

МЕТРОЛОГІЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Методичні вказівки до самостійних занять

()

«

G

,

»

G3

УДК 621.317.3 (076)
М54

До друку
Голова вченої ради
факультету архітектури,
будівництва та _____ О.В. Андрійчук

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ
Директор бібліотеки _____ . . .

Затверджено вченою радою факультету архітектури, будівництва та _____ ЛНТУ,
протокол № _____ від «_____» _____ 2026 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри електричної інженерії ЛНТУ,
_____ від «_____» 2026 року.

Завідувач кафедри електричної інженерії _____ Ю.В. Грицюк

Укладачі: _____ Д. С. Собчук, к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії ЛНТУ.
_____ Л. Н. Добровольська, к.т.н., професор кафедри електричної інженерії
ЛНТУ.

Рецензент: _____ М.В. Романюк, кандидат технічних наук, доцент.

Відповідальний за випуск: _____ Ю.В. Грицюк, кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри електричної інженерії ЛНТУ.

Метрологія та електричні вимірювання [Текст]: Методичні вказівки до
самостійних занять _____ (_____)
М54 « _____ , _____ »
Г _____ / уклад. Д. С. Собчук, Л.Н.
Добровольська, Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2026. 40 с.

методичних вказівках зібраний, систематизований та наочно викладений
теоретичний і методичний матеріал, який охоплює практичні питання методології
електричних вимірювань та опрацювання отриманих результатів експериментів.
Структура методичних вказівок, їх зміст є методично-обґрунтованими та роблять
методичні вказівки зручними для самостійного опрацювання матеріалу студентами.

Д. С. Собчук, Л.Н. Добровольська 2026

Метрологія та електричні вимірювання [Текст]: Методичні вказівки до
самостійних занять _____ (_____)

« _____ , _____ »
Г _____ /

уклад. Д. С. Собчук, Л.Н. Добровольська, . Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2026. 40 с.

Комп'ютерний набір та верстка: _____ Д. С. Собчук

Підп. до друку _____ 2026 р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс.
Ум. друк. арк. 4,85. Обл.-вид. арк. 4,4.
Тираж 50 прим.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ВІП Луцького НТУ

ЛІТЕРАТУРА

1. Поліщук Є.С. Дорожовець М.М., Яцук В.О., Ванько В.М., Бойко Т.Г. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник; за ред. проф. Є.С.Поліщука. Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2019. 544 с
2. Нестерчук Д.М., Постнікова М.В. Практикум з дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології»: навчальне видання. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 100 с.
3. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 256 с.
4. Науково-виробничий журнал Міністерства палива та енергетики «Енергетика та електрифікація»
5. Науково-виробничий журнал «Метрологія та прилади» <https://mmi-journal.org/index.php/journal/issue/view/20>
6. Науковий журнал «Вимірювальна техніка та метрологія» <http://science.lpnu.ua/uk/istcmtm/vsi-vyusky>

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Опис дисципліни	5
2. Мета і завдання дисципліни	5
3. Зміст дисципліни	7
4. Структура залікового кредиту дисципліни	7
5. Тематика лабораторних занять	8
6. Тематика практичних занять	9
7. Самостійна робота студентів	11
8. Методи навчання та оцінювання	12
9. Критерії підсумкового оцінювання знань, умінь і навичок студентів	12
10 Критерії, форми поточного та підсумкового контролю	13
10 Методичне забезпечення	13
11. Завдання на самостійну роботу студентів	14
12. Методичні вказівки до розв'язання завдань	19
ДОДАТКИ	31
ЛІТЕРАТУРА	38

Загальний рівень розвитку науки та техніки, технічний прогрес у всіх галузях народного господарства завжди визначався і визначатиметься рівнем розвитку вимірювальної техніки, тому при підготовці фахівців високої кваліфікації технічних спеціальностей важливу роль відіграє опанування такої дисципліни як «Метрологія та електричні вимірювання». Запропонований збірник містить основні задачі, опрацювання яких необхідне для успішного засвоєння курсу. здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та для викладачів при підготовці до практичних робіт.

. Програма курсу тематично пов'язана з дисциплінами загального напрямку підготовки бакалаврів, а саме – фізика, електротехніка,.

Для формування навичок розв'язання задач наводиться короткий виклад теоретичного матеріалу та методика розв'язання типових задач. Після опрацювання даного матеріалу студент може переходити до вирішення самостійних завдань, дотримуючись поданої методики розв'язання і правил оформлення роботи. Структура збірника дозволить успішно використовувати його як на практичних заняттях, так і для самостійної роботи студентів. В посібнику наводиться довідковий матеріал, що містить відомості про параметри і характеристики лабораторних електровимірювальних приладів.

Матеріал згруповано по темах, що відповідають робочій програмі дисципліни. Для успішного закріплення матеріалу по кожній темі наведені питання для самоконтролю.

Запропонований підхід до освоєння матеріалу дозволить майбутньому фахівцеві набути навичок вибору методів та приладів для вимірювання різноманітних фізичних величин, планування та організації вимірювального експерименту, опрацювання результатів та визначення похибок вимірювання.

Основні метрологічні характеристики одинарних мостів постійного струму

Тип моста	Схема під'єднання	Діапазон вимірюв.	Клас точн. $c, \%$	Опір $R_{пор. max}, Ом$	Опір R_A і $R_B, Ом$	$\Delta R_{аб}, Ом$	$P_{ном}, Вт$
P369	МО-4	$10^{-4} \dots 10^{-3}$ $10^{-3} \dots 10^{-2}$ $10^{-2} \dots 10^{-1}$ $0,1 \dots 1$ $1 \dots 10^3$	1,0 0,1 0,05 0,02 0,005	11111,10	10; 10^2 ; 10^3 ; 10^4 ; 10^5	0,01	0,05
	МО-2	$10^2 \dots 10^6$ $10^6 \dots 10^7$ $10^7 \dots 10^8$ $10^8 \dots 10^9$	0,005 0,01 0,02 0,2				
P39	МО-4	$10^{-4} \dots 10^{-3}$ $10^{-3} \dots 10^{-2}$ $10^{-2} \dots 10^{-1}$ $10^{-1} \dots 10^3$	1,0 0,1 0,05 0,02	11111,10	10; 10^2 ; 10^3 ; 10^4 ; 10^5	0,01	0,05
	МО-2	$10^2 \dots 10^8$	0,02				
МОД6 1	МО-4	$10^{-4} \dots 10^{-3}$ $10^{-3} \dots 10^{-2}$ $10^{-2} \dots 10^2$	1,0 0,1 0,05	11111,13	10; 10^2 ; 10^3 ; 10^4 ; 10^5	0,01	0,05
	МО-2	$10^2 \dots 10^8$	0,05				
P4833	МО-4	$10^{-4} \dots 10^2$	0,1	11111,10	$N = \frac{R_A}{R_B} =$ $10^{-4}; 10^{-3};$ $10^{-2}; 10^{-1};$ $10; 10^2;$ 10^3	0,01	0,05
	МО-2	$10^2 \dots 10^6$					

Основні характеристики вимірювальних трансформаторів

Тип ВТС	Клас точності ВТС	Діапазон первинних ном. струмів $I_{1н}$, А	Вторинні ном. струми $I_{2н}$, А	Ном. навант.
И512	0,05	0,5...3000	1; 5	15 ВА
И515М	0,1	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,4 Ом
И509	0,2	5...1000	5	15 ВА
Тип ВТН	Клас точності ВТН	Діапазон первинних ном. напруг $U_{1н}$, кВ	Вторинні ном. напруги $U_{2н}$, В	Ном. навант.
И510	0,1	3; 6; 10; 15	$100/\sqrt{3}$; 100; 150; $200/\sqrt{3}$	10...15 ВА
УТН-1	0,2	220; 380; 500	$100/\sqrt{3}$; 100	5...15 ВА

1. Опис дисципліни
«МЕТРОЛОГІЯ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»

Дисципліна – Метрологія та електричні вимірювання	Галузь знань, спеціальність, СВО	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів: 6	Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»	Обов'язкова складова. Дисципліна професійної підготовки. Мова навчання – українська.	
Кількість залікових модулів: 1 семестр – 3	Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	Рік підготовки: 2-й Семестр: 4-й	Рік підготовки: 2-й Семестр: 4-й
Кількість змістових модулів – 2	Ступінь вищої освіти – бакалавр	Лекції: 30 год Практичні заняття: 15 год Лабораторні заняття 15 год	Лекції: 6 год Практичні заняття: 2 год Лабораторні заняття 4 год
Загальна кількість годин – 180		Самостійна робота: 120 год	Самостійна робота: 168 год
Тижневих годин- 12, з них аудиторних – 4		Підсумковий контроль: 4 сем. - екзамен	

2. Мета і завдання дисципліни «Метрологія та електричні вимірювання»**2.1. Мета вивчення дисципліни**

Мета: засвоєння студентами теоретичні знання про засоби і методи електричних вимірювань електричних, магнітних та неелектричних величин, аналізу похибок.

2.2. Завдання вивчення дисципліни

Освоєння студентами конструкції та принципи дії засобів вимірювання; засвоїти методи та засоби вимірювання електричних, магнітних та неелектричних величин, набути навиків по правильному вибору, включенню електровимірювальних приладів..

2.3. Найменування та опис компетентностей, формування яких забезпечує вивчення дисципліни «Метрологія та електричні вимірювання»

Загальні компетентності

- ЗК01. Знання до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
- ЗК02. Здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях
- ЗК05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
- ЗК07. Здатність працювати в команді.
- ЗК08. Здатність працювати автономно

Спеціальні (фахові) компетентності

СК01. Здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням системи автоматизованого проектування і розрахунків (САПР).

