку 2.2. Вимірюваний опір R_x повинен мати чотири затискача - два струмові, що використовуються для вмикання R_x в коло джерела живлення моста, і два потенційних, між якими вимірюється опір [17]. Такі ж затискачі має і зразковий резистор R_n . Перехідні опори струмових затискачів входять у коло з'єднуючого проводу R_0 і проводів, що йдуть до джерела живлення. Перехідні опори потенційних затискачів і відповідних з'єднуючих проводів

вмикаються послідовно з опорами плечей моста R_1, R_2, R_3, R_4 . Для виключення впливу перехідних опорів і опорів з'єднуючих проводів опори плечей моста R_1, R_2, R_3, R_4 в подвійних мостах вибираються більшими за 10 Ом [10].

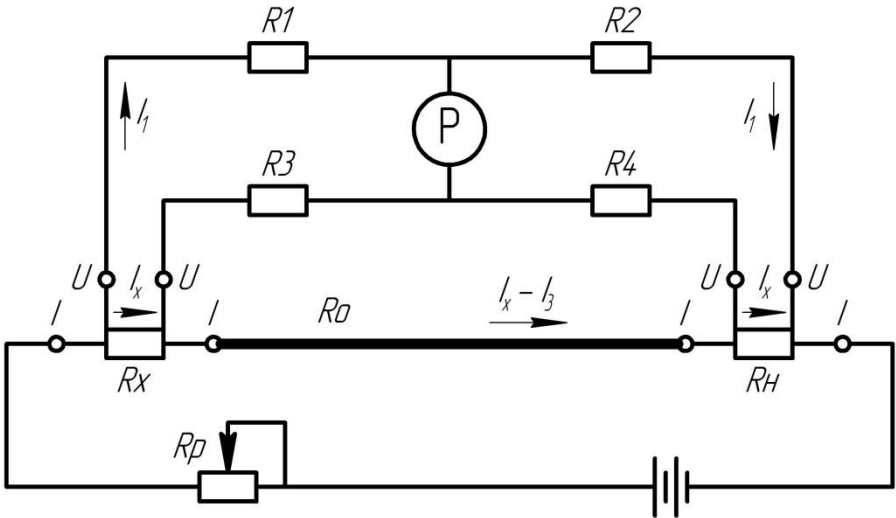


Рисунок 2.2 – Шестиплечий міст

При рівновазі подвійного моста, коли $U_{a\delta}=0$, можна скласти наступні рівняння:

$$\begin{aligned} I_1 R_1 - I_x R_x - I_3 R_3 &= 0, \\ I_1 R_2 - I_x R_4 - I_3 R_4 &= 0, \\ I_3 (R_3 + R_4) - (I_x - I_3) R_0 &= 0. \end{aligned} \quad (2.9)$$

З цих рівнянь випливає

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_n + \frac{R_4 R_0}{R_3 + R_4 + R_0} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right). \quad (2.10)$$

Якщо

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}, \quad (2.11)$$

то

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_n. \quad (2.12)$$



Щоб виконувалася умова (2.11), подвійні мости виконуються так, що кожна пара опорів змінюється одночасно або за рахунок механічного зв'язку ручок резисторів або перестановкою штекерів штепсельних магазинів [18]. Для більш точного виконання рівності (2.11), резистор R_0 повинний мати малий опір, тому його виконують у вигляді відрізка мідної шини.

Похибка вимірювання малих опорів подвійним мостом перевищує похибки вимірювання середніх опорів чотириплечим мостом і може сягати декількох відсотків [19, 20].

Прилади та обладнання.

Прилад універсальний Р4833, призначений для вимірювання опорів, постійних ЕРС та напруг і перевірки технологічних приладів.

Клас точності 0,1; джерело живлення: 220В; 50Гц.

Магазин опорів складається з 5 декад: з опором однієї ступені 100; 10; 1; 0,1; 0,01 Ом - вони є плечима порівняння. Плечі відношення зроблені у вигляді дільника, резистори якого знаходяться на декадному перемикачі $10^3, 10^2, \dots, 10^{-3}, 10^{-4}$. Нуль-індикатором є гальванометр, з кнопками вмикання «грубо» , «точно» .

Кнопки МО-2, МО-4 - код роботи. Затискачі Т1, Т2, П1, П2 - для підмикання опору. Кнопка «Сеть» для вмикання приладу.

Завдання.

Вимірювання опору від 102 до 106 Ом.

