

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Електротехніка та електричні машини»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт
з дисципліни**

« *ЕЛЕКТРОТЕХНІКА* »

**для студентів неелектротехнічних спеціальностей
механічного факультету**

Частина II

Харків 2009

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри “Електротехніка та електричні машини” 20 листопада 2007 р., протокол № 3.

Укладачі:

доценти В.В.Пилипенко, А.А. Прилипко,
асистенти О.М. Ананьєва, І.М. Сіроклин

Рецензент

доц. С.В. Кошевий

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

« *ЕЛЕКТРОТЕХНІКА* »

для студентів неелектротехнічних спеціальностей
механічного факультету

Частина II

Відповідальний за випуск Прилипко А.А.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 22.01.08 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 2,25. Обл.-вид.арк. 2,5.
Замовлення № Тираж 250. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейербаха, 7

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. Експериментальне дослідження трифазного кола при з'єднанні споживачів за схемою трикутник	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. Дослідження котушки без осердя та з осердям при змінному струмі	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8. Повірка електровимірювальних приладів	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9. Розширення меж вимірювання приладів за допомогою масштабних перетворювачів	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10. Вимірювання малих, великих і середніх опорів	32
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	38

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО КОЛА ПРИ З'ЄДНАННІ СПОЖИВАЧІВ ЗА СХЕМОЮ ТРИКУТНИК

Мета роботи

Дослідити трифазне коло при з'єднанні споживачів трикутником. Навчитися вимірювати фазні і лінійні струми та напруги. Навчитися будувати за даними досліду векторні діаграми. Навчитися розраховувати потужність трифазного кола.

6.1 Пояснення до роботи

При з'єднанні споживачів трикутником (рисунок 6.1) кожен споживач вмикається між двома відповідними лінійними проводами, внаслідок чого перебуває під лінійною напругою генератора, яка одночасно є фазовою напругою споживача.

Згідно з рисунком 6.1 $U_{AX}=U_{AB}$, $U_{BY}=U_{BC}$ та $U_{CZ}=U_{CA}$, тобто $U_{\phi}=U_{л}$. Фазні струми при з'єднанні споживачів трикутником позначаються двома індексами: I_{AX} , I_{BY} , I_{CZ} або I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} . Струм фазовий і кут зсуву між фазовим струмом і фазовою напругою визначаються за формулами:

$$\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} / \underline{Z}_{AB}, \quad \dot{I}_{BC} = \dot{U}_{BC} / \underline{Z}_{BC}, \quad \dot{I}_{CA} = \dot{U}_{CA} / \underline{Z}_{CA},$$

тобто

$$\dot{I}_{\phi} = \dot{U}_{\phi} / \underline{Z}_{\phi} \quad \varphi_{\phi} = \arctg X_{\phi} / Z_{\phi}.$$

Лінійні струми I_A , I_B , I_C згідно з 1 законом Кірхгофа для вузлів A , B , C в загальному випадку дорівнюють геометричній різниці відповідних фазних струмів:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.$$

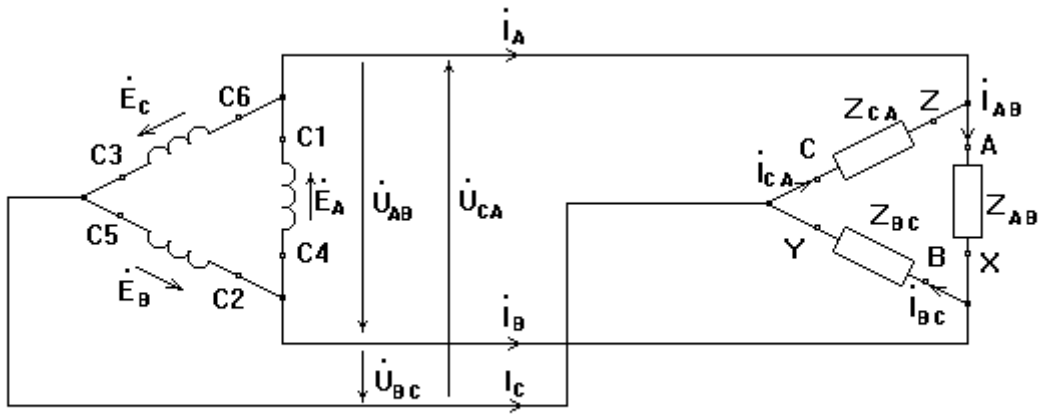


Рисунок 6.1 – Схема з'єднання споживачів трикутником

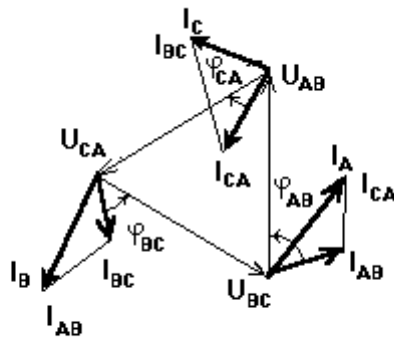


Рисунок 6.2 – Векторна діаграма при з'єднанні споживачів трикутником

Коли навантаження рівномірне, лінійні струми будуть однаковими між собою за величиною і більші від фазових у $\sqrt{3}$ разів.

$$I_L = \sqrt{3}I_\phi.$$

Векторні діаграми напруг і струмів для симетричного і несиметричного навантажень при з'єднанні споживачів трикутником зображені на рисунку 6.2.

Якщо навантаження має неоднорідний характер, то при побудові векторної діаграми слід враховувати відповідні фазові співвідношення.

6.2 Підготовка до роботи

6.2.1 Вивчити теоретичний матеріал про з'єднання споживачів трикутником у трифазних колах.

6.2.2 Запитання для самоперевірки:

а) яку трифазну систему вважають симетричною?

б) за якими ознаками можна зробити висновок, що навантаження фаз симетричне?

в) які існують співвідношення між лінійними і фазними струмами трифазної системи, якщо споживачі з'єднані трикутником?

г) на що впливає обрив лінійного проводу трифазної трипровідної лінії при з'єднанні споживачів трикутником?

д) якщо номінальна напруга споживачів дорівнює 220 В, а лінійна – 380 В, то як з'єднано навантаження в трифазній системі?

е) чому дорівнює сума усіх лінійних струмів у трифазній системі з навантаженням, з'єднаним за схемою трикутник?

ж) лінійний струм дорівнює 2,8 А. Розрахувати фазний струм, якщо однорідне симетричне навантаження з'єднане за схемою трикутник.

6.3 Робоче завдання

6.3.1 Скласти трифазне електричне коло згідно з рисунком 6.3.

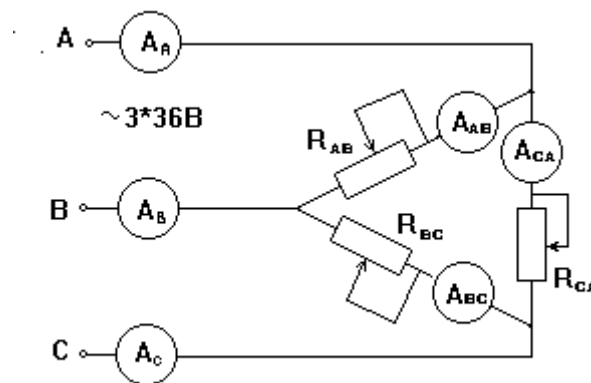


Рисунок 6.3 – Схема електричної лабораторної установки

6.3.2 Щоб уникнути короткого замикання в колі, необхідно переконатися, що навантажувальні реостати R_{ab}, R_{bc}, R_{ca} знаходяться в положенні "Введено".

6.3.3 Вимірювальні прилади (вольтметри й амперметри) варто вибрати, виходячи із заданого значення напруги мережі (**~3x36 В**) і зазначених на навантажувальних реостатах їхніх номінальних даних.

6.3.4 Перевірити правильність складання електричної схеми і подати викладачу для перевірки.

6.3.5 З дозволу викладача подати напругу на стенд і провести досліди:

- а) симетричне навантаження фаз;
- б) несиметричне навантаження фаз;
- в) аварійні режими у вигляді обриву лінійного проводу при симетричному та несиметричному навантаженні фаз.

