

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та
електромеханіки

ФІЗИКА

Модуль 4: «Електростатика, постійний електричний струм» методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт здобувачами початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв

2023

УДК 53(072)
Ф48

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 07.12.2023, протокол № 4.

Укладач

Вахоніна Лариса – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти

Грубань Василь - канд. тех. наук доцент кафедри тракторів та сільськогосподарського виробництва, Миколаївський національний аграрний університет.

Ставинський Андрій – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2023

Зміст

Вступ.....	4
Лабораторна робота №1	
Будова і принцип роботи основних електровимірювальних приладів.....	9
Лабораторна робота №2	
Розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів.....	25
Лабораторна робота №3	
Визначення опору методом мостової схеми».....	36
Лабораторна робота №4	
Дослідження залежності опору метала від температури.....	45
Лабораторна робота №5	
Дослідження термоелектрорушійної сили термопари	48
Література.....	56

ВСТУП

У процесі занять студенти вчаться застосовувати набуті теоретичні знання. Вивчення теорії на прикладах, взятих із життя і досягнень науки та техніки, чітка організація практичних знань, високі вимоги до студентів сприяють вихованню якостей, які повинен мати майбутній спеціаліст.

Студент має ґрунтовно опрацювати відповідний лекційний матеріал, визначати незрозумілі питання для з'ясування під час занять, виконувати лабораторні роботи та домашнє завдання.

Для засвоєння матеріалу, розширення та поглиблення знань, з'ясування функціональної залежності фізичних величин, встановлення зв'язку теорії з практикою, розвитку самостійного мислення і навичок самостійної роботи – виконання лабораторних робіт має першорядне значення. Отже, для виконання лабораторних робіт недостатньо формального знання фізичних законів. Для цього необхідне міркування, аналітично мислити, розуміти чому так, а не інакше.

Перед тим, як виконувати лабораторну роботу, студент повинен вивчити відповідний лекційний матеріал за літературою, рекомендованою викладачем, зрозуміти завдання до теми заняття, відповісти на запитання, поставлені до даної теми.

Підготовка до виконання робіт.

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен:

- опрацювати інструкцію до роботи, законспектувати її;
- знати мету виконання роботи та основні її завдання;

- усвідомити основні теоретичні положення і закони, на яких базується виконання роботи;
- якщо самостійне опрацювання матеріалу за літературою, вказаною в інструкції виявилось недостатнім для розуміння суті явищ чи процесів, слід звернутися за консультацією до викладача;
- ознайомитись з робочим місцем та обладнанням, яке використовується в процесі виконання роботи;
- якщо спосіб використання окремого обладнання студенту невідомий, то йому потрібно взяти у лаборанта технічну інструкцію до цього обладнання і опрацювати її;
- рівень роботи студента з обладнанням оцінює лаборант;
- чітко розмежувати величини, які слід виміряти в ході виконання роботи і величини, які будуть обчислені;
- знати порядок виконання роботи та послідовність операцій;
- підготувати таблиці для запису результатів вимірювань і обчислень, а також папір для побудови графіків.

Вказівки щодо допуску до виконання лабораторних робіт

Допуск до виконання лабораторних робіт дає керівник занять. У співбесіді зі студентом (або бригадою) виявляється ступінь їх готовності до заняття. Якщо студент не може сформулювати основні положення теорії, на яких базується робота, описати послідовність виконання досліджень, не вміє працювати з обладнанням – то він до виконання роботи не допускається.

Після отримання допуску студенти одержують додатковий інструктаж на робочому місці стосовно конкретної роботи, уточнені

завдання до роботи, беруть в лаборанта додаткове обладнання чи прилади. Допуск студентів до виконання робіт оцінюється і фіксується в лабораторному журналі.

Виконання лабораторних робіт та вимоги техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт слід дотримуватись таких правил:

1. Дотримуватись розпорядку роботи в лабораторії і правил техніки безпеки, з якими студенти ознайомлені на вступному занятті та при допуску до виконання роботи.
2. Без перевірки викладачем або лаборантом готовності до дії установки і електричної схеми не можна починати вимірювання, щоб не зіпсувати прилади.
3. Не можна брати без дозволу прилади з інших робочих місць.
4. Якщо в процесі виконання роботи виникають неполадки в роботі приладів або обладнання, про це слід негайно повідомити керівника заняття і лаборанта. Самостійно налагоджувати роботу приладів не дозволяється.
5. Будьте обережні, в роботах використовується висока напруга.
6. Результати вимірювань занести до таблиці, заздалегідь продумавши їх форму, якщо вона не вказана в інструкції.
7. Вимірювання кожної величини проводити не менше трьох разів, щоб звести до мінімуму похибки.
8. Після закінчення експерименту, не розбираючи пристрою, слід обчислити кінцеві результати; якщо вони не задовільні, треба заново провести вимірювання.

9. Обговорити з керівником занять чи лаборантом отримані результати. Вони підписуються викладачем або лаборантом.
10. При захисті лабораторних робіт студент подає короткий письмовий звіт з результатами вимірювань, обчисленими величинами та побудованими графіками, висновками. В процесі захисту він повинен відповісти на поставлені керівником занять питання стосовно лабораторної роботи чи окремих її частин.
11. Рекомендується в кінці заняття звітувати за попередньо виконані лабораторні роботи.
12. Якщо студент не захистив більше трьох виконаних лабораторних робіт, він може бути не допущений до виконання наступних.

Відпрацювання лабораторних робіт.

- Якщо студент не був допущений до виконання робіт через свою невідповідність, або ж пропустив заняття по хворобі чи іншій причині, то відпрацювання пропущених робіт проводиться у дні та години, вказані у графіку роботи лабораторії.
- Студент повинен отримати допуск до заняття, виконати всі дослідження, обробити результати вимірювання і обговорити їх з викладачем чи лаборантом.
- В лабораторному журналі фіксується дата відпрацювання таких занять.

Вимоги до оформлення графіків.

При побудові графіків слід дотримуватись таких правил:

1. Графік повинен мати назву – залежність між якими величинами він показує.
2. Позначити осі координат і одиниці вимірювання величин.
3. Вибрати раціональний масштаб осей (прямий однаковий, прямий різний, обернений, логарифмічний, напівлогарифмічний, квадратичний тощо). Вибраний масштаб повинен на графіку зобразити залежність досліджуваних величин прямою лінією. Якщо в роботі вибір масштабу не вказано, зробіть це самі.
4. Вказати мічені (оцифровані) та глухі (неоцифровані) поділки шкал.
5. Графік повинен займати всю площу рисунка.
6. Лінія графіка повинна усереднювати визначені величини в межах похибок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета: ознайомитись з принципом роботи електровимірних приладів.

В залежності від того, яке фізичне явище використовується в даному приладі для вимірювання, електровимірювальні прилади поділяються на системи. Розрізняють такі основні системи електровимірювальних приладів.

а) Магнітоелектрична система.

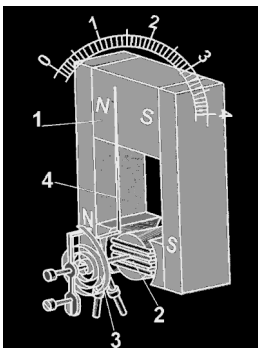


Рис. 1.1

Принцип дії приладів магнітоелектричної системи ґрунтується на дії магнітного поля постійного магніту на рухому котушку, по якій протікає струм, величину якого необхідно виміряти. Схема будови такого приладу приведена на рис.

1.1. Магнітне поле створюється сильним постійним магнітом підковоподібної форми. До ніжок цього магніту прикріплені полюсні наконечники (N, S), які вгнутими циліндричними поверхнями обернені один до одного. Між цими наконечниками нерухомо закріплено залізний циліндр дещо меншого радіуса. Цей циліндр служить магнітопроводом, і тим самим зменшує втрати магнітного поля між полюсними наконечниками.

У невеликому повітряному щілині між залізним циліндром і полюсними наконечниками може вільно обертатися на осі котушка 2, яка охоплює залізний циліндр. Котушка складається з алюмінієвого каркаса прямокутної форми, на якому намотана тонка дротина.

На осі котушки закріплена стрілка **4**, кінець якої переміщується над шкалою з поділками. Взаємодія струму, що проходить по обмотці котушки, і магнітного поля в повітряній щілині зумовлює виникнення обертового моменту, під дією якого котушка намагається обертатися на осі. Момент протидії створюють дві спіральні пружини **3**, які закручені в протилежні сторони і одночасно служать для підведення струму. При пропусканні постійного струму через котушку, за рахунок взаємодії струму з магнітним полем магніту котушка буде обертатись навколо осі до тих пір, поки момент протидії пружин, який зростає із збільшенням кута повороту котушки, не стане рівним обертовому моменту. Оскільки момент протидії пружин пропорційний до кута закручування, то кут відхилення котушки і з'єднаної з нею стрілки буде пропорційний силі струму, що протікає по котушці.

Лінійна залежність між струмом і кутом відхилення стрілки дає можливість зробити шкалу приладу рівномірною. Через те, що каркас рухомої котушки виготовлений з алюмінію, тобто, з провідника, то при русі в магнітному полі індукційні струми, що виникають у ньому створюють гальмівний момент, який обумовлює швидке заспокоєння стрілки.