Підключити калібровочними провідниками вимірювальний опір до затискачів «П1» і «П2».

Ручками декадних перемикачів установити номінал опору резистора. Натиснути кнопки «МО-2» і «Г».

Ввімкнути прилад до мережі, ввімкнути автомат, натиснути кнопку «Сеть». Установити стрілку гальванометра на нуль обертанням ручок декадних перемикачів плечей порівняння, спочатку - при натиснутій кнопці «грубо», потім – «точно».

Визначити опір резистору $R_x = NR_m$ Ом, де N – відношення опорів плечей відношення, R_m – величина опорів плечей порівняння.

Виключити живлення приладу, установити органи керування в початкове положення, вимкнути стенд.

Вимірювання опору від 10-4 до 102 Ом.

Підключити резистор до затискачів «Т1», «П1», «П2», «Т2». Натиснути кнопки «МО-4» і «Г», установити номінал опору, увімкнути прилад, установити стрілку гальванометра на нуль. Визначити $R_x = NR_m$. Відімкнути прилад.

Наведіть результати вимірювань і розрахунків у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань і розрахунків

Тип резистора	Виміряно		Обчислено	
	N	R_x , Ом	Δ , Ом	δ , %

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити титульний лист, тему, мету лабораторної роботи, досліджувані схеми (рис.2.1 і 2.2), результати вимірювань і розрахунків (таблиця 2.1), короткі теоретичні відомості, висновки з лабораторної роботи.

Контрольні запитання.

1. Навести схему одинарного моста постійного струму і сформулювати умови рівноваги моста.

2. Чому при вимірюванні малих опорів похибка одинарного моста велика?

3. Навести схему подвійного моста і написати рівняння для визначення вимірюваного опору.

4. Викласти методику виміру опору одинарним мостом.

5. Від чого залежить похибка виміру опору мостовим методом?

6. Що таке чутливість моста?

7. Яка умова максимальної чутливості моста при вмиканні у діагональ вольтметра, амперметра?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Вимірювання електричних величин цифровим осцилографом.

Мета: ознайомитися з будовою, принципом дії цифрового осцилографа OWON PSD 5022S і отримати навички вимірювання ним електричних величин.

Короткі теоретичні відомості.

Осцилограф OWON PSD 5022S призначений для дослідження електричних сигналів шляхом їх візуального спостереження на рідкокристалічному індикаторі і вимірювання їх амплітуди і часових параметрів. Осцилограф може використовуватись для роботи у лабораторних і цехових умовах, а також для дослідницьких і ремонтних робіт [21].

Загальні відомості: смуга пропускання 25МГц; довжина запису становить 6000 точок для кожного каналу; максимальна частота вибірки: 100 Мвиб/с; курсорні вимірювання; автоматичні вимірювання 5 типів величин; кольоровий рідкокристалічний дисплей з високою контрастністю і регулюванням яскравості підсвічування; збереження та індикація осцилограм; функція автоматичного вибору налаштувань забезпечує швидкість і простоту налаштування; математичні операції для осцилограм; функція усередненого і пікового детектора при реєстрації; режим реального часу при реєстрації; комунікаційні порти RS232 і USB тощо [19, 20].

Увага! З метою уникнення ураження електричним струмом не торкайтесь до пробника за кільцем під час роботи, а також не торкайтесь металевих частин пробника, коли він підключений до джерела живлення.

Перед початком вимірювань підімкніть прилад до джерела живлення 220В. Вмикання осцилографа здійснюється кнопкою «POWER» на верхній частині корпусу приладу (рис. 3.1).

При вмиканні прилад проводить самостійне тестування, на дисплеї з'являється напис «Press any KeyEnter the Operating Mode», що означає необхідність натиснення будь-якої кнопки для входу у режим роботи.

У таблиці 3.1 наведено перелік органів керування та індикації передньої панелі осцилографа (рис. 3.2).

Таблиця 3.1 – Перелік органів керування та індикації передньої панелі осцилографа

Позначення	Призначення
1	Кнопки меню функцій
2	Кнопки вибору меню коригування (F1 – F5)
3	Роз'єм для компенсації пробника (рис. 1.3)
4	Керування вертикальною системою (5 V...5mV)
5	Вхідні роз'єми (CH1, CH2)
6	Керування горизонтальною системою (Position)
7	Тригерний контроль



Рисунок 3.3 – Компенсація пробника

Натисніть кнопку «UTILITY», щоб отримати доступ до меню «FUNCTION», натисніть F2 для виклику функції «Recall Factory», тобто виклик заводських налаштувань. Коefіцієнт послаблення

пробника у меню 1X (рис.3.4). Перелік елементів для налаштування вимірювального каналу наведено у таблиці 3.2.

