

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ

**Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної і заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

СУМИ – 2025

Укладачі:

Козін В. М., к. т. н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Кравченко В. О., к. ф.-м. н., доцент кафедри енергетики електротехнічних систем

Івченко О. В., к. т. н., завідувач кафедри проектування технічних систем

Барсукова Г. В., к. т. н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Безсмертний О. С., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем

К 19 Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології :

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт для здобувачів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [Електронне видання] / укл.: В. М. Козін, В. О. Кравченко, О. В. Івченко, Г. В. Барсукова, О. С. Безсмертний. – Суми, 2025 – 113 с.

У методичних вказівках приведені конспекти лекцій зібраний теоретичний матеріал з основ метрології, теорії вимірювань, наведені загальні відомості про засоби вимірювальної техніки та їх метрологічні характеристики, розглянуто питання теорії похибок вимірювань, висвітлені питання метрологічної повірки засобів вимірювань, а також розглянуті методи і засоби вимірювань електричних, магнітних і неелектричних величин..

Рецензенти:

Сіренко Ю. В., PhD, доцент кафедри енергетики електротехнічних систем СНАУ;

Лобода В. Б., к. ф.-м. н., професор кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А. В., к. т. н., завідувач кафедри енергетики електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету.

Протокол № 4 від «28» січня 2025 року

З М І С Т

	С.
Правила техніки безпеки для здобувачів, що працюють у лабораторії	4
Загальні вказівки щодо виконання лабораторних робіт	5
Лабораторна робота 1. Розрахунок абсолютної та відносної похибок	6
Лабораторна робота 2. Дослідження технічного амперметра магнітоелектричної системи	10
Лабораторна робота 3. Дослідження вольтметра магнітоелектричної системи	16
Лабораторна робота 4. Дослідження однофазного лічильника електричної енергії індукційної системи	19
Лабораторна робота 5. Дослідження і перевірка вимірювальних трансформаторів	28
Лабораторна робота 6. Розширення меж виміру амперметру	32
Лабораторна робота 7. Розширення меж виміру вольтметрів	36
Лабораторна робота 8. Дослідження цифрових мультиметрів	39
Лабораторна робота 9. Вимір опорів непрямим методом	47
Лабораторна робота 10. Вимір напруг, струмів і частот за допомогою електронного осцилографу	52
Лабораторна робота 11. Дослідження засобів для вимірювання температури	58
Лабораторна робота 12. Дослідження приладів для вимірювання тиску	72
Лабораторна робота 13. Дослідження приладів для вимірювання кількості та витрати	78
Лабораторна робота 14. Дослідження приладів для вимірювання рівня	93
Лабораторна робота 15. Перевірка та метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки	106
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	112

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ У ЛАБОРАТОРІЇ

Відповідальність за виконання правил техніки безпеки покладається на викладача, що проводить заняття у лабораторії. До роботи допускаються викладачі, лаборанти та здобувачі після проведення інструктажу з техніки безпеки і вивчення інструкцій з відміткою в журналі інструктажу під підпис.

У лабораторії необхідно виконувати наступні правила:

- працювати тільки за спеціально обладнаними столами і стендами;
- не торкатися одночасно опалювальних батарей і приладів, які можуть виявитися під напругою;
- струмоведучі частини та провода установок ізолювати від можливого доторкання при роботі.

При проведенні лабораторних робіт забороняється:

- робити вмикання, відключення, приєднання в електричних схемах під напругою;
- працювати без попередньо складеної схеми й підготовки до неї проводів;
- користуватися несправним інструментом та устаткуванням;
- залишати схеми включеними після закінчення роботи;
- знімати й переважувати попереджуючі або заборонні плакати і знаки;
- захаращувати робоче місце сторонніми предметами;
- включати під напругу схему без попередньої перевірки та дозволу викладача;
- залишати без спостереження схему, що знаходиться під напругою;
- ходити по лабораторії й відволікати від роботи товаришів.

Якщо стався нещасний випадок, необхідно:

- зняти напругу зі схеми;
- надати першу допомогу потерпілому;
- повідомити про випадок викладачеві;
- при необхідності викликати швидку допомогу.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Перед виконанням чергової лабораторної роботи необхідно у поза навчальний час провести попередню підготовку, для чого необхідно:

- ознайомитися зі змістом майбутньої роботи, усвідомити її мету;
- повторити теоретичний матеріал за літературою, що рекомендується, відповісти на питання, зазначені наприкінці роботи;
- продумати план проведення роботи;
- скласти попередній звіт зі схемами, таблицями, розрахунками й векторними діаграмами.

При виконанні роботи й монтажі схеми рекомендується:

- головне коло виконувати спочатку, а потім паралельні включення;
- складання схеми вести від одного затискача джерела живлення й закінчувати на іншому його затискачі;
- перевірку семи робити на початку по головному контурі кола, а потім по паралельних сполуках;
- перевірити правильність установки движків реостатів і положення стрілок вимірювальних приладів на нульовій точці шкали.

Зібрану і перевірену схему пред'явити керівникові лабораторних робіт і тільки після його дозволу включати установку.

При включенні схеми під напругу треба уважно стежити за показами приладів, при різких ударах стрілок приладів схема повинна бути негайно відключена від джерела живлення.

По закінченні роботи й візуванню в керівника протоколу випробувань схема повинна бути розібрана після дозволу викладача.

Звіт по роботі складається кожним здобувачем у позанавчальний час відповідно до вимог кафедри й пред'являється керівникові перед початком наступного лабораторного заняття. При ненаданні звіту здобувач не допускається до наступної роботи і виконує її у дні, призначені кафедрою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

РОЗРАХУНОК АБСОЛЮТНОЇ ТА ВІДНОСНОЇ ПОХИБОК

1 Мета роботи

Навчитися виконувати розрахунки абсолютної та відносної похибок.

2 Обладнання

Лінійка, калькулятор.

3 Короткі теоретичні відомості

Вимірювання - це процес в результаті якого зменшується область невизначеності в знанні фізичної величини (ФВ).

При цьому яким би методом не вимірювали б цю величину, як би сумлінно не намагались виконувати вимірювання, ми ніколи не зможемо отримати абсолютно точне її значення.

Це обумовлено:

- неточністю вимірювальних приладів;
- недосконалістю методів вимірювання;
- недосконалістю наших органів відчуття;
- випадкових впливів зовнішніх факторів і т.п.

У зв'язку з тим що справжнє значення ФВ не вдається отримати, то замість нього метрологи використовують так зване **дійсне значення**. Воно визначається експериментальним або теоретичним шляхом і настільки наближене до справжнього, що може бути використане замість нього.

Відхилення результату вимірювання від справжнього значення називають **похибкою вимірювання**.

Слід не плутати і відрізняти два поняття:

- похибка засобів вимірювань (приладів);
- похибка вимірювання.

Похибка приладу відображує властивості тільки самого вимірювального пристрою, яка обумовлена особливостями конструкцією

приладу, властивостями застосованих у них матеріалів, особливостями технології їх виготовлення, регулювання та градування.

Похибка вимірювання будь якої ФВ являє собою сукупність похибок: методичної, інструментальної і операторської (похибки спостерігача).

Похибка вимірюваної фізичної величини може бути визначена у одиницях вимірюваної величини і у відносному вигляді. Тому розрізняють похибки на:

- абсолютні;
- відносні.

Абсолютною похибкою вимірювання називають похибку в одиницях вимірювальної величини, чисельно рівну різниці між отриманим значенням вимірюваної величини та її справжнім (дійсним значенням):

$$\Delta X = X_{\text{п}} - X_{\text{д}}, \quad (1,1)$$

де $X_{\text{п}}$ і $X_{\text{д}}$ - відповідно покази приладу й дійсне значення вимірюваної величини. Абсолютна похибка не дає повного уявлення про точність вимірювання. Більш повне уявлення про похибку вимірів дає відносна похибка.

Відносна похибка - це відношення абсолютної похибки (ΔX) вимірювання до дійсного значення вимірювальної величини ($X_{\text{д}}$), виражене у відсотках:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta X}{X_{\text{д}}} 100\%, \quad (2,2)$$

де ΔX - абсолютна погрішність.

Інколи відносну похибку визначають не у відсотках, а у відносних одиницях.

Залежно від умов виникнення, та обліку похибки розділяють на:

- систематичні;
- випадкові;
- грубі (промахи).

Систематична похибка — це складова загальної похибки (наприклад відносної), яка залишається постійною, або змінюється по певному закону при

повторних вимірах фізичної величини.

Наприклад: постійною може бути похибка обумовлена розбіжністю між дійсним значенням міри (наприклад опору), за допомогою якої виконується вимірювання, та її нормальним (паспортним) значенням.

Прикладом похибки яка змінюється по певному закону може бути зміна параметрів котушок від $\ast$,/та ін.

Систематична похибка в свою чергу може складатись з похибок:

- методичної;
- інструментальної;
- монтажно-перевірочної.

Систематична похибка може бути виключена або значно зменшена введенням поправок.

Випадкова похибка - це складова загальної похибки вимірів, яка змінюється випадково при повторних вимірах фізичних величини.

Виникають випадкові похибки внаслідок зовнішніх факторів, які важко врахувати. Дослідним шляхом випадкові похибки врахувати неможливо, їх вплив на результат вимірів можна тільки розрахувати за допомогою теорії математичної статистики та ймовірності

Грубі промахи - це похибки, які явно спотворюють результати вимірів. Ймовірність виникнення, як правило, не перевищує 0,0003.

4 Завдання

4.1 Ознайомитися з представленими зразками контрольно-вимірювальних приладів.

4.2 За завданням викладача розрахувати абсолютну, відносну та наведену похибки для кожного з представлених приладів.

5 Контрольні запитання

5.1 На шкалі вимірювального приладу є позначення 1,0. Що це значить?

5.2 Що розуміється під перевіркою засобів вимірів?

5.3 Прилад якого класу точності треба вибрати для перевірки

амперметра класу 1,5; 2,5?

5.4 Чи можливо проведення перевірки амперметра класу 1,5 за допомогою амперметра класу 0,2?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО АМПЕРМЕТРА
МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

1 Мета роботи:

- 1.1 Вивчити схему перевірки амперметра.
- 1.2 Визначити клас точності амперметра, який повіряють.
- 1.3 Вивчити методи перевірки вимірювальних засобів.

2 Основні теоретичні положення.

Для оцінки параметрів окремих фізичних величин використовуються контрольно-вимірювальні засоби. Якість вимірювальних засобів характеризується сукупністю показників, що визначають його працездатність, точність, надійність і ефективність застосування.

Для забезпечення гарантованої точності вимірів проводиться періодична перевірка вимірювальної апаратури.

Перевірка вимірювального засобу - це визначення відповідності дійсних характеристик вимірювального засобу технічним умовам або державним стандартам. При здійсненні перевірки застосовуються вимірювальні засоби перевірки.

Методи перевірки - сукупність перевірочних вимірювальних засобів, пристроїв і способів їх застосування для встановлення дійсних метрологічних показників, вимірювальних засобах, що перевіряються.

У практиці перевірки вимірювальних приладів знайшли застосування два способи:

- зіставлення показів, приладу що перевіряється зі зразковим приладом;
- порівняння показів перевірочного приладу.

При перевірці першим способом у якості зразкових приладів вибираються прилади із кращими метрологічними якостями.

Для перевірки приладів постійного струму в якості зразкових використовуються магнітоелектричні прилади, а для перевірки приладів

змінного струму - електродинамічні. Останнім часом використовуються цифрові прилади.

Верхня межа вимірів зразкового приладу повинна бути такою ж, як і на перевіряємому або не перевищувати цю межу більш ніж на 25%.

Припустима похибка зразкового приладу повинна бути в 3-5 рази нижче похибки приладу, що перевіряють.

Похибки виражають у вигляді абсолютних величин і у вигляді відносних.

Розрізняють:

а) **абсолютну похибку** вимірювального приладу. **Вона виражається у одиницях вимірювальної величини:**

$$\Delta X = X_{\text{п}} - X_{\text{д}}, \quad (2.1)$$

де $X_{\text{п}}$ і $X_{\text{д}}$ - відповідно показання приладу й дійсне значення вимірюваної величини;

б) **відносну похибку** вимірювального приладу. **Вона виражається у відсотках:**

$$\gamma = (\Delta X / X_{\text{д}}) * 100 \%, \quad (2.2)$$

Для оцінки багатьох засобів виміру широко застосовують також наведену похибку, що теж виражається у відсотках:

$$\gamma_{\text{оп}} = \frac{\Delta X}{X_{\text{нз}}} 100\%, \quad (2.3)$$

де $X_{\text{нз}}$ - значення, стосовно якого розраховується погрішність.

В якості такого значення, зазвичай приймають верхню межу виміру приладу.

Для багатьох засобів виміру по наведеній похибці встановлюють клас точності приладу. Так, прилад класу 0,5 може мати наведену похибку, що не перевищує 0,5%.

Вимірювальні прилади можуть бути наступних класів точності:

0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Перевіркою встановлюють наведену похибку і по ній клас точності приладу.

Амперметри магнітоелектричної системи застосовують для виміру струмів у ланцюгах постійної напруги. Магнітне коло приладу складається з постійного магніту, полюсних наконечників, нерухливого циліндра. У повітряному зазорі між поверхнями полюсних наконечників і циліндра створюється радіальне поле, яке в силу незначного повітряного зазору можна вважати рівномірним. Рамка з обмоткою кріпиться на півосях і може повертатися в зазорі.

Вимірювальне коло перетворює вимірювану величину $X_{\text{вим}}$ в електричну величину X_I , що безпосередньо впливає на вимірювальний механізм.

Вимірювальний механізм (ВМ) – перетворює електричну енергію в механічну енергію переміщення вказівника. Під дією вимірюваної величини X_I створюється обертовий момент $M_{\text{ОБ}}$, що повертає рухому частину ВМ на кут α . Електромагнітна енергія перетворюється в механічну енергію переміщення рухомої частини ВМ. Обертовий момент, що залежить від вимірюваної величини X і кута повороту знаходиться як:

$$M_{\text{ОБ}} = dW_e / d\alpha, \quad (2.4)$$

де W_e - енергія електромагнітного поля, зосереджена у вимірювальному механізмі.

У результаті взаємодії магнітного поля й струму обмотки створюється обертаючий момент, пропорційний струму:

$$M_{\text{ОБ}} = \psi_o * I, \quad (2.5)$$

де ψ_o - постійна приладу, що залежить від числа витків і площі обмотки та від індукції в зазорі.

Для того, щоб кожному значенню вимірюваної величини відповідало певне значення кута відхилення α рухомої частини, у ВМ необхідно створити протидіючий момент $M_{\text{пр}}$, який направлений назустріч обертовому моменту і пропорційний до кута повороту. Протидіючий момент може створюватися механічним способом (пружинами, розтяжками), або самою вимірюваною величиною (логометри).

Протидіючий момент:

$$M_{\text{пр}} = W * \alpha, \quad (2.6)$$

де W - питомий протидіючий момент пружини.

Рівняння шкали приладу:

$$\alpha = \frac{\psi_0}{W} I = S_I I, \quad (2.7)$$

де S_I - чутливість приладу.

При роботі електромеханічного приладу, окрім обертаючого і протидіючого моментів, виникають моменти, зумовлені інерцією, опором середовища, вихровими струмами (стрілка шкали коливається біля значення). Під дією цих моментів рухома частина буде переміщуватися, доки не наступить рівність обертаючого і протидіючого моментів, час необхідний для цього називається час заспокоєння.

Для забезпечення необхідного часу заспокоєння в аналогових приладах використовують пристрої, що створюють заспокоюючий момент - заспокоювачі. У електромеханічних приладах застосовують повітряні, рідинні і магнітоіндукційні заспокоювачі.

Магнітоелектричні прилади працюють тільки на постійному струмі.

Вони відрізняються високою чутливістю, високою точністю, рівномірністю шкали, виконуються у вигляді амперметрів і вольтметрів постійного струму.

3. Порядок проведення роботи

Складіть для перевірки приладу схему рис. 1.1.

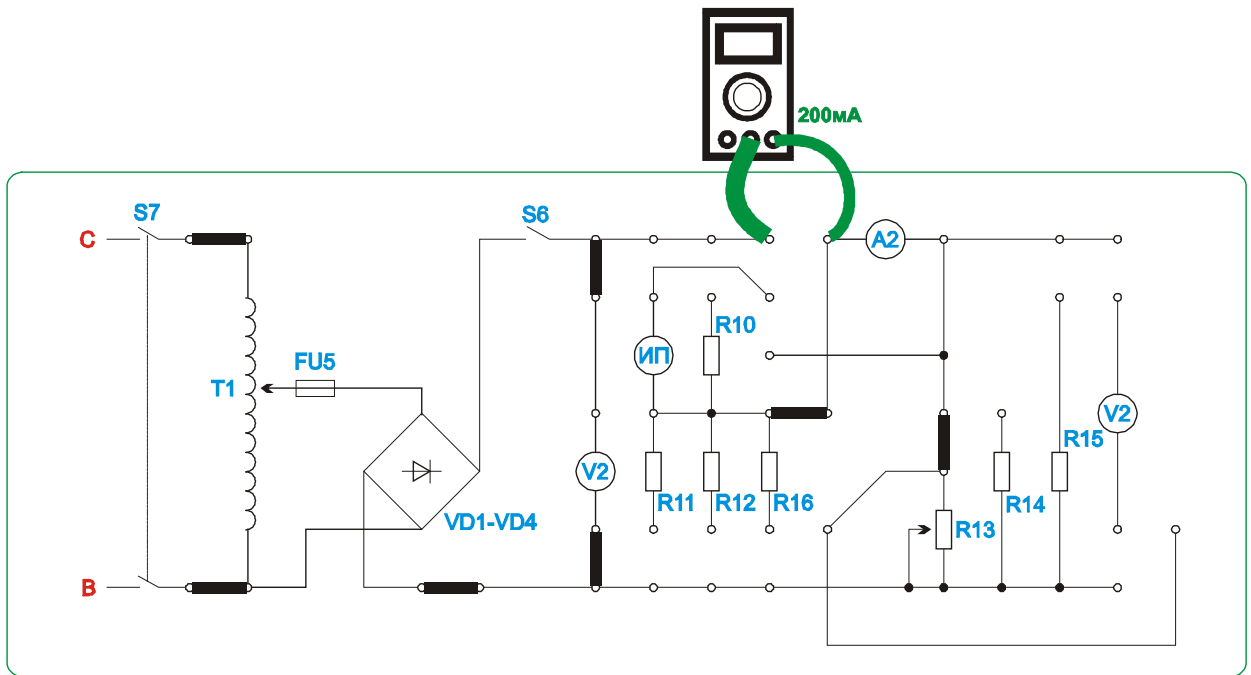


Рисунок 1.1 - Мультиметр - контрольний амперметр, A2 - прилад, що перевіряється

Перед включенням стенду встановіть перемикач ЛАТРу в початкове положення (10 В).

Змінний резистор R13 встановіть на максимальний опір.

Включіть стенд тумблером "МЕРЕЖА", потім тумблер включення ЛАТРу (S7) і нарешті тумблер живлення кола постійного струму (S6).

Змінюйте перемикачем ЛАТРу величину напруги, (величина контролюється вольтметром V2) до одержання величини вимірюваного струму, подальше збільшення струму здійснюється плавно за допомогою змінного резистора R13.

Зробіть необхідну для розрахунків кількість вимірів.

По закінченню роботи приведіть стенд у вихідний стан.

4. Завдання

Обчислити за результатами виміру абсолютну похибку у декількох точках шкали амперметра, що перевіряється.

Обчислити наведену похибку амперметра, що перевіряється.

Визначити клас точності амперметра, що перевіряється, і порівняти його із класом точності, амперметра, що був використаний для перевірки (за позначкою на шкалі).

5. Контрольні запитання

- 5.1 Яким повинне бути співвідношення класів точності зразкового амперметра та того, що перевіряється?
- 5.2 На шкалі вимірювального приладу є позначення 1,0. Що це значить?
- 5.3 Що мають на увазі під перевіркою засобів вимірів?
- 5.4 Прилад якого класу точності слід вибрати для перевірки амперметра класу 1,5; 2,5?
- 5.5 Чи можливо проведення перевірки амперметра класу 1,5 за допомогою амперметра класу 0,2? Поясніть чому?
- 5.6 Напишіть рівняння шкали приладів магнітоелектричної системи.
- 5.7 Наведіть спрощену схему для проведення перевірки приладу, ніж наведена на рис. 1.1.
- 5.8 Як підключаються у електричний ланцюг амперметри?
- 5.9 Які системи вимірювання електричних величин існують?
- 5.10 Перелічіть недоліки приладів магнітоелектричної системи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТМЕТРА

МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

1. Мета роботи

- 1.1 Вивчити схему перевірки вольтметра;
- 1.2 Визначити клас точності вольтметра, що перевіряється;
- 1.3 Вивчити методи перевірки вимірювальних засобів.

2. Основні теоретичні положення.

(див. лабораторну роботу № 2).

Для перевірки вольтметра магнітоелектричної системи зразковий, та вольтметр, що перевіряють включають паралельно.

Вимірювальний механізм магнітоелектричної системи можна включити в будь-яке електричне коло двома різними способами. При схемі (мал. 2.1.а.) через обмотку механізму, позначеного буквою А проходить увесь струм навантаження.

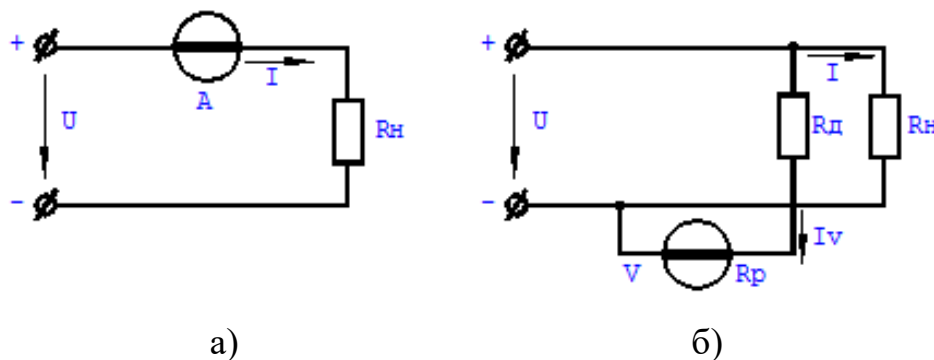


Рисунок 2.1 – Схема електричного кола

Відхилення рухливої частини її від нульового положення буде залежати від значення струму I . У цьому випадку показання приладу є функцією струму навантаження, що дозволяє проградувати його шкалу в амперах, і він буде служити амперметром.

Якщо такий прилад доповнити значно більшим опором R_d , з'єднаним послідовно з обмоткою рамки, і включити прилад, позначений буквою V (мал. 1.б.), те через нього буде проходити струм I_v , обумовлений напругою й сумою опорів:

$$R_d + R_p, \quad (3.1)$$

де R_p - опір обмотки рамки приладу.

У цьому випадку:

$$\alpha = \frac{1}{W} f(I_v), \quad (3.2)$$

Оскільки

$$I_v = \frac{U}{R_d + R_p}, \quad (3.3)$$

де $R_d + R_p$ - постійна величина, тоді можна записати, що

$$\alpha = \frac{1}{W} f(U), \quad (3.4)$$

Очевидно, що при схемі (рис. 2.1.б.) показання приладу стають функцією напруги U , тобто він є уже не амперметром, а вольтметром.

3. Порядок проведення роботи

Складіть схему для перевірки приладу (рис. 3.2).

Увімкнути стенд, потім тумблер включення живлення ЛАТРу Т1–S7 і нарешті тумблер живлення кіл постійного струму S6.

У даній роботі в якості вольтметра, що перевіряється, використовується мілівольтметр ИП з додатковим опором R11 (при цьому його максимальне відхилення рівне 50 В), контрольним є V2.