6.3.6 Під час усіх перелічених дослідів виміряти струми у фазах і лінійних проводах, а також лінійні напруги на навантаженнях. Дані вимірювань занести в таблицю 6.1 і подати викладачу.

6.4 Методичні вказівки до виконання роботи

6.4.1 При складанні схеми за рисунком 6.3 необхідно використовувати джерело електричної енергії трифазної напруги **~3x36 В**, затискачі **A, B, C, N** (на лабораторному стенді).

6.4.2 Навантажувальні реостати, використані в електричній схемі (рисунок 6.3), мають номінальні дані: **$R = 100\Omega, 2A$** або **$R = 200\Omega, 1A$** .

6.4.3 По закінченні роботи зняти напругу зі стенда. Коло не розбирати. Проаналізувати результати вимірювань і подати викладачу.

6.4.4 Після узгодження з викладачем отриманих результатів розібрати електричне коло і упорядкувати робоче місце.

6.5 Аналіз отриманих результатів та висновки

6.5.1 Визначити розрахунком опори і потужності фаз R_{ab}, R_{bc}, R_{ca} та P_{ab}, P_{bc}, P_{ca} . Дані розрахунку занести в таблицю 6.1 у розділ "Обчислене".

6.5.2 Використовуючи дані вимірювань таблиці 6.1, побудувати в масштабі сполучені векторні діаграми струмів і напруг для всіх режимів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ДОСЛІДЖЕННЯ КОТУШКИ БЕЗ ОСЕРДЯ ТА З ОСЕРДЯМ ПРИ ЗМІННОМУ СТРУМІ

Мета роботи:

а) дослідним способом визначити параметри котушки індуктивності без осердя та з осердям;

б) визначити характер залежності параметрів котушки від ряду факторів:

- рівня прикладеної напруги;
- кількості витків котушки;
- матеріалу та виду осердя (стальне чи алюмінієве, суцільне чи шихтоване).

7.1 Пояснення до роботи

Індуктивність котушки, ввімкнутої в коло синусоїдного струму, являє собою відношення потокозчеплення ліній магнітного поля до струму, що збуджує це поле,

$$L = \frac{\Psi}{i}.$$

Оскільки

$$\Psi = w\Phi = wSB = wS\mu S_0 H = wS\mu_a \frac{wi}{l} = \frac{w^2 i}{\frac{l}{\mu_a S}} = \frac{w^2 i}{R_M},$$

де w - кількість витків котушки;

Φ - магнітний потік, Вб;

B - магнітна індукція, Тл;

S - поперечний переріз осердя котушки, m^2 ;

H - напруженість магнітного поля в осерді котушки, $\frac{A}{m}$;

l - довжина осердя вздовж його осьової лінії, m ;

$R_M = \frac{l}{\mu\mu_0 S}$ - магнітний опір кола,

тоді

$$L = \frac{w^2}{R_M}.$$

Отже, L пропорційна магнітній проникності матеріалу μ .

При відсутності в котушці осердя магнітний опір котушки - величина постійна ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$, $\mu \approx 1$). Тоді при незмінних геометричних розмірах котушки та фіксованій кількості витків індуктивність котушки без осердя також є величиною постійною.

В котушці зі сталевим осердем магнітний опір осердя R_M є величиною змінною, він є функцією магнітної проникності сталі, яка із зростанням струму через котушку спочатку зростає, а потім, відповідно до кривої намагнічування $B = f(H)$, внаслідок магнітного насичення сталі знижується. Відповідно до цього магнітний опір осердя сталі спочатку зменшується, а потім зростає. В результаті зміна індуктивності котушки буде аналогічною до зміни магнітної проникності матеріалу осердя.

Внаслідок непостійності індуктивності котушки з феромагнітним осердем її вольт-амперна характеристика має нелінійний характер. Вольт-амперну характеристику котушки можна розрахувати за кривою намагнічування матеріалу осердя при змінному струмі, що протікає крізь котушку, яка виявляє залежність амплітуди індукції B_m за умови синусоїдної напруги

від діючого значення несинусоїдної напруженості магнітного поля H . Ця крива суттєво відрізняється від кривої намагнічування за умови постійного струму, тому використовується для розрахунку магнітного кола із змінною магніторушійною силою.

Діюче значення напруги пропорційне індукції B_m

$$U = E = 4,44fwSB_m,$$

а діюче значення струму – напруженості поля H

$$I = \frac{Hl}{w}.$$

Тому графіки залежностей $B = f(H)$ та $U = f(I)$ можуть бути суміщені у відповідних масштабах по осях координат (рисунок 7.1).

Пунктиром позначена вольт-амперна характеристика котушки без сталюого осердя $U = f(I)$. При протіканні крізь котушку з феромагнітним осердям змінного струму в ній виникає основний магнітний потік Φ_0 , змінний в часі, який замикається крізь феромагнітне осердя, та потік розсіювання Φ_s , який замикається між витками котушки крізь повітря (рисунок 7.2).

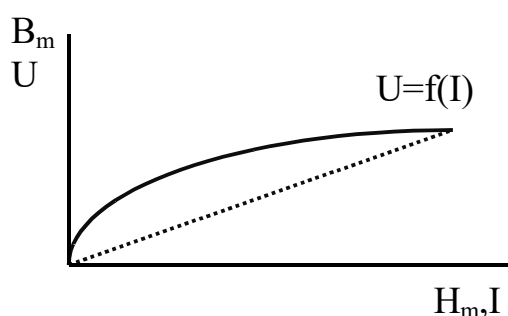


Рисунок 7.1

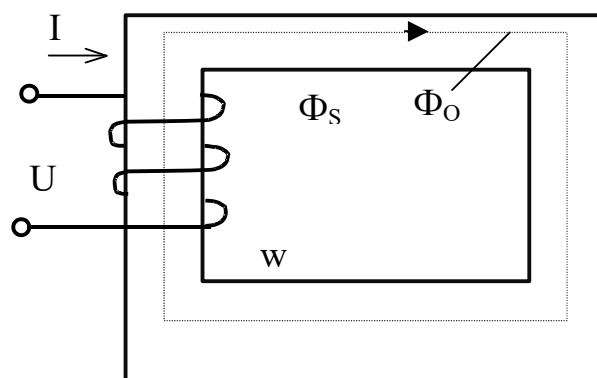


Рисунок 7.2

Замикання магнітного потоку крізь осердя при змінному струмі є причиною втрат енергії P_{cm} , яка перетворюється в тепло.

Розрізняють два види втрат в осерді:

P_2 - спричинені циклічним його перенамагнічуванням, пропорційні площі петлі гістерезису;

P_{ec} - спричинені вихровими струмами, які виникли у феромагнітному осерді під дією ЕРС, що індукуються в осерді основним магнітним потоком Φ_s .

$$\text{Тому } P_{cm} = P_2 + P_{ec}.$$

Наявність втрат в осерді P_{cm} призводить до його нагрівання, погіршує енергетичні показання приладів, до складу яких входять такі котушки.

Для зменшення P_2 осердя котушок виготовляється зі спеціальних феромагнітних матеріалів з вузькою петлею гістерезису (її малою площею).

Для зменшення P_{ec} осердя котушок виготовляють з окремих листів електротехнічної сталі.

При змінному струмі котушка з феромагнітним осердям споживає від джерела активну потужність

$$P = P_{мдi} + P_{cm}.$$

Ця потужність може бути виміряна за допомогою ватметра. Основний магнітний потік Φ_0 та потік розсіювання Φ_s викликають відповідно в котушці ЕРС самоіндукції та ЕРС розсіювання.

Для аналізу роботи та розрахунку електротехнічних пристроїв користуються схемою заміщення котушки. На рисунку 7.3, а, б подані паралельна та послідовна схеми заміщення котушки з осердям.