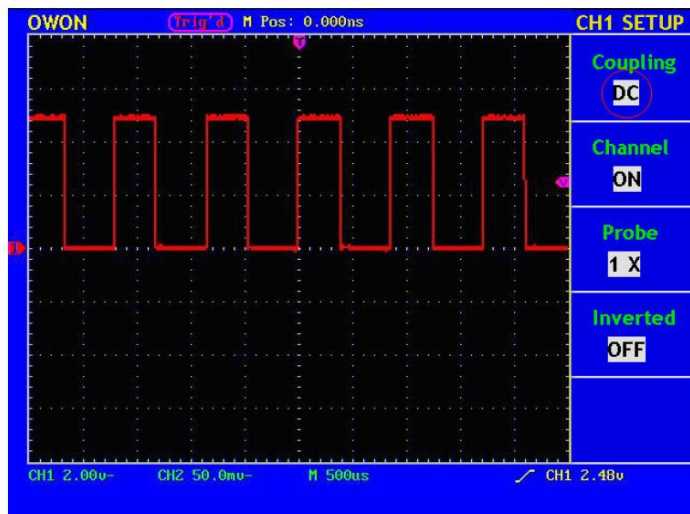


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд дисплею осцилографа

Таблиця 3.2 – Перелік елементів для налаштування вимірювального каналу

Меню	Установки	Опис
Тип входу	AC DC	Режим закритого входу, блокування входу за постійним струмом; Режим відкритого входу.
Канал	OFF ON	Канал вимкнено; Канал увімнено.
Пробник	1X 10X 100X 1000X	Пробник має співпадати з коефіцієнтом послаблення пробника з метою коректного зчитування вертикальної розкортки.
Інверсія	OFF ON	Відображення початкової осцилограми; Вмикання інверсії.

Для установки типу входу натисніть кнопку «CH1 MENU», для виклику меню «CH1 SETUP».

Натисніть кнопку F1 меню і встановіть тип входу за змінним струмом (AC), при цьому блокуватимуться компоненти постійного струму. При виборі типу входу за постійним струмом (DC), він буде відкритим для усіх компонентів постійного і змінного струму, що містяться у досліджуваному сигналі [21].

Для увімкнення каналу натисніть кнопку F2 і встановіть «ON», для вимкнення каналу «OFF».

Для відображення осцилограми сигналу у правильному масштабі необхідно налаштувати коефіцієнт послаблення пробника у меню налаштувань вимірювального каналу. При використанні пробника з послабленням 1:1 необхідно вибрати установку 1X. Для цього у меню «CH1 SETUP» натискаємо кнопку F3 «Probe» і встановлюємо коефіцієнт послаблення пробника.

Інверсія осцилограми – це поворот фази осцилограми на 180 градусів відносно лінії з потенціалом землі. Для використання цієї функції у меню «CH1 SETUP» натискаємо кнопку F4 «Inverted» і встановлюємо «ON» для увімкнення інверсії, «OFF», якщо інверсія не використовується.

Використання математичних операцій.

Розглянемо приклад для отримання суми сигналів CH1 і CH2.

Для цього необхідно натиснути кнопку MATH MENU для виклику меню «WAVE MATH». Далі натискаємо кнопку F3 «CH1+CH2» і на дисплеї з'явиться складена осцилограма вказаних сигналів, яка буде відображатися зеленим кольором (рис.3.5). Натиснувши ще раз F3 можна прибрати отриману осцилограму з дисплею. Перелік математичних операцій осцилографа наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Перелік математичних операцій осцилографа

Меню	Опис
CH1-CH2	Віднімання осцилограми CH2 від осцилограми CH1
CH2-CH1	Віднімання осцилограми CH1 від осцилограми CH2
CH1+CH2	Додавання осцилограм CH1 і CH2