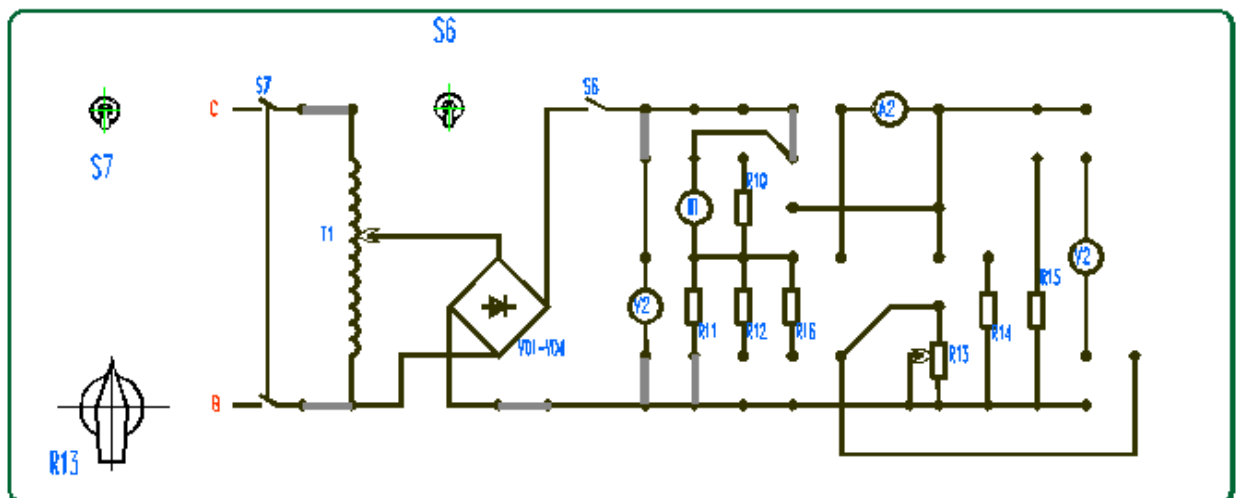


Рисунок 3.2 – ИП - вольтметр, що перевіряється;

V2 - контрольний вольтметр

Змінійте перемикачем ЛАТРу величину напруги, (величина контролюється по вольтметру V2) до одержання вимірюваної напруги на приладі ИП.

Зробіть необхідну для розрахунків кількість вимірів.

По закінченню роботи поверніть усі апарати у вихідне положення й відключіть стенд.

4. Завдання

Обчислити за результатами виміру абсолютну погрішність у декількох точках шкали вольтметра, що перевіряється;

Обчислити наведену погрішність вольтметра, що перевіряється.

Визначити клас точності вольтметра, що перевіряється, і порівняти його із класом точності вольтметра, що був використаний для перевірки (за позначкою на шкалі).

5. Контрольні запитання

5.1 Що таке клас точності вимірювального приладу?

5.2 Які способи порівняння показів приладів, що перевіряються та зразкового Вам відомі?

5.3. Як перевіряють відповідність приладу, що перевіряється, зазначеному на шкалі класу точності?

5.4. Чи можливо проведення перевірки вольтметра класу 0,5 за допомогою вольтметра класу 0,2?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ІНДУКЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

1. Мета роботи

1.1 Вивчити схему перевірки однофазного лічильника по методу роздільних кіл напруги й струму, а також ознайомитися з роботою рахункового механізму.

1.2 Знайти дійсну постійну лічильника і його погрішність при різних навантаженнях;

1.3 Визначити поріг чутливості лічильника й відсутність самоходу.

2. Основні теоретичні положення

Вирази для електричної енергії, що є інтегралом від потужності по часу, отримують інтегруванням виразів для потужності. Тому лічильник електричної енергії складається з вимірювального перетворювача потужності та інтегратора, яким є механічний або електричний лічильник.

Для вимірювань та обліку енергії постійного струму застосовують електродинамічні та феродинамічні лічильники електричної енергії. Вони будуються на базі вимірювачів активної потужності з подальшим

інтегруванням їх вихідного сигналу за виразом
$$W = \int_0^t p dt$$
.

В її окремих випадках, коли основним показником технологічного процесу є кількість спожитих ампер-годин або вольт-годин (в гальванічних ваннах під час зарядження акумуляторів і т.д.) застосовують лічильники ампер-годин або вольт-годин.

В колах змінного струму промислової частоти вимірювання та облік електричної енергії здійснюється головним чином за допомогою індукційних лічильників електричної енергії.

Лічильник (рис. 4.1) складається з магнітопроводів **4**, на який намотана котушка (число витків **w1**) і **7** з котушкою напруги з більшою кількістю витків **w2**, алюмінієвого диска **5**, постійного магніту **8** для створення протидіючого

моменту, протиполусної пластинки **9** для направлення основної частини потоку Φ_2 через алюмінієвий диск (робоча частина потоку). До клем **Г** (перша та третя клеми) подають живлення від мережі, до клем **Н** (друга та четверта клеми) – провідники що ведуть до навантаження. Початок котушки напруги підключається до початку струмової котушки через допоміжну клему **2** і перемичку **1**. В середині лічильника знаходиться перемичка **13**.

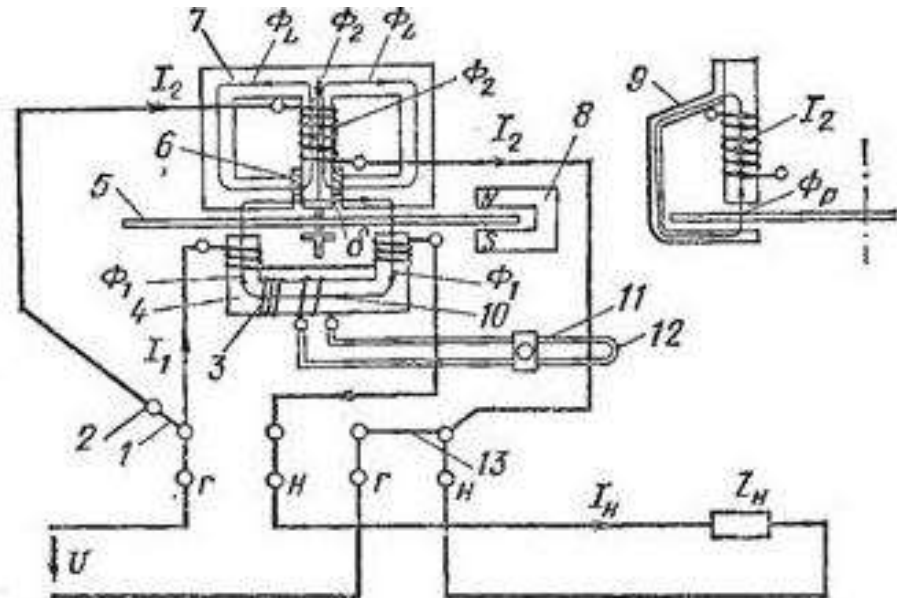


Рисунок 4.1 - Лічильник

При включенні лічильника до мережі і при ввімкненні навантаження по струмовій котушці починає проходити струм навантаження **I1**, що створює намагнічуючу силу **I1w1** і магнітний потік Φ_1 , який зверху і знизу пронизує диск, наводячи в ньому ЕРС і вихровий струм **Iv1**, такий що створений ним потік Φ_v намагається зменшити Φ_1 (рис. 4.2). (напрямок струму за правилом правої руки). При проходженні струму **I2** по котушці напруги в ній створюється магнітний потік Φ_2 , частина якого Φ_L розсіюється через бокові відводи, а інша частина – робочий потік Φ_p пронизує диск знизу вгору. В результатів взаємодії Φ_p і **Iv1** на диск діє сила **F1**, що створює відносного нього перший обертальний момент. Змінний потік Φ_p індукуює в диску струм **Iv2**, що попадає в поле дії потоку Φ_1 , в результаті взаємодії на диск діє сила **F2**, що створює другий обертальний момент.

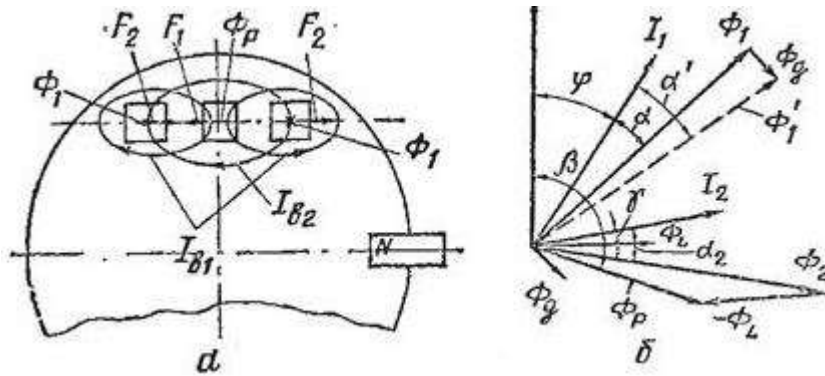


Рисунок 4.2 – Напрямки струму при увімкненому лічильнику

Вимірювальний механізм лічильника являє собою, магнітну систему із двох електромагнітів змінного струму з магнітопроводами з листів електротехнічної сталі й нерухомими обмотками на них. Одна з них (паралельна) складається з великої кількості витків тонких проводів й включається на напругу мережі. Інша - послідовна - має невелике число витків товстих проводів та з'єднується послідовно із приймачами.

Змінні струми двох обмоток збуджують магнітні потоки, пропорційні відповідно U і I , які зсунуті по фазі й не збігаються в просторі. У результаті цього збуджується магнітне поле, що рухаючись, наводить у диску відповідні ЕРС і вихрові струми. Ці струми взаємодіють із магнітним полем, що рухається, і приводять диск у безперервне обертання.

$$M_{об} = k_1 U I \cos\varphi. \text{ Оскільки } U I \cos\varphi = P, \quad M_{об} = k_1 P$$

В індукційних лічильниках для отримання обертального моменту пропорційного активній потужності конструктивними методами добиваються виконання умови: $\Psi = \pi/2 - \varphi$,

де φ - кут зсуву фаз між струмом і напругою на навантаженні.

Цей момент викликає обертання диска в полі постійного магніту, в диску виникають вихрові струми і створюється гальмівний (протидіючий момент створює постійний магніт) пропорційний швидкості обертання диска $M_{пр} = k_2 N$, N - кількість обертів диска за одиницю часу, k_2 - коефіцієнт пропорційності.

При включенні навантаження швидкість обертання диска збільшується доки $M_{об} = M_{пр}$. Звідси $k_1 P = k_2 N$ Помноживши обидві частини на час t

отримаємо $W = P t = k_2 / k_1 N$, де $C = k_2 / k_1$ – постійна лічильника (кількість енергії за один оберт).

Отже, $W = C N$

Для виконання операції інтегрування по часу, в індукційних лічильниках використовуються рахункові механізми.

Однофазні лічильники активної енергії це індукційні інтегруючі пристрої для обліку електричної енергії в колах змінного струму із частотою 50 Гц. На фронтальній панелі лічильника вказуються номінальна напруга та діапазон струмів з нижньою границею - номінальним струмом і верхньою - максимальним струмом, до якого зберігається необхідна точність лічильника. Облік електричної енергії виконує роликовий рахунковий механізм, що приводиться в рух через систему передач від осі лічильника, на якій укріплений алюмінієвий диск, що обертається при включених електроприймачах. Електрична енергія за деякий проміжок часу визначається різницею відліків по рахунковому механізмові наприкінці й на початку даного відрізка часу. Кожній одиниці, зареєстрованої електричної енергії у відповідності зі значенням передаточного числа зубчастих передач між рахунковим механізмом і віссю лічильника, відповідає певне число обертів $N_{\text{ном}}$, яке називається передаточним числом рахункового механізму, воно нанесено на табличку лічильника у вигляді напису: 1 кВт.ч - $N_{\text{ном}}$ обертів диска.

Електрична енергія $C_{\text{ном}}$, яка зафіксована лічильником за один оберт диска, називається номінальною постійною лічильника. Ця енергія вимірюється у Вт * с.

Її зв'язок з передаточним числом $N_{\text{ном}}$ рахункового механізму визначається формулою:

$$C_{\text{ном}} = 3600 * 1000 / N_{\text{ном}}, \quad (4.1)$$

Відношення $C = W/N$ - що представляє собою енергію за час одного повного оберту диска, називають дійсною постійною лічильника електричної енергії.

Відхилення дійсної постійної C лічильника, від його номінальної постійної $C_{\text{ном}}$ характеризується відносною погрішністю:

$$\gamma_0 = \frac{W_{\text{ном}} - W}{W}, \quad (4.2)$$

де W - дійсне значення електричної енергії за час t , певна за показами зразкового приладу;

$W_{\text{ном}}$ - значення електричної енергії за показами лічильника, що перевіряється, або підраховується по формулі:

$$W = C_{\text{ном}} * N, \quad (4.3)$$

де N - число обертів диска за час t .

Для однофазних лічильників активної енергії класу 2,5 при $\cos\varphi = 1$ і струмі від 10 до 20 % $I_{\text{ном}}$ відносна похибка не повинна перевищувати +3,5 %.

Якщо коефіцієнт потужності навантаження $0,5 \cos\varphi = 1$, а струм змінюється від 20 % $I_{\text{ном}}$ до його максимального значення включно, то відносна похибка може досягати значення:

$$\gamma_0 = \pm(5,5 \dots 3 \cos \varphi) \%, \quad (4.4)$$

Перевірка правильності показів лічильника проводиться по контрольному вольтметру та амперметру, зразковому ваттметру й секундоміру з визначенням частоти обертання диска, для чого визначають повне число обертів його за час не менш 50 с.

Одночасно знаходять поріг чутливості лічильника:

$$S = I_{\text{мін}} / I_{\text{ном}}, \quad (4.5)$$

де $I_{\text{мін}}$ - номінальний струм при $\cos\varphi = 1$, коли диск лічильника приходить у невпинне обертання; $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм визначається за даними таблиці лічильника.

Поріг чутливості лічильників класу 2,5 % повинен бути не більш 1 % при номінальній напрузі.

У неправильно відрегульованих лічильниках під дією напруги на затискачах паралельного ланцюга й при $I_{\text{ном}} = 0$ у послідовному ланцюзі може

спостерігатися безперервне обертання диска - самохід лічильника. При правильному регулюванні самохід повинен бути відсутнім.

1. Порядок виконання роботи

При перевірці лічильника класу 2,5 контрольні прилади - вольтметр і амперметр – повинні бути того ж класу 2,5; а зразковий ваттметр класу не нижче 2,5. Час, що відповідає обраним повним числам обертів диска лічильника, визначають за допомогою секундоміра.

Визначити номінальну постійну лічильника по його паспортних даних. Наприклад, якщо на щитку лічильника зазначене: 1 кВт·год = 2400 об, тобто 1 кВт·год = 1000 Вт·60хв·60с = 3600000 Вт·с і $N_{ном} = 2400$ об, отже,

$$C_H = \frac{36000000}{2400} = 1500 \frac{Вт \cdot с}{об}$$

Скласти схему рис. 2.а з розділеними колами струму й напруги для навантажень до 25% від номінального та рис. 5.3б для навантажень більш 25% від номінального.

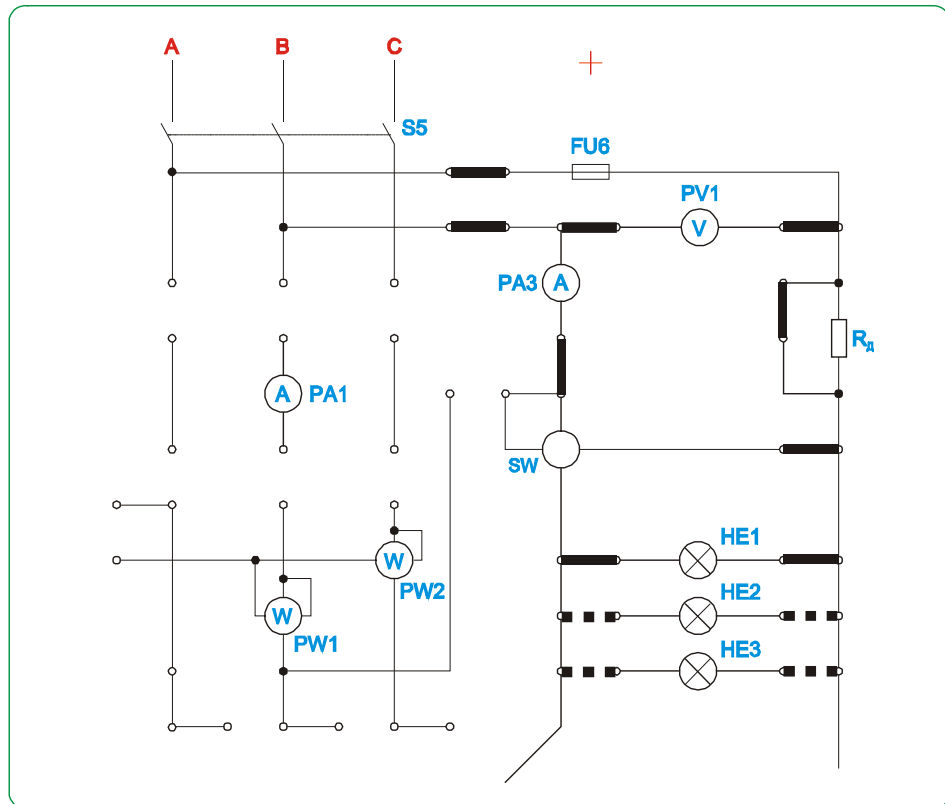
Визначити основну погрішність лічильника в залежності від навантаження при $\cos\phi = 1$.

Встановити напругу U_H , струм I_H і $\cos\phi = 1$.

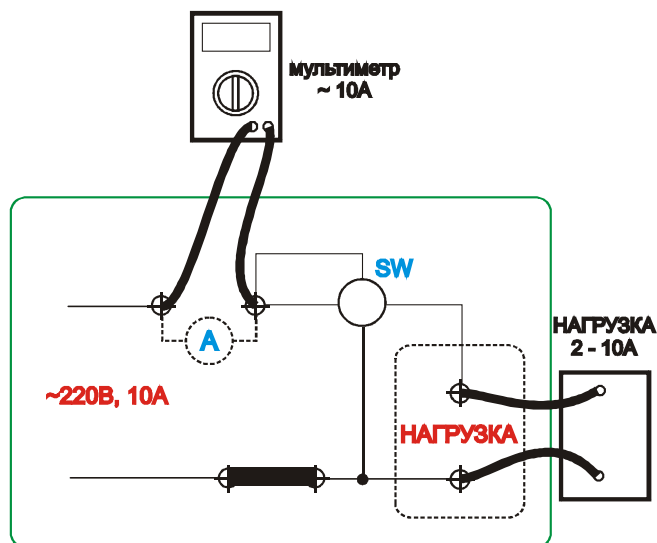
При постійному значенні напруги, рівній U_H , установити струм, рівний 10 %, 25 %, 50 %, 100 % від номінального. Виміряти потужність споживану навантаженням і час 10 обертів диска на лічильнику. Дані вимірів записати в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

N	Досвідчені дані		Розрахункові значення				
	U_H , В	I , А	P , Вт	N , об	t , с	C_H , Вт·с/об	C_d , Вт·с/об



а



б

Рисунок 4.3 – Схема електричного кола

Для навантаження HE 1-HE3 визначити дійсну постійну лічильника (під час проведення досліду та не менш 5 хв після нього не доторкатися до поверхні ламп – щоб уникнути опіків):

$$C_d = P t / N, \quad (4.6)$$

де P - потужність у Вт, установлювана по зразковому ваттметру;

N - число обертів диска за час t .

Визначити відносну погрішність лічильника для кожного значення струму навантаження по формулі:

$$\gamma_o = \frac{W_{ном} - W}{W} 100\% , \quad (4.7)$$

Перевірити відсутність самоходу лічильника.

Визначити поріг чутливості лічильника. (рис. 4.4). Величина струму навантаження змінюється шляхом шунтування резистора R_d і при необхідності шунтуванням ланок у ланцюзі резисторів $R_4 - R_9$.

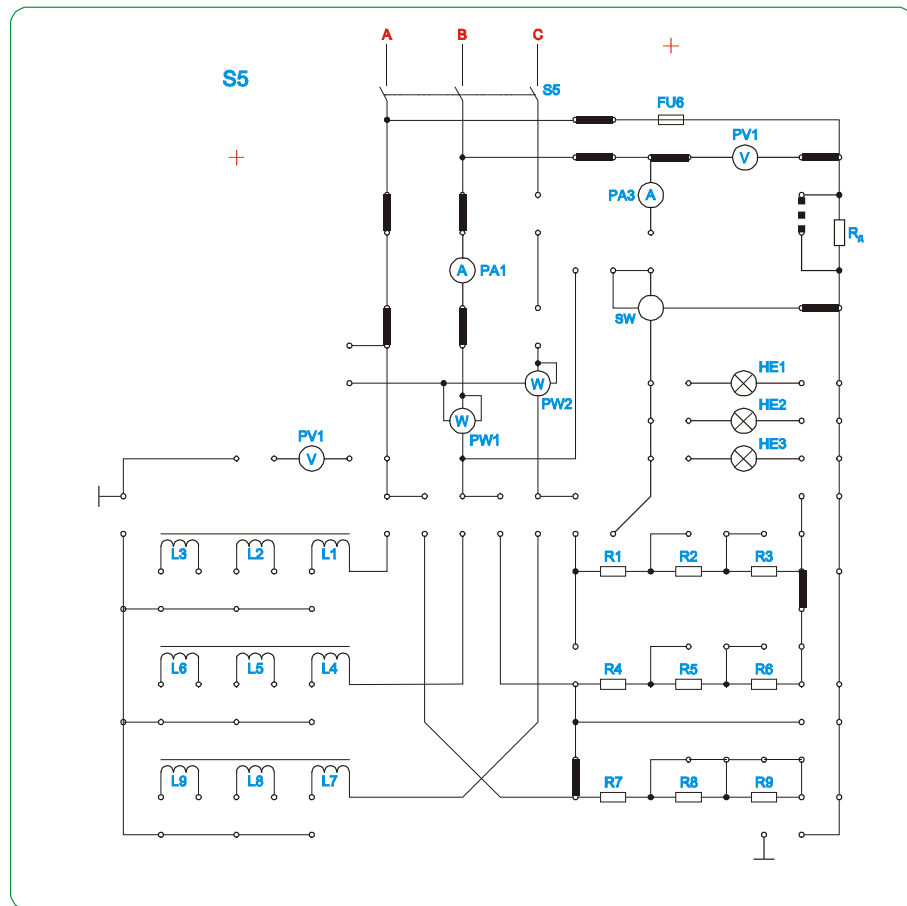


Рисунок 5.4 – Схема електричного кола з лічильником

2. Завдання

- 4.1 Визначити похибку лічильника при різних навантаженнях;
- 4.2 Побудувати залежність відносної похибки лічильника від навантаження $\gamma_o = f(I_n)$;
- 4.3 Перевірити відсутність самоходу;
- 4.4 Визначити поріг чутливості лічильника.

5. Контрольні запитання

- 5.1. Яким чином в однофазному лічильнику створюється обертаючий момент?
- 5.2. Яким чином в однофазному лічильнику створюється гальмовий момент?
- 5.3. Запишіть рівняння обертаючого моменту.
- 5.4. Що називається порогом чутливості лічильника?
- 5.5. Що називається номінальною постійною лічильника?
- 5.6. Що таке самохід лічильника?
- 5.7. Як впливає самохід на показання лічильника?
- 5.8. Яка система вимірювального механізму застосовується в однофазному лічильнику?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ І ПОВІРКА

ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

1. Мета роботи

Вивчити будову та принцип дії вимірювальних трансформаторів струму. Ознайомитись з вимірюванням великих змінних струмів за допомогою лабораторних трансформаторів струму, а також з правилами перевірки технічних трансформаторів струму.

2. Основні теоретичні відомості

Вимірювальні трансформатори струму призначені для перетворення вимірюваних змінних струмів у струми, зручні для вимірювання звичайними стандартними приладами, і відокремлення кіл вимірювальних приладів від кіл, що знаходяться під вищою напругою.

Первинна обмотка трансформатора струму має невелике число витків і вмикається послідовно з навантаженням в електричну мережу. У вторинну обмотку трансформатора струму вмикаються послідовно струмові кола приладів, межі вимірювань яких при цьому розширюються.