Прилади магнітоелектричної системи використовують для вимірювань тільки у колах постійного струму. Постійний струм необхідно пропускати через котушку в одному визначеному напрямі. Прилади, які мають такі властивості, називаються поляризованими і мають на своїх затискачах позначення “+” і “-“. Якщо дивитися на прилад зі сторони шкали, то знак “+” ставиться біля правого затис-

кача (клеми). При вмиканні приладу в коло до цього затискача підводять провідник від додатного затискача джерела струму. Ця вимога не стосується приладів, в які мають нульову поділку посередині шкали.

До переваг приладів магнітоелектричної системи відносяться:

- а) висока чутливість і точність показів;
- б) нечутливість до зовнішніх магнітних полів;
- в) мале споживання енергії;
- г) рівномірність шкали;
- д) аперіодичність (стрілка швидко встановлюється на певній

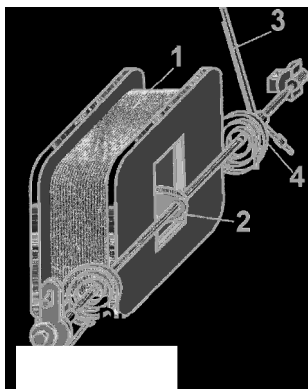
поділці шкали практично без коливань).

До недоліків приладів цієї системи можна віднести:

- а) можливість проводити вимірювання тільки в колі постійного струму;
- б) чутливість до перевантажень.

в) Електромагнітна система.

Принцип дії приладів електромагнітної системи заснований на взаємодії магнітного поля котушки, по якій протікає вимірювальний струм, і залізного осердя, яке є одночасно рухомою частиною.



На рис. 1.2. приведена конструкція приладу цієї системи, яка найчастіше зустрічається.

Струм, який необхідно виміряти, проходить по котушки 1, що має плоску форму з вузькою щілиною. Залізне осердя 2, яке має форму еліпса, закріплене ексцентрично на осі і може входити в щілину котушки, обертаючись навколо цієї осі. Під дією магнітно-

го поля котушки осердя намагається розміститися так, щоб його поверхню перетинало як найбільше ліній індукції. Із збільшенням сили струму в котушці **1** осердя **2** буде з більшою силою втягуватися в щілину котушки, і тим самим повертати на більший кут вісь, до якої прикріплена тоненька алюмінієва стрілка **3**. Момент протидії створюється спіральною пружиною **4**.

Прилади електромагнітної системи мають повітряний заспокоювач - циліндричну камеру, в якій рухається легкий алюмінієвий поршень. При обертанні осердя на поршень діє сила опору повітря, внаслідок чого коливання рухомої частини приладу швидко згасає.

Залізний сердечник **2** втягується в щілину котушки **1** тим сильніше, чим більша величина магнітного потоку всередині щілини і чим більша намагніченість самого осердя. В першому наближенні можна вважати, що і величина магнітного потоку всередині щілини, і намагніченість осердя пропорційні напруженості магнітного поля, яке створюється котушкою, а, значить, і силі струму в котушці. Отже, обертовий момент буде пропорційний квадрату сили струму, що протікає в котушці.

Оскільки при зміні напрямку струму в котушці міняється як напрям магнітного поля, так і полярність намагнічення осердя, то зміна напрямку струму не викличе зміни напрямку обертового моменту, що діє на рухому частину приладу. Отже, прилади електромагнітної системи можуть бути використані як при вимірюванні на постійному, так і на змінному струмах. Із-за квадратичної залежно-

сті обертового моменту від сили струму, шкала приладів даної системи є нерівномірною.

Переваги приладів електромагнітної системи:

а) можливість проводити вимірювання як постійного, так і змінного струму;

б) простота конструкції;

в) механічна стійкість (міцність);

г) витривалість до перевантажень.

Недоліки приладів даної системи:

а) нерівномірність шкали;

б) недостатня аперіодичність;

в) дещо менша точність, порівняно з приладами магнітоелектричної системи;

г) залежність показів від зовнішніх магнітних полів.

с) Електродинамічна система.

Будову приладу електромагнітної системи видно із схематичного рисунка 3.

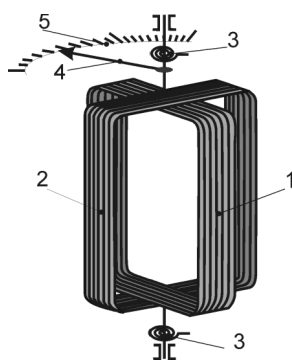


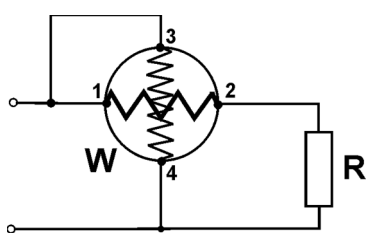
Рис. 1.3

Всередині нерухомо закріпленої котушки 1 може обертатись на осі рухома котушка 2, до якої жорстко прикріплена стрілка 4, що переміщується над шкалою 5. Момент протидії створюється двома спіральними пружинами 3, як і в приладах магнітоелектричної системи. Струм, який необхідно виміряти, проходить через обидві котушки. В результаті взаємодії магнітного поля нерухомої котушки 1 і струму в рухомій створюється обертовий момент, під впливом якого рухома

котушка буде намагатись повернутися так, щоб площина її витків встановилась паралельно до площини витків нерухомої котушки, а їх магнітні поля співпадали б за напрямом. Цьому протидіють пружинки 3, внаслідок чого рухома котушка встановиться в такому положенні, коли обертовий момент буде дорівнювати протидіючому.

Котушки в приладах електродинамічної системи, в залежності від призначення, можуть бути з'єднані між собою як паралельно, так і послідовно. Якщо котушки приладу з'єднати паралельно, то такий прилад може бути використаний як амперметр. Якщо котушки з'єднати послідовно і приєднати до них додатковий опір, то такий прилад може бути використаний як вольтметр. При зміні напрямку струму в обох котушках напрям обертового моменту не змінюється. Тому прилади електродинамічної системи можуть використовуватись як для вимірювань на постійному, так і на змінному струмах.

Аперіодичність в цих приладах, аналогічно як і в електромагнітних, досягається при допомозі повітряного заспокоювача. При ви-



мірюванні в електричному колі потужності, що споживається з електричної мережі, широко використовується електродинамічний ватметр.

рис.1.4 Схема вмикання ватметра в електричне коло приведена на рисунку. Він має дві котушки: нерухому 1-2 (рис.1.4), яка має невелике число витків з товстого дроту, і вмикається послідовно з тією ділянкою кола, в якій необхідно виміряти споживану потужність; і рухома котушка 3-4, яка має велику кількість витків з тон-

кого дроту, і розміщена на осі всередині нерухомої котушки. На цій же осі закріплена стрілка, поршень повітряного заспокоювача і дві спіральні пружинки, які служать для створення протидіючого моменту і підведення струму до рухомої котушки. Рухома котушка вмикається в електричне коло паралельно до цієї ділянки, де вимірюється споживана потужність. Для збільшення опору рухомої котушки послідовно з нею в приладі ввімкнено додатковий опір R_d .

В даному випадку сила взаємодії між котушками, а, значить, і кут обертання рухомої котушки пропорційні силі струму в нерухомій котушці і напрузі на затискачах рухомої котушки, тобто, пропорційні потужності, що споживається в електричному колі. Отже, відхилення рухомої частини приладу пропорційне потужності і тому шкалу приладу можна проградувати у ватах. З цього також випливає, що на відміну від електродинамічних амперметрів і вольтметрів, ватметр цієї системи має рівномірну шкалу.

Переваги приладів електродинамічної системи:

- а) можливість проводити вимірювання у колах постійного струму і змінного струму;
- б) достатня точність.

Недоліки приладів електродинамічної системи:

- а) нерівномірність шкали амперметрів і вольтметрів цієї системи;
- б) чутливість до зовнішніх магнітних полів;
- в) велика чутливість до перевантажень;
- г) висока ціна цих приладів.

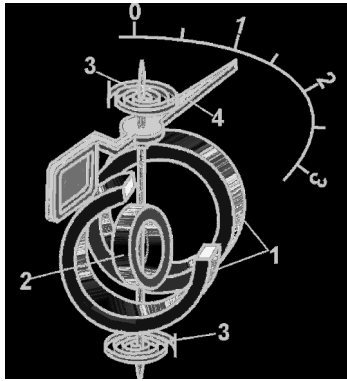


Рис. 1.5

Електродинамічні амперметри і вольтметри використовуються, головним чином, як контрольні прилади при вимірюваннях у колах змінного струму. Для вимірювання постійного струму такі прилади використовувати недоцільно, оскільки вони дорожчі від магнітоелектричних і не мають в порів-

нянні з ними жодних переваг.

Є електродинамічні прилади, що складаються з трьох котушок (Рис. 1.5): двох нерухомих 1 і однієї рухомої 2, сполученої з легенькою алюмінієвою стрілкою 4. Котушка 2 обертається всередині двох нерухомих. По котушках 1 проходить струм однакового напрямку, а по рухомій 2 – у напрямі, перпендикулярному до згаданого. Чим більший іде струм, тим на більший кут повертається рухома котушка, розкручуючи спіральні пружинки 3, які створюють протидіючий момент. Ці ж пружинки за відсутності струму повертають рухоми котушку і сполучену з нею стрілку у вихідне положення. Шкала цих приладів теж є нерівномірною.