СК02. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.

СК04. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики

СК 08. Здатність виконувати професійні обов'язки із дотриманням вимог правил техніки безпеки, охорони праці, виробничої санітарії та охорони навколишнього середовища

2.4. Результати навчання

Програмними результатами навчання є:

ПРН 2 Знати і розуміти теоретичні основи метрології та електричних вимірювань, принципи роботи пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики, мати навички здійснення відповідних вимірювань і використання зазначених пристроїв для вирішення професійних завдань

ПРН 10 Знаходити необхідну інформацію науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її реальність та достовірність

ПРН 12 Розуміти основні принципи і завдання технічної та екологічної безпеки

ПРН 18 Вміти самостійно вчитися, опанувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням

Д5020/2	Ел.дин.	0,5	75	2,5	0,1	5,0	0,04
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	150	2,5	0,1	5,0	0,04
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	300	2,5	0,1	5,0	0,04
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	450	2,5	0,1	5,0	0,04
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	600	2,5	0,1	5,0	0,04
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	30	1	0,1	5,0	0,16
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	75	1	0,1	5,0	0,16
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	150	1	0,1	5,0	0,16
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	300	1	0,1	5,0	0,16
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	450	1	0,1	5,0	0,16
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	600	1	0,1	5,0	0,16
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	30	0,5	0,1	5,0	0,65
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	75	0,5	0,1	5,0	0,65
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	150	0,5	0,1	5,0	0,65
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	300	0,5	0,1	5,0	0,65
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	450	0,5	0,1	5,0	0,65
Д5020/3	Ел.дин.	0,5	600	0,5	0,1	5,0	0,65
Д5020/4	Ел.дин.	0,5	30	0,25	0,1	5,0	2,6
Д5020/4	Ел.дин.	0,5	75	0,25	0,1	5,0	2,6
Д5020/4	Ел.дин.	0,5	150	0,25	0,1	5,0	2,6
Д5020/4	Ел.дин.	0,5	300	0,25	0,1	5,0	2,6

2.5. Передумови для вивчення дисципліни

Пре-реквізитами дисципліни є:

- Загальна фізика;
- Вища математика;
- Теоретичні основи електротехніки
- Електротехнічні матеріали

Д5004/3	Ф.дин.	0,5	450	2	1,0	3,0	0,0125
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	600	2	1,0	3,0	0,0125
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	30	1	1,0	3,0	0,025
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	75	1	1,0	3,0	0,025
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	150	1	1,0	3,0	0,025
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	300	1	1,0	3,0	0,025
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	450	1	1,0	3,0	0,025
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	600	1	1,0	3,0	0,025
Д5004/4	Ф.дин.	0,5	30	0,5	1,0	3,0	0,068
Д5004/4	Ф.дин.	0,5	75	0,5	1,0	3,0	0,068
Д5004/4	Ф.дин.	0,5	150	0,5	1,0	3,0	0,068
Д5004/4	Ф.дин.	0,5	300	0,5	1,0	3,0	0,068
Д5004/4	Ф.дин.	0,5	450	0,5	1,0	3,0	0,068
Д5004/4	Ф.дин.	0,5	600	0,5	1,0	3,0	0,068
Д5004/5	Ф.дин.	0,5	30	0,25	1,0	3,0	0,24
Д5004/5	Ф.дин.	0,5	75	0,25	1,0	3,0	0,24
Д5004/5	Ф.дин.	0,5	150	0,25	1,0	3,0	0,24
Д5004/5	Ф.дин.	0,5	300	0,25	1,0	3,0	0,24
Д5004/5	Ф.дин.	0,5	450	0,25	1,0	3,0	0,24
Д5004/5	Ф.дин.	0,5	600	0,25	1,0	3,0	0,24
Д5004/6	Ф.дин.	0,5	30	0,1	1,0	3,0	1,4
Д5004/6	Ф.дин.	0,5	75	0,1	1,0	3,0	1,4
Д5004/6	Ф.дин.	0,5	150	0,1	1,0	3,0	1,4
Д5004/6	Ф.дин.	0,5	300	0,1	1,0	3,0	1,4
Д5004/6	Ф.дин.	0,5	450	0,1	1,0	3,0	1,4
Д5020/1	Ел.дин.	0,5	30	10	0,1	5,0	0,005
Д5020/1	Ел.дин.	0,5	75	10	0,1	5,0	0,005
Д5020/1	Ел.дин.	0,5	150	10	0,1	5,0	0,005
Д5020/1	Ел.дин.	0,5	300	10	0,1	5,0	0,005
Д5020/1	Ел.дин.	0,5	450	10	0,1	5,0	0,005
Д5020/1	Ел.дин.	0,5	600	10	0,1	5,0	0,005
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	30	5	0,1	5,0	0,016
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	75	5	0,1	5,0	0,016
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	150	5	0,1	5,0	0,016
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	300	5	0,1	5,0	0,016
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	450	5	0,1	5,0	0,016
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	600	5	0,1	5,0	0,016
Д5020/2	Ел.дин.	0,5	30	2,5	0,1	5,0	0,04

3. Зміст дисципліни «Метрологія та електричні вимірювання»

Змістовий модуль 1.

Модуль 1.

Змістовий модуль 1.

Тема 1. Класифікація вимірювань, методів та засобів вимірювань

Тема 2. Засоби вимірювань

Тема 3. Метрологічна перевірка засобів вимірювальної техніки

Тема 4. Похибки вимірювань

Модуль 2.

Змістовий модуль 2.

Тема 5. Вимірювальні перетворювачі, електромеханічні вимірювальні прилади, вимірювальні мости та компенсатори.

Тема 6. Цифрові вимірювальні прилади.

Тема 7. Вимірювання електричних величин.

4. Структура залікового кредиту дисципліни

Денна форма навчання

Тема	Кількість годин				
	Лекції	Практ.з аняття	Лаб.за няття	Сам. роб ота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1.					
Тема 1 Класифікація вимірювань, методів та засобів вимірювань	4			8	Поточне опитування
Тема 2 Засоби вимірювань	4	2	2	17	Поточне опитування
Тема 3 Метрологічна перевірка засобів вимірювальної техніки	3	2	2	17	Поточне опитування
Тема 4. Похибки вимірювань	4	2	2	18	Поточне опитування
Змістовий модуль 2.					
Тема 1 Вимірювальні перетворювачі, електромеханічні вимірювальні прилади, вимірювальні мости та компенсатори. .	6	3	3	20	Поточне опитування
Тема 2 Цифрові вимірювальні прилади.	3	3	3	20	Поточне опитування
Тема 3 Вимірювання електричних величин.	6	3	3	20	Поточне опитування
Разом за семестр	30	15	15	120	

Заочна форма навчання

Тема	Кількість годин				
	Лекції	Практ.з аняття	Лаб.за няття	Сам роб ота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1.					
Тема 1 Класифікація вимірювань, методів та засобів вимірювань	0,25			21	Поточне опитування
Тема 2 Засоби вимірювань	0,5	1		21	Поточне опитування
Тема 3 Метрологічна повірка засобів вимірювальної техніки	0,25		1	21	Поточне опитування
Тема 4. Похибки вимірювань	0,5		1	21	Поточне опитування
Змістовий модуль 2.					
Тема 1 Вимірювальні перетворювачі, електромеханічні вимірювально-прилади, вимірювальні мости та компенсатори.	0,5		1	28	Поточне опитування
Тема 2 Цифрові вимірювальні прилади.	0,5	1		28	Поточне опитування
Тема 3 Вимірювання електричних величин.	0,5		1	28	Поточне опитування
Разом за семестр	6	2	4	168	

5. Тематика лабораторних занять

Лабораторне заняття № 1 (2 год.)

Тема. Метрологічна оцінка результатів однократних вимірювань

Мета: Набути практичних навиків обробки результатів однократних прямих вимірювань

Питання для розгляду:

1. Класифікація похибок
2. Оцінка похибки прямих однократних вимірювань.
3. Оцінка похибки непрямих однократних вимірювань.

Лабораторне заняття № 2 (2 год.)

Тема. Метрологічна оцінка результатів багатократних вимірювань

Мета: Набути практичних навиків обробки результатів багаторазових прямих вимірювань

Питання для розгляду:

1. Систематична і випадкова похибки
2. Інтегральна функція розподілу
3. Диференційна функція (густина імовірності)