Режим роботи трансформатора струму дуже близький до режиму короткого замикання (опір струмових кіл приладів малий).

Сила струму в первинному колі трансформатора струму залежить від споживача (навантаження) і може змінюватись від нуля до номінального значення, а при короткому замиканні в колі - перевищувати його в десятки і сотні разів. Величина струму в первинному колі трансформатора струму не залежить від величини опору його вторинного кола.

При нормальному режимі трансформатора струму результуюча намагнічуюча сила (НС) $I_0 W_0$ і магнітний потік Φ_0 в осерді не значні, тому що НС вторинного кола $I_0 W_0$ компенсує більшу частину НС первинного кола:

$$IW_1 = I_0 W_1 + (-I_2 W_2), \text{ або } I_0 W_1 = IW_1 + I_2 W_2, \quad (5.1)$$

Отже, у вторинній обмотці індуктується мала е.р.с., необхідна для покриття активних втрат вторинного кола. При номінальному режимі роботи

трансформатора струму НС $I_0 W_1$ звичайно становить не більше 1% від НС $I_1 W_1$ або $I_2 W_2$. При великій потужності в колі первинного струму розімкнення вторинного кола трансформатора струму викличе значне збільшення Φ_0 , тому що в цьому випадку:

$$I_0 W_1 = I_1 W_1. \quad (5.2)$$

Розімкнення вторинного кола трансформатора струму аварійний режим, так як зростання потоку в осерді приводить до значного збільшення е.р.с. (до сотень вольт), що небезпечно для обслуговуючого персоналу, а також до зростання втрат на перемагнічування і вихрові струми, що може привести до перегріву осердя і ізоляції вторинної обмотки трансформатора струму. Тому вторинна обмотка трансформатора струму завжди повинна бути замкнена на струмову обмотку або накоротко.

На паспортному щитку кожного трансформатора струму вказуються його основні номінальні дані: первинний і вторинний струми, навантаження, клас точності і частота мережі. Номінальне значення первинного струму від 0,1 А до 40 кА.

Номінальне значення вторинного струму стандартизовано і приймається 5 А (допускається також значення 1 А).

Відношення номінального первинного струму I_1 до номінального вторинного струму I_2 називається **номінальним коефіцієнтом трансформації трансформатора струму**:

$$K_H = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}, \quad (5.3)$$

Відношення дійсного значення первинного струму I_1 до дійсного значення вторинного струму I_2 називається **дійсним коефіцієнтом трансформації трансформатора струму**:

$$K = \frac{I_1}{I_2}, \quad (5.4)$$

Дійсний коефіцієнт трансформації K дорівнює номінальному K_H тільки при: $I_1 = I_{1H}$; $I_2 = I_{2H}$; $Z_2 = Z_{2H}$;

Однак, на практиці при визначенні вимірюваного первинного струму користуються не дійсним коефіцієнтом трансформації, величина якого звичайно невідома і змінюється із зміною первинного струму і вторинного навантаження Z_2 номінальним коефіцієнтом трансформації K_n . Тобто, визначають деяке значення первинного струму $I_{1\text{вим}} = I_2 K_n$, яке відрізняється від дійсного I_1 .

Різниця між вимірним і дійсним значеннями первинного струму, віднесена до дійсного значення і виражена в процентах, називається струмовою похибкою трансформатора струму або похибкою коефіцієнта трансформації:

$$\gamma_1 = \frac{I_{1\text{вим}} - I_1}{I_1} 100\% = \frac{I_2 K_n - I_2 K}{I_2 K} 100\% = \frac{K_n - K}{K} 100\%, \quad (5.5)$$

Струмова похибка трансформатора струму визначає його клас точності. Величина струмової похибки залежить від режиму трансформатора струму, в тому числі від опору його вторинного кола (навантаження). Навантаження трансформатора струму визначається сумою опорів проводів і струмових котушок приладів, приєднаних до затискачів його вторинного кола. Значення номінального навантаження зазначається на паспорті трансформатора у вигляді повного опору Z_{2n} вторинного кола:

$$Z_{2n} = \frac{S_n}{I_{2n}^2}, \quad (5.6)$$

де - S_n номінальна потужність трансформатора струму.

При номінальному вторинному струмі трансформатора I_{2n} 5А нормовані значення номінальних опорів дорівнюють: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,05; 1,2; 2,0 Ом, а при номінальному вторинному струмі 1А 5, 10, 15 Ом. При збільшенні навантаження (опору), що вказано в паспорті, клас точності трансформатора струму буде нижчий від того, на який він розрахований.

Крім похибки по струму у трансформаторі струму є ще й кутова похибка ϕ під якою розуміють кут між вектором первинного струму і повернутим на 180° вектором вторинного струму.

За точністю трансформатори струму поділяються на класи: лабораторні - 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; технічні - 0,2; 0,5; 1; 3; 10.

3. Завдання

- 3.1 Ознайомитися з представленими зразками трансформаторів струму.
- 3.2 Розрахувати для кожного з зразків коефіцієнт трансформації та струмову похибку трансформатору.

4. Контрольні запитання

- 4.1 Яка будова та принцип дії трансформатора струму?
- 4.2 Яке значення струму вторинної обмотки трансформатора струму необхідно бути згідно нормативних документів?
- 4.3 Які марки трансформаторів струму Ви знаєте?
- 4.4 Що таке коефіцієнт трансформації?
- 4.5 Як розраховується коефіцієнт трансформації?

Пусть электроустановка потребляет ток 140А (минимальная нагрузка 14А). Выберем измерительный трансформатор тока для счетчика.

Выполним проверку измерительного трансформатора **T-066 200/5**. Коэффициент трансформации у него **40**.

$140/40=3,5A$ – ток вторичной обмотки при номинальном токе.

$5 \cdot 40/100=2A$ – минимальный ток вторичной обмотки при номинальной нагрузке.

Как видим **$3,5A > 2A$** – требование выполнено.

$14/40=0,35A$ – ток вторичной обмотки при минимальном токе.

$5 \cdot 5/100=0,25A$ – минимальный ток вторичной обмотки при минимальной нагрузке.

Как видим **$0,35A > 0,25A$** – требование выполнено.

$140 \cdot 25/100 = 35A$ - ток при 25%-ной нагрузке.

$35/40=0,875$ – ток во вторичной нагрузке при 25%-ной нагрузке.

$5 \cdot 10/100=0,5A$ – минимальный ток вторичной обмотки при 25%-ной нагрузке.

Как видим **$0,875A > 0,5A$** – требование выполнено.

Вывод: измерительный трансформатор **T-066 200/5** для нагрузки **140А** выбран правильно.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРУ АМПЕРМЕТРУ

1. Мета роботи

1.1. Вивчити методи розширення меж виміру амперметрів;

1.2. Вивчити методи розрахунків опору шунтів.

2. Основні теоретичні положення

Для розширення меж виміру амперметрів застосовують особливі допоміжні пристрої - шунти.

Шунт являє собою чотирьохзажимний резистор $R_{ш}$, який разом з вимірювальним механізмом, підключений до його потенційних затискачів Π , за допомогою струмових затискачів T включається в коло вимірюваного струму I_x (рис. 6.1)

Шунт перетворює струм у спад напруги. Для постійного струму рівняння перетворення має вигляд:

$$U_{ш} = R_{ш} * I_{ш}, \quad (6.1)$$

де $I_{ш}$ - струм у шунті.

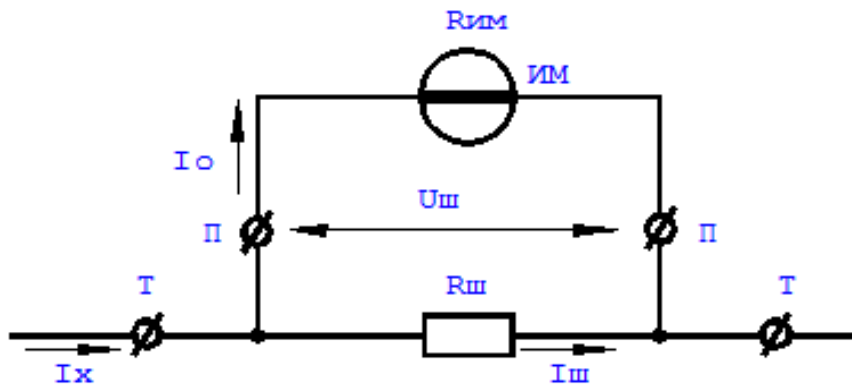


Рисунок 6.1 – Схема електричного кола

Але шунт можна розглядати і як дільник напруги з коефіцієнтом розподілу (шунтування):

$$n = \frac{I_x}{I_0} = \frac{R_{им} + R_{ш}}{R_{ш}}, \quad (6.2)$$

де I_0 - струм у вимірювальному механізмі;

$R_{и.м.}$ - опір вимірювального механізму.

Це дозволяє розширити межі виміру вимірювального механізму по струму, тобто вимірювати струми, що значно перевищують струм, на який розрахований вимірювальний механізм. Із цього визначення випливає:

$$R_{ш} = \frac{R_{им}}{n-1}, \quad (6.3)$$

Шунти виготовляються з манганіну й застосовуються майже виключно з магнітоелектричними вимірювальними механізмами по постійному струму. Застосовувати шунти для електродинамічної системи й інших систем недоцільно, оскільки ці вимірювальні механізми споживають більшу потужність, що приводить до необхідності мати значні $U_{ш}$, а отже, і $R_{ш}$, що приводить у свою чергу до збільшення габаритів і, маси шунтів. Крім того, застосування шунтів по змінному струму приводить до погрішності, обумовленої перерозподілом струмів I_0 й $I_{ш}$ при різних частотах через вплив реактивних опорів вимірювального механізму й шунта.

На струми до 30-50 А застосовують внутрішні шунти, що містяться в корпусі приладу. На більші струми шунти робляться зовнішніми для виключення нагрівання приладу. Зовнішні шунти виготовляються на струми до 10 000 А и мають масивні наконечники із червоної міді для включення в ланцюг струму. Між наконечниками впаяні манганінові пластини або круглі стрижні для поліпшення охолодження шунта. Ці шунти виконуються взаємозамінними, тобто на фіксовані $U_{ш}$ (60, 75, 100, 150, і 300 мВ), потенційні затискачі шунта з'єднують із вимірювальним механізмом каліброваними проводами, опори яких визначені ГОСТ 8042-68. **Калібрувальні шунти** в залежності від точності їх припасування поділяють на класи **0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5.**

3. Порядок проведення роботи.

3.1. Складіть схему згідно рис. 6.2.

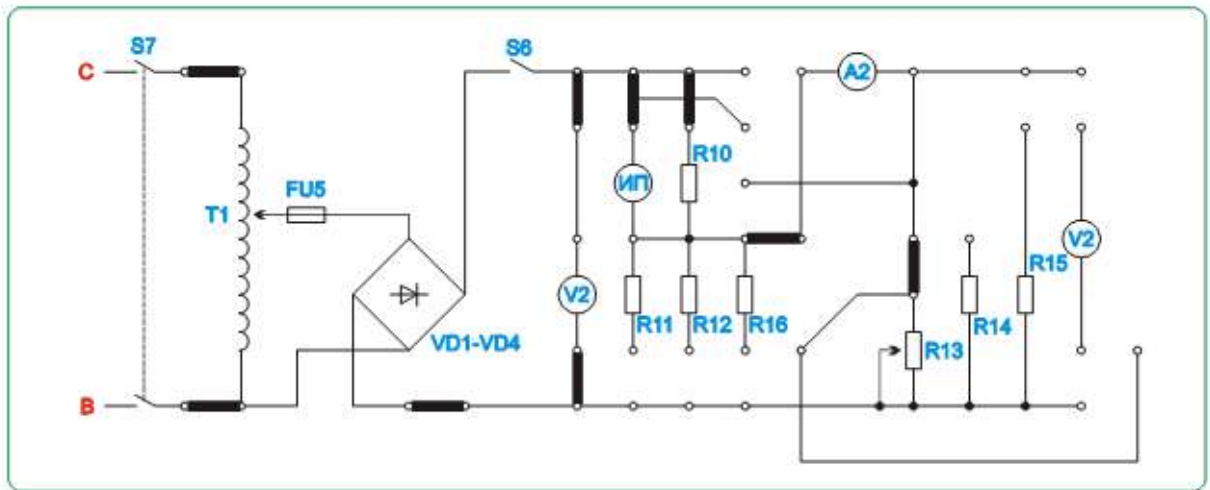


Рисунок 6.2 – Схема електричного кола

3.2. Перед включенням стенда встановіть перемикач Латру в початкове положення.

3.3. Змінний резистор R13 встановіть на максимальний опір.

3.4. У даній роботі міліамперметром, що перевіряється є ИП з додатковим шунтом R10 (при цьому величина його повного відхилення дорівнює 25 мА), а контрольним є міліамперметр A2.

3.5. Включіть стенд, потім тумблер включення живлення Латру T1 (S7) і нарешті тумблер живлення кіл постійного струму (S6).

3.6. Змінюйте перемикачем Латру величину напруги (V2) до одержання вимірюваного струму, подальше збільшення струму здійснюється плавно за допомогою змінного резистора R13. Зробіть необхідну для розрахунків кількість вимірів.

3.7. По закінченню роботи поверніть усі апарати у вихідне положення й відключіть стенд.

4. Завдання

Визначите величину опору шунта R10 вимірювального приладу ИП, для чого виміряйте омметром опір рамки вимірювального механізму.

5. Контрольні запитання

5.1. Який вид має схема включення зовнішніх шунтів?

5.2. Визначите опір шунта для вимірювального механізму зі струмом повного відхилення 5 мА й $R_{\text{им}} = 3 \text{ Ом}$, якщо потрібно виміряти струм 150 А.

5.3. Яким повинен бути опір шунта для міліамперметра, розрахованому на 75 мВ, зі струмом повного відхилення 7,5 мА для виміру струму 7,5 А?

5.4. Який струм можна виміряти приладом, розрахованим на 10 мА ($R_{\text{им}} = 10 \text{ Ом}$), якщо його включити із шунтом, опір якого $R_{\text{ш}} = 0,01 \text{ Ом}$?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРУ ВОЛЬТМЕТРІВ

1. Мета роботи

- 1.1. Вивчити методи розширення меж виміру вольтметрів;
- 1.2. Вивчити методи розрахунків опору додаткових резисторів.

2. Основні теоретичні положення.

Резистор, включений послідовно з вимірювальним механізмом (ВМ) обертальний момент, якого залежить від струму, і використовується для виміру напруги, називається додатковим резистором. Його основне призначення - перетворити напругу в струм.

Струм I_o в ланцюзі ВМ (рис. 7.1) визначається рівнянням перетворення:

$$I_o = \frac{U_x}{R_{им} + R_d}, \quad (7.1)$$

де U_x - вимірювана напруга;

$R_{им}$ - опір ВМ;

R_d - опір додаткового резистора.

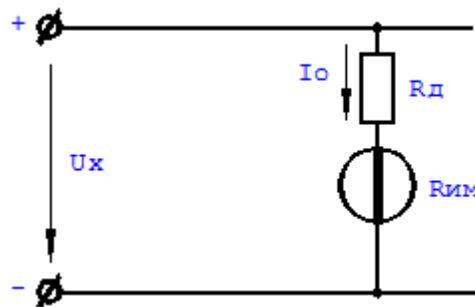


Рисунок 7.1 – Схема електричного кола

Додаткові резистори служать також для розширення меж виміру по напрузі вже готових вольтметрів і інших приладів, наприклад ваттметрів, фазометрів, що мають паралельні кола, які включаються під напругу.

Якщо вольтметр має номінальну межу виміру U_H і опір $R_{им}$ і потрібно розширити межу до U'_H , то тоді слушна рівність:

$$\frac{U_H}{R_{им}} = \frac{U'_H}{R_{им} + R'_d}, \quad (7.2)$$

Звідси опір резистора:

$$R'_d = R_{им} (n - 1), \quad (7.3)$$

де $n = U'_H/U_H$ - і він називається множником шкали.

Додаткові резистори виготовляються як правило з манганінового проводу, намотаного на каркас із ізоляційного матеріалу.

У вольтметрів з верхньою межею виміру до 300 В додаткові резистори вбудовують всередину корпусу приладу. Для вольтметрів з межею виміру понад 300 В додаткові резистори через їхні розміри й умови охолодження встановлюють поза корпусом приладу.

Залежно від точності додаткові резистори поділяють на класи: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

3. Порядок виконання роботи

Складіть схему згідно рис. 7.2.

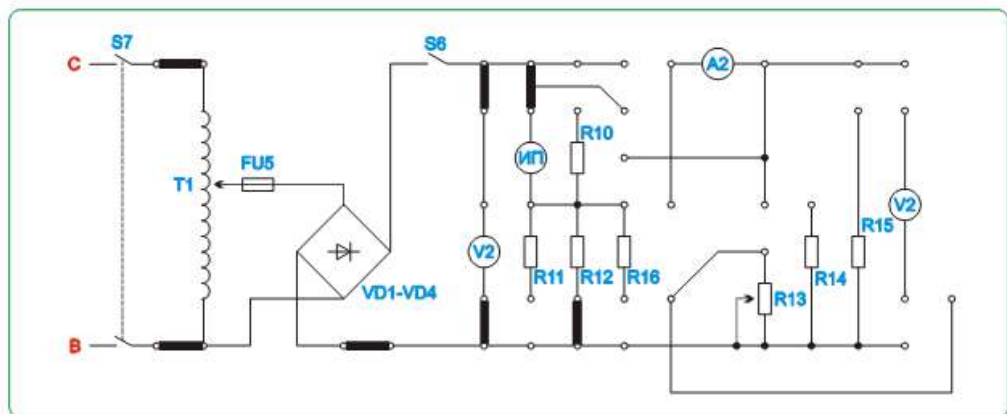


Рисунок 7.2 – Схема електричного кола

В даній роботі в якості вольтметра, що перевіряється, використовується міліамперметр ИП з $U_H = 100$ мВ і додатковим резистором $R'_d = R_{12}$ (при цьому його максимальне відхилення відповідає 100 В), контрольним є V_2 ; а для випадку ИП з додатковим резистором R_{11} - максимальне відхилення відповідає 50 В.

Включіть стенд, потім тумблер включення живлення Латру T_1 (S_7) і нарешті тумблер живлення ланцюгів постійного струму (S_6). Змінійте перемикачем Латру величину напруги (V_2) до одержання вимірюваної напруги на приладі ИП.

Зробіть необхідну для розрахунків кількість вимірів.

По закінченню роботи поверніть усі апарати у вихідне положення й відключіть стенд.

4. Завдання

Визначите величину опору додаткового резистора вимірювального приладу ИП, для чого виміряйте його внутрішній опір.

5. Контрольні запитання

1. Які допоміжні елементи застосовуються для зміни меж виміру магнітоелектричних вольтметрів?

2. Якого порядку повинен бути опір додаткового резистора до вимірювального механізму з $R_o = 1 \text{ Ом}$ і спадом напруги на рамці $U_o = 10 \text{ мВ}$, для одержання вольтметра з $U_n = 10 \text{ В}$?

3. До якого значення напруги буде розширена межа виміру вольтметра з опором рамки $R_o = 1 \text{ Ом}$ і спадом напруги на ній $U_o = 10 \text{ мВ}$ при включенні додаткового резистора $R_d = 100\,000 \text{ Ом}$?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ МУЛЬТИМЕТРІВ

1. Мета

- 1.1 Вивчити будову, принцип дії та призначення мультиметрів.

2. Основні теоретичні відомості

Мультиметр - це універсальний прилад для проведення вимірів різних величин та об'єднує в собі декілька функцій. У мінімальному наборі це вольтметр, амперметр і омметр. Різновидів мультиметрів дуже багато. Відрізняються такі мультиметри якістю, точністю вимірів і, звичайно ж, функціями. Бувають аналогові (рис. 8.1) і цифрові мультиметри (рис. 8.2).



Рисунок 8.1 – Аналогові мультиметри



Рисунок 8.2 - Цифровий мультиметр

Останнім часом віддають перевагу цифровим мультиметрам. Вони набагато точніші, ними зручніше проводити виміри, не треба розбиратися в шкалі, як в аналогових, але цифрові коштують дорожче.

3. Порядок виконання роботи

Розглянемо один з найдоступніших мультиметрів - м 838 (ціна до 250 грн.) Це найкращий варіант для новачка.

У представленому мультиметрі, доступні наступні функції:

- вимір постійної / змінної напруги
- вимір постійного / змінного струму
- вимір опору
- продзвонка
- тест діодів
- вимір електричної місткості
- вимір індуктивності
- вимір температури

Вимір напруги

Як виміряти напругу?

Якщо треба виміряти постійну, ставимо DCV (ліворуч).

На цьому приладі сектор розділений на 5 діапазонів виміру.

Проводяться виміри від 200 мВ до 1 000 Вольт.

Приміром, нам треба виміряти напругу на батарейці "Кроні", перемикаємо регулятор в розділ DCV - 20 (рис. 8.3), **якщо поставити на 2 000 мВ, то прилад може згоріти.**



Рисунок 8.3 – Приклад вимірювання напруги

До речі, якщо переплутати + і - нічого страшного, просто на екрані з'явиться мінус, а свідчення будуть такими ж.

Якщо змінна напруга, ставимо на ACV (справа) (рис. 8.4).



Рисунок 8.4 – Перемикання на змінну напругу

Сектор ACV розділений на 2 діапазони 200 і 750 Вольт.

Якщо треба виміряти напругу побутової електромережі, перемикаємо в положення ACV - 750. Будьте обережні, коли вимірюєте високу напругу, переконаєтеся, що обидва щупи добре ізольовані.

DCA - Вимір сили струму

Три діапазони виміру: 2 000 мкА, 20 мА та 200 мА. Ще є положення 10 А.

Перед виміром Вам необхідно перемкнути червоний дріт тестера у верхнє гніздо, а чорний залишити на нижньому.

При високій напрузі, дотримуйтеся обережності, не торкайтеся струмопровідних частин.

Струм дуже високий.

Не вимірюйте на мультиметрі струм, який вище 10 А, у Вас можуть розплавитися дроти і прилад вийде з ладу.

Перевірка опору.

Цей сектор розділений на 5 діапазонів виміру. Від 200 Ом до 2 000 кОм.

На межі виміру 2 000 К ми можемо виміряти опір нашого тіла (рис. 8.5).



Рисунок 8.5 – Приклад заміру опору нашого тіла

Ставимо на межу виміру 20 К і пробуємо виміряти опір резистора 10 К (рис.8.6).

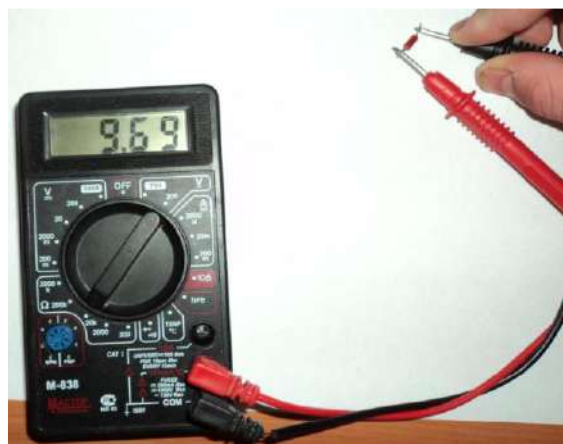


Рисунок 8.6 – Вимірювання опору резистора

Не торкайтеся обома руками на виведення щупів, інакше до опору резистору, може додатися і опір нашого тіла і результат буде не точним.

Якщо у вас на екрані ліворуч показана одиниця, то опір більший, ніж встановлене положення перемикача.

Перевірка діодів

Можна перевірити справність діодів на межі виміру опору 2 000 Ом.

Діод проводить струм тільки в один бік, від + до -.

Візьмемо діод, підключимо анод до +, а катод до - і ми побачимо опір діоду. Якщо підключити навпаки, то опору на екрані не буде.

Також діод можна перевірити на продзвонке, підключивши з одного боку, Ви почуєте писк, або побачите опір на екрані, а при підключенні навпаки ви побачите 0 Ом (рис. 8.7).



Рисунок 8.7 – Перевірка діодів

Продзвонка.