д) Теплові прилади. Як вказує сама назва, у цих приладах використано теплову дію струму. Основною частиною в цих приладах є тонка дротинка, що витримує високу температуру (переважно її виготовляють із сплаву срібла і платини), закріплена в двох тачках А і В (рис. 1.6). До середини цієї дротинки припаяна металева нитка EF, яка відтягується тонкою шовковою ниткою CD, перекинutoю через коліщатко R. Другий кінець цієї нитки прикріплений до сталеві пружини K, яка створює натяг нитки. До коліщатка прикріп-

лена легенька стрілка **N**, кінець якої переміщається по шкалі **S**. Якщо проходить струм по дротинці **AB**, то вона видовжується внаслідок нагрівання її струмом, і пружина, відтягуючи металеву нитку **EF**, приводить до обертання коліщатка **R** і, тим самим, до відхилення стрілки **N**. Оскільки кількість теплоти, що виділяється струмом, пропорційна квадрату сили струму, то приладами теплової системи можна вимірювати як постійний, так і змінний струм. По цій же причині шкала теплових приладів нерівномірна. Слабким місцем цих приладів є те, що положення стрілки на шкалі залежить від навколишньої температури. Тому перед початком роботи необхідно

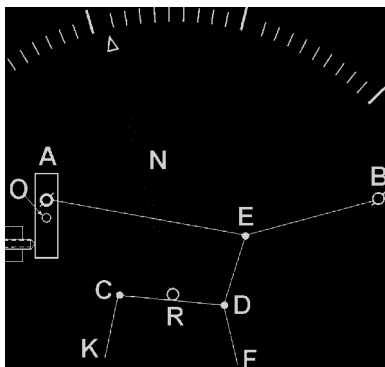


Рис. 1.6

за допомогою спеціального пристрою **M** (рис. 1.6) встановити стрілку на нульову поділку шкали.

Позитивні якості приладів теплової системи:

а) можливість вимірювань як на постійному, так і на змінному стру-

мах;

б) незалежність показів від частоти і форми кривої змінного струму;

в) нечутливість до зовнішніх магнітних полів.

До недоліків теплових приладів можна віднести:

а) нерівномірність шкали;

б) наявність теплової інерції, в зв'язку з тим необхідно вичікувати деякий час, щоб стрілка приладу остаточно встановилася;

в) залежність показів від температури;

г) висока ціна приладів.

е) Індукційна система.

Будова приладів індукційної системи заснована на взаємодії струмів, що індукуються в рухомій частині приладу, з магнітними потоками нерухомих електромагнітів. Схематичне зображення такого приладу приведене на рис. 1.7.

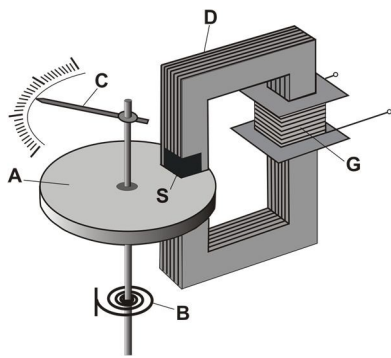
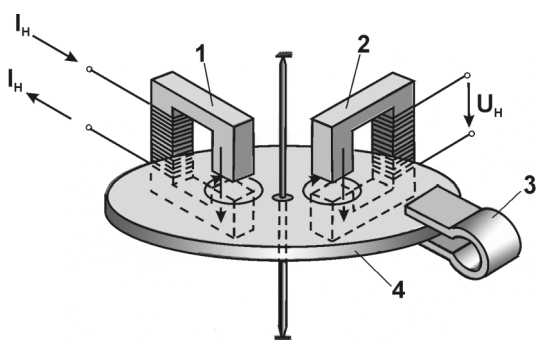


Рис. 1.7

Алюмінієвий диск А жорстко скріплений з віссю, на якій закріплена пружина В і стрілка С. Цей диск може переміщатися в повітряній щілині електромагніту D з обмоткою G. Частина поверхонь обох полюсів електромагніту прикривається мідними або алюмінієвими пластинками S, тобто, ці пластинки виконують роль електромагнітних екранів. Змінний струм, що проходить по обмотці котушки G, створює магнітний потік, який екранами розділяється на два потоки, зсунуті між собою за фазою на деякий кут. Внаслідок цього на диск буде діяти обертовий момент.

До індукційної системи відносяться електричні лічильники змінного струму. Використовуються також і ватметри цієї системи. Щодо амперметрів і вольтметрів індукційної системи, то вони мають дуже обмежене використання.

Електричний лічильник (рис. 1.8) складається з двох електромагнітів 1 і 2, між полюсами яких



може вільно обертатись алюмінієвий диск 4 (в електричних лічильниках протидіючий момент, що

Рис.1.8

створюється спіральною пружиною, відсутній).

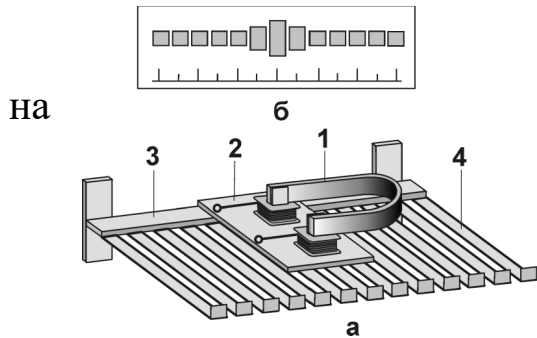
На осердя 1 електромагніту насаджено котушку з малою кількістю витків, виготовленою з товстого дроту. Цю котушку вмикають в коло електромережі послідовно з тією ділянкою кола, де необхідно виміряти витрачену електричну енергію. На електромагніт 2 насаджена ще одна котушка з великою кількістю витків з тонкого дроту, яку вмикають паралельно до вказаної ділянки кола. Коли пропускати змінний струм по цих котушках, утворюються два змінні магнітні потоки, які пронизують диск та індукують у ньому вихрові струми. Внаслідок взаємодії вихрових струмів з магнітними потоками електромагнітів диск починає обертатись. Магнітний потік котушки, ввімкненої послідовно, пропорційний величині струму I , а магнітний потік котушки, ввімкненої паралельно, пропорційний напрузі U . Оскільки обидва потоки діють на диск одночасно, тому швидкість його обертання в кожний момент часу пропорційна і величині струму I , і напрузі U , тобто, потужності $P=IU$. Кількість обертів диску пропорційна електричній енергії $W=IUt$, що споживається, і фіксується лічильним механізмом.

В приладах індукційної системи використовується електромагнітне заспокоєння, яке здійснюється за допомогою постійного магніту 3, між полюсами якого обертається диск. Індукційні струми, що виникають при русі диска, створюють гальмуючий момент.

Відмінною особливістю приладів індукційної системи є те, що вони можуть використовуватися тільки при вимірюваннях у колах змінного струму. Крім цього, індукційними приладами можна ко-

ристуватись тільки при цій частоті струму, для якої вони програду- йовані.

f) Вібраційна система.



Робота цих приладів ґрунтується явищі резонансу, який виникає при співпаданні власної частоти коливань рухомої частини приладу з частотою змінного струму. Прилади цієї систе-

ми

Рис. 1.9

в основному використовуються як герцметри, тобто, як прилади для вимірювання частоти

струму. Герцметр, або інакше частотомір, складається з електромагніта **1** (рис.1.9,а), що живиться струмом, частоту якого необхідно виміряти. Перед полюсами розміщено залізний ярік **2**, кінець якого з'єднаний з планкою **3**. Ця планка одночасно є основою ряду тонких сталевих пластинок – язичків **4**, що мають різну частоту власних коливань. При проходженні струму через обмотку ярік здійснює коливання і разом з ним коливаються язички. При цьому з найбільшою амплітудою буде коливатись той язичок, частота якого дорівнює подвоєній частоті змінного струму. Значення вимірювної частоти визначається за амплітудою язичків, що коливаються, як показано на

рис.1.9,б.

g) Електростатична система.

Будова приладів цієї системи заснована на взаємодії двох або декількох електрично заряджених провідників. Під дією сил елект-

ростатичного поля рухомі провідники **2** переміщуються відносно нерухомих провідників **1** (рис. 1.10).

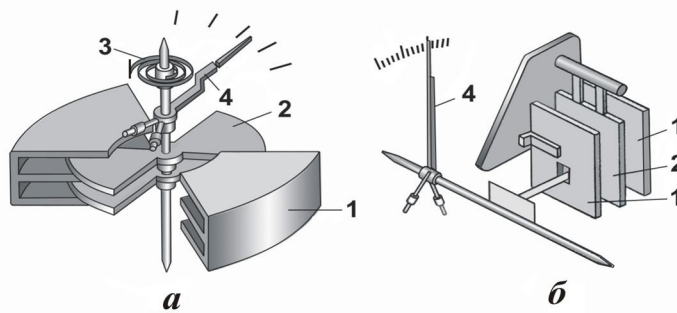


Рис.1.10

Рухомі провідники жорстко закріплені на осі обертання, на якій закріплена стрілка 4, що переміщається над шкалою. Електростатичні прилади служать, як правило, вольтметрами для безпосереднього вимірювання високих напруг.

h) Термоелектрична система.