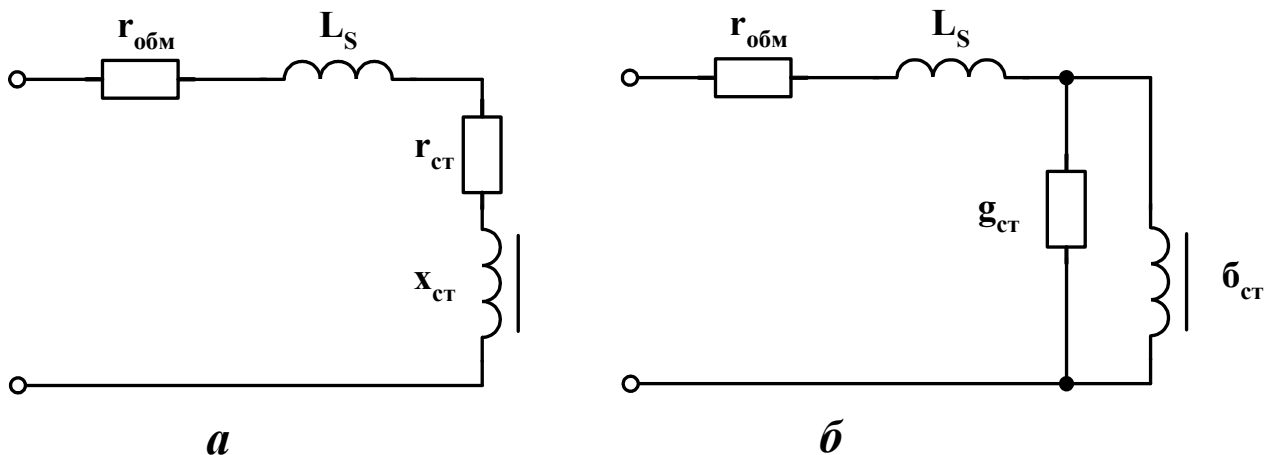


Рисунок 7.3

З основним магнітним потоком Φ_0 котушки зі сталевим осердям пов'язують індуктивну провідність b_{cm} паралельної схеми заміщення або індуктивний опір x_{cm} послідовної схеми заміщення. З магнітним потоком розсіювання Φ_s пов'язують індуктивність розсіювання L_s та відповідно індуктивний опір розсіювання x_s .

Втрати в осерді враховуються активною провідністю g_{cm} паралельної схеми заміщення або активним опором r_{cm} послідовної схеми заміщення. Втрати в обмотці котушки (опір провідника обмотки) визначаються опором $r_{обм}$.

Напруга, яка прикладена до котушки з феромагнітним осердям, визначається формулою

$$\dot{U} = \dot{I}r_{обм} + j\omega L_s \dot{I} + \dot{U}' ,$$

де $U' = -E_L$ – складова напруги на котушці, яка обумовлена явищем самоіндукції під дією основного потоку Φ_0 .

7.2 Методичні вказівки до виконання роботи

7.2.1 Для виконання першого досліду необхідно взяти підносну котушку з максимальною кількістю витків багатосекційної котушки. Для цього з'єднати послідовно та узгоджено котушки w_1 (клеми $H_1 - K_1$) та w_2 (клеми $H_2 - K_6$).

Вимірювання та розрахунок виконувати старанно, з високим ступенем точності, з тим, щоб переконатися, чи залежать параметри котушки без осердя (в окремому випадку величина індуктивності котушки) від напруги, яка подається на затискачі котушки.

7.2.2 Наступні досліди виконувати з тією ж котушкою, але з іншою кількістю витків - w_2 та w_3 . При цьому струм в електричному колі обов'язково слід підтримувати однаковим з метою підтвердження залежності індуктивності від кількості витків.

7.2.3 За даними експериментів згідно з п.п. 7.2.1, 7.2.2 визначити співвідношення між кількістю витків котушки та її індуктивністю.

7.2.4 До джерела живлення підключити котушку з кількістю витків w_1 . За результатами вимірювань та розрахунків згідно з пунктами таблиці 7.1 виконати розрахунок втрат в міді P_m та в сталі P_{cm} .

Відомо, що

$$P = P_{cm} + P_m,$$

де $P_m = I^2 r_{об}$;

$r_{об}$ - активний опір котушки, значення якого визначають з першого дослідження.

Тоді

$$P_{cm} = P - I^2 r_{об}.$$

7.2.5 Зробити розрахунок всіх елементів послідовної схеми заміщення котушки, проаналізувати їх залежність від матеріалу та форми осердя.

7.3 Аналіз отриманих результатів та висновки

7.3.1 Розрахувати параметри котушок і результати розрахунків занести в таблиці 7.1 – 7.3.

Таблиця 7.1

Дослід				Розрахунок									Примітка	
U , В	I , А	P , Вт	f , Гц	z , Ом	r , Ом	x_L , Ом	y , См	b , См	g , См	L , Гн	$\cos\varphi$	φ	Котушка без осердя з кількістю витків w_1	

Таблиця 7.2

Дослід	Розрахунок	Примітка
--------	------------	----------

U , В	I , А	P , Вт	f , Гц	z , Ом	r , Ом	x_L , Ом	y , См	b , См	g , См	L , Гн	$\cos\varphi$	φ	Котушка без осердя з кількістю витків
													w_1
													w_2
													w_3

Таблиця 7.3

Матеріал осердя	Дослід				Розрахунок									Примітка
	U , В	I , А	P , Вт	f , Гц	P_m , Вт	P_{cm} , Вт	z , Ом	r_0 , Ом	x_L , Ом	L , Гн	$\cos\varphi$	φ		
Стальний суцільний														Котушка без осердя з кількістю витків w_1
Стальний дровий														
Алюмінієвий суцільний														
Алюмінієвий дровий														

7.3.2 На підставі даних таблиці 7.1 побудувати графіки залежностей

$$z = f_1(U), \quad r = f_2(U), \quad x = f_3(U), \quad L = f_4(U), \quad \cos\varphi = f_5(U)$$

за умови $f = const$, $w = const$.

7.3.3 На підставі даних таблиці 7.2 побудувати графіки залежностей

$$z = f_1(w), \quad r = f_2(w), \quad x = f_3(w), \quad L = f_4(w), \quad \cos\varphi = f_5(w)$$

за умови $f = const$, $I = const$.

7.3.4 Проаналізувати отримані криві та зробити висновки щодо залежності параметрів котушок від величини прикладеної напруги та кількості витків.

7.3.5 На підставі таблиці 7.3 зробити висновки щодо впливу на параметри котушки і на втрати в котушці матеріалу та виду осердя.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

ПОВІРКА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи: ознайомитися з методами повірки електровимірювальних приладів, побудованими на зніманні показань приладу, що перевіряється, і зразкового.

8.1 Пояснення до роботи

Метрологічний нагляд за технічним станом засобів вимірювань у нашій державі здійснюється Державною метрологічною службою, яка керується Держстандартом України. Під керівництвом Державної метрологічної служби діють органи відомчих метрологічних служб, утворених міністерствами і відомствами для забезпечення метрологічного нагляду у своїй галузі народного господарства.

У системі Міністерства транспорту України функції галузевих організацій метрологічної служби виконують відповідні управління (у тому числі Управління сигналізації і зв'язку Укрзалізниці), які керують роботою метрологічних служб нижчих організацій.

Повірка засобів вимірювань – це визначення державним чи відомчим метрологічним органом похибки засобів вимірювань і встановлення їх придатності до використання. Повірка здійснюється періодично відповідно до державних стандартів чи інструкцій і метрологічних вказівок Держстандарту. Позитивні результати повірки засвідчуються: а) накладанням на засоби вимірювання перевіреного клейма встановленого зразка; б) видачею посвідчення про повірку.

Засоби вимірювань, визнані за результатами повірки не придатними до використання, до подальшої експлуатації не допускаються, про що робиться відповідний запис у паспорті чи свідоцтві приладу.

Повірка вимірювальних приладів у цій лабораторній роботі виконується методом звіряння показань приладу, що перевіряється, і зразкового при вимірюванні однієї і тієї ж величини.

При виконанні робочих повірок будемо вважати, що прилад використовується як зразковий, якщо межі його припустимої

похибки менші, ніж у приладі, що перевіряється, в три чи більше число разів на всьому діапазоні вимірювання досліджуваної величини. Якщо верхня межа вимірювання зразкового приладу дорівнює верхній межі вимірювання приладу, що перевіряється, тоді клас точності приладу, що перевіряється, і зразкового повинні відповідати даним таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Клас точності приладу, що перевіряється	0,5	1,0	1,5 + 2,5	4,0
Клас точності зразкового приладу	0,1	0,2	0,5	1,0

Прилади класів точності 0,05; 0,1; 0,2 перевіряються за допомогою високоомних компенсаторів (потенціометрів), які забезпечують межі похибок вимірювання, що вимагаються. Електричні схеми для повірки приладів повинні забезпечувати однакові значення вимірюваної величини, підведеної до приладу, що перевіряється, і зразкового. Тому під час повірки амперметри вмикаються в коло послідовно, вольтметри – паралельно.