Цей режим призначений для виявлення обривів в ланцюзі.

Опір межі спрацьовування складає 70 Ом. Таким чином, якщо опір між щупами менше 70 Ом, прилад видає високочастотний звук (писк).

Дуже корисна і часто використовувана функція. Приміром, треба перевірити де обірвався дріт у навушників і т.п (рис. 8.8).



Рисунок 8.8 - Продзвонка

Перевірка транзисторів.

Щоб виміряти транзистор в тестері має бути спеціальне гніздо. Синя панель (рис. 8.9).



Рисунок 8.9 – Панель перевірки транзисторів

Перевіряються транзистори обох структур:

п-р-п

р-п-р

Мультиметр показує статичний коефіцієнт передачі струму. Можна виміряти тільки кремнієві транзистори - КТ (рис. 8.10).



Рисунок 8.10 – Приклад перевірки транзисторів

Вимір температури.

Для виміру температури в комплекті з мультиметром йде спеціальний термодатчик, що підключається до роз'єму на приладі (рис. 8.11).

Середній діапазон вимірюваних температур знаходиться в межах від - 20 до 1 000 градусів за Цельсієм.



Рисунок 8.11 – Вимір температури

Експлуатація.

Батарея. На цьому тестері, як і на багатьох, батарейка "Крона-9v". Знаходиться вона ззаду, щоб замінити, необхідно відкрутити гвинт і зняти кришечку.

Як визначити, що батарейка сіла?

1. Не співпадають цифри виміру із зразковим значенням.
2. Цифри погано відображаються на дисплеї.

Після закінчення роботи, повернути перемикач на OFF, щоб батарейка не сіла.

4. Завдання

Після ознайомлення з будовою та принципом дії мультиметру, виміряти значення напруги та струму побутової мережі.

<https://www.youtube.com/watch?v=qSGlSnsF6QA>

<https://www.youtube.com/watch?v=v0wNooHp5kE>

<https://www.youtube.com/watch?v=dXoRTAiW4q0>

<https://www.youtube.com/watch?v=mvozDtxq5GM>

5. Контрольні запитання

5.1 Для чого призначені цифрові мультиметри?

5.2 Яка будова та принцип дії мультиметрів?

5.3 Як виміряти напругу за допомогою мультиметру?

5.4 Як виміряти струм за допомогою мультиметру?

5.5 Які несправності можуть виникати при експлуатації мультиметру?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ВИМІР ОПОРІВ НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ

1. Мета роботи

- 1.1. Вивчити схеми визначення опорів по методу вольтметра й амперметра.
- 1.2. Оцінити похибку виміру при різних способах включення вольтметра й амперметра.

2. Основні теоретичні положення

Метод вольтметра й амперметра - непрямий спосіб визначення різних опорів, що дозволяє ставити елемент із певним опором у робочі умови. Цей метод побудований на використанні закону Ома для ділянки кола, опір R_x якого визначається по відомим спаду напруги U_x на ньому й струму I_x так:

$$R_x = U_x / I_x, \quad (9.1)$$

Існують різні способи виміру спаду напруги U_x і струму I_x (рис. 9.1.)

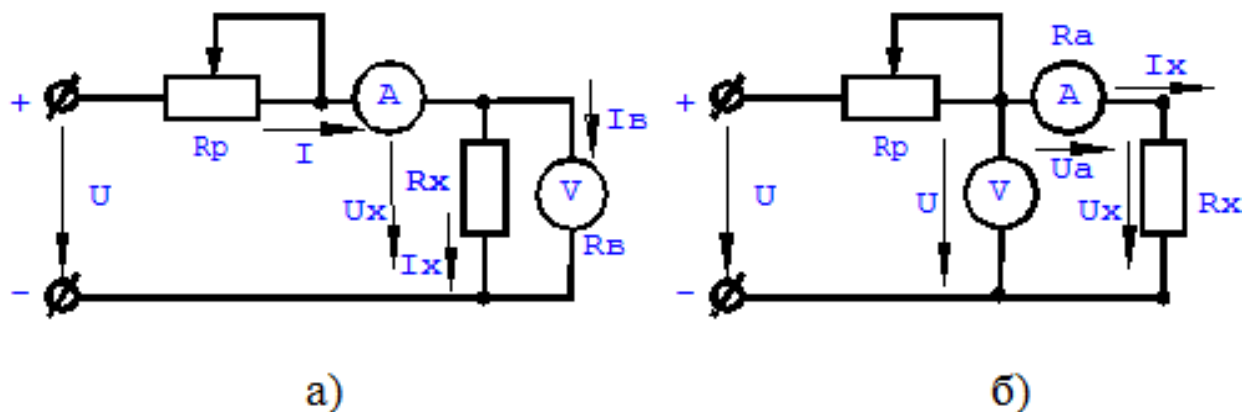


Рисунок 9.1 – Вимір спаду напруги і струму

Вимірювальні частини наведених схем не забезпечують одночасний вимір напруги U_x і струму I_x . Так 1-а схема дозволяє виміряти за допомогою вольтметра напругу U_x , а амперметр дає можливість визначити струм I , який дорівнює сумі I_x і I_B , з яких останній є струмом обмотки вольтметра. У цьому випадку обумовлений опір:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I - I_B} = \frac{U_x}{I - \frac{U_x}{R_B}}, \quad (9.2)$$

де R_b - опір вольтметра.

У другій схемі амперметр враховує струм I_x , але вольтметр показує напругу U , рівну сумі падінь напруг U_x на опорі R_x і U_a на амперметрі. Тому опір:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U - U_a}{I_x} = \frac{U}{I_x} - \frac{U_a}{I_x} = \frac{U}{I_x} - R_a, \quad (9.3)$$

де R_a - опір амперметра.

Отже, якщо при розрахунках обумовленого опору враховувати опори приладів, тоді всі схеми рівноцінні.

Якщо обумовлений опір R_x малий в порівнянні з опором вольтметра R_b , струмом I_b можна зневажити й, застосовуючи першу схему (мал. 1.а.), знаходити опір R_x так:

$$R_x = R_x \frac{U_x}{I}, \quad (9.4)$$

допускаючи відносну похибку:

$$\gamma'_0 = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R'_x}{R_b} = \frac{R_x}{R_x + R_b}, \quad (9.5)$$

У випадках, коли обумовлений опір R_x порівняний з опором вольтметра R_b тоді зневажати струмом I_b не можна, потрібно користуватися другою схемою (рис. 1.б.) і при розрахунках не враховувати спаду напруги U_a на амперметрі, визначаючи опір R_x так:

$$R_x = R'_x = U/I_x, \quad (9.6)$$

при відносній погрішності виміру:

$$\gamma'_0 = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R_a}{R_x + R_a} = \frac{R_a}{R_x}, \quad (9.7)$$

Для виявлення меж доцільності використання тієї або іншої схеми слід порівняти відносні погрішності й, а потім знайти значення опору R_x , для якого обидві схеми рівноцінні:

$$\frac{R_x}{R_x + R_B} = \frac{R_a}{R_x}, \quad (9.8)$$

або

$$R_{2x} - R_a R_x - R_B R_a = 0, \quad (9.9)$$

Звідки

$$R_x = R_B R_a, \quad (9.10)$$

Отже, для опорів $R_x \leq \sqrt{R_B R_a}$ краща схема (рис. 9.1а), а для опорів $R_x \geq \sqrt{R_B R_a}$ - схема (рис.9.1б). Першу з них називають схемою визначення "малих" опорів, а іншу – схемою для визначення "великих" опорів.

При визначенні опорів методом вольтметра й амперметра слід вибирати магнітоелектричні прилади з такими межами вимірів, щоб покази їх були близькі до номінальних значень, тому що це забезпечує менші погрішності виміру.

3. Порядок проведення роботи

У даній роботі необхідно непрямым методом виміряти опір R14 (малої величини 300 Ом) і опір R15.

Вимір опорів малої величини

Складіть схему згідно рис. 9.2 з початку із включенням вольтметра V_2 до амперметра A_2 , а потім схему із включенням вольтметра V_2 після амперметра A_2 . Включіть стенд, потім тумблер включення живлення Латру Т1 (S7) і нарешті тумблер живлення кіл постійного струму (S6). Змінійте перемикачем Латру величину напруги (V2) до одержання вимірюваного струму на приладі А2.

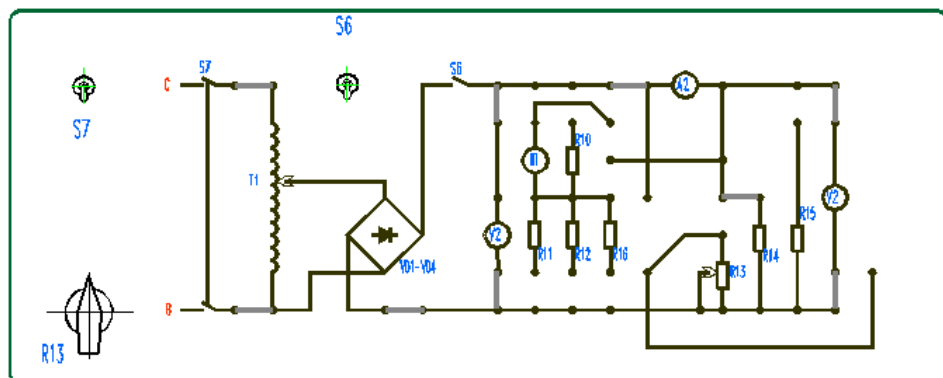


Рисунок 9.2 – Схема електричного кола

Змінюйте перемикачем Латру величину напруги (V2) до одержання вимірюваного струму.

Зробіть перекомутацію ланцюга таким чином, щоб амперметр A2 був включений після вольтметра й повторіть виміри.

Вимір опорів великої величини

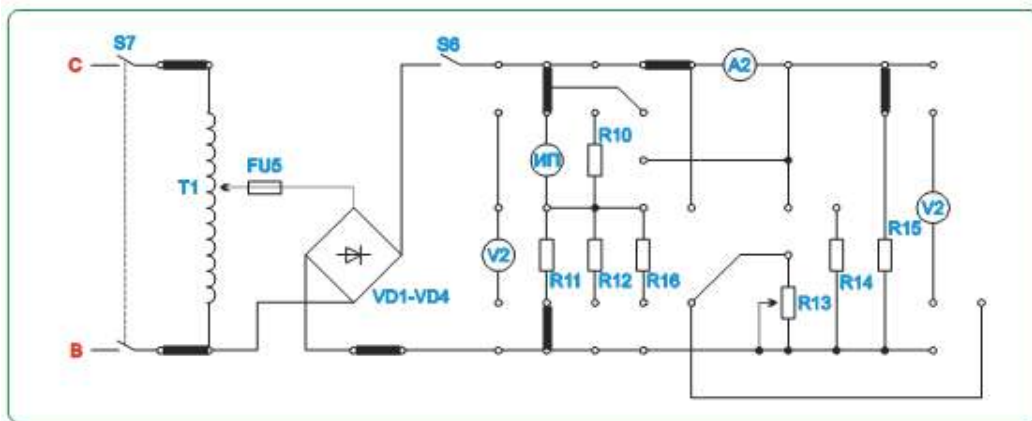
У даному досліді вимірюється опір R15, вольтметром служить міліамперметр ИП з додатковим опором R11 (межа виміру 50 В і внутрішній опір 10 кОм).

Складіть схему згідно рис.9.3а.

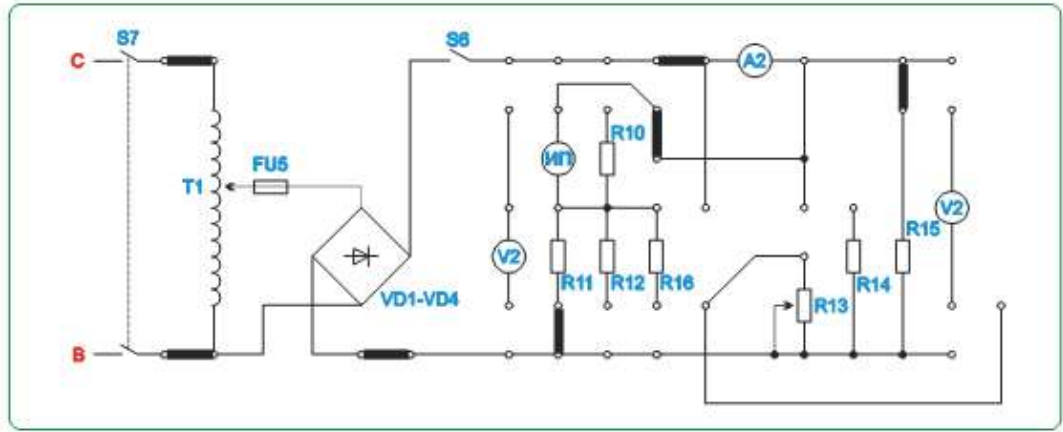
Змінюйте перемикачем Латру величину напруги (у якості вольтметра прилад ИП на межі 50 В) до одержання вимірюваного струму. По закінченню досліді поверніть усі апарати у вихідне положення й відключіть стенд.

Зробіть перекомутацію таким чином, щоб амперметр A2 був включений до вольтметра й повторіть виміри (рис.9.3б.).

По закінченню роботи поверніть усі апарати у вихідне положення й відключіть стенд.



а



б

Рисунок 9.3 – Схеми електричного кола

4. Завдання

Розрахувати R_x за схемою мал. 2. по формулі:

$$R_x = \frac{U_x}{I}, \quad (9.11)$$

Виміряйте опір за допомогою омметра. Оцініть погрішність виміру, порівнявши розрахункове значення з вимірним.

Розрахувати R_x за схемою мал. 3.а і мал. 3.б відповідно по формулі (9.11).

Виміряйте опір за допомогою омметра. Оцініть погрішність виміру, порівнявши розрахункове значення з вимірним.

5. Контрольні запитання

5.1. Що розуміють під виміром опору?

5.2. Чому при визначенні опору по методу амперметра й вольтметра слід застосовувати різні схеми включення вимірювальних приладів?

5.3. Які опори при визначенні по методу вольтметра й амперметра прийнято вважати "великими" а які "малими"?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИМІР НАПРУГ, СТРУМІВ І ЧАСТОТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФУ

1. Мета роботи

- 1.1. Вивчити будову і правила експлуатації електронних осцилографів.
- 1.2. Вивчити методи виміру за допомогою осцилографа амплітуди безперервних і імпульсних сигналів.

2. Основні теоретичні положення

В основу роботи електронного осцилографа (ЕО) покладено керування рухом пучка електронів, впливом на нього досліджуваною напругою. Структурна схема ЕО осцилографа представлена на рис. 10.1.

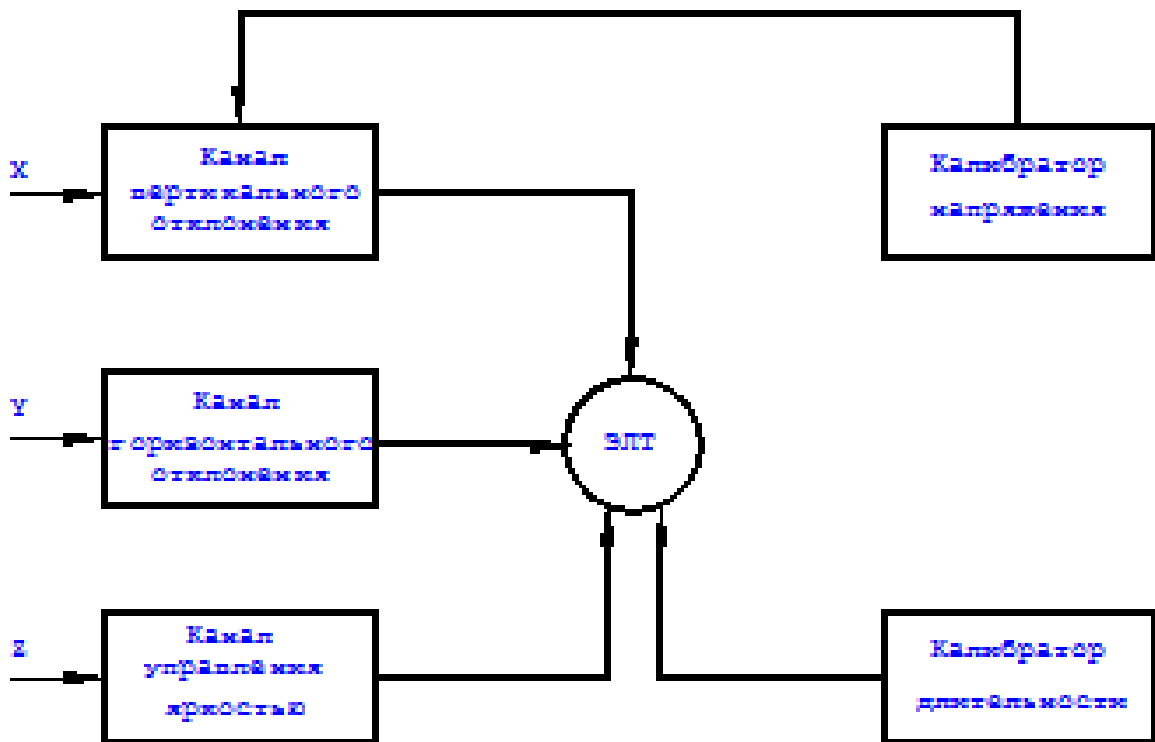


Рисунок 10.1 – Структурна схема ЕО осцилографа

Досліджувана напруга є функцією часу, що відображається в прямокутних координатах графіком $U = \varphi(t)$. Дві пари пластин ЕПТ відхиляють промінь по двом взаємно перпендикулярним напрямкам, які є координатними осями. Для одержання рівномірної осі часу необхідно, щоб промінь електронів відхилявся в горизонтальному напрямку з постійною швидкістю. Із цією метою до горизонтально відхиляючих пластин (X)

підводять від генератора пилоподібну напругу. Досліджувана напруга подається до вертикально - відхиляючих пластин ЕПТ. Зображення, що ми бачимо на екрані ЕПТ називається осциллограмою.

Чутливість ЕПТ визначається по формулі:

$$S = \varphi/U, \text{ мм/В}, \quad (10.1)$$

де ΔL - зсув плями на екрані ЕПТ при зміні напруги (U) на пластинах Y на 1 В.

Для одержання нерухомого зображення на екрані ЕПТ необхідно його синхронізувати напругою генератора розгортки, тобто добитися рівності періоду розгортки періоду досліджуваного сигналу.

Вимір напруг

Для виміру напруг осцилографом застосовується метод порівняння й метод каліброваної чутливості каналу вертикального відхилення (Y).

Перший метод заснований на лінійній залежності між напругою, поданою на вхід осцилографа, і одержуваним відхиленням променя ЕПТ по вертикалі. Процес виміру напруги методом порівняння зводиться до виконання двох операцій:

а) одержанню зображення вимірюваної напруги U_x і виміру розмаху зображення по вертикалі l_x ;

б) заміні вимірюваної напруги відомою (каліброваною) напругою й регулюванням її до одержання зображення з розмахом по вертикалі l_x , близької до l_x . При цьому:

$$U_x = U_k \frac{l_k}{L_k} K_d, \quad (10.2)$$

де K_d - коефіцієнт розподілу вхідного дільника.

У якості джерела відомої напруги використовується спеціальне джерело, що міститься в осцилографі, і яке називається калібратором напруги.

Для виміру напруг методом каліброваної чутливості на вхід каналу В подають калібровану змінну напругу U_k і за допомогою плавного регулювання (ручкою "Посилення") коефіцієнта підсилення каналу В домагаються

одержання на екрані ЕПТ потрібного розмаху напруги l_x . При цьому номінальна чутливість S визначиться як:

$$S = l_k/U_k, \quad (10.3)$$

Надалі ручку "Посилення" обернути не можна.

Після калібрування на вхід Y осцилографа подають вимірювану напругу U_x , заміряють розмір по вертикалі l_x і обчислюють потрібне значення напруги:

$$U_x = l_x/S, \quad (10.4)$$

Точність виміру напруг за допомогою осцилографа становить 5...10%.

Вимір частоти змінного струму методом фігур Лиссажу

Вимір частоти за допомогою осцилографа проводиться шляхом порівняння частоти досліджуваного сигналу із частотою зразкового генератора. Для визначення частоти методом фігур Лиссажу напруга зразкової частоти f подається на вхід X підсилювача горизонтального відхилення, а напруга невідомої частоти f - на вхід Y підсилювача вертикального відхилення. Внутрішній генератор розгортки осцилографа вимикається. Зміною зразкової частоти домагаються одержання нерухомої фігури Лиссажу. Фігури залежать від числових і фазових співвідношень частот.

Для визначення відношення порівнюваних частот через спостерігаєму фігуру подумки проводять дві перпендикулярно-перпендикулярні-взаємно-перпендикулярні лінії - вертикальну й горизонтальну фігури, що не проходять через вузли, і підраховують число перетинань кожної лінії з фігурою. Відношення числа перетинань горизонтальної лінії N_r і вертикальної лінії N_b з фігурою дорівнює відношенню періодів сигналів, поданих на відхиляючі пластини ЕПТ:

$$N_r/N_b = T_e/T_x, \quad (10.6)$$

або відношенню частот цих сигналів:

$$N_r/N_b = f_x/f_0, \quad (10.7)$$

звідки

$$f_x = \frac{N_e}{N_e} f_0, \quad (10.8)$$

Синусоїдальну розгортку не рекомендується застосовувати при кратності частот понад 10 через труднощі підрахунку точок перетину.

Приклади фігур Лиссажу (рис. 10.2):

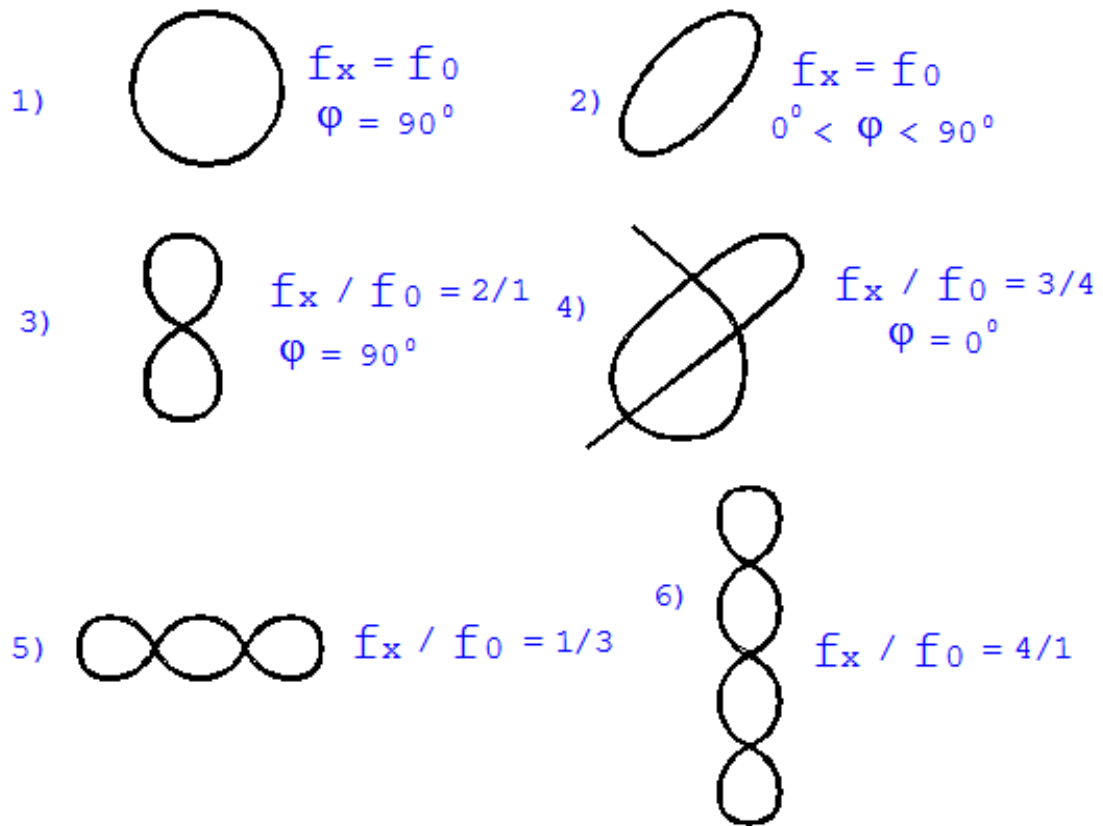


Рисунок 10.2 – Приклад фігур Лиссажу

3. Порядок проведення роботи

Для проведення вимірів напруги й струму за допомогою осцилографа складіть схему перевірки ваттметра непрямым методом (рис. 10.3.) і підключіть осцилограф по черзі до виводів R17, R18, R19 (для виміру напруги) і до виводів струмової обмотки ваттметра W1 або до виводів амперметра A1 (для виміру струму). Змінюючи напругу, встановіть таку величину струму й напруги, які можна досить точно виміряти.