Д580/3	Ел. дин.	0,2	75	1,0	1,0	5,0	0,081
Д580/3	Ел. дин.	0,2	150	1,0	1,0	5,0	0,081
Д580/3	Ел. дин.	0,2	300	1,0	1,0	5,0	0,081
Д580/3	Ел. дин.	0,2	600	1,0	1,0	5,0	0,081
Д580/3	Ел. дин.	0,2	75	0,5	1,0	5,0	0,105
Д580/3	Ел. дин.	0,2	150	0,5	1,0	5,0	0,105
Д580/3	Ел. дин.	0,2	300	0,5	1,0	5,0	0,105
Д580/3	Ел. дин.	0,2	600	0,5	1,0	5,0	0,105
Д580/4	Ел. дин.	0,2	75	0,25	1,0	5,0	0,46
Д580/4	Ел. дин.	0,2	150	0,25	1,0	5,0	0,46
Д580/4	Ел. дин.	0,2	300	0,25	1,0	5,0	0,46
Д580/4	Ел. дин.	0,2	600	0,25	1,0	5,0	0,46
Д580/5	Ел. дин.	0,2	75	0,1	1,0	5,0	3,13
Д580/5	Ел. дин.	0,2	150	0,1	1,0	5,0	3,13
Д580/5	Ел. дин.	0,2	300	0,1	1,0	5,0	3,13
Д580/5	Ел. дин.	0,2	600	0,1	1,0	5,0	3,13
Д566/15	Ел. дин.	0,2	450	5	1,0	30	0,013
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	30	10	1,0	3,0	0,003
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	75	10	1,0	3,0	0,003
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	150	10	1,0	3,0	0,003
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	300	10	1,0	3,0	0,003
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	450	10	1,0	3,0	0,003
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	600	10	1,0	3,0	0,003
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	30	5	1,0	3,0	0,005
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	75	5	1,0	3,0	0,005
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	150	5	1,0	3,0	0,005
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	300	5	1,0	3,0	0,005
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	450	5	1,0	3,0	0,005
Д5004/1	Ф.дин.	0,5	600	5	1,0	3,0	0,005
Д5004/2	Ф.дин.	0,5	30	2,5	1,0	3,0	0,008
Д5004/2	Ф.дин.	0,5	75	2,5	1,0	3,0	0,008
Д5004/2	Ф.дин.	0,5	150	2,5	1,0	3,0	0,008
Д5004/2	Ф.дин.	0,5	300	2,5	1,0	3,0	0,008
Д5004/2	Ф.дин.	0,5	450	2,5	1,0	3,0	0,008
Д5004/2	Ф.дин.	0,5	600	2,5	1,0	3,0	0,008
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	30	2	1,0	3,0	0,0125
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	75	2	1,0	3,0	0,0125
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	150	2	1,0	3,0	0,0125
Д5004/3	Ф.дин.	0,5	300	2	1,0	3,0	0,0125

Додаток 2

Основні технічні дані амперметрів та вольтметрів електромагнітної системи

Амперметри				Вольтметри			
Тип	Кл. точн. γ_A	Межа вимір. I_{HA}, A	Номін. опір, R_A, Ω	Тип	Кл. точн. γ_V	Межа вимір. U_{HV}, B	Номін. опір R_V, Ω
Э513/1	0,5	0,01	320	Э515/1	0,5	1,5	7,5
Э513/1	0,5	0,02	145	Э515/1	0,5	3	15
Э513/1	0,5	0,04	34	Э515/1	0,5	7,5	37,5
Э513/2	0,5	0,025	50	Э515/1	0,5	15	75
Э513/2	0,5	0,05	12,5	Э515/2	0,5	7,5	100
Э513/2	0,5	0,1	3,1	Э515/2	0,5	15	200
Э513/3	0,5	0,2	0,7	Э515/2	0,5	30	1200
Э513/4	0,5	0,25	0,45	Э515/2	0,5	60	2400
Э513/4	0,5	0,5	0,12	Э515/3	0,5	75	10000
Э514/1	0,5	1	0,035	Э515/3	0,5	150	20000
Э514/1	0,5	2	0,012	Э515/3	0,5	300	40000
Э514/2	0,5	2,5	0,01	Э515/3	0,5	600	80000
Э514/2	0,5	5	0,005	Э515/4	1,0	50	1667

Додаток 3

Основні технічні дані ватметрів електро- та феродинамічної систем

Тип	Система	Клас точн.	Номін. напруга U_{HV}, B	Номін. струм I_{HV}, A	Коеф. потужн. $\cos\phi_w$	Струм нап. кола I_{UV}, mA	Опір R_w, Ω
Д580/1	Ел. дин.	0,2	75	10	1,0	5	0,0104
Д580/1	Ел. дин.	0,2	150	10	1,0	5	0,0104
Д580/1	Ел. дин.	0,2	300	10	1,0	5	0,0104
Д580/1	Ел. дин.	0,2	600	10	1,0	5	0,0104
Д580/2	Ел. дин.	0,2	75	5	1,0	5	0,011
Д580/2	Ел. дин.	0,2	150	5	1,0	5	0,011
Д580/2	Ел. дин.	0,2	300	5	1,0	5	0,011
Д580/2	Ел. дин.	0,2	600	5	1,0	5	0,011
Д580/2	Ел. дин.	0,2	75	2,5	1,0	5	0,025
Д580/2	Ел. дин.	0,2	150	2,5	1,0	5	0,025
Д580/2	Ел. дин.	0,2	300	2,5	1,0	5	0,025
Д580/2	Ел. дин.	0,2	600	2,5	1,0	5	0,025

Лабораторне заняття № 3 (2 год.)

Тема. Розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів

Мета: Розрахунок вимірювальних схем з шунтами та додатковими опорами

1. Чутливість вимірювального приладу
2. Розраховується опір шунта для розширення меж вимірювання по струму
3. Номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора

Лабораторне заняття № 4 (2 год.)

Тема. Вимірювання параметрів змінної напруги за допомогою вольтметрів

Мета: ознайомитися з вимірюванням змінної напруги за допомогою вольтметрів

Питання для розгляду:

1. Основні параметри змінних періодичних сигналів.
2. Особливість перетворювачів з відкритим і закритим входом.

Лабораторне заняття № 5 (2 год.)

Тема. Вимірювання опору

Мета: вивчити особливості вимірювання опору методом амперметра і вольтметра.

Питання для розгляду:

1. Прямий і непрямий методи вимірювання опору.
2. Схеми вимірювання опору методом амперметра і вольтметра.
3. Умова рівноваги моста постійного струму

Лабораторне заняття № 6 (2 год.)

Тема. Вимірювання потужності в колах змінного струму

Мета: навчитись розраховувати потужності прямим і непрямим методом

Питання для розгляду:

1. Прямий і непрямий методи вимірювання потужності.
2. Методична похибка вимірювання потужності амперметром і вольтметром
3. Повна і реактивна потужності в колі змінного струму

Лабораторне заняття № 7 (3 год.)

Тема. Вимірювання параметрів періодичних сигналів за допомогою електронно-променевого осцилографа

Мета: навчитись описувати роботу осцилографа в режимі лінійної розгортки

Питання для розгляду:

1. Будова електронно-променевого осцилографа.
2. Як здійснюється вимірювання амплітуди сигналів.
3. Які є способи вимірювання частоти за допомогою осцилографа.

6. Тематика практичних занять

Практичне заняття № 1 (2 год.)

Тема. Вивчення класифікації засобів вимірювань та принципів маркування приладів

Мета: Ознайомлення з принципами маркування електровимірювальних приладів та умовними графічними позначеннями, що наносяться на шкали приладів, а також

набуття практичних навичок при описі призначення та метрологічних характеристик приладів.

Питання для розгляду:

1. Засоби вимірювальної техніки
2. Метрологічні та неметрологічні характеристики ЗВТ.
3. Принципи маркування електровимірювальних приладів

Практичне заняття № 2 (2 год.)

Тема. Набуття практичних навичок при визначенні та описі метрологічних характеристик електровимірювальних приладів.

Мета: навчитися розраховувати систематичні, випадкові похибки результату вимірювання,

Питання для розгляду:

1. Чутливість ЗВТ та його поріг чутливості
2. Поняття, як «шкала приладу», «діапазон показань та діапазон вимірювань», «показ вимірювального приладу», «ціна поділки» та «стала приладу».

Практичне заняття № 3 (2 год.)

Тема. Розрахунок похибок вимірювань

Мета: Набуття практичних навичок при аналітичних розрахунках величин похибок вимірювань та електровимірювальних приладів.

Питання для розгляду:

1. Поняття «абсолютна похибка засобу вимірювань», «відносна похибка», «приведена (зведена) похибка засобу вимірювань» та «клас точності». Відносна похибка ЗВ
2. Нормування похибок ЗВТ

Практичне заняття № 4 (2 год.)

Тема. Вивчення способів розширення меж вимірювань приладів

Мета: набуття практичних навичок при використанні вимірювальних перетворювачів: шунтів, додаткових резисторів, вимірювальних трансформаторів струму та напруги, для розширення границь вимірювання електровимірювальних приладів

Питання для розгляду:

1. Конструкція вимірювальних трансформаторів
2. Номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора струму

Практичне заняття № 5 (2 год.)

Тема. Дослідження цифрових вимірювальних приладів

Мета: набуття практичних навичок при визначенні та описі метрологічних характеристик цифрових вимірювальних приладів

Питання для розгляду:

1. Призначення ЦВП та на які види вони поділяються.
2. Основні елементи є складовими в конструкції ЦВП?
3. основні елементи функціональної схеми цифрового мікропроцесорного приладу

Практичне заняття № 6 (3 год.)

Тема. Дослідження методів вимірювання електричних величин

Мета: набуття практичних навичок при вимірюванні електричних величин.