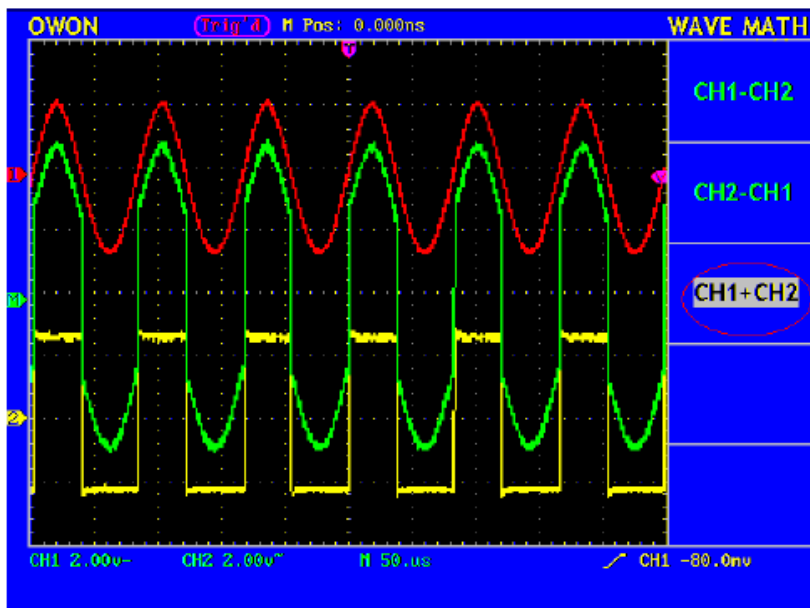


Рисунок 3.5 – Результат математичної операції «CH1+CH2»

Використання регуляторів вертикального положення.

Регулятори VERTICAL POSITION використовуються для змінювання вертикального положення осцилограм каналів, а також осцилограми результату математичних операцій.

Регулятори VOLT/DIV використовуються для змінювання коефіцієнтів вертикального відхилення осцилограм каналів, а також осцилограми результату математичних операцій (ступінчасто з кроком 1–2–5). Вертикальна чуттєвість підвищується при повороті регулятора за годинниковою стрілкою і знижується при повороті регулятора навпаки.

Після регулювання інформація про вертикальне положення осцилограми каналу відображається у лівому нижньому куті екрану.

Прилади та обладнання.

У таблиці 3.4 наводяться паспортні дані вимірювальних приладів.

Таблиця 3.4 – Перелік приладів і обладнання

Найменування приладу, обладнання	Тип приладу, обладнання	Клас точності	Основні характеристики
Лічильник індукційний	СО-Н446	2,5	$A=1200; U_H=220В; I_H=5...17А$
Амперметр	Э59	0,5	0-2,5-5,0 А
Міліамперметр	Э34	1,0	0-70 мА
Вольтметр	Э-378	1,5	0-250 В
Автотрансформатор лабораторний ЛАТР	навчальний		
Фазорегулювач	-	-	

Завдання.

Зробіть короткий конспект теоретичного матеріалу лабораторної роботи.

Зберіть схему (рисунок 3.6). Після вмикання установить номінальне значення струму і $\cos\varphi = 1$. Для цього ручку фазорегулювача обертайте до максимального показання ватметра.

За вказівкою викладача змініть положення ручки фазорегулювача.

За отриманими на осцилографі графіками сигналів напруги і струму знайдіть, на який кут зсунуті напруга і струм один від одного, обчисліть вимірну потужність за даними осцилографа, порівняйте значення обчисленої потужності зі значенням, вимірним ватметром.

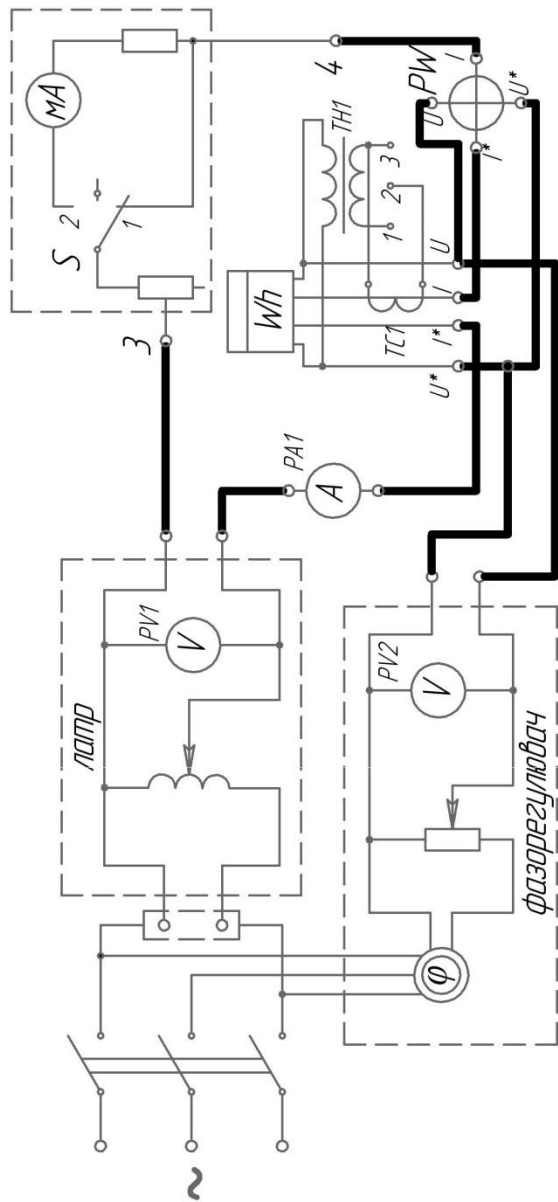
Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 3.5.