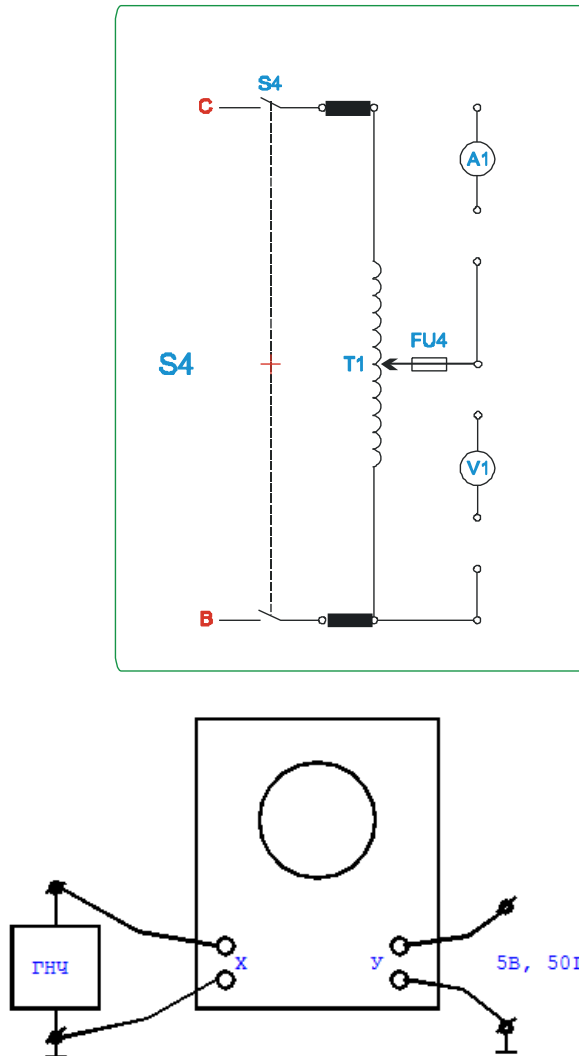


Рисунок 10.3 - Схема перевірки ваттметра непрямим методом

Повторити вимір з різними величинами опорів (R17, R18, R19). Зрівняєте результати вимірів, отримані за допомогою осцилографу з показаннями приладів.

Для виміру частоти необхідно зібрати схеми згідно рис.10.3. Для включення ГНЧ необхідно встановити тумблер S4 у верхнє положення.

Вимірюваною є частота, одержана з виходу генератора низької частоти. Включіть осцилограф і генератор. Плавнo регулюючи частоту вихідного сигналу генератора отримайте стійкий рисунок на екрані осцилографу й зробіть підрахунок вершин на вертикальній і горизонтальній сторонах малюнка.

Повторіть досліди, повертаючи ручку "Частота" до одержання на екрані осцилографу наступного стійкого зображення.

По закінченню роботи поверніть усі апарати у вихідне положення й відключіть стенд.

4. Завдання

Зробіть обчислення величини досліджуваної частоти по формулі:

$$f_y = \frac{m}{n} f_x, \quad (10.9)$$

де f_y - частота сигналу на вході В;

f_x - частота сигналу на вході Х;

m - число вершин у горизонтальній площині;

n - число вершин у вертикальній площині.

5. Контрольні запитання

5.1. Які параметри синусоїдальних сигналів можна вимірювати електронним осцилографом?

5.2. Для якої мети застосовується в осцилографі синхронізуюча напруга?

5.3. Для якої мети в осцилографі застосовується напруга розгортки?

5.4. Яку форму має напруга на виході генератора розгортки?

5.5. На які електроди ЕПТ подається досліджувана напруга?

5.6. Які способи застосовуються для виміру частоти осцилографом?

5.7. Виходячи з якої умови визначають частоту невідомого сигналу за допомогою осцилографа?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1. Мета роботи

- 1.1 Дослідити властивості та принцип дії приладів для вимірювання температури.

2. Основні теоретичні положення

Ртутні термометри.

Ртутні термометри за призначенням розділяються на промислові (технічні), лабораторні і зразкові. Основна похибка ртутних термометрів залежить від діапазону показів і ціни поділу шкали, зі збільшенням яких вона зростає. Внаслідок невеликого відхилення видимого коефіцієнта розширення ртуті в склі при зміні температури ртутні термометри мають майже рівномірну шкалу. Ртутні термометри виготовляються двох видів; із вкладеною шкалою і паличні (рис. 11.1).

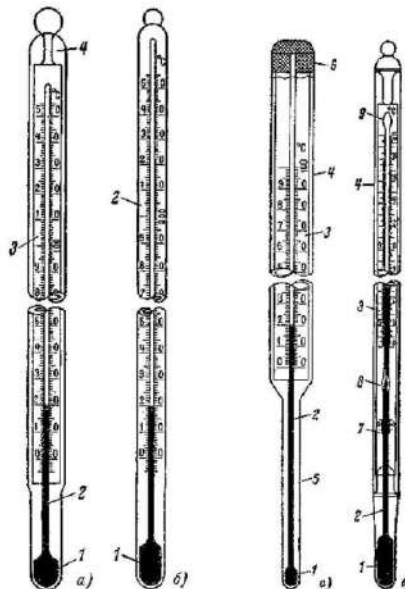


Рисунок 11.1 - Ртутні термометри

Термометр із вкладеною шкалою має заповнений ртуттю резервуар 1, капілярну трубку 2, циферблат 3 з молочного скла зі шкалою і зовнішньою циліндричною оболонкою 4, у якій укріплений капіляр і циферблат. Зовнішня оболонка з одного кінця щільно закрита, а з іншого - припаяна до резервуара.

Паличний термометр складається з резервуара 1, з'єднаного з товстостінним капіляром 2 зовнішнім діаметром 6-8 мм. Шкала термометра нанесена безпосередньо на поверхні капіляра у вигляді насічки по склу. Паличні термометри є більше точними в порівнянні з термометрами із вкладеною шкалою.

Недоліками ртутних термометрів є їхня крихкість, неможливість дистанційної передачі і автоматичного запису показів, більша інерційність і труднощі відліку через нечіткість шкали і поганої видимості ртуті в капілярі. Все це значною мірою обмежує їхнє застосування, залишаючи за ними головним чином область місцевого контролю і лабораторні вимірювання.

Точність показів ртутного термометра, як і будь-якого приладу, що вимірює температуру, залежить від способу його установки, тобто від а- з вкладеною шкалою; б – паличний, правильного вирішення питань пов'язаних з теплообміном між вимірюваною речовиною, термометром і зовнішнім середовищем. Це завдання зводиться до двох основних вимог: по-перше, до забезпечення найбільш сприятливих умов передачі тепла від вимірюваного середовища чутливої частини (резервуару) термометра і, по-друге, до зменшення по можливості віддачі тепла приладом навколишньому повітрю.

Особливо великий вплив на точність вимірювання робить витік тепла від термометра, що при рідкому вимірюваному середовищі визначається теплопровідністю частин приладу, а при газовій і паровій - ще додатковим обміном тепла випромінюванням з навколишніми поверхнями.

Крім того, уведена у вимірюване середовище чутлива частина приладу тією чи іншою мірою змінює навколишнє температурне поле внаслідок відводу тепла. У цих умовах вимірювання температури не дає правильних результатів, тому що покази приладу відповідають його власній температурі, що відрізняється від температури вимірювального середовища. Неправильна установка термометра, що дає більшу втрату тепла в навколишнє середовище, може привести до заниження його показів на 10-15 %.

Розглянуті нижче способи установки ртутних термометрів є в основному загальними для різних типів термометрів.

Застосовуються два способи установки ртутних термометрів: у захисних оправах (або гільзах) і шляхом безпосереднього занурення термометрів у вимірювальне середовище.

Досить розповсюдженою є установка термометра в захисній гільзі (рис. 10.2), що оберігає його від поломки і забезпечує необхідну щільність з'єднання в місці розташування приладу. Довжина захисної гільзи вибирається залежно від необхідної глибини занурення термометра. Для поліпшення теплопередачі від гільзи до резервуара термометра кільцевий зазор, що утвориться в гільзі, між резервуаром і її стінкою заповнюється при вимірюванні температури до 150 °С машинним маслом, а при більше високій температурі - мідною стружкою. Заповнення гільзи маслом або стружкою проводиться так, щоб у це середовище був занурений тільки резервуар термометра. Надмірне заповнення гільзи знижує точність вимірювання через зростання відтоку тепла і збільшує інерційність приладу.

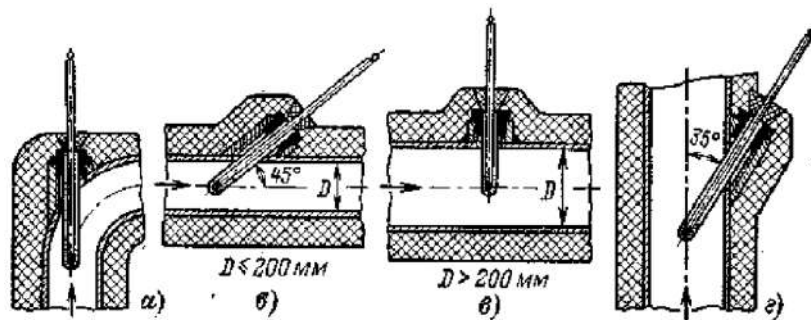


Рисунок 11.2 - Установка ртутного термометра в захисній гильзі.

При вимірюванні температури в трубопроводі термометр установлюється в положення, при якому вісь труби проходить посередині резервуару. Занурення кінця термометра до центра труби, тобто в зону найбільшої швидкості потоку, поліпшує теплообмін між середовищем, що рухається.

Найбільш правильною є установка термометра уздовж осі трубопроводу на коліні з висхідним потоком (рис. 11.2, а), тому що при цьому умови обтікання кінця гільзи досить сприятливі. На горизонтальному трубопроводі діаметром до 200 мм термометр установлюється похило до осі труби назустріч потоку (рис.11.2, б). При діаметрі трубопроводу більше 200 мм термометр

може бути розташований за нормаллю до осі труби (рис.11.2, в). На прямій вертикальній ділянці трубопроводу з висхідним потоком термометр завжди встановлюється похило назустріч потоку (рис. 11.2, г). Установлювати термометри на вертикальних трубопроводах зі спадним потоком не рекомендується.

Дилатометричні термометри

До дилатометричних термометрів відносяться стрижневі і пластинчастий (біметалічний) термометри, дія яких засноване на відносному подовженні під впливом температури двох твердих тіл, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення.

Стрижневий термометр (рис. 11.3 а) має закрити з одного кінця трубку 1, що поміщується у вимірювальне середовище і виготовлену з матеріалу з більшим коефіцієнтом лінійного розширення. У трубку вставлений стрижень 2, що притискається до її дна важелем 3, з'єднаним із пружиною 4. Стрижень виготовлений з матеріалу з малим коефіцієнтом розширення. При зміні температури трубка змінює свою довжину, що приводить до переміщення в ній стрижня, що зберігає майже постійні розміри і з'єднаного за допомогою важеля 3 із вказівною стрілкою приладу.

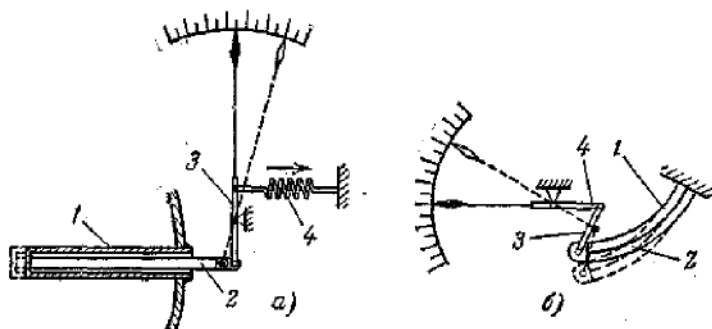


Рисунок 11.3 - Дилатометричні термометри:

а – стрижневий; б – пластинчастий

Пластинчастий термометр (рис. 11.3 б) складається із двох вигнутих і спаяних між собою по краях металевих смужок, з яких смужка 1 має великий коефіцієнт лінійного розширення, а смужка 2 - малий. Отримана пластинка міняє залежно від температури ступінь свого вигину, величина якого за допомогою тяги 3, важеля 4 і з'єднаної з ним стрілки вказується по шкалі

приладу. При збільшенні температури пластинка вигинається убік металу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення.

Дилатометричні термометри не одержали поширення як самостійні прилади, а використовуються головним чином як чутливі елементи в сигналізаторах температури. Крім того, пластинчасті термометри іноді застосовуються для компенсації впливу змінної температури навколишнього повітря на покази інших приладів, у які вони вбудовуються.

Манометричні термометри

Дія манометричних термометрів заснована на залежності тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі (термосистемі) від температури. Зазначені термометри є промисловими що показують і самописними приладами, призначеними для вимірювання температури в діапазоні до 600 °С. Клас точності їх 1-2,5.

Залежно від робочої речовини, яка використовується в термосистемі, манометричні термометри розділяються на газові, рідинні і конденсаційні (мають як робочу речовину органічні рідини з низькою температурою кипіння: хлористий метил, ацетон і фреон). Вибір робочої речовини виконується виходячи із заданого діапазону показів і умов вимірювання.

Схема манометричного термометра, що показує, приведена на рис. 11.4. Термосистема приладу, заповнена робочою речовиною, складається з термобалону 1, що занурюється у вимірювальне середовище, манометричної трубчастої пружини 2, що діє за допомогою тяги 3 на вказівну стрілку 4, і капіляра 5, що з'єднує пружину з термобалоном.

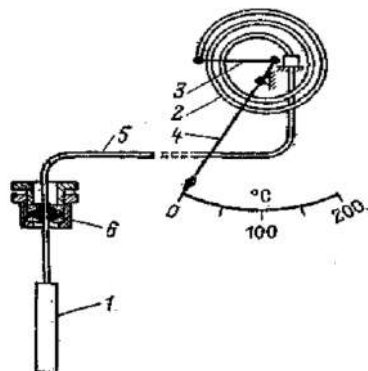


Рисунок 11.4 - Схема манометричного термометра, що показує

Термобалон являє собою металеву трубку, закриту з одного кінця, а з іншого з'єднану з капіляром. За допомогою знімного штуцера б з різьбленням і сальником термобалон установлюється в трубопроводах, баках і т.п. Можлива установка його і у захисній гільзі. При нагріванні термобалона збільшення тиску робочої речовини передається через капіляр трубчастій пружині і приводить до розкручування останньої доти, поки діюче на неї зусилля, пропорційне різниці тисків у системі і навколишнім повітрі, не зрівноважиться силою її пружної деформації.

Термоелектричні термометри

Дія термоелектричних термометрів заснована на властивості металів і сплавів створювати термоелектрорушійну силу (термо-е.р.с), що залежить від температури місця з'єднання (спаю) кінців двох різнорідних провідників (термоелектродів), що утворюють чутливий елемент термометра - термопару. Маючи у своєму розпорядженні закон зміни термо-е.р.с. термометра від температури і визначаючи значення термо-е.р.с. електровимірювальним приладом, можна знайти шукане значення температури в місці вимірювання.

Термоелектричний термометр, що складається із двох спаяних і ізольованих по довжині термоелектродів, захисного чохла і головки із затискачами для підключення сполучної лінії, є первинним вимірювальним перетворювачем. Як вторинні прилади, що працюють з термоелектричними термометрами, застосовуються магнітоелектричні мілівольтметри і потенціометри.

Термоелектричні термометри широко застосовуються в енергетичних установках для вимірювання температури перегрітої пари, димових газів, металу труб котлоагрегатів і т.п. Позитивними властивостями їх є: великий діапазон вимірювання, висока чутливість, незначна інерційність, відсутність стороннього джерела електричного струму і легкість здійснення дистанційної передачі показів.

Для одержання порівняно високих значень термо-е.р.с. вибір термоелектродів проводиться таким чином, щоб у парі із платиною один з них створював позитивну, а інший негативну термо-е.р.с.

Термоелектричні термометри, що одержали практичне застосування, розділяються по матеріалам термоелектродів на дві групи: зі благородних (платина, платинородій) і неблагородних металів або сплавів (хром-алюмель, хромель-копеловий сплав). Термометри типів ТПП і ТПР із термоелектродами із благородних металів і сплавів застосовуються головним чином для вимірювання температури вище 1000°C , тому що вони мають велику термостійкість. Незважаючи на відносно малі значення що розвиває термо-е.р.с. термометри типу ТПП завдяки винятковій сталості термоелектричних властивостей і великому діапазону вимірювання одержали широке поширення головним чином як лабораторні, зразкові і еталонні.

Випускаються одинарні (з одним чутливим елементом) і подвійні (із двома чутливими елементами) термоелектричні термометри різних типів.

Подвійні термометри застосовуються для вимірювання температури в тому самому місці одночасно двома вторинними приладами, установленими в різних пунктах спостереження. Вони містять два однакових чутливих елементи, з'єднаних у загальні арматури. Термоелектроди ізольовані одне від одного і знаходяться у захисному чохлі.

На рис.10.5 показаний устрій термометра типу ТПП. Термоелектроди, що утворюють робочий кінець (спай) 1, ізольовані по довжині порцеляновими трубками 2 і 3 і поміщені в захисний чохол 4, розрахований на атмосферний тиск. Для додання чохла додаткової міцності неробоча частина його вставлена в сталеву трубку 5. За допомогою сталевих втулок 6 і 7 захисний чохол з'єднаний з корпусом 8, у якому закріплені два затискачі 9 із припаяними до них термоелектродами, ущільненими мастикою 10. Корпус закритий знімною кришкою 11 на різьбленні, ущільненим прокладкою 12. Для введення в корпус зовнішніх сполучних проводів служить штуцер 13 з ущільненням 14. На поверхні закріплена металева табличка 15, на якій зазначені: тип термометра, допустимий тиск і кінцеву температуру вимірюваного середовища, матеріал

захисного чохла, дата виготовлення термометра і марка підприємства-виробника.

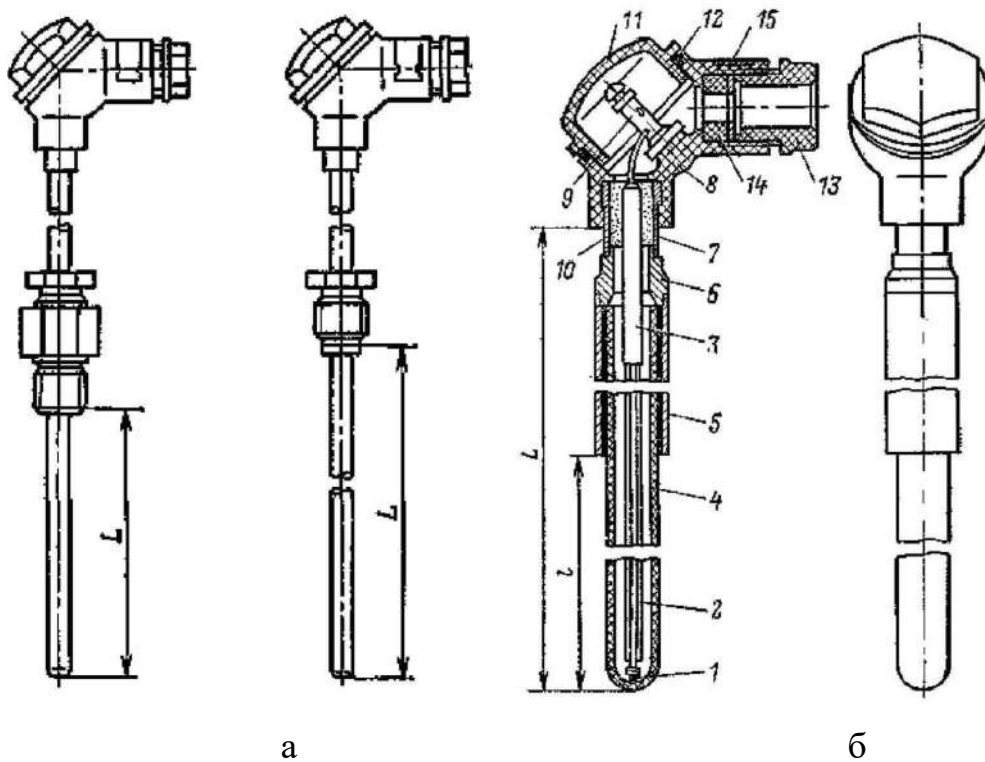


Рисунок 10.5 - Термоелектричний термометр типу ТПП (а) та ТХА (б)

На точність вимірювання термоелектричним термометром великий вплив роблять спосіб установки і правильність проведення перевірки термометра і вторинного приладу.

Одним з основних вимог, які рекомендуються при установці термоелектричного термометра, є досягнення мінімального витoku тепла по його арматурах. Для цього термометр можливо глибше занурюють у вимірювальне середовище, що приводить до збільшення теплосприймаючій поверхні, і розташовується в місцях з великою швидкістю потоку, що поліпшує умови теплообміну.

Термометри опору

Для вимірювання температури широке застосування отримали термометри опору, дія яких заснована на зміні електричного опору металевих провідників залежно від температури. Метали, як відомо, збільшують при нагріванні свій опір. Отже, знаючи залежність опору провідника від

температури і визначаючи цей опір за допомогою електровимірювального приладу, можна судити про температуру провідника.

Застосовуються технічні (промислові), зразкові і еталонні платинові термометри опору.

Термометр опору, чутливий елемент якого складається з тонкого спірального дроту (обмотки), ізольованого і поміщеного в металевий захисний чохол з головкою для підключення сполучних проводів, є первинним вимірювальним перетворювачем, які живляться від стороннього джерела струму.

Як вторинні прилади, що працюють із термометрами опору, застосовуються врівноважені і неуврівноважені вимірювальні мости і магнітоелектричні логометри.

Кінцева межа вимірів дрових термометрів опору, обумовлена стійкістю їх при нагріванні, дорівнює **650 °C**.

Переваги термометрів опору: висока точність вимірювання, можливість одержання приладів з безнульовою шкалою на вузький діапазон температур, легкість здійснення автоматичного запису і дистанційної передачі показів і можливість приєднання до одного вторинного приладу за допомогою перемикача декількох однотипних термометрів. До недоліків цих приладів ставиться потреба в стороннім джерелі струму.

Пірометри

Пірометри застосовуються для вимірювання температури тіл у діапазоні - 30...6000 °C. Дія цих приладів заснована на залежності теплового випромінювання нагрітих тіл від їхньої температури і фізико-хімічних властивостей. На відміну від термометрів первинний перетворювач пірометра не підпадає під вплив високої температури і не змінює температурне поле, тому що перебуває поза вимірювального середовища.

З підвищенням температури нагрітого тіла інтенсивність його теплового випромінювання у вигляді електромагнітних хвиль різної довжини швидко зростає. При нагріванні до 500°C тіло випромінює невидимі інфрачервоні

промені великої довжини хвилі, однак подальше збільшення температури викликає появу видимих променів меншої довжини, завдяки яким тіло починає світитися. Спочатку розпечене тіло має темно-червоні кольори, що у міру росту температури і появи променів, що поступово зменшуються за довжиною хвилі, переходить у червоний, жовтогарячий, жовтий і, нарешті, білі кольори, що складається з комплексу променів різної довжини хвилі.