Ця система характеризується використанням однієї або декількох термопар, які є в тепловому контакті з провідником зі струмом. Під дією тепла, що виділяється струмом, який необхідно виміряти, в термопарах виникає термоелектрорушійна сила (явище Зеєбека). Величина термоелектрорушійної сили прямо пропорційна різниці температур в контактах термопар. Постійний струм, що виникає за рахунок термоелектрорушійної сили в колі термопар, подається у вимірювальний прилад магнітоелектричної системи. Прилади термоелектричної системи використовуються, в основному, при вимірюванні змінних струмів високої частоти.

2. Ціна поділки та клас точності електровимірювальних приладів

З розвитком науки і техніки електричних вимірювань неодмінно підвищуються вимоги до якості електровимірювальних приладів. Перша основна вимога, що ставиться до всіх електричних вимірювальних приладів, полягає в тому, щоб вмикання їх якнайменше впливало на режим в даному електричному колі. Друга вимога ставиться до чутливості і точності, що їх дає прилад. Третя вимога – це незалежність дії і показу приладу від зовнішніх умов (температури, магнітного або електричного поля і т. ін.).

а) Чутливість електровимірювального приладу.

Під чутливістю S електровимірювального приладу розуміють відношення лінійного або кутового переміщення покажчика (стрілки) $d\alpha$ до зміни величини dx , яка вимірюється, і зумовила це переміщення:

$$S = \frac{d\alpha}{dx} \cdot$$

Розмірність чутливості залежить від характеру вимірюваної величини: чутливість приладу до струму, чутливість приладу до напруги і т.д. Наприклад, якщо стрілка міліамперметра відхилилась на одну поділку при протіканні через нього струму величиною $0,5 \text{ mA}$,

то чутливість буде: $S = 1 / 0,5 = 2 \text{ под/мА}$.

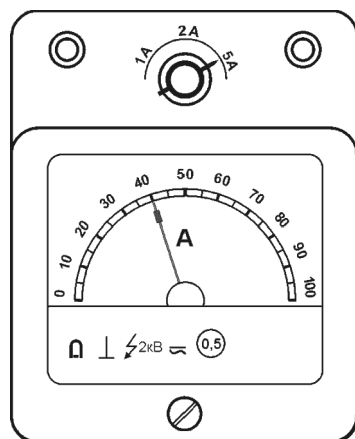


Рис.1.11

б) Ціна поділки шкали приладу. Перед початком проведення електричних вимірювань необхідно визначити ціну поділки шкали

приладу, тобто, значення вимірюваної електричної величини, що викликає відхилення стрілки (вказівника) приладу на одну поділку. В загальному випадку ціна поділки є різницею значень вимірюваної величини для двох сусідніх поділок шкали. Ціна поділки залежить від верхньої і нижньої межі вимірювання приладу і від числа поділок шкали. Особливо це треба мати на увазі тоді, коли використовується при вимірюванні прилад, в якого верхня межа вимірювань має декілька значень (рис. 1.11).

Наприклад, в електричне коло ввімкнено амперметр, верхня межа якого встановлена на 5А (рис. 1.11), а шкала приладу має 100 поділок, то ціна поділки такого приладу дорівнює:

$$G = \frac{5}{100} = 0,05 \frac{A}{\text{под}}$$

Чутливість приладу в даному випадку дорівнюватиме:

$$S = \frac{1}{G} = \frac{1}{0,05} = 20 \frac{\text{под}}{A}$$

с) Клас точності. Однією з важливих характеристик електровимірювального приладу є клас точності, який необхідно знати при визначенні похибки вимірюваної величини. Залежно від ступеня точності показів електровимірювальні прилади поділяються на сім класів, що позначаються відповідно числами: **0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0**. Клас точності приладу вказується на його шкалі числом, вміщеним всередині кола. Наприклад, клас точності приладу, показаного на рисунку 1.12, дорівнює 0,5.

Клас точності приладу, це задане у відсотках відношення допустимої основної абсолютної похибки приладу в робочій частині шкали до верхньої межі вимірювального приладу. Основною похибкою називається похибка при нормальних умовах роботи приладу (певна температура, нормальне положення приладу, відсутність магнітних і електричних полів і т.д.). Причинами основної похибки є тертя в опорах рухомої частини приладу, неточність градування і нанесення шкали і т.д.). Робочою частиною у випадку рівномірної шкали є вся шкала, для нерівномірної – від 25% до 100% від верхньої межі шкали.

Наприклад, якщо необхідно виміряти струм, величина якого біля 2,5А, то при наявності двох амперметрів з однаковим класом точності і з верхньою межею у одного 10А, а в другого – 3А, доцільніше для більшої точності вимірювань використати амперметр з верхньою межею 3А. Цю вимогу задовольняють прилади, що мають кілька меж вимірювань.

Додаткові похибки електровимірювальних приладів, які залежать від зміни температури, частоти струму, положення приладу, впливу зовнішніх магнітних полів, не повинні перевищувати значення класу точності.

Тестові питання.

1. Умовні графічні позначення електровимірювальних приладів.
2. Будова і принцип роботи основних електровимірювальних приладів
3. Позначення класу точності
4. Ціна поділки приладу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2
РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВА-
ЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета: ознайомитись з принципом дії електровимірних приладів і методами розширення меж вимірювання цих приладів.

Електровимірні прилади безпосередньої оцінки засновані на використанні різних фізичних явищ, зв'язаних з проходженням електричного або утворенні електромагнітного поля. Такі фізичні явища, як, наприклад, взаємодія контурів, по яких проходить струм, з полем постійного магніту (магнітоелектричні прилади), взаємодія двох контурів з струмом (електромагнітні прилади), використовуються для перетворення вимірюваної величини в кутове або лінійне переміщення рухомої частини приладу.

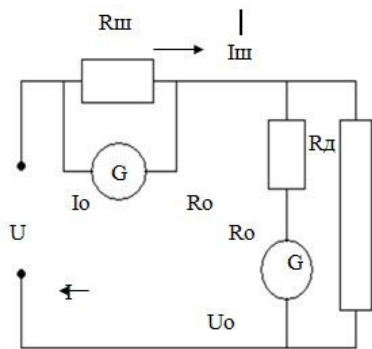
Чутливістю електровимірного приладу називається відношення лінійного або кутового переміщення стрілки до зміни вимірюваної величини, що викликає це переміщення.

Таке означення чутливості приладу не відноситься до інтегруючих приладів (лічильників), відлік яких не може повторюватись.

При рівномірній шкалі чутливість приладу постійна для будь-якої точки шкали. При нерівномірній шкалі чутливість приладу неоднакова, тобто, одній і тій же зміні вимірюваної величини в різних точках шкали відповідають різні лінійні або кутові переміщення стрілки. Чутливість приладу має розмірність, що залежить від характеру вимірюваної величини. Тому говорять: «чутливість до струму», «чутливість до напруги».

Іноді на приладах вказується величина, обернена до чутливості – це ціна однієї поділки – так звана *стала приладу*. Щоб визначити значення вимірюваної величини потрібно ціну поділки помножити на те число поділок, на яке показує стрілка приладу при вимірюванні.

Як відомо, амперметр застосовується для вимірювання струму і



вмикається в коло послідовно з навантаженням, або з паралельним ввімкненням до нього шунта з опором $R_{ш}$, а вольтметр – паралельно до тих точок кола, між якими потрібно виміряти напругу, або в послідовному з'єднанні з додатковим опором $R_{д}$. На рису-

нку показано схематичне ввімкнення амперметра і вольтметра, де G – вимірний прилад з опором R_o , який безпосередньо може виміряти силу струму до значення I_o , і напругу до U_o .

Так, як величина струму, що протікає через вимірний механізм, пропорційна напрузі, прикладеній до затискачів приладу, то, очевидно, що принципової різниці у внутрішній будові амперметрів і вольтметрів може й не бути, тобто, будь-яким амперметром можна вимірювати напругу, а вольтметром – струм. Питання лише в тому, які будуть межі вимірювання приладом при такому його використанні і настільки змінюються параметри, а значить, і режим кола при ввімкненні в нього приладів, особливо якщо джерело, що живить це коло, має малу потужність. Щоб зміна режимів кола була незначною, опір амперметра повинен бути меншим, а опір вольтметра навпаки – більшим. З цієї точки зору важливим критерієм вольтметра є його внутрішній опір в Ом на 1В шкали.

Кожний вимірний прилад базується на визначенні значення струму I_0 та напруги U_0 . Розширення меж вимірювання здійснюється або спеціальною конструкцією приладу або ввімкненням вимірного механізму через шунти у амперметрах або додаткові опори у вольтметрах.