Схема повірки й апаратура, що застосовується, повинні забезпечити:

- 1) можливість плавного регулювання показників приладів на всій робочій частині шкали;
- 2) зручність роботи.

Ця лабораторна робота передбачає виконання навчальної повірки електромеханічних амперметра і вольтметра.

8.2 Підготовка до роботи

8.2.1 Вивчити теоретичний матеріал, що належить до видів похибок вимірювань, до поняття класу точності і його зв'язку з межами допустимої похибки [3, с. 16 - 21, 39 – 41].

8.2.2 Відповісти письмово на такі запитання:

а) які умови експлуатації приладу називаються нормальними?

б) за якою ознакою підбираються зразкові прилади?

в) яка похибка називається основною?

г) за якою похибкою визначається клас точності приладу?

8.3 Робоче завдання з повірки амперметра

8.3.1 Скласти схему для повірки амперметра, наведену на рисунку 8.1.

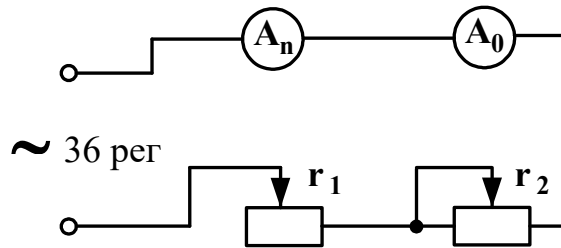


Рисунок 8.1

Перед початком повірки необхідно:

а) записати типи, класи точності зразкового приладу і того, що перевіряється, а також межі вимірювань, що використовуються;

б) встановити прилади в нормальне для них положення;

в) встановити коректором стрілки приладів на нуль.

8.3.2 Подати напругу на схему і переконатися у можливості плавного регулювання показників у межах всієї шкали приладу, що перевіряється.

8.3.3 Дати приладу, що перевіряється, відхил і залишити прилади прогрітися протягом 5 – 10 хв. Потім вимкнути.

8.3.4 Упевнившись, що стрілка обох приладів при ввімкненому живленні займає нульове положення, відмітити це у першому рядку таблиці 8.2.

8.3.5 Увімкнувши живлення, плавним переміщенням рухомих контактів навантажувальних реостатів почати змінювати струми так, щоб стрілка амперметра, що перевіряється, послідовно встановлювалась над кожною оцифрованою поділкою шкали, при цьому записувати показання обох амперметрів. Регулювання струмів слід вести так, щоб показання амперметра, що перевіряється, спочатку збільшувалися від нуля до максимуму (хід угору), а потім плавно зменшувалися до нуля (хід вниз).

Таблиця 8.2

Номер спостереження	Показання амперметра, A_n що перевіряється		Показання зразкового амперметра A_3				ВВаріації	D_n Поправка	Похибки		Примітка
			угору по шкалі		вниз по шкалі				Абсолют-на D	Приведе-на g	
	поділ	А	поділ	А	поділ	А					

8.3.6 Показати дані спостережень викладачу, розібрати схему.

8.4 Робоче завдання з повірки вольтметра

8.4.1 Скласти схему робочого моста для повірки вольтметра (рисунок 8.2).

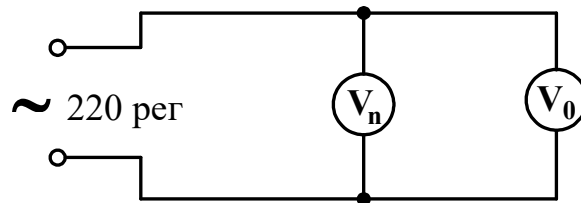


Рисунок 8.2

8.4.2 Виконати повірку вольтметра, користуючись методикою, викладеною для застосування до амперметра. Показання приладів, що знімаються в процесі повірки, занести в таблицю 8.3.

8.4.3 Показати результати спостережень викладачеві, розібрати схему.

Таблиця 8.3

Номер спостереження	Показання вольметра, що перевіряється $U_{п}$		Показання зразкового вольметра $U_{з}$				ВВаріації	$D_{п}$ Поправка	Похибки		Примітка
			угору по шкалі		вниз по шкалі				значення середнє	Абсолютна D	
	поділ	В	поділ	В	В	В					

8.5 Методичні вказівки до виконання роботи

8.5.1 При складанні схеми для перевірки технічного амперметра необхідно використовувати амперметр $A_{п}$, що перевіряється, з межею вимірювання до **1 А** і класом точності, нижчим, ніж зразковий амперметр **A**. Зразковий прилад A_0 , резистори r_1 , і r_2 і джерело регульованого живлення $U=36 В$ взяти з універсального стенда **УЛС–ТОЕ 1**.

8.5.2 При складанні схеми для перевірки технічного вольметра необхідно використовувати вольметр, що перевіряється, з межею вимірювання до **150 В**, зразковий вольметр універсального стенда **УЛС–ТОЕ 1**, регульоване джерело живлення $U=220 В_{рег}$.

8.5.3 При виконанні роботи керуватися загальними вимогами щодо виконання лабораторних робіт на стенді **УЛС–ТОЕ 1**, суворо дотримуючись правил техніки безпеки.

8.6 Аналіз отриманих результатів

8.6.1 За отриманими даними визначити D – абсолютну і g – приведену похибки, V – варіації і $D_{п}$ – поправку приладів.

8.6.2 За даними досліду і розрахунку побудувати криві поправок залежно від показань приладів.

8.6.3 Дати висновок про відповідність чи невідповідність приладів, що перевірялись, своїм класам точності.

Примітки

1 *Абсолютна похибка приладу D* – це похибка, що дорівнює різниці між значенням величини, яка виміряється приладом, і її дійсним значенням

$$D = A_{\Pi} - A_0.$$

2 *Поправка приладу D_{Π}* – це абсолютна похибка, узятая із зворотним знаком

$$A_{\Pi} = -D = A_0 - A_{\Pi}.$$

3 *Приведена похибка g* – це виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до верхньої межі вимірювання приладу.

$$g = \frac{\Delta}{A_H} \cdot 100\% \quad (\text{для аналогових приладів}).$$

4 *Варіація приладу V* характеризує стійкість показань до даного заміру

$$V = |A'_0 - A''_0|,$$

де A'_0 і A''_0 – показники дійсних значень, визначених за показниками зразкових приладів при підході до відмітки, що перевіряється, з боку більших і менших значень.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАННЯ ПРИЛАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАСШТАБНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Мета роботи: набути практичні навички з розширення меж вимірювання приладів на постійному і змінному струмі; визначити похибки приладів з розширеними межами вимірювання.

9.1 Пояснення до роботи

В практиці електричних вимірювань широко використовуються масштабні вимірювальні перетворювачі: шунти, додаткові резистори, вимірювальні трансформатори струму і напруги, дільники напруги та ін. Шунти і додаткові резистори застосовуються для розширення меж вимірювання приладів по струму і напрузі в колах постійного струму. В колах змінного струму з цією метою, поряд з використанням додаткових резисторів (до напруги 500 В), застосовуються вимірювальні трансформатори струму і напруги.

Шунтами називаються калібровані резистори, що вмикаються паралельно вимірювальному механізму (рисунок 9.1). Вони служать для розширення меж вимірювання приладів по струму.