Одночасно зі збільшенням температури нагрітого тіла і зміною його кольору сильно зростає інтенсивність часткового (монохроматичного або одноколірного) випромінювання (яскравість) для даної ефективної довжини хвилі, а також помітно збільшується інтенсивність сумарного випромінювання (радіація) тілом енергії, що дозволяє використовувати ці властивості для вимірювання температури нагрітих тіл.

Різні фізичні тіла, що нагріті до однієї і тієї ж температури, мають неоднакові часткову і сумарну інтенсивності випромінювання і мають різні коефіцієнти поглинання, що представляють собою відношення енергії, поглиненої тілом, до енергії, що падає на тіло.

Найбільшу здатність випромінювання і поглинання енергії має так називане абсолютно чорне тіло, у природі не існуюче, що представляє собою уявлюваний ідеальний випромінювач. Це тіло поглинає всі падаючі на нього промені, тобто має коефіцієнт поглинання, що дорівнює одиниці, і має найбільшу інтенсивність випромінювання. Фізичні тіла мають здатність відбивати частину падаючих на них променів і, отже, завжди мають коефіцієнт поглинання менше одиниці. Інтенсивність випромінювання і коефіцієнт поглинання при даній температурі залежать від складу речовини і стану його поверхні. Тіло, що має темну і шорсткувату поверхню, ближче по своїх властивостях до чорного тіла, чим тіло зі світлою і полірованою поверхнею.

У цьому зв'язку шкалу пірометра доводиться градувати по випромінюванню чорного тіла. Тому що випромінювальна здатність реальних тіл менше, ніж чорних тіл, то покази пірометра будуть відповідати не дійсній температурі реального тіла, а дають умовну температуру або, у цьому випадку, так названу температуру яскравості. Пірометри, що вимірюють температуру

яскравості по спектральній яскравості у видимій частині спектра, називають оптичними (квазімонохроматичні) візуальними пірометрами і фотоелектричними.

Прилади, що вимірюють температуру за значенням відносини енергетичних яскравостей у двох спектральних інтервалах, називають кольорними пірометрами або пірометрами спектрального відношення.

Оптичні пірометри широко застосовуються в лабораторних і виробничих умовах для вимірювання температур вище 800 °С. Принцип дії оптичних пірометрів заснований на порівнянні спектральної яскравості тіла зі спектральною яскравістю градуйованого джерела випромінювання. Як чутливий елемент, що визначає збіг спектральних яскравостей у візуальних оптичних пірометрах, служать очі людини. Найпоширенішим є оптичний пірометр зі зникаючою ниткою, схема якого наведена на рис. 10.6а. Для вимірювання температури об'єктів приладу направляється на об'єкт вимірювання ОИ так, щоб спостерігач на його тлі побачив в окулярі 7 нитку оптичної лампи 4.

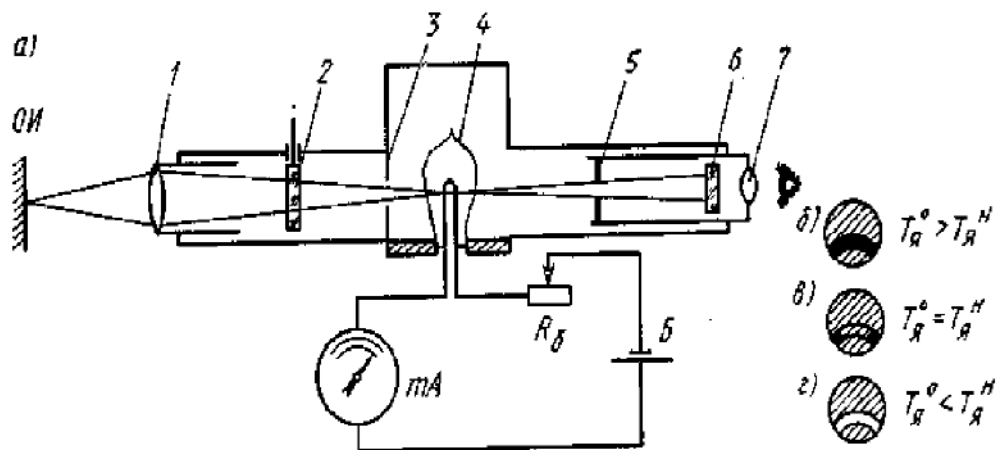


Рисунок 10.6 - Оптичний пірометр

Порівняння спектральних яскравостей об'єкта вимірювання і нитки лампи 4 здійснюються звичайно при довжині хвилі рівної 0,65 мкм, для чого перед окуляром установлений червоний світлофільтр 6. Вибір червоного світлофільтра обумовлений тим, що око людини сприймає через цей фільтр тільки частину спектра його пропущення, що наближається до

монохроматичного променя. Крім того, застосування червоного світлофільтра дозволяє знизити нижню межу вимірювання пірометра.

Спостерігаючи за зображенням нитки лампи на тлі об'єкта вимірювання (світлий фон - темна нитка (рис.10.6 б); темний фон - світла нитка (рис.10.6 г)) за допомогою реостата змінюють силу струму, що йде від батареї Б до нитки лампи, доти, поки яскравість нитки не стане рівною видимій яскравості об'єкта вимірювання. При досягненні зазначеної рівності нитка "зникає" на фоні зображення об'єкта вимірювання (мал. 6 в). У цей момент по шкалі міліамперметра, попередньо градуированого в значеннях температури яскравості нитки лампи, визначають яскравісну температуру об'єкта. По обмірюваній яскравісній температурі і відповідних вираженнях розраховують істинну температуру об'єкта.

Звичайно в оптичних пірометрах є дві шкали, однією з яких користуються при не встановленому поглинаючому світлофільтрі, наприклад від 800 до 1200 °С, а другий - при встановленому світлофільтрі від 1200 до 2000 °С. Існуючі в цей час оптичні пірометри призначені для вимірювання температур в інтервалі від 800 до 6000°С и мають різні модифікації з різними межами вимірювання. Клас точності оптичних пірометрів 1,5-4,0.

На точність вимірювання температури оптичними пірометрами впливають ступінь відхилення властивостей випромінювача від властивостей чорного тіла, а також поглинання променів проміжним середовищем, через яку проводиться спостереження. На результати вимірювання впливають наявність у навколишнім повітрі пилу, диму і великого змісту двоокису вуглецю. Крім того, усяке забруднення оптичної системи пірометрів також веде до збільшення похибки вимірювання.

Достоїнствами оптичних пірометрів є порівняно висока точність вимірювання, компактність приладу і простота роботи з ними. До числа їхніх недоліків варто віднести потребу в джерелі живлення, неможливість стаціонарного вимірювання температури і автоматичного її запису, а також суб'єктивність методу вимірювання, заснованого на спектральній чутливості очей спостерігача.

Багато реальних тіл, такі, як кераміка, оксиди металів, вогнестійкі вироби, графіт і ін., є практично сірими. У цьому зв'язку переваги колірного методу вимірювання очевидні, тому що колірна температура багатьох твердих і рідких тіл значно менше відрізняється від істинної температури, чим яскравісна або радіаційна.

Фотоелектричні пірометри

На відміну від оптичних візуальних пірометрів фотоелектричні пірометри є автоматичними. Чутливими елементами, що сприймають променисту енергію, у цих приладах можуть служити фотоелементи, фотомножники, фотоелементи опору і фотодіоди. Вимір температури фотоелектричними пірометрами, як і оптичними візуальними, засновано на залежності спектральної яскравості тіла від його температури.

Фотоелектричні пірометри за принципом дії бувають двох типів. До першого типу відносяться прилади, у яких сприймана приладом промениста енергія, потрапляючи на чутливий елемент, змінює його параметри (фотострум, опір). У приладах другого типу вимір променистої енергії здійснюється компенсаційним методом, тут чутливий елемент працює в режимі нуль-індикатора, порівнюючи інтенсивності випромінювання від вимірюваного тіла і стабільного джерела випромінювання - мініатюрної лампочки накаливання.

Пірометри сумарного випромінювання

Вимірювання температури пірометрами сумарного випромінювання засновано на використанні теплового випромінювання нагрітих тіл. Теплові промені, які уловлюються пірометром, концентруються за допомогою збірної лінзи на термочутливому елементі, що складається з невеликої термобатарей. Променистий потік направляється лінзою на робочі кінці термобатарей, по ступені нагрівання яких судять про температуру випромінювача. **Вторинним приладом пірометра служить мілівольтметр або автоматичний потенціометр.** Пірометр сумарного випромінювання характеризується рядом переваг у порівнянні з візуальним, що полягають в об'єктивності методу вимірювання, відсутності стороннього джерела живлення і можливості

застосування дистанційної передачі показів на вторинні прилади, але уступає йому, як було зазначено раніше, у точності вимірювання.

3. Завдання

Після ознайомлення з представленими зразками КВП для вимірювання температури, виміряти температуру навколишнього середовища за допомогою термометра та температуру робочого стола за допомогою пірометра.

https://www.youtube.com/watch?v=TC1cYbHUTEI&list=ULCY-MR_Up19s&index=302

<https://www.youtube.com/watch?v=yHMb7abPQIA>

4. Контрольні запитання

- 4.1 Які прилади для вимірювання температури Ви знаєте?
- 4.2 Який принцип дії та будова термометрів опору?
- 4.3 Для чого використовуються пірометри?
- 4.4 Що таке чутливість вимірювального приладу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

1. Мета роботи

1.1 Дослідити властивості та принцип дії приладів для вимірювання тиску.

2. Основні теоретичні положення

Вивчення будови пружинних манометрів і типів похибок при вимірюванні.

У техніці для вимірювання великого діапазону тиску 0,5-1000 ат і вакууму широко використовуються манометри з одновитковою трубчастою пружиною. Будова приладу показана на рис. 12.1.

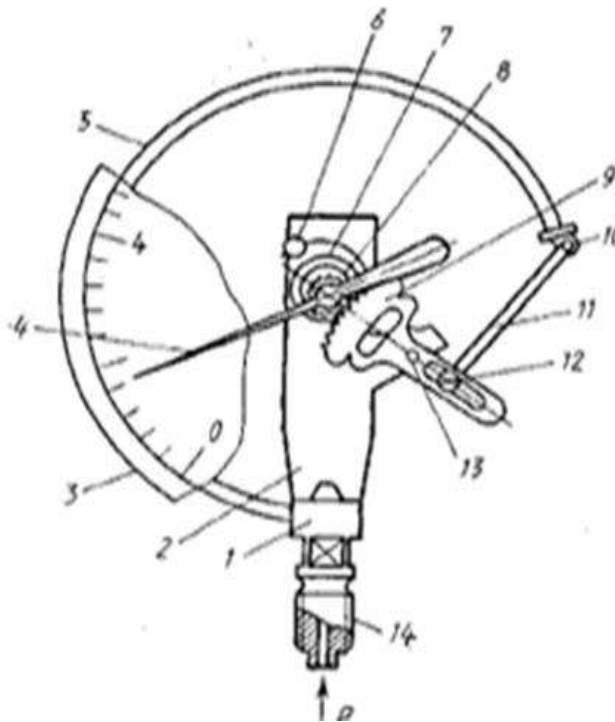


Рисунок 12.1 – Схема манометра
з одновитковою трубчастою пружиною

Основною деталлю є зігнута по дузі кола порожниста трубка, запаяна з одного кінця, а іншим вона приєднана до штуцера. Поперечний перетин трубки має овальну форму. Велика вісь паралельна осі одновиткової трубчастої пружини. Під дією перепаду тиску відбувається деформація перетину трубки: велика вісь овалу меншає, а менша збільшується.

Внаслідок цього трубка під дією надмірного тиску розгинається, а при тискові менше за атмосферний (тобто під дією вакууму) зменшує радіус кривизни. Переміщення запаяного кінця трубки за допомогою передаточного механізму, що складається з поводка, зубчатого сектора, перетворюється в переміщення стрілки 8. На осі стрілки насаджена трибка (шестерня з малим числом зубів), яка знаходиться в зачепленні із зубчатим сектором. Для підвищення точності показів приладу люфт між зубцями усувається спіральною пружиною. Весь механізм закривається корпусом, на передній панелі знаходиться циферблатна шкала.

Технічні манометри мають клас точності від 0,5 до 6; зразкові - 0,2, 0,4.

Клас точності приладу - величина максимально допустимої абсолютної похибки, виражена у відсотках від найбільшого значення на шкалі приладу.

Ознайомлення з правилами експлуатації пружинних манометрів.

1. У місці установки приладу повинні бути відсутні вібрації і струси.
2. Робоче положення манометра - вертикальне і в основному штуцером вниз.
3. Прилади включаються і вимикаються повільним поворотом рукоятки вентиля.
4. Перед початком і в кінці вимірювань перевіряється установка стрілки на нуль.

Вивчення будови стенду МП-600 для перевірки манометрів

Технічні манометри перевіряють на відповідність приладу до його класу точності. Для лабораторних приладів метою перевірки є побудова тарировочної залежності $\Delta p = f(p)$, необхідної для компенсації систематичної похибки. Як зразковий прилад застосовують манометри з максимальною абсолютною похибкою в чотири рази меншої і з більшим діапазоном вимірювань, щоб шкала зразкового манометра перекривала шкалу що, перевіряється.

На рис.12.2. зображена схема установки для перевірки пружинних манометрів.

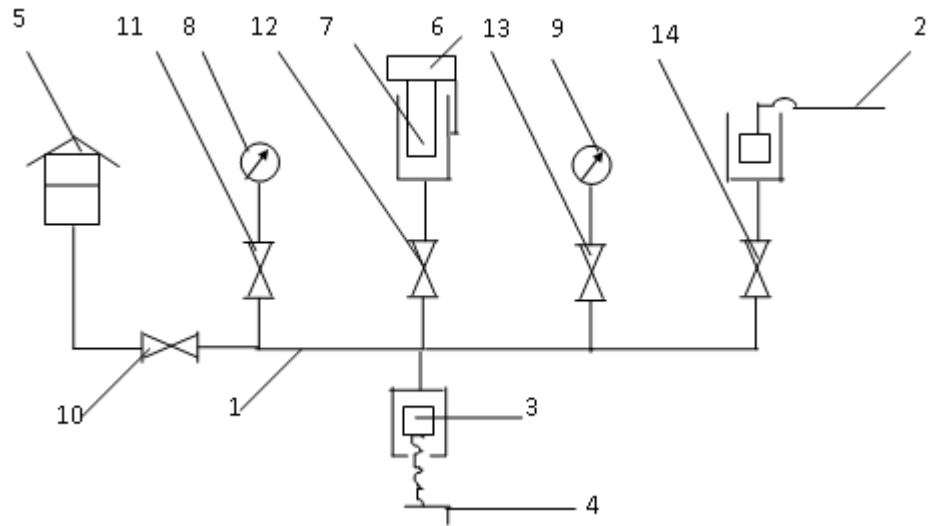


Рисунок 12.2 – Установка для перевірки пружинних манометрів.

Конструкція установки забезпечує проведення перевірки по показанням зразкових манометрів двох типів: 1) вантажопоршневого; 2) пружинного.

В установці всі складові вузли приєднуються за допомогою вентиляльних кранів 10, 14 до трубки 1, яка заповнюється маслом з ємності 5.

Спочатку тиск в гідросистемі створюється плунжерним насосом 2. Точна установка необхідного тиску проводиться пресовим пристроєм, що складається з плунжера 3 і гвинтового механізму зі штурвалом 4. Тиск, що створюється в рідині, одночасно вимірюється випробуваним манометром 9, зразковим випробуваним пружинним 8, або зразковим вантажним манометром 7, в якому тиск рідини встановлюється кількістю змінних вантажів. Всі вузли розміщені на плиті, горизонтальне положення якої виставляється мікрометричними гвинтами.

3. Порядок виконання роботи

1. Манометр 9 приєднують до установки.
2. Закривши вентиля 11, 12, і 13 від'єднують манометри від системи.
3. Циліндр пресового пристрою і трубопровід заповнюють плунжерним насосом 2 при відкритому вентилі 14 і максимально виведеному поршні 3. Після заповнення установки маслом кран 14 закривають.
4. Корпус приладу встановлюють в горизонтальному положенні за допомогою мікрометричних гвинтів, і перевіряють по рівню.

5. Рівномірно розподіляють по шкалі манометра контрольні точки. Для класів 4-6 намічають три точки, для класів 1-2, в п'ять точок.

6. У більш точних приладах призначають десять точок.

7. У протоколі відмічають початкове положення стрілки.

8. Вантаж, відповідний заданому тиску в першій точці, встановлюється на тарілку 6, відкривають вентиль 12 і приводять у рух плунжер 7 спільно з вантажем. Обертаючи штурвал 4 за годинниковою стрілкою підвищуємо тиск масла доти, поки плунжер спливе до рівня показчика на тарілці.

9. Відкривають вентиль 13, тим самим включають випробуваний манометр 9. Повертаючи штурвал 4 підтримують заданий тиск на вантажному поршневому манометрі 7. Записують в протокол покази випробуваного манометру (після легкого постукування по корпусу манометра).

10. Операції викладені в пп. 7 і 8, послідовно виконують для всіх намічених точок. Потім витримують систему при найбільшому тиску протягом 5 хвилин.

11. Проводять повторні вимірювання з самого початку, тим самим для кожної точки отримують 4 значення тиску, що цілком досить для виключення випадкових похибок при обчисленні середнього арифметичного тиску.

$$P_{срi} = \frac{(Pi \uparrow + Pi \downarrow)_1 + (Pi \uparrow + Pi \downarrow)_2}{4}, \quad (12.1)$$

де $P_{срi}$ - середнє арифметичне значення показів випробуваного манометру, Па;

$Pi \uparrow$ - покази манометру при збільшенні тиску, Па;

$Pi \downarrow$ - покази манометру при зменшенні тиску, Па.

У кожній наміченій точці обчислюємо абсолютну систематичну похибку

$$\Delta P_i = \Delta P_{срi} - \Delta P_{зразк}, \quad (12.2)$$

де ΔP_i - абсолютна похибка, Па;

$\Delta P_{срi}$ - середнє арифметичне значення тиску, Па;

$\Delta P_{зразк}$ - показання зразкового манометра, Па.

Максимальне розходження показів приладів при прямому і зворотному ході

$$\eta = |P_{i\uparrow} - P_{i\downarrow}|, \quad (12.3)$$

При використанні як еталонних приладів зразкових манометрів перевірка пружинних манометрів проводиться в тому ж порядку, за винятком пунктів 7 і 8, які формулюються таким чином:

За допомогою плунжерного насоса 2 створюємо тиск в мережі не набагато менше необхідного. Закриваємо вентиль 14.

Відкриваємо вентилі 11 і 13, тим самим приєднуємо зразковий і випробуваний манометри. Повільно повертаючи за годинниковою стрілкою штурвал 4 поршнем 3 поступово доводимо тиск до необхідного. Величину тиску в системі встановлюємо по показам зразкового манометра.

Перевірка технічного манометра і запис показів приладів, обробка результатів вимірювань.

4. Завдання

Записати покази приладів в таблицю 12.1 і обробити результати дослідження.

Таблиця 12.1

$P_{\text{зразк.}}$	$P_{\text{ср}}$	$P_{i\uparrow}$	$P_{i\downarrow}$	$\Delta\uparrow = P_{i\uparrow} - P_{\text{ср}}$	$\Delta\downarrow = P_{i\downarrow} - P_{\text{ср}}$	Результати перевірки
						1. Положення стрілки при нульовому тиску. 2. Найбільша абсолютна систематична похибка.
						3. Найбільша варіація показань.

Прилад вважаємо, таким що задовольняє класу точності, якщо дані із останньої колонки протоколу знаходяться в межах найбільшої похибки приладу, яка співпадає з половиною ціни поділки шкали манометру.

Якщо прилад використовується як лабораторний, то обчислюємо поправки до показів випробуваного приладу

$$\Delta P = \Delta P_{\text{зразк.}} - \Delta P_{\text{ср}}, \quad (12.4)$$

і будуємо графік залежності $\Delta P = f(P_{\text{ср}})$.

5. Контрольні питання.

- 5.1 Що таке тиск та які види тиску Ви знаєте?
- 5.2 В яких одиницях вимірюється надлишковий тиск?
- 5.3 Які прилади для вимірювання тиску Ви знаєте?
- 5.4 Яка будова та принцип дії пружинного манометра?
- 5.5 Які рідинні манометри Ви знаєте?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ
КІЛЬКОСТІ ТА ВИТРАТИ

1. Мета роботи

1.1. Дослідити властивості та принцип дії приладів для вимірювання витрати.

2. Основні теоретичні положення

Витратоміри із звужуючим пристроєм.

Принцип дії витратомірів із звужуючим пристроєм заснований на зміні потенційної енергії вимірювальної речовини при протіканні через штучно звужений перетин трубопроводу. Широке використання цього принципу пов'язане з рядом властивих йому переваг. До їхнього числа відносяться: простота і надійність, відсутність частин, що рухаються, легкість серійного виготовлення засобів вимірювання практично на будь-які тиски і температури вимірювального середовища, низька вартість, можливість вимірювання практично будь-яких витрат і, що особливо істотно, можливість одержання градірованої характеристики витратомірів розрахунковим шляхом, тобто без використання дорогих метрологічних установок.

Витратомір складається із звужуючого пристрою, змонтованого в трубопроводі для створення місцевого стиску потоку (первинний перетворювач), диференціального манометра, призначеного для вимірювання різниці статичних тисків середовища, що протікає, до і після звужуючого пристрою (вторинний прилад), і сполучних ліній (двох трубок), що зв'язують між собою обидва прилади.

Звужуючий пристрій звичайно має круглий отвір, розташований концентрично щодо стінок труби, діаметр якого менше внутрішнього діаметра трубопроводу.

Диференціальний манометр (дифманометр-витратомір) виконується таким, що показує або самописним, і додатково може мати вбудований

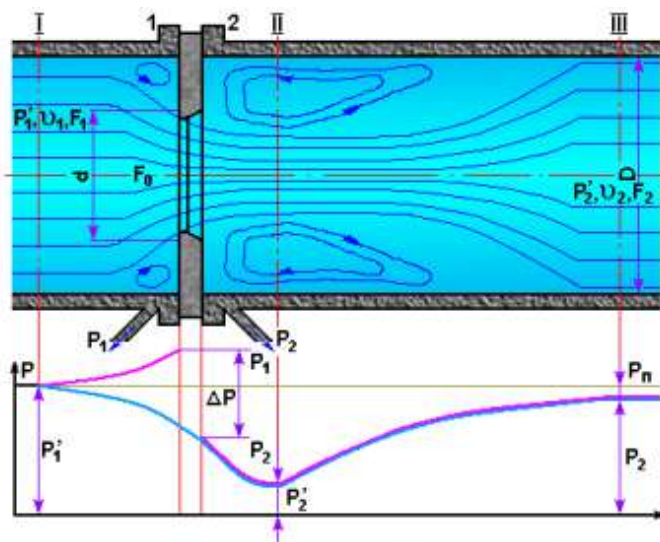
інтегратор. Шкала промислового дифманометра-витратоміра градирується в об'ємних або масових одиницях витрати.

Витратомір із звужуючим пристроєм, що має електричну дистанційну передачу показів містить, як правило, безшкальний витратомір-дифманометр-витратомір (проміжний перетворювач), у комплекті з показуючим або самописним вторинним приладом.

Витратоміри із звужуючим пристроєм придатні для вимірювання речовини, що протікає по трубопроводу, за умови заповнення нею усього поперечного перерізу труби і встановленого в ній звужуючого пристрою.

При проходженні потоку через звужуючий пристрій відбувається зміна потенційної енергії речовини, частина якого внаслідок місцевого стиснення потоку і відповідного збільшення швидкості потоку перетворюється в кінетичну енергію. Зміна потенційної енергії приводить до появи різниці статичних тисків (перепаду тиску), що визначається за допомогою дифманометра.

На рис. 13.1 показана схема встановлення в трубопроводі найбільш простого звужуючого пристрою (діафрагми) у вигляді тонкого диска із круглим отвором посередині і зображення характеру потоку.



Різниця тисків P_1 та P_2 називається перепадом тиску ΔP . $\Delta P = P_1 - P_2$

Рисунок 13.1 - Характер потоку при встановленні звужуючого пристрою.