Питання для розгляду:

1. Призначення шунта, додаткового резистора, вимірювальних трансформаторів

ДОДАТКИ

Додаток 1

Основні технічні дані амперметрів та вольтметрів магнітоелектричної системи

Міліамперметри				Мілівольтметри			
Тип	Кл. точн. γ_A	Межа вимір. $I_{HA}, \text{мА}$	Спад напр. $U_A, \text{мВ}$	Тип	Кл. точн. γ_V	Межа вимір. $U_{HV}, \text{мВ}$	Струм повного відх. $I_V, \text{мА}$
M1104	0,2	0,75	27	M1106	0,2	45	1,0
M1104	0,2	1,5	55	M1106	0,2	75	1,0
M1104	0,2	3	68	M1106	0,2	150	1,0
M1104	0,2	7,5	80	M1106	0,2	300	1,0
M1104	0,2	15	80	M1106	0,2	750	1,0
M1104	0,2	30	80	M2007	0,2	15	0,25
M1104	0,2	75	80	M2007	0,2	60	0,5
M1104	0,2	150	80	M1109	0,2	15	0,5
M1109	0,2	60	75	M109	0,5	45	3,0
M109	0,5	50	270	M253	0,5	15	0,75
M109	0,5	200	270	M253	0,5	30	1,5
M253	0,5	0,75	16	M253	0,5	60	3,0
M253	0,5	1,5	32	M253	0,5	75	0,75
M253	0,5	3	64	M253	0,5	150	1,5
M253	0,5	7,5	27	M253	0,5	300	3,0
M253	0,5	15	54	M123	0,5	75	1,0
M253	0,5	30	108	M123	0,5	150	1,0
M253	0,5	75	27	M1172	0,5	100	1,0
M253	0,5	150	54	M1172	0,5	300	1,0

3. Вибираємо значення опорів плеч відношення R_A і R_B . Оптимальними з погляду чутливості моста є значення опорів плечей, за яких функція $R_{min}/\sum R$ буде максимальною, тобто опори всіх плечей моста повинні бути, по можливості, однаковими (або близькими), задовольняючи умову рівноваги моста:

$$R_x \approx R_{пор} \approx R_A = R_B ,$$

$$R_x = R_{пор} \frac{R_A}{R_B} .$$

4. Визначаємо похибки від впливу з'єднувальних провідників.

Для двопровідної схеми під'єднання вимірюваного опору до моста рис. 5.1, а:

$$\delta_{r,2} = \frac{r1+r2}{R_x} \cdot 100\% = \frac{2r_{np}}{R_x} \cdot 100\% .$$

Якщо $\delta_{r,2} \geq \delta$, то двопровідну схему застосовувати неможна. Вибираємо чотирипровідну схему під'єднання МО-4 (див.додаток 5). Визначаємо похибку від впливу з'єднувальних провідників для чотирипровідної схеми:

$$\delta_{r,4} = - \left(\frac{r1}{R_{пор}} + \frac{r2}{R_A} \right) \cdot 100\% .$$

Якщо і в цьому випадку $|\delta_{r,4}| \geq |\delta|$, тоді необхідно збільшити опір плеча R_A або (і) $R_{пор}$, після чого змінити відповідно значення опору R_B , щоб виконувалась умова рівноваги моста, після чого перерахувати значення $\delta_{r,4}$.

В результаті записуємо тип і вибрані значення опорів плеч моста, схему під'єднання і загальну похибку вимірювання у вигляді:

$$\delta_{вим} = \pm(\delta_m + \delta_{kv}) + \delta_r .$$

5. Визначаємо допустиму напругу живлення моста $U_{дон}$. Для цього знаходимо, яке з плечей моста буде найнавантажніше $R_{нав}$ – таке плече, що з'єднане послідовно до найбільш низькоомного (опір якого найменший в даному колі) відносно джерела живлення. Тоді струм найнавантажнішого плеча:

$$I_{нав} = \sqrt{\frac{P_{нав}}{R_{нав}}} = \sqrt{\frac{P_{НОМ}}{R_{нав}}} , A ,$$

де $P_{НОМ}$ – номінальна потужність моста.

Тоді допустима напруга живлення моста на основі:

$$U_{дон} = I_{нав} (R_{нав} + R_{найм}) .$$

- струму та напруги?
- методи та засоби вимірювань активної потужності у однофазному колі змінного струму
- Схеми для вимірювання активної потужності у однофазному колі змінного струму

Практичне заняття № 7 (2 год.)

Тема. Дослідження методів вимірювання магнітних величин

Мета: набуття практичних навичок при вимірюванні магнітних величин електричними методами.

Питання для розгляду:

- Класифікація методів та засобів для вимірювання магнітних величин. Вимірювання амплітуди сигналу в режимі лінійної розгортки.
- Принцип індукційного перетворювача магнітного потоку

7. Самостійна робота студентів

Організація самостійної роботи студентів вимагає особливої уваги, тому, що частина питань кожної теми вноситься на самостійне вивчення студентами. Самостійна робота студента забезпечується системою навчально-методичних засобів, передбачених кафедрою для вивчення навчальної дисципліни. Навчальний матеріал, передбачений для засвоєння під час самостійної роботи, вноситься на підсумковий контроль поряд з навчальними матеріалами, який опрацьовується на навчальних заняттях.

Денна форма

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи метрологічного забезпечення	24
2	Вимірювання струмів та напруг різними методами	24
3	Генератори імпульсних сигналів, універсальні генератори	24
4	Цифрові і аналогові сигнали та їх характеристики	24
5	Вимірювачі параметрів транзисторів	24
	Разом	120

Заочна форма

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи метрологічного забезпечення	34
2	Вимірювання струмів та напруг різними методами	34
3	Генератори імпульсних сигналів, універсальні генератори	34
4	Цифрові і аналогові сигнали та їх характеристики	33
5	Вимірювачі параметрів транзисторів	33
	Разом	168

8. Методи навчання та оцінювання

У процесі вивчення дисципліни «Електричні системи та мережі» використовуються наступні засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання:

Методи навчання:

- МН₁ словесний метод (лекції, дискусії);
- МН₂ практичний метод (практичні заняття);
- МН₃ наочний метод (метод ілюстрацій та метод демонстрацій);
- МН₄ робота з науково-методичною літературою (конспектування, тезування);
- МН₅ відеометод у сполученні з новітніми інформаційними технологіями та комп'ютерними засобами навчання (дистанційний, мультимедійний);
- МН₆ самостійна робота (розв'язання завдань, курсове проектування);
- МН₇ індивідуальна науково-дослідна робота здобувачів вищої.

Методи оцінювання:

- МО₁ екзамени;
- МО₂ усне або письмове опитування;
- МО₄ тестування;
- МО₅ командні проекти;
- МО₇ презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- МО₈ презентації та виступи на наукових заходах.

9. Критерії, форми поточного та підсумкового контролю

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з дисципліни «Електричні апарати» визначається як середньозважена величина, в залежності від питомої ваги кожної складової залікового кредиту:

Заліковий модуль 1	Заліковий модуль 2	Екзамен	Разом (підсумкова оцінка)
30%	30%	40%	100%
Тиждень 8	Тиждень 16	Тиждень 17	-

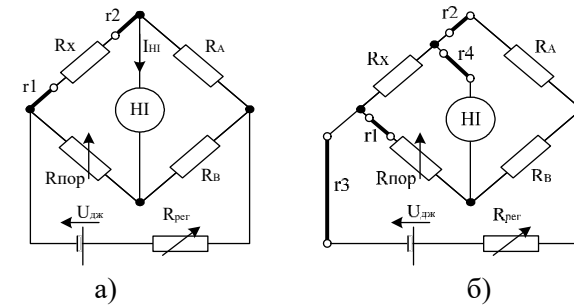


Рис. 5.1. Схема одинарного моста постійного струму: а) з двопровідним під'єднанням досліджуваного об'єкта МО-2, б) з чотирипровідним під'єднанням об'єкта МО-4

Загальна похибка вимірювання опору одинарним мостом за нормальних умов має вигляд:

$$\delta_{\text{вим}} = \delta_m + \delta_{\text{кв}} + \delta_r,$$

де δ_m – основна похибка моста;

$\delta_{\text{кв}}$ – похибка квантування, зумовлена дискретною зміною опору плеча порівняння;

δ_r – похибка від впливу з'єднувальних проводів.

Основна похибка дорівнює його класу точності і вибирається з умови :

$$\delta_m = c < \frac{1}{4.5} \delta, \%$$

Похибка квантування:

$$\delta_{\text{кв}} \leq \frac{1}{5} \delta_m, \%$$

2. Виходячи з орієнтовного значення величини R_X і основної похибки моста $\delta_m = c, \%$ попередньо вибираємо тип моста постійного струму для двопровідного під'єднання МО-2 (додаток 5). Випишуємо параметри плеч моста $R_{\text{пор max}}, R_A, R_B, \Delta R_{\text{кв}}$ і $P_{\text{ном}}$.

Розраховуємо мінімальне значення величини опору плеча порівняння $R_{\text{пор min}}$:

$$R_{\text{пор min}} = \frac{0,5 \cdot \Delta R_{\text{кв}}}{\delta_{\text{кв}}} \cdot 100, \text{ Ом},$$

де $\Delta R_{\text{кв}}$ – одиниця найбільш низькоомної декади плеча порівняння.

Вибираємо значення $R_{\text{пор}}$, яке повинне бути кратним $N = 10^n$ разів значенню вимірюваного опору R_X з діапазону $R_{\text{пор min}} \leq R_{\text{пор}} < R_{\text{пор max}}$:

$$R_{\text{пор}} = 10^n \cdot R_X, \quad n = -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots, \text{ Ом}.$$

Якщо вольтметр і напругова обмотка ватметра вмикаються в вимірювальне коло через ВТН, то потужності, споживані приладами визначаються за формулами:

$$P_{UW} = \frac{(U_x / k_U)^2}{R_{UW}}, \quad P_V = \frac{(U_x / k_V)^2}{R_V},$$

де $k_U = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$ – коефіцієнт трансформації ВТН.

Вибираємо ту схему, яка дає меншу методичну похибку.