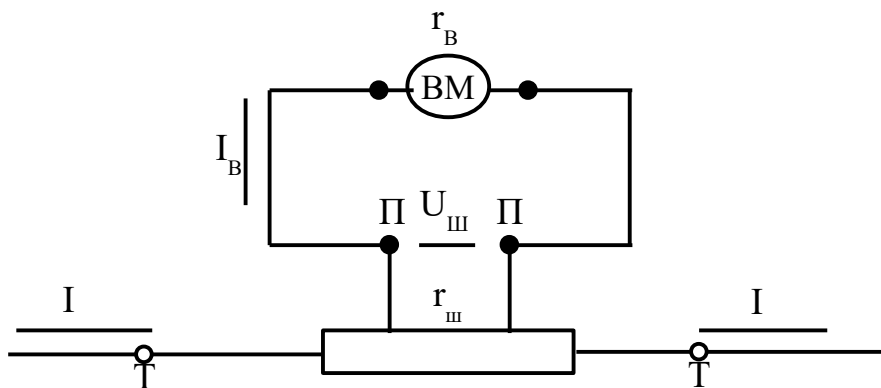


Рисунок 9.1

Шунти виготовляють у вигляді чотиризатискачевих резисторів з опором $r_{ш}$. До потенціальних затискачів П-П підключається вимірювальний механізм (ВМ) з внутрішнім опором r_v і припустимим струмом I (номінальний струм приладу), за допомогою струмових затискачів Т-Т шунт вмикають в коло вимірюваного струму I_B . Наявність двох пар затискачів виключає вплив перехідних опорів контактів у місцях підключення проводів.

Залежність між вимірюваним струмом I і струмом ВМ I_v визначається коефіцієнтом індукування, що показує, у скільки разів розширено межу вимірювання по струму:

$$n = \frac{I}{I_B}, \quad (9.1)$$

де n вибирають з ряду цілих чисел ($n = 2; 5; 10; 100$ і т.д.). Значення опору шунта визначають співвідношенням

$$r_{ш} = n - 1 \cdot \frac{r_B}{n}. \quad (9.2)$$

Шунти виготовляють з манганінових стержнів або пластин, що мають високий опір і низький температурний коефіцієнт, і застосовують, в основному, для розширення діапазону вимірювання ВМ магнітоелектричної системи. Застосовувати шунти для розширення меж вимірювань приладів змінного струму недоцільно, тому що вимірювальні механізми систем приладів змінного струму споживають відносно велику потужність, що призводить до необхідності мати значне $U_{ш}$, а відповідно, і $r_{ш}$, що в свою чергу призводить до збільшення габаритів і маси шунта. Окрім того, застосування шунтів на змінному струмі призводить до похибки, обумовленої перерозподілом струму I_B і $I_{ш}$ при різних частотах через вплив реактивних опорів вимірювального механізму і шунта. Конструктивно шунти виконуються внутрішніми (до 30 А) і

зовнішніми; одноможевими і багатоможевими. Зовнішні шунти підрозділяються на індивідуальні й універсальні (калібровані), розраховані на номінальну напругу 10; 15; 30; 50; 60; 75; 300 мВ.

За точністю підгону шунти поділяються на класи: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5. Клас точності відповідає основній відносній похибці опору шунта, вираженій у відсотках.

Додатковим резистором називається калібрувальний резистор, що вмикається послідовно з вимірювальним механізмом (рисунок 9.2). Додаткові резистори служать для розширення меж вимірювання ВМ по напрузі.

Резистор r_d обмежує струм I_B в колі ВМ і дозволяє використовувати ВМ при вимірюванні більших напруг U_d , ніж допустимі для ВМ напруги U_B (номінальна напруга ВМ). Функціональний зв'язок між струмом і вимірюваною напругою визначається рівнянням

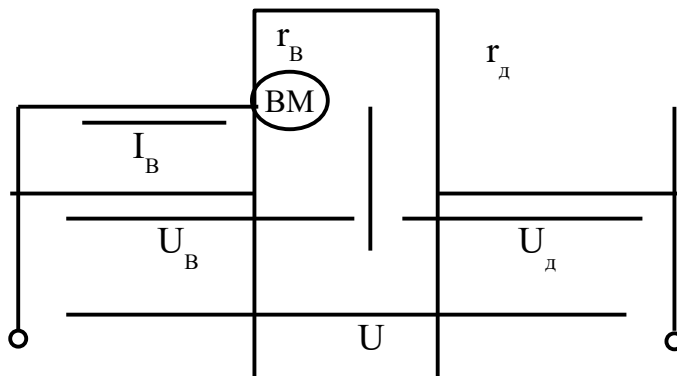


Рисунок 9.2

$$I_B = \frac{U}{r_B + r_d} = \frac{U_B}{r_B}, \text{ звідки } r_d = r_B \cdot (m - 1), \quad (9.3)$$

де $m = \frac{U}{U_B}$ – коефіцієнт ділення напруги, який показує, у скільки разів розширено межу вимірювання по напрузі.

Додаткові резистори виготовляються з манганінового ізолюваного дроту, який намотується на діелектричний каркас у вигляді котушки чи пластини. Застосовуються внутрішні, вбудовані в корпус приладу і зовнішні резистори.

Калібрувальні додаткові резистори за точністю поділяються на класи: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 і виготовляються на номінальні струми від 0,01 до 60 мА.

Вимірювальні трансформатори призначені для перетворення змінного струму I_1 у струм I_2 (трансформатори струму) і змінної напруги U_1 в U_2 (трансформатори напруги). Вони застосовуються для розширення меж вимірювання приладів на змінному струмі (амперметрів, вольтметрів, ватметрів, фазометрів і т.д.), гальванічного розділення вимірювальних кіл від проводів високої напруги.

На рисунку 9.3, а, б показані схеми вмикання вимірювальних трансформаторів струму і напруги.

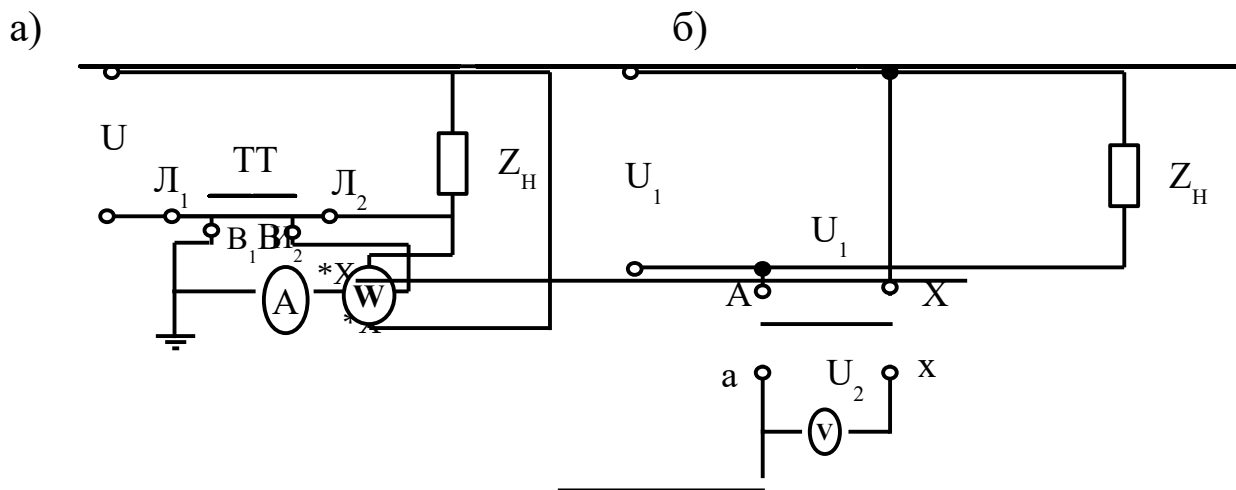


Рисунок 9.3

Первинна обмотка трансформатора струму, виводи якої маркуються L_1 і L_2 (лінія), вмикається в коло послідовно з навантаженням. До початку первинної обмотки (затискач L_1) необхідно під'єднати дріт, що йде від джерела живлення; до виводів вторинної обмотки B_1 і B_2 (вимір) підключають амперметри, струмові котушки ватметрів, фазометрів та інших приладів, межі вимірювання яких розширюються.

Паспортними даними трансформатора струму є:

- номінальний струм первинного кола ($I_{1н}$ – до 60000 А);
- номінальний струм вторинного кола ($I_{2н} = 5\text{А}$ або 1А);
- номінальний опір навантаження вторинної обмотки (від 0,1 до 4,0 Ом);

- клас точності (лабораторних ТТ-0,01; 0,02; 0,05;0,1; 0,2 і стаціонарних ТТ-0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10).

При виборі ТТ за паспортними даними необхідно пам'ятати, що сума опорів струмових котушок приладів, межі вимірювання яких розширюються, не повинна перевищувати його номінальний опір. Невиконання цієї умови призводить до збільшення похибки вимірювання.