1. Розширення меж вимірювання амперметра та вимірювання струму амперметром

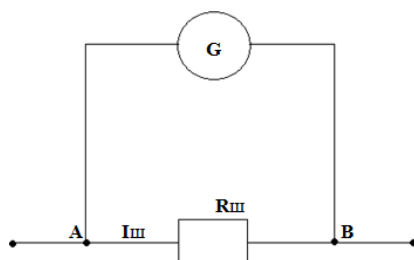
Амперметр – прилад, який застосовується для вимірювання величини струму. Він вмикається у коло послідовно зі споживачем. Будь-який електровимірний прилад при ввімкненні в коло не повинен вносити помітних змін в режим роботи кола. Отже амперметр повинен мати дуже малий внутрішній опір.

Для розширення меж вимірювання струму до приладу G приєднується паралельно провідник опору $R_{ш}$, що називається шунтом (рис. 1).

Опір шунта $R_{ш}$ розраховується таким чином. За першим законом Кірхгофа маємо:

$$I = I_0 + I_{ш} , \quad (1)$$

де I_0 – найбільший струм, який може виміряти прилад без шунта, I – найбільший струм, який буде вимірювати прилад з шунтом.



За другим законом Кірхгофа для контура $AR_0BR_{ш}A$ маємо:

Рис. 1

$$I_0 R_0 - I_{ш} R_{ш} = 0$$

(2)

Підставляючи $I_{ш}$ з формули (1) в формулу (2), одержимо:

$$\frac{I_0}{R_0} = (I - I_0) R_{ш}, \text{ звідки:}$$

$$R_{ш} = \frac{I_0 R_0}{I - I_0} \quad (3)$$

Таким чином, для визначення опору шунта потрібно знати характеристики приладу R_0 , I_0 і те максимальне значення струму I , для якого розраховується шунт. Значення I_0 визначається з формули:

$$I_0 = K_i N, \quad (4)$$

де K_i – ціна поділки приладу по струму, N – число поділок на шкалі приладу.

Формулу (3) можна записати у такому вигляді:

$$R_{ш} = \frac{R_0}{n - 1}, \quad (5)$$

$$\text{де } n = \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

показує у скільки разів розширюється межа вимірювання амперметра.

2. Розширення меж вимірювання вольтметра та вимірювання напруги вольтметром

Вольтметр – прилад, яким вимірюється напруга. Він вмикається в коло паралельно і тому повинен мати великий внутрішній опір.

Для розширення меж вимірювання вольтметра послідовно з ним приєднується додатковий опір R_d (рис. 2), величина якого розрахо-

ується так. Нехай опір приладу R_0 і він розрахований для вимірювання напруги до U_0 . Необхідно розрахувати значення додаткового опору R_d , з яким прилад зможе вимірювати напругу до значення U . Очевидно, що:

$$U = U_d + U_0, \quad (7)$$

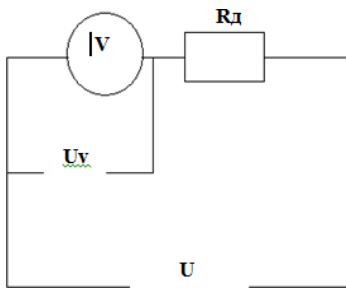


Рис.2

звідки $U_d = U - U_0$

Згідно закону Ома

$$I = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_d}{R_d} \quad (8)$$

Підставляючи U_d з (7) у (8), одержимо:

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U - U_0}{R_d}$$

звідки:

$$R_d = \frac{R_0(U - U_0)}{U_0} = \frac{(n - 1)}{1} R_0 \quad (9)$$

де $n = U/U_0$ (10)

показує, у скільки разів розширюється межа вимірювання вольтметра.

Таким чином, для визначення величини додаткового опору необхідно знати параметри (характеристики) приладу R_0 , U , і те максимальне значення напруги U , для якого розраховується додатковий опір. Значення U_0 для даного приладу можна визначити, знаючи ціну поділки за напругою K_0 і кількість поділок N на шкалі приладу:

$$U_0 = K_0 N$$

Зробити схему (рис. 3). Послідовно з навантаженням R_2 увімкнути досліджуваний прилад P і зразковий P_A.

Зняти залежність числа поділок шкали приладу P від сили струму приладу P_A; записати результати в таблицю. Побудувати графік за-

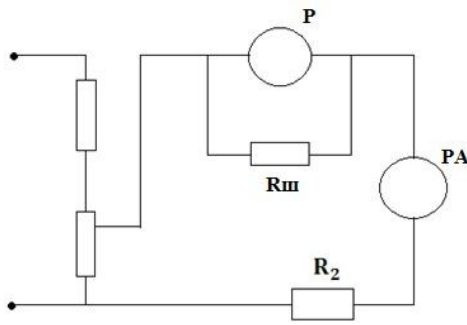


Рис. 3

лежності $n(I)$. визначити ціну поділок і чутливість приладу.

Визначити коефіцієнт шунтування K і, знаючи опір шунта, визначити внутрішній опір амперметра R_A .

Таблиця 1

№	N Число поділок	I mA
1		
2		
3		

2. Градування вольтметра по постійній напрузі. Як вольтметр використовується той же прилад, що і при виконанні попереднього завдання, до якого підключається додатковий резистор $R_d = R_2$.

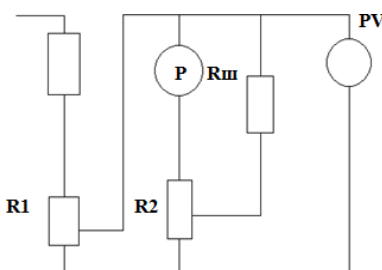


Рис. 4

Зібрати схему (рис. 4).

Зняти залежність числа поділок приладу n від напруги між точками A і B результати записати в таблицю 2.

Побудувати градуований графік $n(U)$.

Визначити ціну поділок і чутливість приладу.

Таблиця 2

№	N число поділок	U mV
1		
2		
3		
Середн ε		

Контрольні питання

1. Що називається шунтом і яке його призначення?
2. Виведіть формулу для визначення опору шунта, якщо задані характеристики приладу і найбільший струм, на який потрібно розрахувати прилад.
3. Що таке клас точності електровимірного приладу?
4. Поясніть принцип дії приладів магнітоелектричної системи.
5. Що називається додатковим опором і яке його призначення?
6. Як приєднуються до вимірного приладу шунт і додатковий опір? Обґрунтуйте відповідь.
7. Виведіть формулу для визначення величини додаткового опору, якщо задані характеристики приладу і найбільше значення напруги.
8. Що називається ціною поділки приладу?
9. Що називається чутливістю приладу?
10. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.
11. Сформулюйте правила (закон) Кірхгофа.

Додаткові теоретичні відомості

Клас точності — це задане у відсотках відношення допустимої основної абсолютної похибки вимірювального приладу в робочій частині шкали до верхньої межі діапазону вимірювань.

Основною похибкою називається похибка при нормальних умовах роботи приладу (певна температура, нормальне положення приладу, відсутність магнітних і електричних полів і т.д.). Причинами основної похибки є тертя в опорах рухомої частини приладу, неточність градування і нанесення шкали і т.д. Робочою частиною у випадку рівномірної шкали є вся шкала, для нерівномірної — від 25% до 100% від верхньої межі шкали.

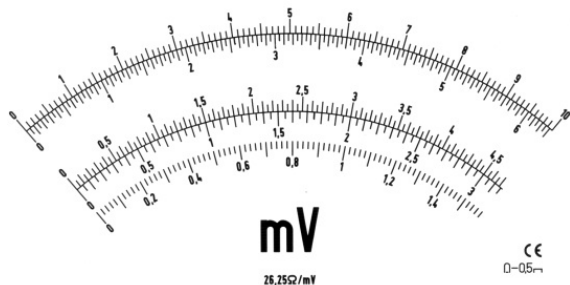
Додаткові похибки вимірювальних приладів, які залежать від зміни температури, частоти струму, положення приладу, впливу зовнішніх магнітних полів та ін., не повинні перевищувати значення класу точності.

Клас точності — це узагальнена характеристика засобу вимірювальної техніки, що визначається границями його допустимих основних і додаткових похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентуються стандартами на окремі види засобів вимірювань.

Значення класу точності відповідно до стандарту, як правило є написане на шкалі приладів. Залежно від ступеня точності показів вимірювальні прилади поділяються на сім класів, що позначаються відповідно числами: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Клас точності приладу вказується на його шкалі числом, вміщеним всередині кола[2]. Промислові прилади, зазвичай мають наступні класи точності: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Класи точності цифрових вимірювальних приладів із вбудованими обчислювальними пристроями для

додаткової обробки результатів



вимірювань слід встановлювати без урахування режиму обробки.

Для встановлення похибок засобу вимірювання, він періодично повіряється зразковими засобами, які за класом точності на декілька класів вищі. Повірка проводиться спочатку при збільшенні вимірюваної величини (прямий хід), а потім при її зменшенні (зворотний хід). Якщо при повірці приладу встановлено, що найбільша приведена похибка не перевищує або дорівнює класу точності, то прилад визнається придатним для подальшої експлуатації.

Ціна по ділки шкалі (ста ла прі ладуа)налогового вимірювального приладу — різниця значень вимірюваної величини, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали.

Приклад. Якщо наконечник індикатора годинникового типу перемістити на 0,01 мм, то стрілка зсунеться на одну поділку великої кругової шкали, отже, ціна поділки складає 0,01 мм (див. рисунок).