4. Накресливши вимірювальну схему, визначаємо похибку вимірювання активної потужності короткого замикання однофазного трансформатора:

$$\delta_P = \delta_W + \delta_M,$$

де $\delta_W = \gamma_W \cdot \frac{P_{HW}}{P_X}$ – похибка ватметра;

$P_{HW} = U_{HW} \cdot I_{HW} \cdot \cos \varphi_W$ – межа вимірювання ватметра;

δ_M – методична похибка вибраної схеми вимірювання □

Примітка. Якщо у вимірювальній схемі використовується ВТС, то межа вимірювання ватметра збільшується у k_V разів і дорівнює:

$$P_{HW} = k_V \cdot U_{HW} \cdot I_{HW} \cdot \cos \varphi_W, \quad \square$$

а похибка вимірювання визначається за формулою:

$$\delta_P = \delta_W + \delta_M + \delta_{BTC},$$

де δ_{BTC} – похибка ВТС, яка дорівнює його класу точності.

Аналогічно при використанні ВТН:

$$P_{HW} = k_U \cdot U_{HW} \cdot I_{HW} \cdot \cos \varphi_W, \quad \delta_P = \delta_W + \delta_M + \delta_{ВТН}.$$

Якщо вимірювальні прилади вибрано вірно, то отримана в результаті розрахунку в п.4 величина похибки вимірювання активної потужності короткого замикання однофазного трансформатора, не повинна перевищувати вказаного в умові задачі значення δ_P .

Методичні вказівки до задачі 5

1. Принципова схема одинарного моста постійного струму зображена на рис. 5.1, а. Значення вимірюваного опору визначається з умови рівноваги моста, що настає в момент коли струм в індикаторній діагоналі (через нуль-індикатор НІ) дорівнює нулю. Умова рівноваги моста:

$$R_X \cdot R_B = R_{ПОР} \cdot R_A.$$

Опори R_A і R_B називаються плечами відношення – це набори резисторів з опором кратним 10^n . Плече $R_{ПОР}$, опір порівняння – це багатodeкадний магазин опорів з кроком $\Delta R_{кв}$.

Шкала оцінювання:

За шкалою університету	За національною шкалою	За шкалою ECTS
90-100	відмінно	A (відмінно)
85-89	добре	B (дуже добре)
75-84		C (добре)
65-74	задовільно	D (задовільно)
60-64		E (достатньо)
35-59	незадовільно	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)
1-34		F (незадовільно з обов'язковим повторним курсом)

10. Методичне забезпечення

1. Метрологія та електричні вимірювання [Текст]: методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. Д.С. Собчук, Л.Н. Добровольська, – Луцьк : Луцький НТУ, 2023. - 80 с

2. Метрологія та електричні вимірювання [Текст]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. Д.С. Собчук, Л.Н. Добровольська, – Луцьк : Луцький НТУ, 2023. - 60 с

3. Метрологія та електричні вимірювання [Текст]: методичні вказівки до виконання самостійних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. Д.С. Собчук, Л.Н. Добровольська, – Луцьк : Луцький НТУ, 2023. - 44 с

4. Метрологія та електричні вимірювання [Текст]: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. Д.С. Собчук, Л.Н. Добровольська, – Луцьк : Луцький НТУ, 2023. - 204с

11. ЗАВДАННЯ НА САМОСТІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТІВ

Задача 1. Вимірювання опору методом амперметра і вольтметра

Для вимірювання електричного опору в колі постійного струму непрямим методом використали два прилади: амперметр і вольтметр магнітоелектричної системи. Покази приладів наведені в таблиці 1. Вибрати схему вмикання приладів, яка б забезпечила найменшу методичну похибку вимірювання, та прилади при яких сумарна похибка вимірювання не перевищить δ_R . Записати в яких межах знаходиться дійсне значення вимірюваного опору.

Таблиця 1

№	U_B , В	I_B , мА	δ_R , %	№	U_B , В	I_B , мА	δ_R , %	№	U_B , В	I_B , мА	δ_R , %
01	10	10	1,0	11	110	10	1,0	21	210	10	1,0
02	25	14	1,5	12	120	14	1,5	22	220	14	1,5
03	35	20	2,0	13	130	20	2,0	23	230	20	2,0
04	45	60	1,0	14	140	60	1,0	24	250	60	1,0
05	55	130	1,5	15	150	130	1,5	25	260	130	1,5
06	65	250	2,0	16	160	250	2,0	26	270	250	2,0
07	75	450	1,0	17	170	450	1,0	27	280	450	1,0
08	85	500	1,5	18	180	500	1,5	28	290	500	1,5
09	95	1200	2,0	19	190	1200	2,0	29	350	1200	2,0
10	105	1450	1,0	20	200	1450	1,0	30	70	1450	1,0

Задача 2. Вимірювання струму і напруги в колах постійного струму

Вимірювальний механізм (ВМ) магнітоелектричної системи розрахований на струм I_n і напругу U_n , має шкалу на N_{max} поділок і клас точності γ . Дані наведені в таблиці 2.

1) Визначити ціну поділки приладу по струму C_I і напрузі C_U .

2) Нарисувати схему вмикання вимірювального механізму із шунтом, визначити величину опору шунта $R_{ш}$ і сталу амперметра C'_I , якщо необхідно розширити межі вимірювання приладу по струму до величини I .

3) Визначити величину струму I_B і похибку вимірювання, якщо стрілка приладу відхилилась на α поділок, (де $\gamma_{ш}$ – клас точності шунта).

4) Нарисувати схему вмикання вимірювального механізму з додатковим опором, визначити величину додаткового опору R_d і сталу вольтметра C'_U ,

наведені в додатку 2, а ватметрів – в додатку 3, вимірювальних трансформаторів – в додатку 4.

3. Вибираємо схему вимірювання. Як видно зі схем рис. 4.2. ватметр вимірює також потужність, яку споживають амперметр і вольтметр, що приводить до виникнення методичної похибки вимірювання.

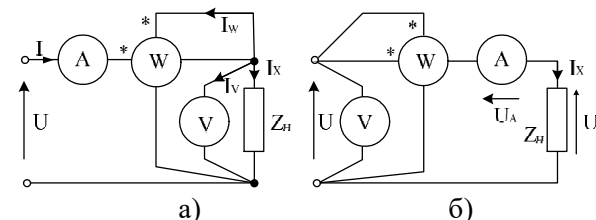


Рис. 4.2. Вимірювання потужності ватметром:
а) схема правильного вимірювання напруги; б) схема правильного вимірювання струму

Визначити методичні похибки схем правильного вимірювання напруги δ_M' та правильного вимірювання струму δ_M'' за формулами:

$$\delta_M' = \frac{P_{UW} + P_V}{P_X} \cdot 100\%;$$

$$\delta_M'' = \frac{P_W + P_A}{P_X} \cdot 100\%;$$

де $P_{UW} = \frac{U_x^2}{R_{UW}}$ – потужність, споживана напруговою обмоткою ватметра;

$P_V = \frac{U_x^2}{R_V}$ – потужність, споживана вольтметром;

$R_{UW} = \frac{U_{HW}}{I_{UW}}$ – опір напругової обмотки ватметра;

R_V – опір вольтметра;

$P_W = I_x^2 \cdot R_W$ – потужність, споживана струмовою обмоткою ватметра;

$P_A = I_x^2 \cdot R_A$ – потужність, споживана амперметром;

R_W – опір струмової обмотки ватметра;

R_A – опір амперметра.

Примітка. Якщо в вимірювальній схемі використовується ВТС, то потужності, споживані струмовою обмоткою ватметра та амперметром визначаються за формулами:

$$P_W = (I_x / k_I)^2 \cdot R_W,$$

$$P_A = (I_x / k_I)^2 \cdot R_A,$$

де $k_I = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$ – коефіцієнт трансформації ВТС.

У лабораторних ВТС номінальні струми дорівнюють:

$I_{1H} = 0,5; 1; 2; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 50; 75; 100; \dots 3000 \text{ A}$.

$I_{2H} = 5 \text{ A}$ (рідко 1 A).

Якщо величина напруги короткого замикання $U_x \leq 600 \text{ В}$, то вольтметр та напругова обмотка ватметра вмикаються безпосередньо в вимірювальне коло паралельно до первинної обмотки трансформатора. При цьому, межа вимірювання вольтметра U_{HV} та межа вимірювання ватметра по напрузі U_{HW} пов'язані з напругою короткого замикання співвідношенням

$$U_{HV} = U_{HW} \leq U_x.$$

Якщо ж напруга $U_x > 600 \text{ В}$, то вольтметр та напругову обмотку ватметра вмикають в вимірювальне коло через вимірювальний трансформатор напруги (ВТН) рис. 4.1, дотримуючись таких співвідношень між межами вимірювання вольтметра U_{1H} і ватметра по напрузі U_{2H} , напругою короткого замикання U_x та напругами первинної U_{1H} і вторинної U_{2H} обмоток ВТН :

$$U_{HV} = U_{HW} \leq U_{2H},$$

$$U_{1H} \geq U_x.$$

При чому значення U_{1H} вибирають з ряду: 100; 127; 150; 220; 380; 500; 1000; 2000; 3000 ... 75000 В, а значення U_{2H} : $100/\sqrt{3}$; 100; 150; $200/\sqrt{3}$; 200 В.

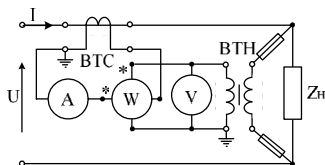


Рис. 4.1. Схема вимірювання потужності з використанням вимірювальних трансформаторів струму та напруги

Вимірювання активної потужності короткого замикання проводиться при змінному струмі, тому доцільно використовувати амперметр і вольтметр електромагнітної системи, оскільки порівняно з приладами електродинамічної системи вони мають менше власне споживання енергії. Ватметр вибирають електродинамічної або феродинамічної системи з $\cos\phi_w = 1$.