У вторинну обмотку ТТ вмикають прилади з малим опором, тому номінальним для роботи ТТ є режим, близький до короткого замикання, і розрив його вторинного кола стає аварійним. У номінальному режимі вимірюваний струм у первинній обмотці створює магніторушійну силу (МРС), значна частина якої компенсується МРС вторинної обмотки, тобто

$$w_1 I_1 \approx w_2 I_2, \quad (9.4)$$

де w_1 і w_2 – число витків первинної і відповідно вторинної обмотки ТТ (завжди $w_1 < w_2$).

Якщо розімкнути вторинну обмотку трансформатора, то припиниться розмагнічувальна дія її струму. При цьому магнітний потік у магнітопроводі різко збільшується, що призводить до збільшення втрат в сталі осердя, що викликає його надмірне нагрівання («пожежа» в сталі). Окрім того, великий магнітний потік збуджує у вторинній обмотці велику ЕРС, пікове значення якої може досягати небезпечної для життя величини.

Тому необхідно пам'ятати, що при ввімкненій первинній обмотці розмикати вторинну обмотку ТТ **категорично забороняється!**

Первинну обмотку трансформатора напруги (ТН) підключають до кола з напругою, що вимірюється, паралельно, і її виводи маркують А і Х; до затискачів вторинної обмотки (а і х) ТН підключають вольтметри, кола напруги ватметрів та інших приладів, межі вимірювання яких розширюються.

Режим роботи ТН характеризується незначними змінами напруги первинної обмотки.

Вторинна обмотка замкнена на великий опір (приладів), внаслідок чого струми в обмотках малі, і, таким чином, ТН працюють в режимі, близькому до холостого ходу.

Паспортними даними є:

- номінальна первинна напруга ($U_{1Н}$ – до 35 кВ);
- номінальна вторинна напруга ($U_{2Н}=100/\sqrt{3}$; 100 і 150 В);
- номінальна потужність (лабораторних ТН від 5 до 25 В А; стаціонарних ТН до 1200 В А);
- клас точності (лабораторних ТН - 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; стаціонарних ТН - 0,2; 0,5; 1; 3).

При виборі ТН за його паспортними даними необхідно пам'ятати, що сумарна потужність, яку споживають прилади, ввімкнені у вторинне коло, не повинна перебільшувати номінальної потужності ТН. Невиконання цієї умови призводить до збільшення похибки вимірювання напруги. При сумісному вмиканні вимірювальних трансформаторів, наприклад з ватметром, необхідно мати на увазі, що затискач «А»-ТН має бути з'єднаним з дротом, що йде від джерела живлення до затискача L_1 ТТ (рисунок 9.4).

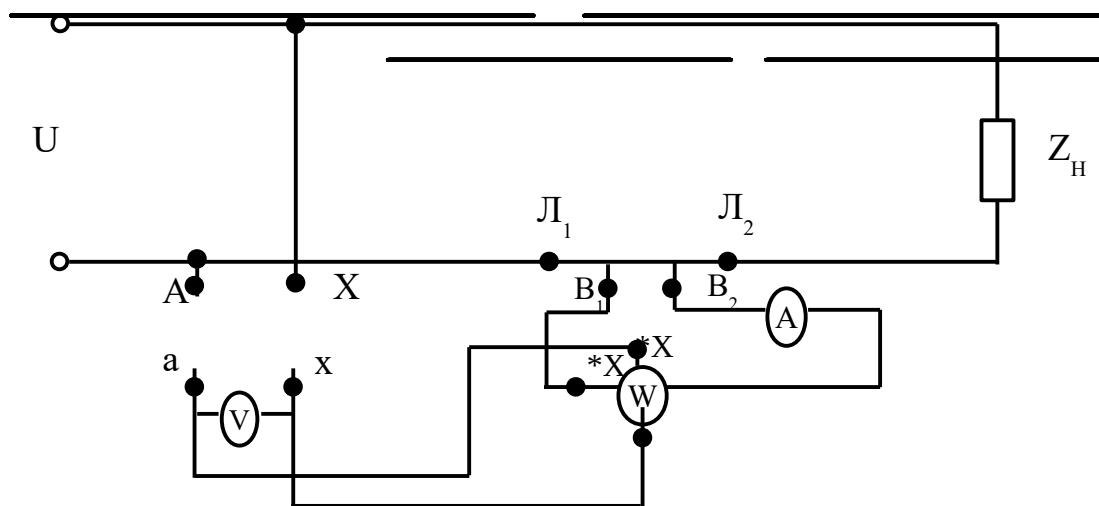


Рисунок 9.4

При такому з'єднанні генераторні затискачі ватметра (помічені зірочкою) повинні бути під'єднані так: затискач I^* ватметра - до режиму I_1 ТТ; затискач U^* ватметра - до затискача «а»-ТН.

Недодержання цих правил призводить до додаткових похибок. Такий самий порядок з'єднання й інших приладів, що мають генераторні затискачі. Значення вимірюваних величин визначають шляхом множення показань приладів (I_2, U_2 чи P_w) на номінальні коефіцієнти трансформації:

$$K_{IH} = I_{1H} / I_{2H} \quad K_H = U_{1H} / U_{2H}. \quad (9.5)$$

Величини $I_{1H}, I_{2H}, U_{1H}, U_{2H}$ вказані на щитку трансформатора.

Однак відношення струмів і напруг первинної і вторинної обмоток постійні тільки в ідеального трансформатора. У реальних трансформаторах дійсні значення коефіцієнтів трансформації залежать від режиму роботи трансформатора (характеру і значення навантаження вторинного кола, частоти струму, якості магнітопроводу і т.д.). Тому вираховані за показаннями приладів значення напруг $U_1 = K_H$ чи струмів $I'_1 = K_{IH} I_2$ відрізняються від дійсних значень U_1 чи I_1 .

Відносну похибку внаслідок нерівності дійсного і номінального значень коефіцієнтів трансформації визначають за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \delta_I &= \frac{I'_1 - I_1}{I_1} \cdot 100 = \frac{K_{IH} - K_{ID}}{K_{Ig}} \cdot 100 \\ \delta_U &= \frac{U'_1 - U_1}{U_1} \cdot 100 = \frac{K_{UH} - K_{UD}}{K_{UD}} \cdot 100 \end{aligned} \right\}, \quad (9.6)$$

де $K_{ID} = I_1 / I_2$, $K_{UD} = U_1 / U_2$ – дійсні коефіцієнти трансформації.

Окрім того, в реальних вимірювальних трансформаторах є ще і кутова похибка, яка виникає за рахунок фазового зсуву вторинних величин відносно первинних. Кутова похибка має суттєве значення при використанні вимірювальних трансформаторів для вимірювання потужності і в інших випадках [3, с.80-88]).

9.2 Підготовка до роботи

9.2.1 Вивчити теоретичний матеріал з масштабних вимірювальних перетворювачів [3, с.79-88, 141-142].

9.2.2 Відповісти письмово на такі запитання:

а) шкала міліамперметра магнітоелектричної системи з опором 4 Ом розбита на 300 поділок, ціна поділки 0,1 мА/поділ.

Визначити:

1) опір шунта, якщо цим приладом необхідно виміряти струм 15 А;

2) величину додаткового опору, якщо цим приладом необхідно виміряти напругу 150 В;

б) намалювати і пояснити схему під'єднання ватметра з $U_H=150$ В і $I_H=5$ А в мережу змінного струму з

$$U = 100\text{В} \quad i \quad I = 20\text{А},$$

$$U = 500\text{В} \quad i \quad I = 20\text{А};$$

в) які величини є паспортними для вимірювальних трансформаторів струму і напруги? Чим обмежується кількість приладів, під'єднаних до вимірювальних трансформаторів?

г) в чому полягає процес градуювання вимірювальних приладів?

9.3 Робоче завдання

9.3.1 Ознайомитись з вибраними для роботи приладами, їх основними характеристиками. Дані приладів занести до таблиці 9.1.

Таблиця 9.1

Найменування приладу	Система приладу	Тип приладу	Величини Вид вимірюваної	Межі вимірювання	Ціна поділки	Клас точності	Заводський номер	Рік випуску

9.3.2 Розширити межі вимірювання вольтметра магнітоелектричної системи М45М до величини, вказаної викладачем. Послідовність операцій рекомендується така.