Там же даний розподіл статичного тиску P по довжині потоку l . Стиснення потоку починається перед діафрагмою і завдяки дії сил інерції

досягає найбільшої величини на деякій відстані за нею, після чого потік знову розширюється до повного перетину трубопроводу. Перед діафрагмою і за нею в кутах утворюються зони з вихровим рухом, причому зона вихрів після діафрагми більше значна, чим до неї. Тиск потоку біля стінки трубопроводу (суцільна лінія) трохи зростає за рахунок підпору перед діафрагмою і знижується до мінімуму за діафрагмою в точці найбільшого звуження потоку, де перетин потоку менше, ніж отвір діафрагми. Далі в міру розширення потоку тиск біля стінки знову підвищується, але не досягає колишнього значення на величину РП через наявність безповоротних втрат на завихрення, удар і тертя. Зміна тиску потоку по осі трубопроводу практично збігається зі зміною тиску біля його стінки, за винятком ділянки перед діафрагмою і безпосередньо в ній, де тиск потоку по осі труби знижується (пунктирна лінія). При протіканні вимірювального потоку через отвір звужуючого пристрою збільшується швидкість потоку в порівнянні з його швидкістю до звуження. Завдяки цьому тиск потоку на виході із звужуючого пристрою зменшується і на звужуючому пристрої створюється перепад тиску, вимірювальний дифманометром, який залежить від швидкості у звуженні або від витрати потоку.

Якщо через звужуючий пристрій протікає стисливе середовище (газ або пара), то внаслідок зниження тиску збільшується її об'єм. Це приводить до того, що швидкість потоку зростає і стає більше швидкості нестисливого середовища. У результаті на звужуючому пристрої збільшується перепад тиску. Врахування зазначеного явища виконується введенням у рівняння витрат (3) додаткового коефіцієнта $\epsilon < 1$, названого поправочним множником на розширення вимірювального середовища.

Звужуючі пристрої. Для вимірювання витрати середовища одержали поширення три види нормалізованих звужуючих пристроїв: витратомірна діафрагма, витратомірне сопло і сопло Вентурі і труби Вентурі, які мають посередині круглий отвір (рис. 13.2). Дослідним шляхом для цих звужуючих пристроїв знайдені точні значення коефіцієнта витрати α , що дозволяє застосовувати їх без попередньої градуировки. На рис. 1 показані місця відбору

тисків P_1 і P_2 від звужуючих пристроїв до дифманометра. Характерною рисою звужуючих пристроїв є менша, чим для діафрагми, безповоротна втрата тиску.

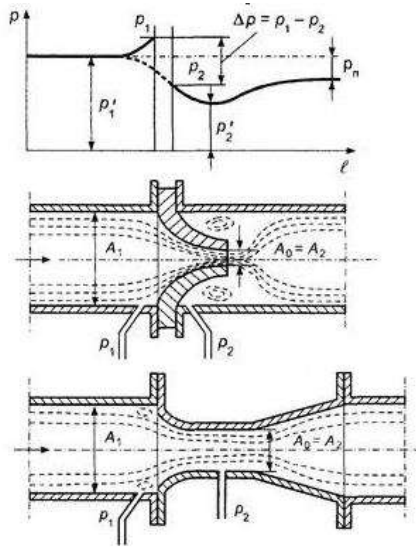


Рисунок 13.2 – Приклад звужуючих пристроїв

Втрата тиску при використанні діафрагми або сопла практично та сама (рис. 13.3). У соплах Вентурі втрата тиску значно менше, що фізично пояснюється наявністю дифузора на виході, завдяки якому йде відновлення потенційної енергії.

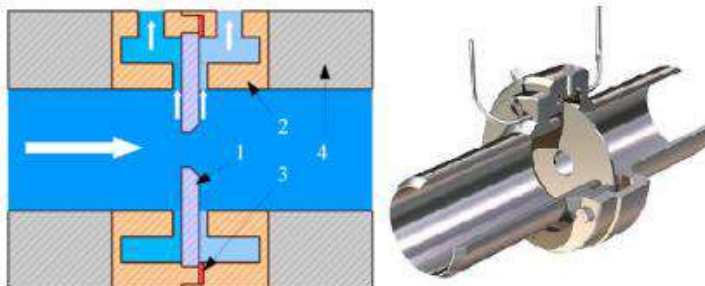


Схема встановлення діафрагми в кільцевій камері, яка встановлена в трубу.

1. Діафрагма; 2. Кільцева камера; 3. Прокладка; 4. Труба.

Стрілки вказують напрям руху рідини/газу. Відтінками кольору показано зміна тиску.

Рисунок 13.3 – Схема встановлення діафрагми в кільце

За способом відбору тиску до дифманометра витратомірні діафрагми і сопла діляться на камерні і безкамерні (із точковим відбором). Більше удосконаленими з них є камерні пристрої. У камерній діафрагмі тиски до дифманометра передаються за допомогою двох кільцевих зрівняльних камер, розташованих у її корпусі перед і за диском з отвором, з'єднаних з порожниною трубопроводу двома кільцевими щілинами або групою

рівномірно розташованих по окружності радіальних отворів (не менш чотирьох з кожної сторони диска). Кільцева камера перед диском називається плюсовою, а за ним - мінусовою. Наявність у діафрагмі кільцевих камер дозволяє усереднити тиск по окружності трубопроводу, що забезпечує більше точний вимір перепаду тиску.

Відбір перепаду тиску в безкамерній діафрагмі виконується за допомогою двох окремих отворів у її корпусі або у фланцях трубопроводу перед і за диском. У цьому випадку вимірювальний перепад тиску є менш точним, чим при кільцевих камерах (рис. 13.4).

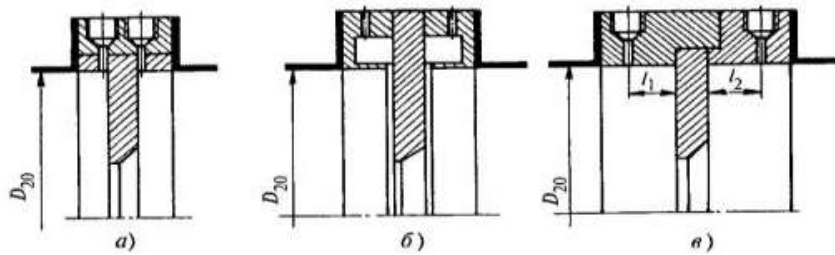


Рис. 3. Способи відбору тиску: (слайд 26)

а - через окремі отвори; б - з кільцевих камер; в - через отвори у фланцях.

Рисунок 13.4 – Способи відбору тиску

Точність вимірювання витрати за допомогою діафрагм залежить від ступеня гостроти входної крайки отвору, що впливає на значення коефіцієнта витрати α . Для виготовлення проточної частини діафрагм і сопел застосовуються матеріали стійкі проти корозії і ерозії, тобто нержавіюча сталь, а в деяких випадках - латунь або бронза. У якості звужуючого пристрою найчастіше застосовується діафрагма (рис.13.5). Сопло вибирається у випадках, коли необхідно зменшити вплив корозії і ерозії звужуючого пристрою на результати вимірювання.

Діафрагми можуть бути наступних видів: (слайд 14)



(слайд 15)



Сегментна діафрагма та з прямокутним отвором;

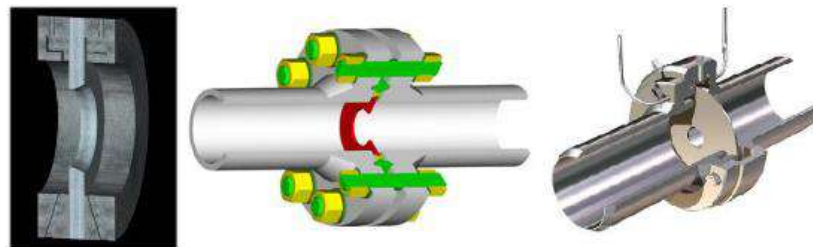
(слайд 18)



Рисунок 13.5 – Приклади діафрагм

Діафрагми і сопла більше вивчені і тому дають більше високу точність вимірювання, чим сопла Вентурі (рис.13.6). Основна похибка діафрагм і сопел становить $\pm 0,6-2,5 \%$. Великий вплив на точність вимірювання роблять умови монтажу звужуючих пристроїв у трубопроводах. При неправильній установці похибка вимірювання значно зростає.

Так виглядає діафрагма (слайд10):



Так виглядає сопло (слайд11) і труба Вентурі (слайд 12) :

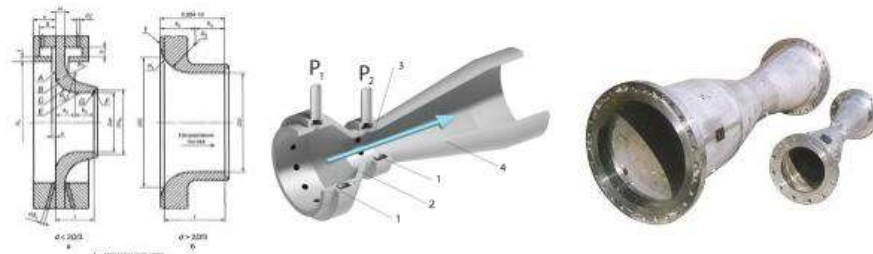


Рисунок 13.6 – Приклади сопел та труби Вентурі

До і після звужуючого пристрою необхідно мати прямі заспокійливі ділянки трубопроводу постійного діаметра, тому що різні місцеві опори (коліна, вентилі, засувки і т.п.) приводять до перекручування профілю

швидкостей по перетині потоку і, отже, впливають на коефіцієнт витрати а. Рекомендується зазначену арматуру по можливості розташовувати за звужуючим пристроєм.

Установка дифманометрів. Дифманометри призначені для визначення перепаду тиску між двома точками вимірювання в рідкому, газовому або паровому середовищі. Особливо велике застосування вони одержали для вимірювання перепаду тиску у витратомірах із звужуючим пристроєм. Основна похибка двохтрубних дифманометрів ± 2 мм висоти стовпа рідини, що врівноважує.

Промислові дифманометри-витратоміри, які застосовуються в теплоенергетиці, звичайно є деформаційними приладами, що працюють у комплекті із звужуючим пристроєм при вимірюваннях витрати рідини, газу і пари. Механічні дифманометри-витратоміри можуть застосовуватися в тих випадках, коли відстань між звужуючим пристроєм і приладом не перевищує 50 м. При більших значних відстанях використовуються електричні дифманометри-витратоміри. Механічні і електричні дифманометри і працюючі з ними в комплекті вторинні прилади встановлюються в місцях, не підданих вібрації і трясці, а також дії високої або низької температури і вологості навколишнього повітря. Вплив температури не повинний викликати в електричних дифманометрах надмірного нагрівання обмоток. Щоб уникнути запізнювання показань довжина сполучних ліній звичайно не перевищує 50 м, а внутрішній діаметр їх становить не менш 6 мм. Для вільного видалення зі сполучних трубок води (газові лінії) або повітря (водяні лінії) вони прокладаються вертикально або з ухилом не менш 0,1 убік продувних вентилів, газозбірників або відстійних посудин.

Утворення в сполучних лініях повітряних пробок при вимірюванні витрати рідини або пари - при вимірюванні витрати газу (повітря) веде до перекручування результатів вимірювання. Рекомендується періодично продувати сполучні лінії.

Дифманометр 2 (рис. 13.7) може бути встановлений вище або нижче звужуючого пристрою 1.

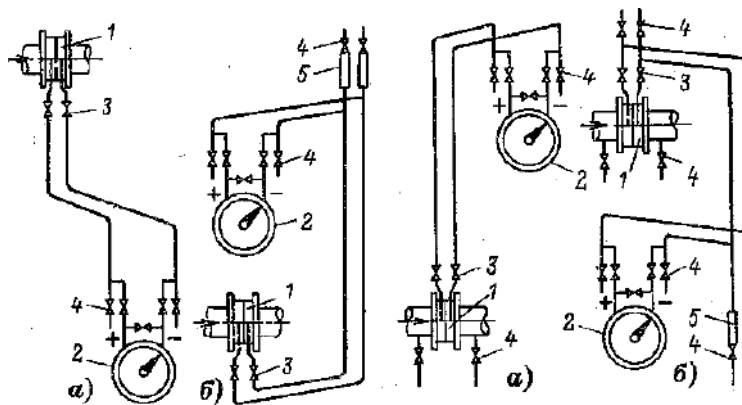


Рисунок 13.7 - Схема установки дифманометра у комплекті з звужуючим пристроєм: I - при вимірюванні витрати рідини; II - при вимірюванні витрати газу. а - нижче звужуючого пристрою; б - вище звужуючого пристрою.

При вимірюванні витрати рідини бажана установка його нижче звужуючого пристрою (рис. 13.7, I а) для того, щоб уникнути проникнення із трубопроводу повітря в сполучні лінії. Якщо ж дифманометр розташовується вище звужуючого пристрою, то у верхніх точках ліній установлюються газозбірники із продувними вентилями поз. 4, 5.

При вимірюванні витрати газу (повітря) дифманометр доцільно встановлювати вище звужуючого пристрою 1 (рис. 13.7, II б). У випадку зворотного розташування в нижніх точках сполучних ліній містяться відстійні посудини для води 4, що утворюється при конденсації пари.

При вимірюванні витрати пари більш бажаною є установка дифманометра нижче звужуючого пристрою. У протилежному випадку у верхніх точках ліній обов'язкове приєднання газозбірників. В обох випадках необхідно забезпечити сталість і однаковість рівнів конденсату в сполучних трубках для того, щоб тиски стовпів води на дифманометр взаємно врівноважувалися і не відбивалися на його показах.

Швидкісні витратоміри і лічильники.

Швидкісний метод визначення витрати і кількості рідини і газу покладений в основу ряду витратомірів і лічильників, що мають досить простий пристрій і значний діапазон показів.

По виконанню і призначенню швидкісні витратоміри і лічильники розділяються на швидкісні витратоміри і лічильники рідини, напірні трубки і анемометри.

Швидкісні лічильники рідини найчастіше застосовуються для вимірювання кількості води і тому називаються лічильниками води. Чутливим елементом їх є лопасна вертушка, що приводиться в обертання потоком рідини. Вісь вертушки за допомогою передавального механізму (редуктора), що зменшує частоту обертання, зв'язана з рахунковим пристроєм приладу.

Частота обертання вертушки пропорційна витраті рідини, завдяки чому пристрій приладу значно спрощується. Однак при дуже малих витратах спостерігається відхилення від цієї залежності внаслідок перетоку рідини через зазори між вертушкою і корпусом приладу і тертя механізму в опорах. Це справедливо лише при відсутності завихрення рідини, що рухається, місцевими опорами (вигинами трубопроводу, вентилями та ін.) поблизу лічильника.

Характерною величиною швидкісних лічильників рідини (як і інших лічильників) є так званий поріг початку показів, що виражає найменшу витрату речовини, нижче якого лічильник перестає давати безперервні покази.

Швидкісні лічильники виготовляються для вимірювання кількості холодної (до температури 30°C) і гарячої (до 90°C) води при робочому тиску до 1 МПа. Вертушка їх виконується із пластмаси або металу.

Істотним недоліком швидкісних лічильників є залежність показів від в'язкості вимірювальної рідини.

За формою вертушки швидкісні лічильники розділяються на крильчасті і турбінні. Вертушка перших має прямі лопаті, спрямовані радіально до її осі, а других - вигнуті по гвинтовій лінії. Вісь вертушки в крильчастих лічильниках розташована перпендикулярно напрямку потоку, а в турбінних - паралельно йому.

Крильчасті лічильники призначені для установки в горизонтальних трубопроводах і застосовуються при вимірюванні малих витрат води (до 10

м³/год.). Турбінні лічильники можуть встановлюватися в будь-якій положенні і служать для вимірювання великих витрат води (до 150 м³/год.).

На рис. 13.8 наведена схема крильчастого лічильника води. У корпусі 1 із приєднувальними штуцерами виконані два тангенціально спрямованих канали для входу і виходу води, що надходить на крильчатку 2. У верхній частині корпусу розташований стрілочно-роликовий рахунковий показчик 3, відділений від крильчатки і редуктора 4 перегородкою із сальником 5 вихідної осі.

Крильчасті лічильники мають рахунковий пристрій із ціною розподілу стрілочного показчика 0,001 і роликового 0,1 м. Кінцеві покази рахункового пристрою 1-10 м води. Лічильники встановлюються в трубопроводі відповідно до нанесеного на корпусі стрілки, що вказує напрямок потоку рідини.

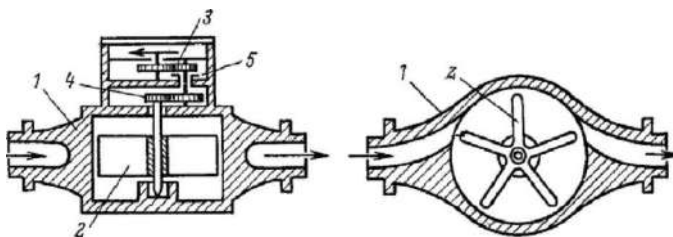


Рисунок 13.8 - Схема крильчастого лічильника води.

Турбінні лічильники води мають лопасні вертушки у вигляді багатоходового гвинта з великим кроком. Частота обертання цієї вертушки пропорційна швидкості потоку рідини і обернено пропорційна кроку лопаті.

Схема швидкісного лічильника з аксіальною турбиною показана на рис. 13.9. У середині корпусу розміщена горизонтально уздовж напрямку вимірювального потоку рідини турбінка 6, виконана у вигляді багатозаходного гвинта.

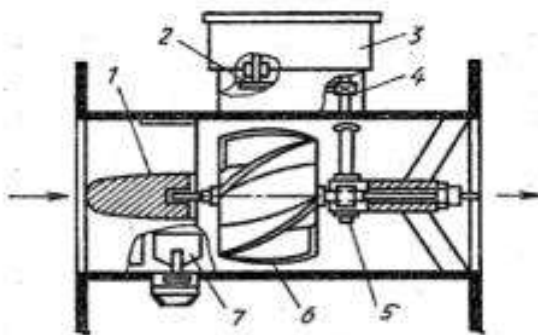


Рисунок 13.9 - Схема швидкісного лічильника з аксіальною турбиною

Перед турбинкою установлений пристрій випрямлення потоку 1, призначений для згладжування потоку на вході і виключення завихрення. Обертання турбинки через черв'ячну пару 5 і передавальний механізм 2, розташований у камері 4, передається через сальник рахунковому пристрою 3. Для регулювання швидкості обертання турбинки в процесі тарировки лічильника передбачено регулювальний пристрій 7, що дозволяє повертати одну з радіальних перегородок пристрою випрямлення щодо напрямку потоку.

Звичайно діаметр умовного проходу турбінного лічильника вибирається меншим, чим діаметр трубопроводу, що вимагає застосування при установці лічильника перехідних конічних патрубків. Гідравлічний опір лічильників при номінальній витраті становить 2000-2500 Па.

Основна похибка швидкісних лічильників у діапазоні від найменшої витрати до 10-12% від найбільшої становить $\pm 5\%$ кількості пропущеної води. На всьому іншому діапазоні основна похибка дорівнює $\pm 2\%$. Похибка приладів визначається шляхом порівняння їхніх показів із об'ємом води, що надійшла через лічильник у мірний бак установки. При розбіжностях показів величини у сторону збільшення виконується регулювання приладу шляхом зміни положення лопаті регулятора.

Ротаційні лічильники газу в основному застосовуються для вимірювання кількості горючих газів, принцип дії яких той же, що і лічильників рідини з овальними шестірнями.

Ротаційний лічильник (рис. 13.10) містить вимірювальну камеру 1, у якій розташовані широкі обертові лопаті 2 і 3 у формі вісімки, які приводяться у рух різницею тисків газу, що проходить через лічильник. Прилад має рахунковий пристрій з роликівим показчиком, з'єднаний з однією з лопатів за допомогою магнітної муфти або за допомогою вихідної осі, пропущеної через сальник. Для контролю за роботою лічильника в нього вбудований водяний дифманометр, що вимірює перепад тиску газу в приладі (рахунковий пристрій і дифманометр на рис. 6 не показані).

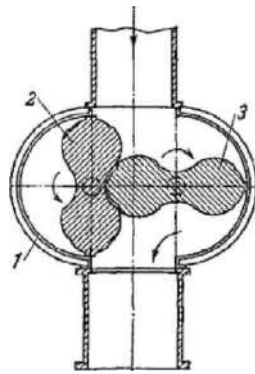


Рисунок 13.10 - Схема ротаційного лічильника.

Установка ротаційних лічильників виконується на вертикальних ділянках трубопроводів зі спадним потоком газу. У вхідному патрубку лічильника є сітчастий фільтр для очищення газу від механічних домішок.

Прилади розраховані на робочий тиск газу 0,1 МПа і температуру 0-50°C. Гідравлічний опір їх при номінальній витраті 300 Па. Основна похибка лічильників при витраті 10-20 % номінального ± 2 % і вище - $\pm (1-1,5)$ %. Лічильники допускають роботу при найбільшій витраті газу протягом 6 годин у добу.

Витратоміри обтікання (ротаметри).

Витратоміри обтікання відносяться до великої групи витратомірів, називаних також витратомірами постійного перепаду тиску або ротаметрами. У цих витратомірах обтічне тіло (поплавець, поршень, поворотний клапан, пластинка, кулька і ін.) сприймає з боку потоку, що набігає, силовий вплив, який при зростанні витрати збільшується і переміщає обтічне тіло, у результаті чого сила, яка переміщає, зменшується і знову врівноважується протидіючою силою. Протидіючою силою служить вага обтічного тіла при русі потоку вертикально знизу нагору або сила протидіючої пружини у випадку довільного напрямку потоку. Вихідним сигналом розглянутих перетворювачів витрати служить переміщення обтічного тіла. На рис. 13.11 наведені принципові схеми перетворювальних елементів витратомірів обтікання, що отримали найбільше розповсюдження.

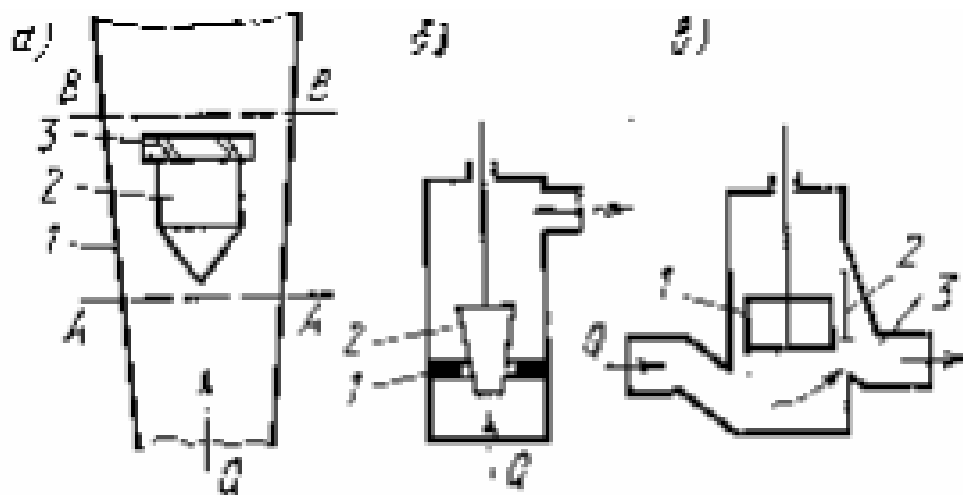


Рисунок 13.11 – Схеми витратомірів обтікання

У відповідності зі схемою в конічній трубці 1 розміщений поплавець 2, при підйомі якого нагору під дією потоку збільшується площа прохідного кільця між поплавцем і стінкою конічної трубки, що приводить до зменшення сили, створеної потоком, яка діє на поплавець. Речовина, протікаючи через прорізи, надає поплавцю обертання, і він центрується в середині потоку. При рівновазі сил, які діють на поплавець, він установлюється на висоті, що відповідає вимірюваному значенню витрати. Аналогічно збільшується кільцевий перетин між конічним клапаном 2 і циліндричним сідлом 1 (рис. 13.11, б). У схемі (рис. 13.11, в) при підйомі поршня 1 збільшується площа вихідного бічного отвору 3 у стінці циліндра 2.