В залежності від величини заданої похибки вимірювання δ_p , вибирають клас точності ватметра γ_w , виходячи з умови

$$\gamma_w = \frac{1}{(3 \div 4)} \delta_p.$$

Амперметр і вольтметр можуть бути менш точними, так як їхні похибки не впливають на величину похибки вимірювання δ_p активної потужності P_x

□ Основні технічні дані амперметрів та вольтметрів електромагнітної системи

якщо цим приладом потрібно вимірювати напруги до U .

5) Визначити величину вимірюваної напруги U_B та похибку вимірювання, якщо стрілка приладу відхилилась на α поділок (γ_{R_d} – клас точності R_d).

Таблиця 2

№	U_{1x}	I_{1x}	N_{max}	γ	I_2	U_2	α	$\gamma_{ш}$	γ_{R_d}
01	0.015	1	100	1.0	3	12	80	0.5	0.5
02	600	3	150	1.5	25	1500	120	0.2	0.2
03	1.5	1.5	200	2.0	15	60	150	0.5	0.5
04	0.03	1.5	50	1.0	10	30	35	0.2	0.2
05	300	1.5	100	1.5	7.5	600	75	0.5	0.5
06	0.75	0.75	150	2.0	2	15	125	0.2	0.2
07	150	1.5	200	1.0	5	450	120	0.5	0.5
08	0.45	1	50	1.5	3	7.5	15	0.2	0.2
09	3	3	100	2.0	7	30	45	0.5	0.5
10	75	0.75	150	1.0	6	300	90	0.5	0.5
11	0.06	3	200	1.0	15	12	160	0.2	0.2
12	30	1.5	50	1.5	12	150	35	0.5	0.5
13	0.07	0.75	100	2.0	7	0.7	80	0.2	0.2
14	7.5	0.75	100	1.0	27	30	55	0.5	0.5
15	0.15	0.75	150	1.5	17	7.5	135	0.2	0.2
16	15	1.5	100	1.0	22	30	60	0.5	0.5
17	0.5	1	150	1.5	3.5	6	130	0.2	0.2
18	1	1	200	2.0	1.5	7.5	130	0.5	0.5
19	100	5	50	1.0	6.5	150	25	0.2	0.2
20	5	1	100	1.5	2	7.5	25	0.5	0.5
21	20	1	150	2.0	2.5	7.5	55	0.2	0.2
22	500	5	200	1.0	25	600	90	0.5	0.5
23	450	5	50	1.5	18	600	45	0.2	0.2
24	300	3	100	2.0	5.5	450	70	0.5	0.5
25	0.75	0.75	150	1.0	1	30	70	0.2	0.2
26	150	1.5	200	1.0	2	600	170	0.5	0.5
27	0.45	1.5	50	1.5	12	15	17	0.2	0.2
28	3	1.5	100	2.0	22	15	65	0.5	0.5
29	75	1.5	150	1.0	3	600	135	0.2	0.2
30	0.01	1	200	1.5	4	12	165	0.5	0.5

Задача 3. Вимірювання параметрів змінної напруги за допомогою аналогових вольтметрів

До джерела напруги $u(t)$ увімкнені чотири вольтметри (рис. 3.1): магнітоелектричний, електромагнітний, магнітоелектричний з двопівперіодним перетворювачем СВЗ і магнітоелектричний з ПАЗ із закритим входом. Шкали трьох вольтметрів, крім магнітоелектричного, градуйовані в СКЗ синусоїди. Визначити покази вольтметрів і значення похибки від впливу форми кривої. Форма кривої напруги $u(t)$ задана в таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1

№	Форма напруги	U_m , В	№	Форма напруги	U_m , В	№	Форма напруги	U_m , В
1	рис. А 1	1,5	11	рис А 1	1,8	21	рис А 1	9,0
2	рис. А 2	3	12	рис А 2	2,2	22	рис А 2	9,3
3	рис. А 3	4	13	рис А 3	2,6	23	рис А 3	10
4	рис. А 4	5,5	14	рис А 4	3	24	рис А 4	11
5	рис. А 5	7	15	рис А 5	3,4	25	рис А 5	12,8
6	рис. А 6	8	16	рис А 6	4,0	26	рис А 6	13,0
7	рис. А 7	10	17	рис А 7	5,5	27	рис А 7	16,0
8	рис. А 8	12	18	рис А 8	6,7	28	рис А 8	27,0
9	рис. А 9	13	19	рис А 9	6,9	29	рис А 9	31,5
10	рис. А 10	16,5	20	рис А 10	7,2	30	рис А 10	40

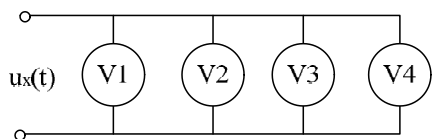
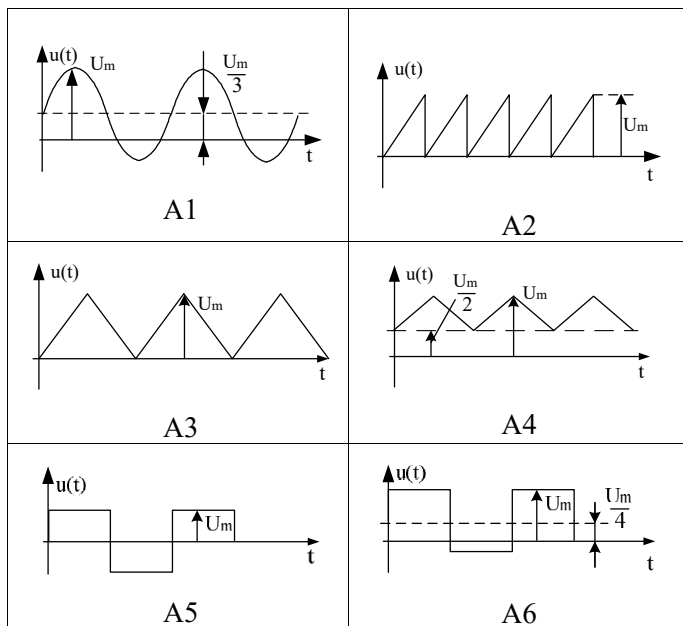


Рис. 3.1. Вимірювання змінної напруги



Таблиця 3.2

1	2	3	4	5
Пилкоподібна		$\frac{U_{max}}{2}$	1,73	1,16
Трикутна (симетрична)		$\frac{U_{max}}{2}$	1,73	1,16
Прямокутна (меандр)		0	1	1
Прямокутні імпульси з тривалістю τ і періодом T		$\frac{U_{max}}{\varrho}$	$\sqrt{\varrho}^*$	$\sqrt{\varrho}^*$

* де $\varrho = T/\tau$ – скважинність сигналу.

Методичні вказівки до задачі 4

1. Визначаємо орієнтовні значення вимірюваних величин:

- струм короткого замикання дорівнює номінальному струмові обмотки високої напруги: $I_x = I_{K3} = I_{1H} = \frac{P_{1H}}{U_{1H}} = \frac{P_{2H}}{\eta \cdot U_{1H}}$;

- напруга КЗ становит 5..7 % від номінальної напруги високої сторони: $U_x = U_{K3} = 0,05U_{1H}$;

- потужність КЗ трансформатора є мірою втрат потужності на нагрів обмоток, що становить $0,8\Delta P$, де ΔP – повні втрати:

$$P_x = P_{K3} = 0,8\Delta P = 0,8P_{2H} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right);$$

- коефіцієнт потужності $\cos \varphi_x = \frac{P_x}{U_x \cdot I_x}$.

2. Знаючи величини напруги, струму та коефіцієнта потужності короткого замикання, можна переходити до вибору вимірювальних приладів (наявність в колі вольтметра і амперметра дозволяє уникнути перевантаження кіл ватметра).

Якщо величина струму I_x не перевищує 10А, то амперметр і струмову обмотку ватметра вмикають безпосередньо в вимірювальне коло. Якщо ж I_x більше 10 А, то амперметр і струмову обмотку ватметра вмикають у вимірювальне коло через вимірювальний трансформатор струму (ВТС) рис. 4.1. При цьому, струм первинної обмотки I_{1H} ВТС повинен дорівнювати або бути більшим від струму короткого замикання I_x , а струм його вторинної обмотки I_{2H} має дорівнювати межі вимірювання амперметра та межі вимірювання ватметра по струму, тобто

$$I_{HA} = I_{HW} = I_{2H}.$$

несинусоїдної форми виникає систематична похибка, що залежить від форми змінного сигналу.

а) Вольтметр V1 магнітоелектричної системи реагує на середнє значення сигналу (сталу складову), тому його показ:

$$U_{V1} = U_0 = U_1.$$

Оскільки вольтметр проградуїований в середніх значеннях сигналу, то похибка форми $\Delta_\phi = 0$.

б) Вольтметр V2 електромагнітної системи реагує на СКЗ сигналу і проградуїований в СКЗ, тому його показ і похибка форми сигналу:

$$U_{V2} = U_{СКЗ} = \sqrt{U_0^2 + ((U_{\max} - U_1)/k_a')^2}, \Delta_\phi = 0.$$

в) Вольтметр V3 магнітоелектричний реагує на СВЗ сигналу.

Покази вольтметрів з ПСВЗ градуїованих в СКЗ синусоїди:

- для однопівперіодного випрямлення $U_{I1} = 2k_{\phi c} \cdot U_{СВ1}$;

- для двопівперіодного випрямлення $U_{I2} = k_{\phi c} \cdot U_{СВ2}$.