Ціна поділки залежить від верхньої і нижньої межі вимірювання приладу і від числа поділок шкали. Особливо це треба мати на увазі тоді, коли використовується при вимірюванні прилад, в якого верхня межа вимірювань має декілька значень.

Величина, обернена до сталої приладу, називається чутливістю приладу. Чутливість приладу визначається відношенням збільшення кутового або лінійного переміщення покажчика приладу в градусах, міліметрах або просто в поділках шкали до відповідного збільшення тієї величини, що вимірюється.

В цифрових вимірювальних приладах (приладах з цифровим табло) метрологічною характеристикою, замінює ціну поділки шкали є крок дискретності.

Багатомежні прилади – це такі прилади, які дозволяють розширювати межі вимірювання за рахунок зміни ціни поділки. Сучасні багатомежні прилади також надають можливість вимірювання як, наприклад, напруги, так і сили струму, тощо. При переході з однієї межі у іншу, багатомежний прилад змінює свою чутливість за рахунок ціни поділки.

Слід пом'ятати, що амперметр потрібно під'єднувати послідовно зі споживачем; а вольтметр – паралельно.

Найпростіше електричне коло може складатися з джерела струму, споживача опору R , з'єднувальних провідників, амперметра і вольтметра.

Закон Ома для ділянки електричного кола: на деякій ділянці кола сила струму I прямо пропорційна напрузі U і обернено пропорційна опору R ділянки:

$$I = \frac{U}{R} \quad [A = \frac{V}{\text{Ом}}]$$

Перший закон Кірхгофа (Закон струмів Кірхгофа) говорить, що алгебраїчна сума струмів, що збігаються у вузлі ланцюга дорівнює нулю (значення впливають струмів беруться зі зворотним знаком):

$$\sum_{j=1}^n I_j = 0$$

Іншими словами, скільки струму втікає у вузол, стільки з нього і витікає. Даний закон впливає з закону збереження заряду. Якщо

ланцюг містить p вузлів, то вона описується $p - 1$ рівняннями струмів. Цей закон може застосовуватися і для інших фізичних явищ (наприклад, водяні труби), де є закон збереження величини і потік цієї величини.

Другий закон Кірхгофа (Закон напруг Кірхгофа) говорить, що алгебраїчна сума падінь напруг по будь-якому замкнутому контуру кола дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що діють уздовж цього ж контура. Якщо в контурі немає ЕРС, то сумарне падіння напруги дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m U = \sum_{k=1}^m R_k I$$

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ МЕТОДОМ МОСТОВОЇ СХЕМИ

Мета роботи: Вивчити метод мостової схеми і визначити невідомі опори цим методом.

Прилади і принадлежности: відомий опір ($R=470$ Ом), невідомі опори (R_{x1} , R_{x2} , R_{x3}); реохорд і гальванометр (нуль-індикатор); джерело постійної напруги.

Теоретичні відомості.

Одним з найбільших точних методів вимірювання опорів є метод моста Уїтстона. Схема моста Уїтстона зображена на малюнку. Між клемми А і В закріплено калібровий дріт-реохорд, що має рухомий контакт D; I – постійний струм від джерела постійного стру-

му; R – відомий еталонний опір; R_x – невідомий опір; Γ – гальванометр; l_1 і l_2 – плечі реохорда (довжина дроту).

Метод вимірювання опору при допомозі моста Уїтстона засновано на порівнянні невідомого опору з відомим опором. Нехай струм в плечах моста і в діагоналі CD спрямовані так, як показано на мал.1, тоді, згідно правилам Кірхгофа для розгалуженого кола, можна скласти такі 5 рівнянь з п'ятьма невідомими:

$$\text{Для вузла C: } I_x - I_x - I_x = 0 \quad (1)$$

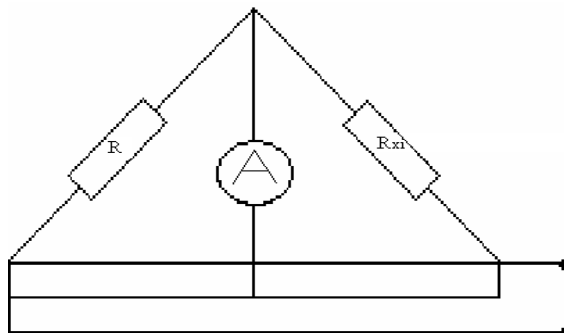
$$\text{Для вузла D: } I_1 - I_2 - I_r = 0 \quad (2)$$

$$\text{Для контура ACDA: } I_x R_x + I_r R_r = I_1 R_1 \quad (3)$$

$$\text{Для контура ABEA: } I_1 R_1 + I_2 R_2 = U \quad (4)$$

$$\text{Для контура CBDC: } I R - I_2 R_2 - I_r R_r = 0 \quad (5)$$

Де R_r – опір гальванометра; R_2 і R_1 – опір «плечей» l_1 і l_2 – реохорда.



Змінюючи положення рухомого контакту D реохорда (і таким чином змінюючи співвідношення між l_1 і l_2), можливо домогтися того, щоб потенціал точки D дорівнював би потенціалу точки C

$$(\phi_D = \phi_C)$$

В цьому випадку струм через гальванометр не іде (міст збалансовано). Враховуючи це ($I_r = 0$), рівняння (1-5) можна спростити:

$$I_x = I_r \quad (6)$$

$$I_1 = I_2 \quad (7)$$

$$I_x R_x = I_x R_x \quad (8)$$

$$IR = I_2 R_2 \quad (9)$$

Поділивши два основні рівняння одне на одне отримаємо:

$$\frac{I_x}{IR} = \frac{R_1}{I_2 R_2} \quad (10)$$

Враховуючи співвідношення (6) і (7) вираз (10) можна простити:

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S}, \quad (11)$$

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{S}, \quad (12)$$

де ρ - питомий опір дроту реохорда; S – площа поперечного перерізу дроту.

Підставляючи значення R_2 і R_1 в співвідношення (11), отримаємо формулу для визначення питомого опору:

$$R_x = R \frac{l_1}{l_2}$$

Таким чином, підбравши відповідну довжину «плечей» реохорда l_1 і l_2 і знаючи еталонний опір R , можна знайти R_x .

Виконання роботи

1. Скласти схему відповідно рис. 1 з резистором R_x .
2. Після перевірки схеми викладачем включити електроживлення. Переміщуючи повзунок (рухомий контакт) реохорда l_1 і l_2 , записати результати в таблицю вимірів.

						$R_{\text{посл}}$	$R_{\text{пар}}$	$R_{\text{посл}}$	$R_{\text{пар}}$

Контрольні питання.

1. Сформулювати і записати правила Кірхгофа.
2. Запишіть формулу опору довгого провідника.
3. Що таке питомий опір?
4. Як визначити повний опір при послідовному та паралельному з'єднанні провідників?

Теоретичні відомості

1. Закони Кірхгофа (або правила Кірхгофа) - співвідношення, які виконуються між струмами і напругами на ділянках будь-якого електричного кола. Правила Кірхгофа дозволяють розраховувати будь-які електричні кола постійного та квазістаціонарного струму. Мають особливе значення в електротехніці через свою універсальність, так як придатні для вирішення багатьох завдань теорії електричних ланцюгів. Застосування правил Кірхгофа до лінійного ланцюга дозволяє отримати систему лінійних рівнянь щодо струмів, і відповідно, знайти значення струмів на всіх гілках ланцюга. Сформульовано Густавом Кірхгофа в 1845. Для формулювання законів Кірхгофа, в електричного кола виділяються вузли - точки з'єднання

трьох і більше провідників і контури – будь-який замкнений шлях, що проходить по кількох вітках. При цьому кожен провідник може входити в кілька контурів.

Перший закон Кірхгофа (Закон струмів Кірхгофа) говорить, що алгебраїчна сума струмів в будь-якому вузлі ланцюга дорівнює нулю (значення струмів, які виходять з вузла беруться зі зворотним знаком):

$$\sum_{j=1}^n I_j = 0$$

Іншими словами, скільки струму входить у вузол, стільки з нього і виходить. Даний закон випливає з закону збереження заряду. Якщо ланцюг містить p вузлів, то вона описується $p - 1$ рівняннями струмів. Цей закон може застосовуватися і для інших фізичних явищ (наприклад, водяні труби), де є закон збереження величини і потоку цієї величини.

Другий закон Кірхгофа (Закон напруг Кірхгофа) говорить, що алгебраїчна сума падінь напруг по будь-якому замкнутому контуру кола дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що діють уздовж цього ж контура. Якщо в контурі немає ЕРС, то сумарне падіння напруги дорівнює нулю:

$$\begin{aligned} \text{для постійних напруг} \quad \sum_{k=1}^n E_k &= \sum_{k=1}^m U_k = \sum_{k=1}^m R_k I \\ \text{для змінних напруг} \quad \sum_{k=1}^n e_k &= \sum_{k=1}^m U_k i_k = \sum_{k=1}^m R_k i_k + \sum_{k=1}^m U_{Lk} + \sum_{k=1}^m U_c \end{aligned}$$

Іншими словами, при обході ланцюга по контуру, потенціал, змінюючись, повертається до початкового значення.

$$R = \rho \int_{\dots}^l \dots$$

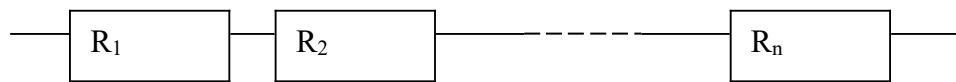
Формула опору довгого провідника: $R = \rho \frac{l}{S}$, де ρ - питомий опір

S

провідника, l – довжина провідника, S - поперечний переріз

провідника. вимірюється в омах (1 Ом). Питомий опір – це опір конкретного матеріалу, який приходить на одиницю довжини і одиницю поперечного перерізу. Питомий опір є табличним значенням. Визначається за формулою: $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$.