9.3.2.1 Виміряти мостом постійного струму внутрішній опір вольтметра r_v на заданій межі вимірювання і розрахувати величину додаткового опору.

9.3.2.2 За результатами розрахунку підібрати додатковий опір і провести градуювання регульованого вольтметра, склавши схему (рисунок 9.5).

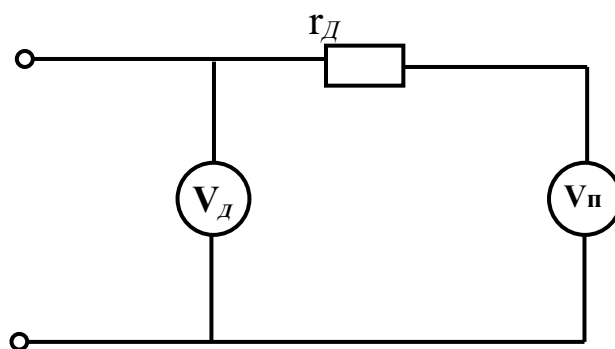


Рисунок 9.5

У схемі (рисунок 9.5) V_0 - зразковий вольтметр В7-27; V - регульований вольтметр М45М; r_d - додатковий резистор, в якості якого використовується магазин опорів Р33.

Регулюючи напругу джерела живлення, встановити стрілку зразкового вольтметра на відмітку шкали, що відповідає значенню напруги, до якої розширялись межі вимірювання вольтметра М45М. При цьому стрілка регульованого вольтметра повинна відхилитися до номінальної відмітки на шкалі. Якщо межа вимірювання відрізняється від необхідного опору, то величину додаткового опору необхідно змінити в потрібний бік.

Зменшуючи напругу від номінальної до нуля, встановлювати стрілку градуйованого вольтметра по чергово на всіх оцифрованих поділках шкали (хід донизу).

Показання приладів, що відповідають положенню стрілки регульованого вольтметра V_{II} на кожній оцифрованій подільці шкали, і показання зразкового вольтметра V_{DI} занести до таблиці 9.2. Далі повторити вимірювання у зворотному порядку, змінюючи напругу від нуля до номінального (хід угору). Показання приладів V і V_{D2} занести в ту ж саму таблицю.

Таблиця 9.2

Результати вимірювань і розрахунку						
V_{II} , поділка шкали	V_{DI} , В	V_{D2} , В	r_v , Ом	$U_{оср}$, В	r_D , Ом	$r_{D_{екс}}$, Ом

9.4 Аналіз отриманих результатів та висновки

9.4.1 За даними результатів вимірювань, наведеними у таблиці 9.2, побудувати градууювальну криву вольтметра з додатковим резистором $U_{оср.} = f(U_{поділ. шкали})$.

9.4.2 Зробити висновки з роботи. У висновках вказати причини, які обмежують межі вимірювань приладів магнітоелектричної системи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10

ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ, ВЕЛИКИХ І СЕРЕДНІХ ОПОРІВ

Мета роботи: ознайомитися з методиками і засобами вимірювання малих, великих і середніх опорів, а також з оцінкою похибок вимірювань.

10.1 Пояснення до роботи

Опори в діапазоні від 10^{-8} до 1 Ом належать до малих, від 1 Ом до 10^6 Ом – до середніх, вище 10^6 Ом – до великих.

Прямими називаються методи вимірювання, при яких шукані величини знаходять безпосередньо із дослідних даних.

Середні опори вимірюють одинарними мостами постійного струму, цифровими електронними і магнітоелектричними омметрами.

Для вимірювання з високою точністю застосовують мости постійного струму, класи точності яких знаходяться у діапазоні 0,005; 0,01; 0,02.

Мости постійного струму належать до засобів вимірювання, що діють за принципом порівнювання вимірюваної величини з мірою (зразкові опори плечей моста).

Схема моста для вимірювання середніх опорів наведена на рисунку 10.1.

Значення шуканого опору визначається за формулою

$$R_X + 2R_{\text{пров}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3} .$$

Малі опори вимірюють подвійними мостами постійного струму, одинарними мостами та електронними міліомметрами.

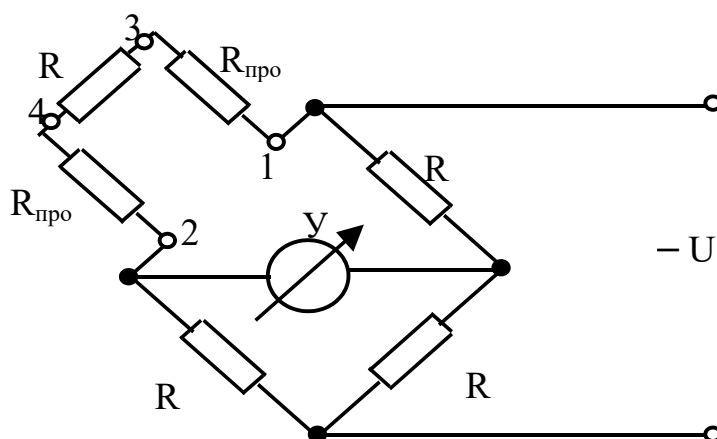


Рисунок 10.1

Схема одинарного моста для вимірювання малих опорів наведена на рисунку 10.2. Це схема з чотирма затискачами вмикання вимірюваного опору, в якій виключений вплив на вимірюваний опір підвідних проводів.

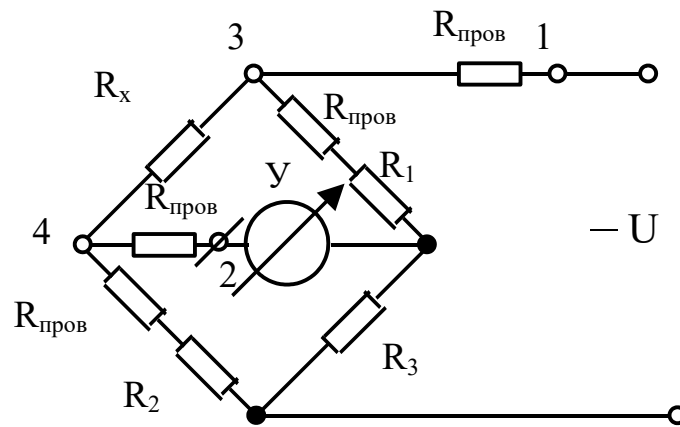


Рисунок 10.2

Діапазон вимірюваних опорів цієї схеми 10^{-4} , 10 Ом. Клас точності моста в цьому діапазоні 0,02 , 1,0.

Вимірювання великих опорів проводять одинарними мостами постійного струму, цифровими омметрами, електронними і магнітоелектричними мегаомметрами.

Найпростішими є магнітоелектричні мегаомметри, побудовані на основі логотричного механізму. Їх діапазон вимірювань 10^5 , 10^9 Ом. Клас точності не нормується.

При посередніх методах вимірювань шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною й іншими, визначеними шляхом прямих вимірювань.

Посередні вимірювання опорів звичайно виконують методом *амперметра і вольтметра*. Цей метод можна використовувати для вимірювання опорів усіх діапазонів. Йому відповідають два варіанти з'єднання вимірювальних приладів і випробного резистора, наведені на рисунках 10.3,а,б.