Похибка від впливу форми сигналу:

$$\delta_\phi = \frac{U_{II} - U_{СКЗ}}{U_{СКЗ}} \cdot 100\%, \text{ де } U_{II} - \text{показ приладу};$$

або $\delta_\phi = \frac{k_{\phi c} - k_{\phi x}}{k_{\phi x}} \cdot 100\%$, якщо відомі $k_{\phi x}$ і k_{ax} заданого сигналу.

г) Вольтметр V4 магнітоелектричний з ПАЗ із закритим входом реагує на амплітуду і градуїований в СКЗ сигналу. Його показ:

- для ПАЗ із відкритим входом $U_{II} = U_m / k_{ac}$;

- для ПАЗ із закритим входом $U_{II} = (U_m - U_0) / k_{ac}$.

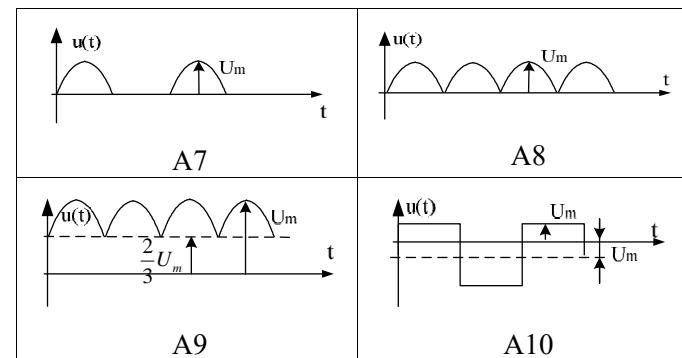
Похибка від впливу форми сигналу визначається:

$$\delta_\phi = \frac{U_{II} - U_{СКЗ}}{U_{СКЗ}} \cdot 100\% \text{ або } \delta_\phi = \frac{k_{ac} - k_{ax}}{k_{ax}} \cdot 100\%$$

Таблиця 3.3

Характеристики змінних сигналів

Форма сигналу	Графік	Середнє U_0	Ка	Кф
1	2	3	4	5
Синусоїдальна		0	1,41	1,11
Пульсуюча (двонапівперіодний випрямляч)		$\frac{2}{\pi}$	1,41	1,11
Пульсуюча (однапівперіодний випрямляч)		$\frac{1}{\pi}$	2	1,57



Задача 4. Вимірювання потужності

Вибрати схему вимірювання, яка б забезпечувала найменшу методичну похибку, а також вимірювальну апаратуру (амперметр, вольтметр, ватметр) для вимірювання активної потужності короткого замикання P_K первинної обмотки однофазного трансформатора з похибкою, не більшою δ_p .

Основні технічні дані трансформатора та допустима похибка вимірювання наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Варіант	U_{1H} , кВ	U_{2H} , кВ	η	P_{2H} , кВт	δ_p , %
1	0,76	0,22	0,8	0,04	2,5
2	1,32	0,38	0,82	2,6	1,5
3	6,3	0,22	0,84	1,4	2,0
4	12	0,22	0,86	75	2,5
5	12	0,38	0,88	3	1,5
6	20	0,66	0,9	7,9	2,0
7	12	0,38	0,91	98	2,5
8	6,3	0,38	0,92	0,85	1,5
9	0,76	0,22	0,93	0,11	2,0
10	20	0,22	0,94	35	2,5
11	0,44	0,127	0,95	4,4	2,5
12	6,3	0,38	0,96	2,1	1,5
13	12	0,22	0,79	96	2,5
14	12	0,38	0,78	3,5	1,5
15	20	0,38	0,77	60	2,0
16	0,608	0,22	0,8	0,06	2,5
17	1,056	0,38	0,82	3,9	1,5
18	5,04	0,22	0,84	2,1	2,0

19	9,6	0,22	0,86	112,5	2,5
20	9,6	0,38	0,88	4,5	1,5
21	16	0,66	0,9	11,85	2,0
22	9,6	0,38	0,91	147	2,5
23	5,04	0,38	0,92	1,275	1,5
24	0,608	0,22	0,93	0,165	2,0
25	16	0,22	0,94	52,5	2,5
26	0,352	0,127	0,95	6,6	2,5
27	5,04	0,38	0,96	3,15	1,5
28	9,6	0,22	0,79	144	2,0
29	9,6	0,38	0,78	5,25	2,5
30	16	0,38	0,77	90	1,5

Задача 5. Мостовий метод вимірювання опору

Вибрати міст для вимірювання опору R_x з допустимою похибкою вимірювання δ , %, якщо опір з'єднувальних провідників r_{np} , а номінальна потужність вимірювального опору $P_{хн}$. Знайти оптимальні значення опорів плечей моста ($R_{пор}$, R_A , R_B) і схему під'єднання вимірюваного опору, допустимий струм $I_{дон}$ та напругу $U_{дон}$ живлення моста.

Таблиця 5

№	R_x , Ом	δ , %	r_{np} , Ом	№	R_x , Ом	δ , %	r_{np} , Ом
1	0,05	0,5	0,1	16	0,02	2	0,1
2	0,75	1,0	0,2	17	0,6	0,5	0,2
3	1,2	1,5	0,3	18	1,8	1,0	0,3
4	1,5	2	0,4	19	2,2	1,5	0,4
5	2,5	0,5	0,5	20	3,0	2	0,5
6	7	1,0	0,1	21	11	0,5	0,1
7	14	1,5	0,2	22	15,5	1,0	0,2
8	22,5	2	0,3	23	26	1,5	0,3
9	40	0,5	0,4	24	88	2	0,4
10	120	1,0	0,5	25	144	0,5	0,5
11	260	1,5	0,1	26	290	1,0	0,1
12	680	2	0,2	27	770	1,5	0,2
13	980	0,5	0,3	28	900	2	0,3
14	1100	1,0	0,4	29	1000	0,5	0,4
15	2000	1,5	0,5	30	2200	1,0	0,5

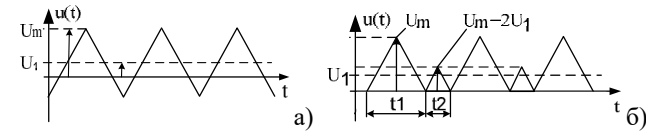


Рис.3.1. Вимірювана напруга

б) змінна складова сигналу: $U'_{max} = U_{max} - U_0 = U_{max} - U_1$;

в) середньоквадратичне значення (СКЗ) напруги сигналу - це додатний корінь квадратний з середнього значення квадрата напруги:

$$U_{СКЗ} = \sqrt{1/T \int_0^T u^2(t) dt}$$

Для сигналів стандартної форми (табл. 3.3.) значення $U_{СКЗ}$ знаходиться з урахуванням коефіцієнта амплітуди цього сигналу: $U_{СКЗ} = U_{max}/k_a$.

Для напруги у вигляді суми двох сигналів постійного U_1 та змінного U'_{max} з амплітудою $(U_{max} - U_1)$ СКЗ сигналу визначається як корінь з суми квадратів СКЗ складових сигналів:

$$U_{СКЗ} = \sqrt{U_{СКЗ}^2(U_0) + U_{СКЗ}^2(U'_{max})} = \sqrt{U_0^2 + ((U_{max} - U_1)/k'_a)^2},$$

де k'_a - коефіцієнт амплітуди змінної частини сигналу з табл. 3.3.

г) середньовипрямлене значення (СВЗ) - це середнє від абсолютного значення напруги:

$$U_{СВЗ} = 1/T \int_0^T |u(t)| dt$$

Для сигналів стандартної форми (табл. 3.3.) значення $U_{СВЗ}$ знаходиться з урахуванням коефіцієнта форми цього сигналу: $U_{СВЗ} = U_{СКЗ}/k_f$.

Для нашого випадку виконаємо операцію випрямлення сигналу (по модулю $|u(t)|$), результат зображений на рис. 3.1.б). Тоді середнє значення випрямленого сигналу дорівнює сумі середніх значень його складових тривалістю t_1 і t_2 (середнє значення сигналу трикутної форми дорівнює половині амплітуди див. табл.3.3.):

$$U_{СВЗ} = \frac{U_{max}}{2} \cdot \frac{t_1}{T} + \frac{U_{max} - 2U_1}{2} \cdot \frac{t_2}{T}, \text{ де } t_1 + t_2 = T - \text{період змінного сигналу.}$$

Оскільки трикутники подібні, справедлива рівність: $\frac{t_1}{t_2} = \frac{U_{max}}{U_{max} - 2U_1}$. Розв'яжемо

систему рівнянь щодо t_1 і t_2 і підставимо їх значення в $U_{СВЗ}$, то:

$$U_{СВЗ} = \frac{U_{max}}{2} \cdot \frac{U_{max}}{2(U_{max} - U_1)} + \frac{U_{max} - 2U_1}{2} \cdot \frac{U_{max} - 2U_1}{2(U_{max} - U_1)} = \frac{U_{max}^2 - 2U_{max}U_1 + 2U_1^2}{2(U_{max} - U_1)}$$

2. Визначимо покази вольтметрів всіх систем.