Напруга і струм зсунені за фазою на кут φ (рисунок 3.7)

$$\varphi = ((t_2 - t_1) \cdot 360^\circ) / T = (t_2 - t_1) \cdot 360^\circ \cdot f,$$

де T – період вимірюваного сигналу, с;

$f = 1/T$ – частота, Гц.



2,3 – виводи вимірювального трансформатора струму
 1,3 – виводи вимірювального трансформатора напруги
 — ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА

Рисунок 3.6 – Схема лабораторної установки.

Таблиця 3.5 – Результати вимірювань

Виміряно					Обчислено				
I, А	U, В	P_w , Вт	Δt , с	N, об	φ , рад	i_m , А	u_m , В	P, Вт	P_{Wh} , Вт

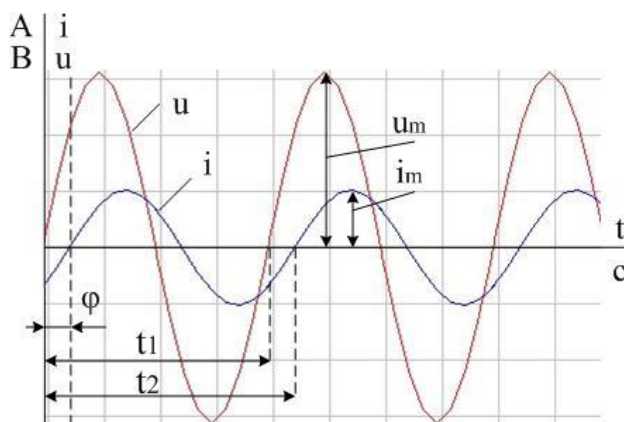


Рисунок 3.7 – Графіки типових вимірюваних сигналів напруги і струму

Миттєві значення напруги, струму та миттєвої потужності визначають за співвідношеннями:

$$p = ui, \quad u = U_m \sin(\omega t), \quad i = I_m \sin(\omega t - \varphi).$$

Активну потужність визначають із співвідношення

$$P = UI \cos \varphi, \quad U = U_m / \sqrt{2}, \quad I = I_m / \sqrt{2}.$$

Потужність, яка виміряна індукційним лічильником

$$P_{Wh} = N / (A \cdot \Delta t),$$

де N – кількість обертів лічильника, об;

A – передавальне число лічильника, що дорівнює кількості обертів на одиницю енергії (1кВт·год) і вказується на його щитку;

Δt – час здійснення N обертів диска лічильника, с.

Зміст звіту з лабораторної роботи.

Зміст з лабораторної роботи повинен містити тему, мету лабораторної роботи, короткі теоретичні відомості, заповнені таблиці 3.4 і 3.5, схему лабораторної установки, фото екрану осцилографа, який містить зображення вимірюваних електричних сигналів, рисунок осцилограми з позначенням величин, використаних для обчислення вимірюваної потужності, розрахунки, висновок.

Контрольні запитання.