Провідники можуть бути сполучені послідовно один за одним у такому сполученні струм проходить через усі провідники не розгалужуючись.



Знайдемо загальний опір такого кола. На підставі дослідної програми встановлено:

при послідовному сполученні струм у всіх ділянках кола однаковий, $I = \text{const}$,

при послідовному сполученні напруга у всьому колі дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Ні підставі закону Ома можна записати $U_1 = IR_1$; $U_2 = IR_2$; $U = IR$.

Підставимо ці значення у формулу, дістанемо

$$IR = IR_1 = IR_2 = \dots = IR_n$$

Скоротивши на I , остаточно маємо:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \text{ або } R = \sum_{i=1}^n R_i,$$

Отже, при послідовному сполученні загальний опір кола дорівнює сумі опорів окремих його провідників (споживачів).

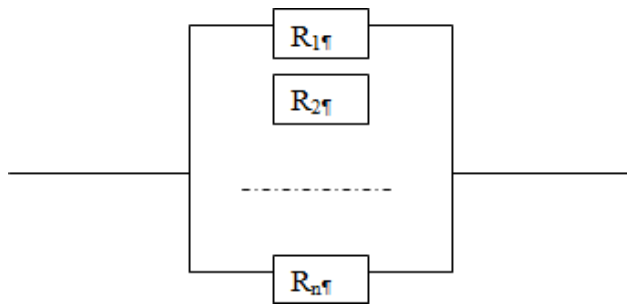
Поділивши $U_1=IR_1$ на $U_2=IR_2$, дістанемо

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Тобто при послідовному сполученні напруги на окремих ділянках кола прямо пропорційні їх опорам.

При паралельному сполученні струм розгалужується на струми

I_1, I_2, \dots, I_n



Дослід показує, що при паралельному сполученні:

1) Струм на ділянці кола дорівнює сумі струмів в окремих учас-
тках цього кола: $I=I_1+I_2+\dots+I_n$

2) Напруги на кожному з участків однакові: $U_{\text{заг}}=U_1=U_2=\dots=\text{const}$,
або $I_{\text{заг}} \cdot R_{\text{заг}}=I_1 R_1=I_2 R_2$, звідки дістанемо

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Отже, струми на окремих участках обернено пропорційні опорам на відповідних участках. Враховуючи, що $I_{\text{заг}}=I_1+I_2+\dots+I_n$, використа-
вши закон Ома, дістанемо

$$I_{\text{заг}} = \frac{U_{\text{заг}}}{R} \quad I = \frac{U_1}{R_1} \quad I = \frac{U_2}{R_2}, \dots, \quad I = \frac{U_n}{R_n}$$

або

$$\frac{U}{R_{заг}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n},$$

скоротивши на U , остаточно маємо:

$$\frac{1}{R_{заг}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

При паралельному з'єднанні падіння напруги між двома вузлами, що поєднують елементи кола, однакове для всіх елементів. При цьому величина, обернена загальному опору кола, дорівнює сумі величин, обернених опорам паралельно включених провідників.

Таким чином, повний опір при послідовному з'єднанні провідників визначається за формулою:

$$R_{заг} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n.$$

Повний опір при паралельному з'єднанні провідників визначається

за формулою:
$$\frac{1}{R_{заг}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Величезним плюсом паралельного з'єднання є те, що при виході одного з елементів, ланцюг продовжує функціонувати далі. Всі інші елементи продовжують працювати. Мінусом є те, що всі прилади повинні бути розраховані на одну і ту ж напругу. Саме паралельним чином встановлюють розетки мережі 220 В в квартирах. Таке підключення дозволяє включати різні прилади в мережу абсо-

лютно незалежно один від одного, і при виході з ладу одного з них, це не впливає на роботу інших.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ МЕТАЛУ ВІД ТЕМПЕ-
РАТУРИ

Мета роботи: Дослідним шляхом встановити закон зміни опору провідника при його нагріванні

Прилади та матеріали: Експериментальна установка, яка має досліджуваний термоопір, термостат з нагрівачем і стабілізатор струму. Джерело постійної напруги ($U=16\text{В}$). Міліамперметр постійного струму ($I_{\text{max}}=200\text{мА}$). Цифровий вольтметр або мультиметр для вимірювання постійної напруги ($U_{\text{max}}=20\text{В}$).

Короткі теоретичні відомості:

Метали відносяться до провідників. В таблиці Менделєєва метали розташовані ближче до середини, що говорить про велику кількість електронів в атомах металів на електронних оболонках. Метали мають велику густину та сильні сили взаємодії між сусідніми атомами. Завдяки цій взаємодії електрони з останніх орбіт атомів легко відриваються і стають вільними (приймають участь в тепловому хаотичному русі), а атоми у вузлах кристалічної ґратки перетворюються на позитивні іони. Відповідно метали мають електронну провідність.

Причина опору в металах полягає:

- в тепловому хаотичному русі заряджених частинок, який може припинитися тільки при температурі абсолютного нуля.

($T=0\text{К} \rightarrow t^0=-273\text{ }^{\circ}\text{C}$);

B									
$U_{cp},$ B									
R, O M									

Обробка результатів;

1) По даним таб.1 визначити середнє значення падіння напруги на термоопорі і його опір для всіх значень температури. Результати занести до таб. 1.

$$U_{cp} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

$$R = \frac{U_{cp}}{I}$$

2) По даним таб.1 побудувати графік залежності: $R f(t)$
=

Контрольні питання.

1. Яка природа струму в металах?
2. В чому полягає причина опору в металах?
3. Яка залежність опору від температури в металах і чим пояснюється така залежність?
4. Поясніть призначення елементів схеми.
5. В чому полягає відмінність металів від діелектриків?

Теоретичні відомості

1. Метали відносяться до провідників. В таблиці Менделєєва метали розташовані ближче до середини, що говорить про велику кількість електронів в атомах металів на електронних оболонках.

Метали мають велику густину та сильні сили взаємодії між сусідніми атомами. Завдяки цій взаємодії електрони з останніх орбіт атомів легко відриваються і стають вільними (приймають участь в

тепловому хаотичному русі), а атоми у вузлах кристалічної ґрадки перетворюються на позитивні іони. Відповідно метали мають електронну провідність.

2. Опір в металах – це причини, які заважають впорядкованому руху заряджених частинок і приводять до втрати електричної енергії. Причина опору в металах полягає: в тепловому хаотичному русі заряджених частинок, який може припинитися тільки при температурі абсолютного нуля ($T=0\text{K} \rightarrow t^0=-273\text{ }^{\circ}\text{C}$); взаємодії з протилежними зарядженими частинками при протіканні електричного струму.

3. Із збільшенням температури у металах збільшується і опір, прямо пропорційно, оскільки, збільшується тепловий хаотичний рух.

4. Метали відносяться до провідників, які мають у своєму складі вільні носії електричного заряду, які можуть переносити електричну енергію від постачальника до споживача. А діелектрики – це речовини, які в своєму складі не мають вільних носіїв електричного заряду і не проводять електричний струм.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

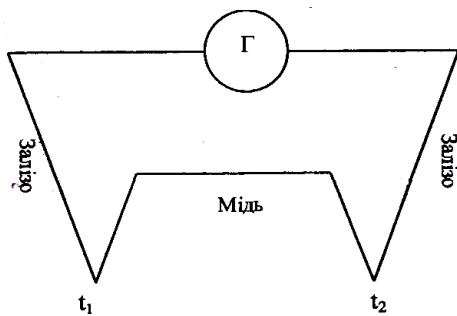
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ТЕРМОПАРИ

Мета роботи: визначити залежність між термоелектрорушійною силою і різницею температур спаїв термопари.

Прилади і обладнання: термопара; чутливий гальванометр; два термометра (від 0° до 100° C); два термостати; електричне коло з живленням і нагрівачем.

Теоретичні відомості.

При з'єднанні двох різних металів (наприклад мідь залізо, хромель - копель, константан і мідь і т. п.) між ними виникає так звана



контактна різниця потенціалів, але її неможливо використати для збудження струму в замкнутому колі, якщо температура контактів, спаїв однакова. Але якщо підігрівати, чи

Рис.1

охладжувати лише один зі спаїв, то завдяки різниці температур спаїв в замкнутому колі виникає струм, який можливо виміряти чутливим приладом.

Величина термоелектрорушійної сили (ТЕРС) термопари залежить не тільки від температур спаїв, але і від природи металів, що створюють дану термопару, тобто від роботи виходу електронів і концентрації електронів у металі.

Робота виходу електронів визначається тою енергією, яку повинен мати електрон щоб вийти з поверхні метала в навколишній простір.