Оскільки шкали вольтметрів градуйовані в середньоквадратичних значеннях синусоїдального сигналу, то для визначення їх показів необхідно врахувати коефіцієнт градуювання приладу. Також при вимірюванні сигналу

Якщо вольтметр має межу вимірювання U_H , опір вимірювального механізму R_{BM} і за допомогою додаткового резистора R_D треба розширити межу вимірювання в m разів, то враховуючи постійність струму I , що протікає через вольтметр, можна записати (рис. 2.1, б):

$$\frac{U_H}{R_{BM}} = \frac{mU_H}{R_{BM} + R_D},$$

Розрахувавши коефіцієнт перетворення додаткового резистора:

$$m = U/U_H$$

його опір:

$$R_D = R_{BM}(m-1), \text{ Ом.}$$

Ціна поділки і показ вольтметра з додатковим резистором:

$$C'_U = U/N_{\max}, \text{ В/под, } U_x = C'_U \cdot \alpha, \text{ В.}$$

Граничне значення похибки вимірювання:

$$\delta U_x = \pm(\delta_{BM} + \delta_{R_D}), \text{ \%},$$

де $\delta_{R_D} = (\Delta R_D/R_D) \cdot 100\% = \gamma_D$ – похибка шунта, рівна його класу точності;

$$\delta_{BM} = \frac{\Delta_{BM} \cdot 100\%}{U_{BM}} = \frac{\gamma \cdot U_H}{U_x - I \cdot R_D} = \frac{\gamma \cdot U_H}{U_x - U_H \cdot R_D/R_{BM}} \text{ – похибка приладу.}$$

Тоді абсолютна похибка вимірювання: $\Delta_{U_x} = (\delta_{U_x} \cdot U_x)/100\%$, В.

Дійсне значення напруги: $U = U_x \pm \Delta_{U_x}$, В.

Методичні вказівки до задачі 3

1. Нехай форма вхідної напруги $u(t)$ задана на рис. 3.1.а.

Для сигналу стандартної форми його характеристики можна визначити за відомими значеннями $k_{\phi x}$ і k_{ax} – коефіцієнтів форми і амплітуди досліджуваного сигналу (див табл.3.3). Наприклад $k_{\phi c} = \sqrt{2} = 1,41$, $k_{ac} = 1,11$ – коефіцієнти форми і амплітуди синусоїди. В іншому випадку – обраховуємо за означенням даного параметра.

Визначаємо основні параметри змінної напруги заданої форми:

а) стала складова сигналу - це середнє значення за час вимірювання або за період (для сигналів стандартної форми значення U_0 дано в таблиці 3.3., у випадку якщо сигнал симетричний відносно осі X, то $U_0 = 0$):

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt.$$

Для нашої задачі (рис.3.1.а) напругу можна представити у вигляді суми двох сигналів: - постійної напруги величиною U_1 та змінної напруги симетричної трикутної форми з амплітудою $U_{\max} - U_1$. Оскільки середнє значення трикутної напруги = 0, то постійна складова сигналу $U_0 = U_1$;

12. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ

Методичні вказівки до задачі 1

1. Для вибору вимірювальних приладів необхідно врахувати величину вимірювального струму I_B та вимірювальної напруги U_B .

Межі вимірювання амперметра і вольтметра вибираються з врахуванням нерівностей:

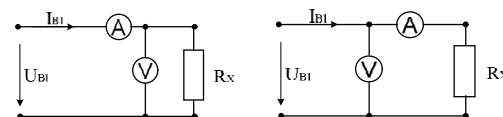
$$I_{HA} \geq I_B, U_{HV} \geq U_B.$$

Класи точності амперметра і вольтметра, як правило, однакові і дорівнюють одній третій допустимої похибки вимірювання δ_R :

$$\gamma_A = \gamma_V = 1/3 \delta_R.$$

На основі цього з додатків 1 і 2, вибрати амперметр і вольтметр та вписати їх основні технічні дані: назву, клас точності, межу вимірювання, спад напруги для амперметра та струм повного відхилення для вольтметра.

2. Якщо величину опору обчислити безпосередньо за показами приладів для схем рис. 1.1, а і б, то буде допущена методична похибка, величина якої залежить як від величини вимірюваного опору R_X , так і від опорів приладів R_A і R_V .



а)

б)

Рис. 1.1. Вимірювання електричного опору:

а) схема правильного вимірювання напруги; б) схема правильного вимірювання струму

Визначивши відносні методичні похибки схем правильного вимірювання напруги та правильного вимірювання струму δ'_M та δ''_M вибирають ту схему вимірювання, яка дає меншу методичну похибку.

Величина абсолютної похибки для схем рис.1.1. а) і б) відповідно:

$$\Delta R_{X1} = R'_X - R_X = R_X^2 / (R_X + R_V), \quad \Delta R_{X2} = R'_X - R_X = R_A.$$

Відносна методична похибки для кожної зі схем при цьому рівна:

$$\delta'_M = \frac{R_X}{R_X + R_V} \cdot 100\%, \quad \delta''_M = \frac{R_A}{R_X} \cdot 100\%,$$

де $R_X = U_B/I_B$ вимірюваний опір,

$R_V = U_{HV}/I_V$, $R_A = U_A/I_{HA}$ – внутрішні опори приладів.

3. Накресливши вимірювальну схему, визначають загальну відносну похибку вимірювання за формулою:

$$\delta_{R_x} = \delta_A + \delta_V + \delta_M,$$

де $\delta_A = \gamma_A \cdot \frac{I_{HA}}{I_B}$ – похибка амперметра;

$\delta_V = \gamma_V \cdot \frac{U_{HV}}{U_B}$ – похибка вольтметра;

δ_M – методична похибка вимірювальної схеми, вибраної згідно рекомендацій п. 2.

Якщо вимірювальні прилади вибрано вірно, то отримана в результаті розрахунку величина похибки вимірювання опору не повинна перевищувати вказаного в умові задачі значення δ_R .

4. Абсолютна похибка вимірювання визначається за формулою:

$$\Delta R_x = \frac{\delta_{R_x} \cdot R_x}{100\%}.$$

Дійсне значення опору R_x знаходиться в межах $R_x \pm \Delta R_x$.

Методичні вказівки до задачі 2

При виборі приладу вимірювання, поряд з іншими класифікаційними ознаками, перш за все орієнтуються на його границі вимірювання: I_H – струмових кіл, U_H – кіл напруги. В аналогових однограничних приладах (з одним вимірювальним колом) ціна поділки шкали (стала приладу) визначається:

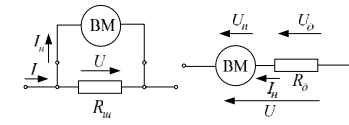
$$C_H = \frac{I_H}{N_{\max}},$$

де N_{\max} – загальна кількість поділок;

I_H – максимальний показ приладу (границя вимірювання).

Якщо необхідно використати прилад в колі з напругою і струмом, що перевищують границі I_H і U_H , то при складанні вимірювального кола використовують засоби для розширення границь вимірювання пристроїв. Для розширення меж вимірювання по струму застосовуються шунти.

Шунт є каліброваним чотириклемним резистором, має невеликий опір і застосовується, в основному, з магнітоелектричними вольтметрами чи мілівольтметрами, проградуйованими в амперах, тобто виступає як перетворювач струму в напругу. Два вхідні затискачі, до яких підводиться струм I , називаються струмовими, а два вихідних затискачі, з яких знімається напруга U , називаються потенціальними (рис. 2.1, а). До потенціальних затискачів приєднують вимірювальний механізм приладу. При цьому велику частину вимірюваного струму пропускають через шунт, а меншу — через вимірювальний механізм.



а) б)

Рис. 2.1. Розширення меж вимірювання пристроїв:
а) шунтом; б) додатковим резистором

Для схеми рис. 2.1, а справедливі співвідношення:

$$R_{ш} = \frac{U_{ш}}{I_{ш}} = \frac{U_{BM}}{I_B - I_{BM}} = \frac{I_{BM} \cdot R_{BM}}{I_B - I_{BM}},$$

де I_{BM}, R_{BM} – струм, що протікає через вимірювальний механізм і його опір, I_B – вимірювальний струм, $R_{ш}$ – опір шунта.

Якщо підставити задану I_H і нову I межі вимірювання приладу, то коефіцієнт шунтування, що показує в скільки разів розшириться границя вимірювання буде дорівнювати:

$$n = I / I_H.$$

Тоді опір шунта:

$$R_{ш} = \frac{R_{BM}}{n-1}, \text{ Ом.}$$

Ціна поділки амперметра і його показ:

$$C_I = I / N_{\max}, \text{ А/под, } I_x = C_I \cdot \alpha, \text{ А.}$$

Враховуючи клас точності приладів, граничне значення похибки вимірювання буде складатись з похибки вимірюваного механізму, похибки шунта і методичної:

$$\delta I_x = \pm(\delta_{BM} + \delta_{R_{ш}}), \%,$$

де $\delta_{R_{ш}} = \frac{\Delta R_{ш}}{R_{ш}} \cdot 100\% = \gamma_{ш}$ – похибка шунта, що рівна його класу точності;

$\delta_{BM} = \frac{\Delta_{BM} \cdot 100\%}{I_{BM}} = \frac{\gamma \cdot I_H}{I_x - I_{ш}} = \gamma \cdot I_H \left(I_x - \frac{U_{ш}}{R_{ш}} \right) = \gamma \cdot I_H \left(I_x - \frac{U_H}{R_{ш}} \right)$ – похибка вимірювального приладу.

Тоді абсолютна похибка вимірювання: $\Delta I_x = \frac{\delta I_x \cdot I_x}{100\%}, \text{ А.}$

Дійсне значення струму: $I = I_x \pm \Delta I_x, \text{ А.}$

Додаткові резистори служать для розширення меж вимірювання по напрузі вольтметрів різних систем (за винятком електростатичної і електронної) та приладів, що мають паралельні вимірювальні кола і застосовуються в колах постійного і змінного струму, вмикаючи послідовно з вимірювальним механізмом. Струм I у колі, що складається з вимірювального механізму з опором R_{BM} і додаткового резистора з опором R_d , складе: $I = U / (R_{BM} + R_d)$, де U — вимірювана напруга.