1. Пояснити поняття квантування і дискретизації.
2. Навести узагальнену структурну схему цифрового вимірювального приладу.
3. Пояснити поняття аналого-цифрового перетворення.
4. Основні метрологічні характеристики АЦП та цифрових приладів
5. Похибки цифрових вимірювальних приладів.
6. Пояснити явище зсуву фаз.
7. Пояснити порядок дій для підключення та вимірювання певної електричної величини цифровим осцилографом OWON PSD 5022S.
8. Пояснити як визначити вимірюване значення величини за даними цифрового осцилографа OWON PSD 5022S.
9. Пояснити як змінювати горизонтальне та вертикальне положення вимірюваних сигналів.
10. Пояснити послідовність дій для налаштування вимірювального каналу цифрового осцилографа OWON PSD 5022S.
11. Назвати математичні операції цифрового осцилографа OWON PSD 5022S.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник : затв. МОНУ / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Херсон : Олді-плюс, 2013. – 538 с.
2. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник [Текст] / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук та ін. ; за ред. Є. С. Поліщука.- 2-ге вид., доп. та перероб. – Львів : Львівська політехніка, 2012. – 544 с.
3. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Метрологія та вимірювання: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2014. - 292 с.
4. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А., Затока С.А., Бурченков Г.К., Шведова В.В., Стасевич В.А. Основи метрології та вимірювальної техніки. Навчальний підручник / За заг. ред. Н.А. Яремчук. – К: Видавництво «Політехніка», 2012. - 266 с.
5. Шевченко, О.І. Метрологія. Терміни та пояснення. Довідник. Друге видання. Київ: ВАІТЕ, 2022. – 56 с.
6. Метрологія : навч. посіб. для студ. спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Н.М. Защепкіна. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 397 с.
7. Закон України «Про стандартизацію». - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>.
8. Метрологія, стандартизація, сертифікація, акредитація: навч. посібник / В.І. Корсун, В.Т. Белан, Н.В. Глухова. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 147 с.
9. Седишев, Є. С. Конспект лекцій з дисципліни «Метрологія і стандартизація» для студентів 3–4 курсів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / Є. С. Седишев ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 97 с.
10. Коваленко, І. О. Метрологія та вимірювальна техніка: навчальний посібник / І. О. Коваленко, А. М. Коваль. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 651 с.
11. Назарова, О.С. Удосконалення системи діагностики стана холодної прокатки на основі бази даних його електромеханічних процесів / О.С. Назарова, Б.В. Васильєв, Д.Р. Шокуров //

Електротехніка та електроенергетика, 2023. - №1. – С.7-18. DOI 10.15588/1607-6761-2023-1-1.

12. Nazarova, O. S. Research of the microprocessor liquid level automatic control system / O. S. Nazarova, V. V. Osadchyy, B. Yu. Rudim // *Applied Aspects of Information Technology*, 2023. - Vol. 6. - No. 2. – С. 163–174. DOI:<https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.12>.

13. Osadchyy, V. Adjustable Vibration Exciter Based on Unbalanced Motors / V. Osadchyy, O. Nazarova, T. Hutsol, S. Glowacki, K. Mudryk, A. Bry's, A. Rud, W. Tulej, M. Sojak // *Sensors*, 2023. – No. 23. – P. 2170. <https://doi.org/10.3390/s23042170>.

14. Nazarova, O. Software and Hardware Complex for The Study of Electropneumatic Mechatronic Systems / O. Nazarova, V. Osadchyy, S. Shulzhenko, M. Olieinikov // *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 2022. - P. 1-6, doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005698.

15. Цюцюра В. Д. Метрологія та основи вимірювань: навч. посібник / В. Д. Цюцюра, С. В. Цюцюра. – Київ : Знання- Прес, 2003. – 180 с.

16. Поджаренко, В.О. Основи метрології та вимірювальної техніки. Навчальний посібник / В.О. Поджаренко, П.І. Кулаков, О.Г. Ігнатенко, О.П. Войтович – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 151 с.

18. Тарасова В.В. Метрологія, стандартизація та сертифікація. Підручник / В.В. Тарасова, А.С. Малиновський, М.Ф. Рибак. За заг. ред. В.В. Тарасової. – К.: Центр навч. літератури, 2006. – 264 с.

19. Бичківський Р. В., Столярчук П. Г., Гамула П. Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація : підручник / за ред. Р. В. Бичківського. – Львів: Львівська політехніка, 2002. – 560 с.

20. Nazarova, O. Mechatronic automatic control system of electropneumatic manipulator / V. Osadchyy, T. Hutsol, Sz. Glowacki, T. Nurek, V. Hulevskiy, I. Horetska // *Scientific Reports*, 2024. – Vol. 14. – P. 6970. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56672-4>.

21. Portable Colour Digital Storage Oscilloscope OWON PDS Series. User Manual. - Режим доступу: <http://www.saelig.com/downloads/pds5022s.pdf>