Концентрація електронів визначається кількістю електронів в 1м^3 цього металу.

На рис. 1 зображена принципова схема термопари де використовується контактна різниця потенціалів двох спаїв, які мають різну температуру.

Якщо підігрівати чи охолоджувати один із спаїв, то внаслідок різниці температур спаїв кожен з них буде мати свою контактну різницю потенціалів ($T_1=T_2$ і $U_1=U_2$), а потім у колі виникає так звана термоелектрорушійна сила, яка викличе термоелектричний струм.

Величина електрорушійної сили термопари залежить не тільки від різниці температури спаїв, але і природи металів, що створюють цю термопару (робота виходу електронів і їх концентрація).

Якщо різниця температур спаїв порядку 100°C , то термо-ЕРС термопари змінюється прямо пропорційно різниці температур спаїв.

$$E = k (t_1 - t_2), \quad (1)$$

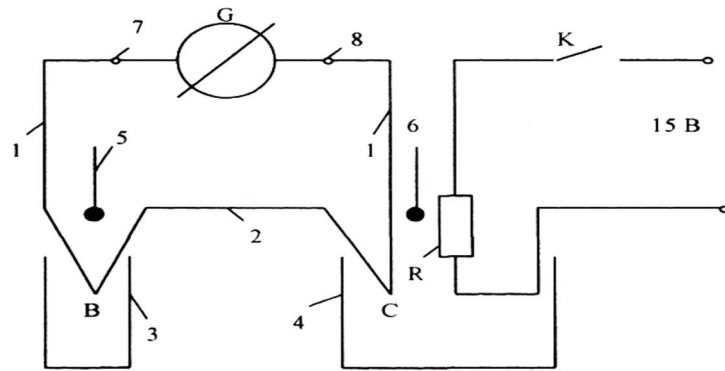
де коефіцієнт k дорівнює термоелектрорушійній силі, що виникає при різниці температур в 1°C і який є характерною величиною для кожної пари металів. Так, наприклад, для пари «константан-залізо» $K=50$ мкВ/гр. «константан - мідь» - $K=41$ мкВ/гр. $1\text{мкВ}=10^{-6}\text{В}$)

Величину термо-ЕРС термопари можна знайти по величині термос- труму, що показує гальванометр.

Якщо на шкалі гальванометра замість величини струму нанести відповідну різницю температур між спаями, то така термопара з проградуєваним чутливим гальванометром може бути термоелектричним термометром.

Опис лабораторної установки.

Принципова електрична схема установки приведена на рисунку.



Термопара складається із двох різнорідних провідників сплавів хромель (1) і конпель (2). Місця спаїв В і С занурені в термостати (3) і (4), які заповнені стеарином. Сюди ж занурені термопари (5) і (6). В термостаті (4) розміщений нагрівальний елемент R, який підключається через перемикач К до джерела постійної напруги 15В. Контакти (7) і (8) використовуються для підключення мілівольтметра (G).

Виконання роботи.

1. Записати термопару Т холодного спаю.
2. Перемикачем К замкнути живлення нагрівального елемента і нагріти термостат (4) на $4^{\circ} - 5^{\circ} \text{C}$, після чого вимкнути живлення нагрівального елемента. Коли температура стабілізується, визначити по шкалі мілівольтметра величину ТЕРС. Температуру нагрітого спаю Т і відповідну їй ТЕРС занести до таблиці вимірів (таб.1).
3. Продовжити нагрівати до $60^{\circ} - 70^{\circ}\text{C}$ виконуючи вимірювання згідно пункту 2. Періодично контролювати температуру холодного спаю. Результати занести у таблицю 1.
4. Виключити нагрівний елемент і вимірювати ТЕРС при охолодженні спаю С, при тих же температурах, як і при нагріванні. Дані

занести в таблицю.

5. Знайти середнє значення ТЕРС одержані при нагріві спаю і при його охолодженні

6. Відкласти на графіку на осі абсцис значення різниці температур, а на осі ординат E в мікровольтах і побудувати графік функції

$$E = f(T_n - T_x)$$

Таблиця 1

№	$T_{хол}$	$T_{нагр}$	$E_{нагр}$	$E_{хол}$	$E_{сер}$

Контрольні питання.

1. Що називається роботою виходу електрону з металу? 2. Чим обумовлена робота виходу електрона з металу?
3. Що називається термоелектрорушійною силою і від чого вона залежить?

4. Чому при однаковій різниці температур різні термопари мають різні ЕРС?
5. Чи буде відрізнятись ТЕРС термопари, кінці якої зварені, від ве-

личини ЕРС термопари кінці якої спаяні? 6. Де застосовуються термопари?

Теоретичні відомості

1. Електрони провідності металу здійснюють неупорядкований тепловий рух. Деякі електрони при цьому покидають метал і утворюють електронну хмарку поблизу поверхні металу порядку декількох міжатомних відстаней ($d_a \sim 10^{-10} - 10^{-9}$ м). На поверхні металу внаслідок цього залишається надлишок позитивних іонів. Ці заряди й електронна хмарка утворюють подвійний електричний шар, електричне поле якого перешкоджає вильоту електронів з металу. Тому при звичайних температурах вільні електрони практично не покидають метал. *Мінімальна робота, яка необхідна для видалення електрону з металу, називається **роботою виходу електрона з металу** $A_{\text{вих}}$:*

$A_{\text{вих}} = e\Delta\phi$, де e - заряд електрона, $\Delta\phi$ - поверхнева різниця потенціалів.

2. Робота виходу електрону з металу обумовлена від температури сплавів і від природи металу, що створюють дану температуру.

3. Терморушійна сила – це робота сторонніх сил по розподілу електронного заряду в джерелі струму і створення на його полюсах електронного поля. Вона залежить від температури і природи металів, що створюють на термопару.

4. Якщо різниця температур сплавів порядку 100°C , то термо ЕРС термопари змінюється прямо пропорційно різниці сплавів і

$E=k(t_1-t_2)$, де k – термоелектрична рушійна сила; t_1 – початкова температура; t_2 – кінцева температура.

5. ЕРС спаяння і ЕРС зварення відрізняються одна від одної, тому що при зваренні з'являється новий вид металу і електриці потрібно переходити вже від одного металу до другого, а від другого до третього.

6. Термопари застосовують у електролітах, двигунах внутрішнього згорання, де великі температури

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загальна фізика. Оптика : оглядові лекції / уклад. В. М. Кадченко. Кривий Ріг : КДПУ, 2020. 70 с. URL: http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/4159/1/ДЕК_ОГЛЯДОВІ%20ЛЕКЦІЇ_2.pdf
2. Коваленко В. Ф. Загальна фізика в прикладах, запитаннях і відповідях. Механіка : навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. 223 с. URL: http://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2017/10/Kovalenko_Mechanics.pdf
3. Конспект з фізики для студентів скороченої форми навчання / уклад. О. Крамар. Тернопіль : Центр оперативної поліграфії, 2018. 128 с. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/27376/1/metod_AT_preprint.pdf
4. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика (вибрані питання) : курс лекцій. Івано-Франківськ : ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2021. 309 с. URL: <http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/9429/1/Фізика%20вибрані%20питання%29.pdf>
5. Коцюбинський В. О., Бойчук В. М. Фізика : курс лекцій. Івано-Франківськ : ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2020. 310 с. URL: http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/6649/1/Курс%20лекцій_фізика.pdf
6. Лекції з курсу загальної фізики . Розділ I. Механіка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 55 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7495/1/MV_Pravda.pdf
7. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ IV. Хвильова оптика / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 20 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7498/1/MV_Pravda.pdf
8. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ II. Молекулярна фізика та термодинаміка / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 36 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7496/1/MV_Pravda.pdf
9. Лекції з курсу загальної фізики. Розділ III. Електрика та магнетизм / уклад. М. І. Правда. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 56 с. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7497/1/MV_Pravda.pdf
10. Огородніков В. А., Федотов В. О., Перлов В. Є. Теоретична механіка. Кінематика : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2015. 69 с. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18337/TM_kin_kl.PDF?sequence=1
11. Огородніков В. А., Федотов В. О., Кириця І. Ю. Теоретична механіка. Динаміка : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2016. 84 с. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18336/Конспект_лекцій_Динаміка_Кириця.PDF?sequence=1&isAllowed=y
12. Павло В. Фізика. Основи і механічний рух : підручник. Одеса : Book Chef, 2020. 384 с.
13. Прокопів В. В. Конспекти лекцій з молекулярної фізики. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2017. 76 с. URL: http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/3745/1/Konspekt-FF_Knyga.pdf

14. Русаков В. Ф. Фізичні основи механіки: навчальний посібник. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2019. 144 с. URL: https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/113/1/84_%20Русаков%20В.Ф.%20Механіка.pdf

15. Янг Г., Фрідман Р., Сендін Т., Форд Л. Фізика для університетів з розділами сучасної фізики. Львів : Наутілус, 2009. 1600 с.

Навчальне видання

ФІЗИКА

Методичні рекомендації

Укладач: **Вахоніна** Лариса Володимирівна

Формат 60x84 1/16. Ум.друк. арк. 3,43

Тираж____прим. Зам. №_____

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013р.