При з'єднанні за варіантом *а*

$$r_X = \frac{U_v}{I - \frac{U_v}{r_v}}; \tag{10.1}$$

при використанні варіанта *б*

$$r_X = \frac{U - I_X \cdot r_A}{I_X}. \tag{10.2}$$

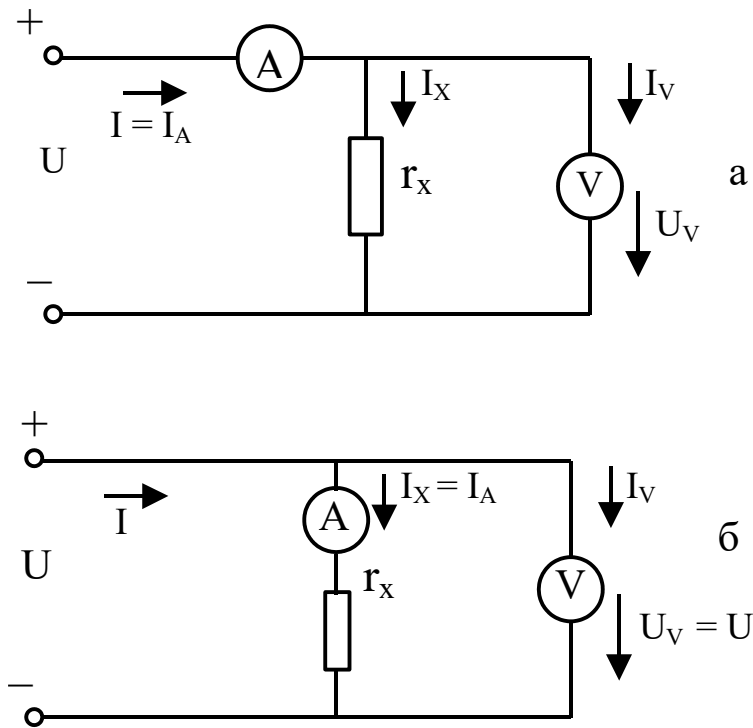


Рисунок 10.3

Похибка результатів посередніх вимірювань, отриманих після обчислення за виразами (10.1) або (10.2), визначається інструментальними похибками прямих вимірювань величин I і UV , I_X і U і похибками, з якими відомі внутрішні опори r_V і r_A .

Однак у ряді випадків, замість точних за своєю фізичною суттю виразів (10.1), (10.2), використовують приблизні співвідношення, одержані з (10.1), (10.2) при умові

$$r_v \rightarrow \infty; \quad r_A \rightarrow 0;$$

$$r'_X = \frac{U_v}{I}; \tag{10.3}$$

$$r''_X = \frac{U}{I_X}. \tag{10.4}$$

Застосування наближених залежностей вносить у результати вимірювань опору методичну похибку, яка для варіанта *a* складає

$$\delta'_{мет} = \frac{r'_X - r_X}{r_X} \cdot 100\% = -\frac{r_X}{r_X + r_v} \cdot 100\% ; \quad (10.5)$$

а для варіанта б

$$\delta''_{мет} = \frac{r''_X - r_X}{r_X} \cdot 100\% = -\frac{r_A}{r_X} \cdot 100\% . \quad (10.6)$$

З (10.5), (10.6) видно, що при використанні приблизних співвідношень варіант а переважає, якщо $r_X \ll r_v$ («малі» вимірювані опори), а варіант б – при $r_X \gg r_A$ («великі» вимірювані опори). Невиконання цих умов може призвести до таких значних методичних похибок, що результат вимірювань буде повністю знецінений.

10.2 Підготовка до роботи

10.2.1 Вивчити теоретичний матеріал з методів і засобів вимірювання малих, середніх і великих опорів.

10.2.2 Відповісти письмово на такі запитання:

- а) які опори належать до малих, середніх і великих?
- б) основні методи і засоби вимірювання малих, середніх і великих опорів;
- в) позитивні якості і негативні методи амперметра і вольтметра для вимірювання опорів;
- г) записати і пояснити умову рівноваги моста;
- д) що означає число класу точності моста?
- е) чим відрізняються чутливість моста і мостової схеми; якими виразами вони визначаються?

10.3 Робоче завдання

10.3.1 Вимірювання малих опорів.

10.3.1.1 Ознайомитися з конструкцією та особливістю вимірювання одинарним мостом постійного струму малих опорів.

Увага! Щоб уникнути перевантаження нуль-індикаторів, починати вимірювання слід при натиснутій кнопці «Грубо», переходячи до кнопки «Точно» тільки на завершальній стадії балансування моста.

10.3.1.2 Виміряти одинарним мостом постійного струму опори проводів (за вказівкою викладача). Результати занести до таблиці 10.1.

Таблиця 10.1

Опори, що вимірюються	Малі опори		Середні опори						Великі опори		
	Дроти		Резистори		Прилади				Опори ізоляції		
	$R_{1n},$ МОм	$R_{1n},$ МОм	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_{A1},$ Ом	$R_{V1},$ Ом	$R_{A2},$ Ом	$R_{V2},$ Ом	$R_{u12},$ МОм	$R_{u1},$ МОм	$R_{u2},$ МОм
r											
g											
$D r$											

10.3.2. Вимірювання середніх опорів.

10.3.2.1 Виміряти за допомогою моста постійного струму опори резисторів стенда УЛС (за вказівкою викладача) і занести результати до таблиці 10.1.

10.3.2.2 Виміряти за допомогою моста внутрішні опори амперметрів і вольтметрів (прилади і межі вимірювань, на яких визначаються опори, вказуються викладачем). Результати занести до таблиці 10.1.

10.3.2.3 Виміряти методом амперметра і вольтметра опір резистора (за вказівкою викладача), використовуючи варіанти а і б з єднання вимірювальних приладів і випробного резистора. Як джерело напруги застосувати джерело «12 В_{рег.}»; вимірювальні прилади вказуються викладачем. Показання приладів занести до таблиці 10.2.

10.3.2.4 Повторити вимірювання, вказані в п.2.3, стосовно резистора r_{17} , використовуючи джерело «110 В_{рег.}» та вказані викладачем вимірювальні прилади. Показання приладів занести до таблиці 10.2.

Таблиця 10.2

Резистор стенда УЛС, що досліджу- ється	Варіант схеми з'єднання	Виміри		Розрахунок				
		$U_V,$ В	$I_A,$ А	$r_X,$ Ом	$r'_X,$ Ом	$r''_X,$ Ом	$d'_{мет},$ %	$d''_{мет},$ %
r	<i>a</i>							
	<i>б</i>							
r_{17}	<i>a</i>							
	<i>б</i>							

10.3.3 Вимірювання великих опорів.

10.3.3.1 Ознайомитися з наявною апаратурою для вимірювання великих опорів.

10.3.3.2 Користуючись мегаомметром, визначити опір ізоляції двопровідної лінії і опір ізоляції між кожним проводом і землею. Результати вимірювань записати до таблиці 10.1.

Увага! При роботі з мегаомметром необхідно звернути увагу на те, що напруга на його затискачах може бути 500 , 2000 В.

10.4 Методичні вказівки до виконання роботи

Для обмеження потужності, що розсіюється в резисторі r , при виконанні п.10.3.2.3 робочого завдання слід встановити струм через резистор не більше 0,5 А.

Враховуючи, що в роботі використовується напруга «= 110 В_{рег}» і мегаомметр, необхідно приділити особливу увагу правилам техніки безпеки.

10.5 Аналіз отриманих результатів

10.5.1 Записати відносні і вирахувати абсолютні похибки вимірювань пп.10.3.1.2, 10.3.2.1, 10.3.2.2. Занести ці результати до таблиці 10.1.

10.5.2 Вирахувати величини $r_X, r'_X, r''_X, \delta'_{мет}, \delta''_{мет}$, занести їх до таблиці 10.2. Порівняти значення $\delta'_{мет}$, що належать до вимірів r і r_{17} , встановити причину їх відміни. Повторити те ж саме для значень $\delta''_{мет}$.

10.5.3 Вивести залежності, що зв'язують абсолютні похибки результатів обчислень за формулами (10.1) і (10.2) з похибками прямих вимірювань, що входять у праві частини виразів (10.1) і (10.2). Встановити форму запису цих результатів за ГОСТ 8.011-72.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Електротехника / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985.
- 2 Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 3 Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоиздат, 1987.
- 4 Электрические измерения / Под ред. В.Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

Режими роботи трифазного кола	Виміряне									Обчислене						
	$I_{AB},$ А	$I_{BC},$ А	$I_{CA},$ А	$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$U_{AB},$ В	$U_{BC},$ В	$U_{CA},$ В	$R_{AB},$ Ом	$R_{BC},$ Ом	$R_{CA},$ Ом	$P_{AB},$ Вт	$P_{BC},$ Вт	$P_{CA},$ Вт	$P,$ Вт
Симетричне навантаження фаз																
Обрив лінійного проводу при симетричному навантаженні фаз																
Несиметричне навантаження фаз																
Обрив лінійного проводу при несиметричному навантаженні фаз																

Таблиця 6.1