Витратоміри обтікання, які застосовуються для вимірювання витрати рідин і газів, мають кілька різновидів. Найпоширеніші з них наведені на рис. 13.12.

У ротаметрах зі скляною конічною трубкою 1 (рис. 13.12, а), призначених для вимірювання газів або прозорих рідин, шкала 4 нанесена безпосередньо на зовнішній поверхні скла. Показчиком служить верхня горизонтальна площина обертового поплавця 2. На нижньому патрубку є сідло, на яке опускається поплавець при нульовій витраті речовини. На верхньому патрубку є обмежник ходу поплавця 3.

Для вимірювання витратинепрозорих рідин (рис. 13.12, б) застосовують циліндричну скляну трубку 3 і циліндричний поплавець 1 з отвором посередині, через який проходить нерухомий стрижень 2 конічного перетину.

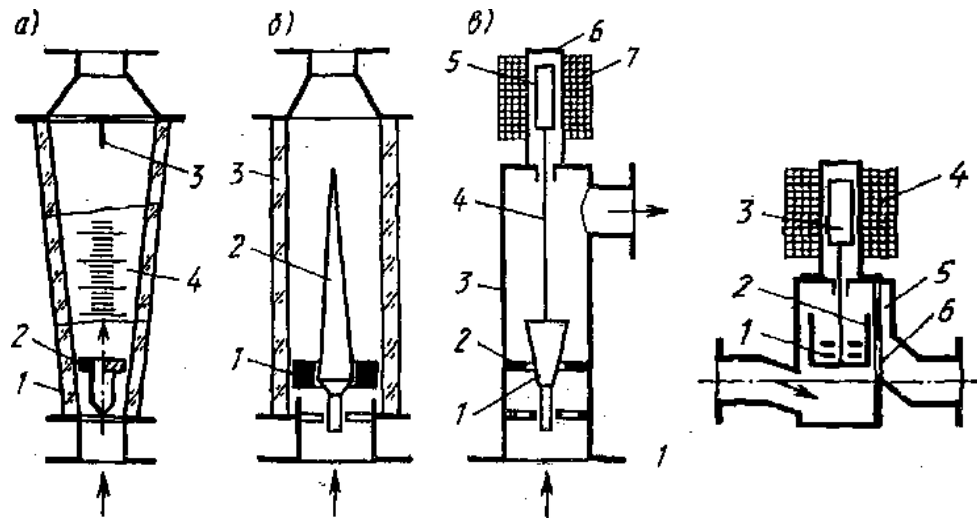


Рисунок 13.12 - Конструктивні схеми ротаметрів.

При переміщенні уздовж трубки 1 поплавець одночасно обертається, а кільцевий змінний отвір для потоку створюється між поплавцем і стрижнем 2. Ротаметри зі скляними трубками виготовляють на максимальний тиск 0,6 МПа.

Для вимірювання витрати газів і рідин на технологічних потоках застосовуються ротаметри, з передавальними перетворювальними елементами та електричним (рис. 6.12, в) або пневматичним вихідним сигналом.

Ротаметр, показаний на рис. 6.12, в, складається з металевого корпусу 3, усередині якого при зміні витрати переміщається обтічне тіло — клапан 1 конічного профілю. Між робочою поверхнею клапана 1 і кільцевою діафрагмою 2 створюється змінний прохідний отвір. Із клапаном 1 за допомогою штока 4 зв'язаний сердечник 5 диференційно-трансформаторного перетворювального елемента 7, котушка якого намотана на трубку 6 з немагнітної сталі. Клас точності цих ротаметрів у комплекті із вторинним приладом - 2,5.

У поршневому витратомірі постійного перепаду тиску (рис. 6.12, в) маса поршня 2 з вантажами 1 і штока із сердечником 3 урівноважується перепадом тиску до і після вихідного прямокутного отвору 6 у бічній стінці циліндра. Передавальний перетворювач тут виконаний у вигляді сердечника 3 з м'якої

сталі, що переміщається усередині немагнітної трубки, на якій установлена індукційна котушка 4. Чим більше витрата речовини, тим вище піднімається поршень і відкривається прохідний перетин у бічній стінці. Тиск за отвором 6 через канал 5 передається у верхню частину поршня. Таким чином, перепад тиску на отворі і на поршні той самий. Цей перепад створює підйомну силу поршня, що врівноважується вагою рухливої системи. Змінюючи вагу рухливої системи за допомогою змінних вантажів 1, змінюють межу вимірювання витратоміра.

3. Завдання

Вивчити будову та принцип дії представлених приладів для вимірювання кількості та витрати та визначити сфери їх використання.

4. Контрольні питання

- 4.1 В яких одиницях вимірюється витрата?
- 4.2 Які існують прилади для вимірювання витрати?
- 4.3 Що таке ротаметр?
- 4.4 Який принцип дії ротаметра?
- 4.5 Які види лічильників Ви знаєте?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ

1. Мета роботи

- 1.1. Дослідити властивості та принцип дії приладів для вимірювання рівня.

2. Основні теоретичні положення

Рівнем називають висоту заповнення технологічного апарата робочим середовищем - рідиною або сипучим тілом. Рівень робочого середовища є технологічним параметром, інформація про нього необхідна для контролю режиму роботи технологічного апарата, а в ряді випадків для керування виробничим процесом і для проведення заходів щодо енергоаудиту.

Шляхом вимірювання рівня можна одержувати інформацію про масу рідини в резервуарах. Подібна інформація широко використовується для керування виробничим процесом.

Рівень вимірюють в одиницях довжини

Засоби вимірювання рівня називають рівнемірами.

Розрізняють рівнеміри, які призначені для вимірювання рівня робочого середовища; вимірювання маси рідини в технологічному апараті; сигналізації граничних значень рівня робочого середовища - сигналізатори рівня. За діапазоном вимірювання розрізняють рівнеміри широкого (з межами вимірювання 0,5-20 м) і вузького діапазонів (межі вимірювання $(0... \pm 100)$ мм або $(0... \pm 450)$ мм). На даний час вимірювання рівня в багатьох галузях промисловості здійснюють різними за принципом дії рівнемірами, з яких дістали поширення візуальні, поплавкові, буйкові, гідростатичні, електричні, ультразвукові і радіоізотопні.

Різновиди рівномірів (рис. 14.1). Рівнеміри використовуються в якості контролерів наповнення резервуарів, різних ємностей і трубопроводів рідинами або сипучими речовинами. З урахуванням типу технологічного процесу можуть застосовуватися різні варіанти вимірювальних приладів.



Рисунок 14.1 – Різновиди рівномірів

Класифікація рівномірів:

- поплавкові;
- буйкові;
- гідростатичні;
- ультразвукові;
- акустичні прилади.

Візуальні засоби вимірювання рівня.

До візуальних засобів вимірювання рівня відносять мірні лінійки, рейки, рулетки з лотами (циліндричними стрижнями) і скляні рівноміри. У виробничій практиці широкого застосування набули скляні рівноміри.

Вимірювання рівня за допомогою скляних рівномірів ґрунтується на законі сполучених посудин (рис.14.2).

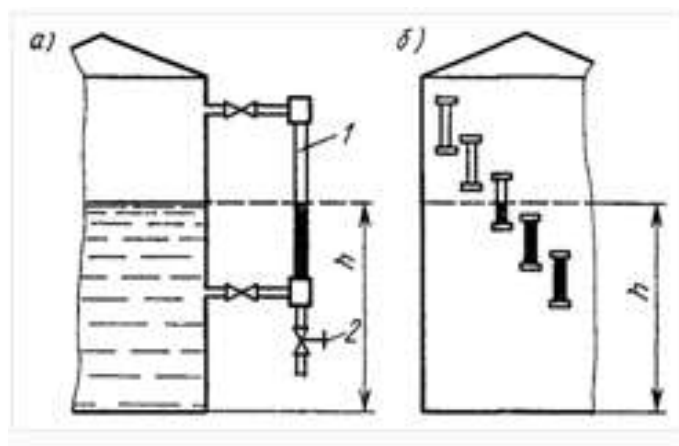


Рисунок 14.2 – Схеми візуальних рівномірів

Вказівне скло 1 за допомогою арматур з'єднують із нижньою і верхньою частинами ємності. Спостерігаючи за положенням меніска рідини в трубці 1, роблять висновок про положення рівня рідини в ємності. Для виключення додаткової похибки, обумовленої розходженням температури рідини в резервуарі і у скляній трубці, перед вимірюванням здійснюють промивання скляних рівнемірів. Для цього передбачений вентиль 2. Арматура скляних рівнемірів оснащується запобіжними клапанами, що забезпечує автоматичне перекривання каналів, які зв'язують вказівне скло з технологічним апаратом при випадковій поломці скла.

Через низьку механічну міцність скляні рівнеміри звичайно виконують довжиною не більше 0,5 м.

Тому для вимірювання рівня в резервуарах встановлюється декілька скляних рівнемірів з тим розрахунком, щоб вони перекривали один одного.

Абсолютна похибка вимірювання рівня скляними рівнемірами $\pm(1-2)$ мм.

При вимірюванні можливі додаткові похибки, пов'язані із впливом температури навколишнього середовища.

Скляні рівнеміри застосовуються до тисків 2,94 МПа і до температури 300°C.

Поплавкові засоби вимірювання рівня

Серед існуючих різновидів рівнемірів поплавкові є найбільш простими. Одержали розповсюдження поплавкові рівнеміри вузького і широкого діапазонів. Поплавкові рівнеміри вузького діапазону (рис. 2) звичайно являють собою пристрій, який містить шариковий поплавок діаметром 80-200 мм, виконаний з нержавіючої сталі. Поплавок плаває на поверхні рідини і через штангу і спеціальне ущільнення з'єднується або зі стрілкою вимірювального приладу, або з перетворювачем 1 кутових переміщень в уніфікований електричний або пневматичний сигнали.

Рівнеміри вузького діапазону випускаються двох типів: фланцеві (рис. 14.3, а) і камерні (рис. 14.3, б), що відрізняються способом їхньої

установки на технологічних апаратах. Мінімальний діапазон вимірювання цих рівнемірів - 0-10 мм, максимальний - 0-200 мм. Клас точності 1,5. Поплавкові рівнеміри широкого діапазону (рис. 14.3, в) представляють собою поплавок 1, пов'язаний із противагою 4 гнучким тросом 2. У нижній частині противаги закріплена стрілка, що вказує по шкалі 3 значення рівня рідини в ємності.

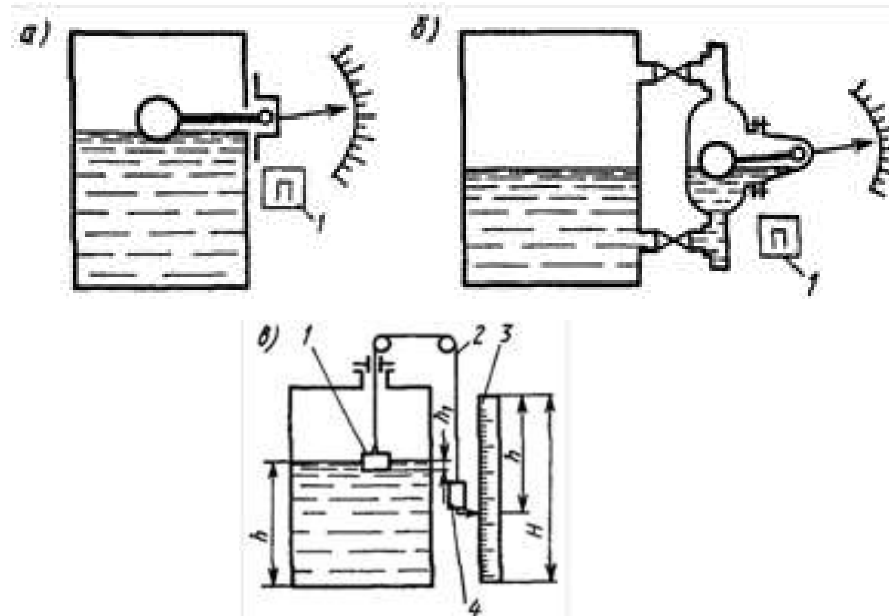


Рисунок 14.3. - Схеми поплавкових рівнемірів: а) - фланцеві; б) - камерні; в) - поплавкові.

При розрахунках поплавкових рівнемірів підбирають такі конструктивні параметри поплавка, які забезпечують стан рівноваги системи "поплавок-противага" тільки при певній глибині занурення поплавка. Якщо зневажити силою ваги троса і тертям у роликах, стан рівноваги системи "поплавок-противага" описується рівнянням

$$G_r = G_{\pi} - S \cdot h_1 \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g, \quad (14.1)$$

де G_r , G_{π} - сили тяжіння противаги і поплавка (Н); S - площа поплавка (м^2), h_1 - глибина занурення поплавка (м), $\rho_{\text{ж}}$ - щільність рідини ($\text{кг}/\text{м}^3$); g - прискорення вільного падіння ($\text{м}/\text{с}^2$).

Густина́ (англ. density) - фізична величина, рівна відношенню маси речовини (матеріалу) до її об'єму. Є фізичною характеристикою будь-якої речовини, з якої складається тіло. Для випадку однорідних тіл густина визначається як відношення маси m до об'єму V , який воно займає. Отже, густина ρ для цього випадку запишеться як:

$$\rho = m / V, \quad (14.2)$$

Підвищення рівня рідини змінює глибину занурення поплавка і на нього діє додаткова сила виштовхування. У результаті рівняння (1) порушується і протипава опускається вниз доти, поки глибина занурення поплавка не стане рівною H_1 . При зниженні рівня діюча на поплавок сила виштовхування зменшується і поплавок починає опускатися вниз доти, поки глибина занурення поплавка не стане рівною H_1 . Для передачі інформації про значення рівня рідини в резервуарі застосовують сільсині системи передачі.

Буйкові засоби вимірювання рівня.

В основу роботи буйкових рівнемірів покладене фізичне явище, яке описується законом Архімеда. Чутливим елементом у цих рівнемірах є циліндричний буй, виготовлений з матеріалу із густиною більшою за густину рідини. Буй перебуває у вертикальному положенні і частково занурений у рідину.

При зміні рівня рідини в апараті маса буя в рідині змінюється пропорційно зміні рівня. Перетворення ваги буя в сигнал вимірювальної інформації здійснюється за допомогою уніфікованих перетворювачів "сила-тиск" і "сила-струм". Відповідно до виду використовуваного перетворювача сили розрізняють пневматичні і електричні буйкові рівнеміри. Схема буйкового пневматичного рівнеміра наведена на рис. 14.4. Рівнемір працює в такий спосіб. Коли рівень рідини в апараті дорівнює початковому h_0 (в окремому випадку h_0 може дорівнювати 0), вимірювальний важіль 2 перебуває в рівновазі, тому що момент M_1 , створюваний вагою буя G , зрівноважується моментом M_2 , створюваним протипагою N .

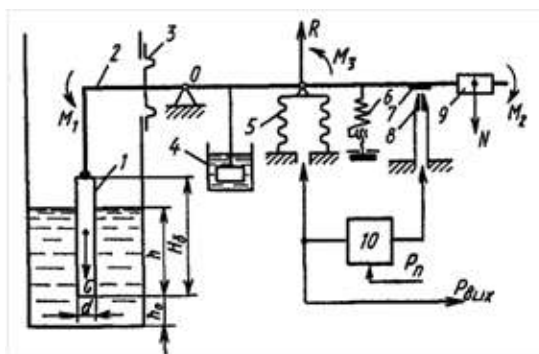


Рисунок 14.4 - Схема буйкового пневматичного рівнеміра.

Коли рівень рідини стає більшим h_0 , частина буя занурюється в рідину, при цьому вага буя зменшується, а отже, зменшується і момент M_1 , створюваний буєм на важелі 2. Внаслідок того, що M_2 стає більшим M_1 , важіль 2 повертається навколо точки 0 за годинниковою стрілкою і прикриває заслінкою 7 сопло 8. Тому тиск у лінії сопла збільшується. Цей тиск надходить у пневматичний підсилювач 10, вихідний сигнал якого є вихідним сигналом рівнеміра.

Цей самий сигнал одночасно посилається в сільфон негативного зворотного зв'язку 5. Під дією тиску $P_{\max}$ виникає сила R , момент M_3 якої збігається за напрямком з моментом M_1 , тобто дія сили R спрямована на відновлення рівноваги важеля 2. Рух вимірювальної системи перетворювача відбувається до того часу, доти сума моментів всіх сил, що діють на важіль 2, не стане дорівнювати 0. Крім розглянутої модифікації пневматичних рівнемірів, випускаються рівнеміри, оснащені уніфікованим перетворювачем "сила - тиск".

Верхні межі вимірювання рівнеміра з уніфікованим електричним сигналом обмежені значеннями 0,02-16 м. Буйкові засоби вимірювання рівня застосовуються при температурі робочого середовища від - 40 до + 400°C і тиску робочого середовища до 16 МПа. Класи точності буйкових рівнемірів 1,0 і 1,5.

Гідростатичні засоби вимірювання рівня

Вимірювання рівня гідростатичними рівнемірами зводиться до вимірювання гідростатичного тиску P , створюваного стовпом h рідини постійної густини ρ , відповідно до рівності

$$P = \rho * g * h, \quad (14.3)$$

Вимірювання гідростатичного тиску здійснюється:

- манометром, який підключають на висоті, що відповідає нижньому граничному значенню рівня;
- диференціальним манометром, який підключають до резервуара на висоті, що відповідає нижньому граничному значенню рівня, і до газового простору над рідиною;

- вимірюванням тиску газу (повітря), який прокачується по трубці, опущеної в рідину, що заповнює резервуар, на фіксовану глибину.

На рис. 14.5, а наведена схема вимірювання рівня манометром. Застосовуваний для цих цілей манометр 1 може бути будь-якого типу з відповідними межами вимірювання, обумовленими залежністю (2). Вимірювання гідростатичного тиску манометром може бути здійснено і за схемою, наведеною на рис. 14.5, б. Відповідно до даної схеми про значення вимірюваного рівня судять по тиску повітря, що заповнює манометричну систему.

У нижній частині манометричної системи розташована ємність 2, отвір якої перекрито тонкою еластичною мембраною і а у верхнього отвору приєднаний манометр 3.

Застосування еластичної мембрани виключає розчинення повітря в рідині, однак уводить похибку у визначення рівня через пружність мембрани. Перевагою даної схеми вимірювання гідростатичного тиску є незалежність показів манометру від його розташування щодо рівня рідини в резервуарі.

При вимірюванні рівня по розглянутих схемах мають місце похибки вимірювання, обумовлені класом точності манометрів і змінами щільності рідини.

Вимір гідростатичного тиску манометрами доцільно в резервуарах, що працюють при атмосферному тиску. У противному випадку, покази манометру складаються з гідростатичного і надлишкового тисків.

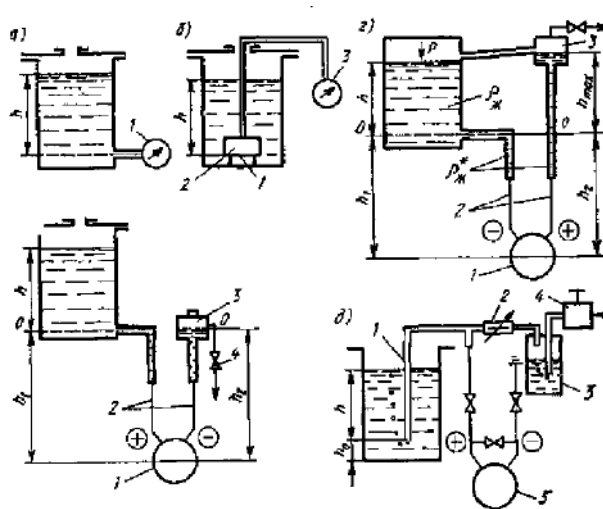


Рисунок 14.5 - Схеми гідростатичних рівнемірів.

Для вимірювання рівня рідини в технологічних апаратах, які перебувають під тиском, широке застосування одержали диференціальні манометри. За допомогою диференціальних манометрів можливо також вимірювання рівня рідини у відкритих резервуарах, рівня розділення фаз і рівня розділення рідин.

Вимірювання рівня у відкритих резервуарах, які перебувають під атмосферним тиском, здійснюється за схемою, представленою на рис. 14.5, в. Дифманометр 1 через імпульсні трубки 2 з'єднаний з резервуаром і зрівняльною посудиною 3. Зрівняльна посудина застосовується для компенсації статичного тиску, створюваного стовпом рідини h_1 в імпульсній трубці. У процесі вимірювання рівень рідини в зрівняльній посудині повинен бути постійним. Вентиль 4 служить для підтримки постійного рівня в посудині 3. При рівності густини рідин, що заповнюють імпульсні трубки і резервуар, і за умови $h_1 = h_2$ перепад тиску, вимірюваний дифманометром,

$$\Delta P = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h, \quad (14.4)$$

При вимірюванні рівня в апаратах, які перебувають під тиском, застосовують схему, наведену на рис. 14.5, г. Зрівняльну посудину 3 у цьому випадку встановлюють на висоту, що відповідає максимальному значенню рівня, і з'єднують із апаратом. Статичний тиск P до апарату надходить в обидві імпульсні трубки, тому вимірюваний перепад тиску ΔP можна представити у вигляді

$$\Delta P = -\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h, \quad (14.5)$$

Як видно з рівняння (4), шкала вимірювального приладу рівнеміра буде зверненою. У розглянутих схемах можуть бути використані дифманометри з уніфікованим струмовим або пневматичним сигналом.

Якщо рідина, яка заповнює резервуар, агресивна, то підключення дифманометру до резервуара здійснюється через розділові посудини.

Рівнеміри, у яких вимірювання гідростатичного тиску здійснюється шляхом вимірювання тиску газу, який прокачується по трубці, зануреної на фіксовану глибину в рідину, що заповнює резервуар, називають п'єзометричними. Схема п'єзометричного, рівнеміра наведена на рис.

14.5, д. П'єзометрична трубка 1 розміщується в апараті, у якому вимірюється рівень. Газ надходить у трубку через дросель 2, який обмежує величину витрати. Для вимірювання витрати газу служить стаканчик 3 (витрата за допомогою стаканчика визначається по числу пухирців, які пробулькують через рідину, що заповнює його, за одиницю часу), а тиск підтримується постійним за допомогою стабілізатора тиску 4. Тиск газу після дроселя вимірюється дифманометром 5 і служить мірою рівня.

При подачі газу тиск у п'єзометричній трубці поступово підвищується доти, поки зазначений тиск не стане рівним тиску стовпа рідини висотою К. Коли тиск у трубці стане рівним гідростатичному тиску, з нижнього відкритого кінця трубки починає виходити газ. Витрату підбирають такою, щоб газ залишав трубку у вигляді окремих пухирців (приблизно один пухирець у секунду).

При більшій витраті тиск, вимірюваний дифманометром, може бути трохи більшим, ніж гідростатичний, через додаткове падіння тиску, що виникає за рахунок тертя газу об стінки трубки при його проходженні. При дуже малій витраті газу збільшується інерційність вимірювання. Обоє фактори можуть збільшити похибку вимірювання рівня.

П'єзометричні рівнеміри дозволяють вимірювати рівень у широких межах (від декількох десятків сантиметрів до 10-15 м). При використанні для вимірювання тиску в п'єзометричній трубці дифманометра з уніфікованим вихідним сигналом мають відносну наведену похибку $\pm(1,0, 1,5) \%$.

Точність вимірювання рівня п'єзометричними рівнемірами може бути істотно збільшена, якщо за засіб вимірювання гідростатичного тиску використати автоматичний цифровий манометр дискретно-безперервної дії.

Завдяки простоті реалізації на базі п'єзометричних рівнемірів, оснащених цифровими манометрами дискретно-безперервної дії, розроблені вагоміри. Визначення маси рідини в резервуарі за показами п'єзометричного рівнеміра.

Електричні засоби вимірювання рівня

По виду чутливого елемента електричні засоби вимірювання рівня розділяють на ємнісні і кондуктометричні (рис.14.6).

Ємнісні рівнеміри.

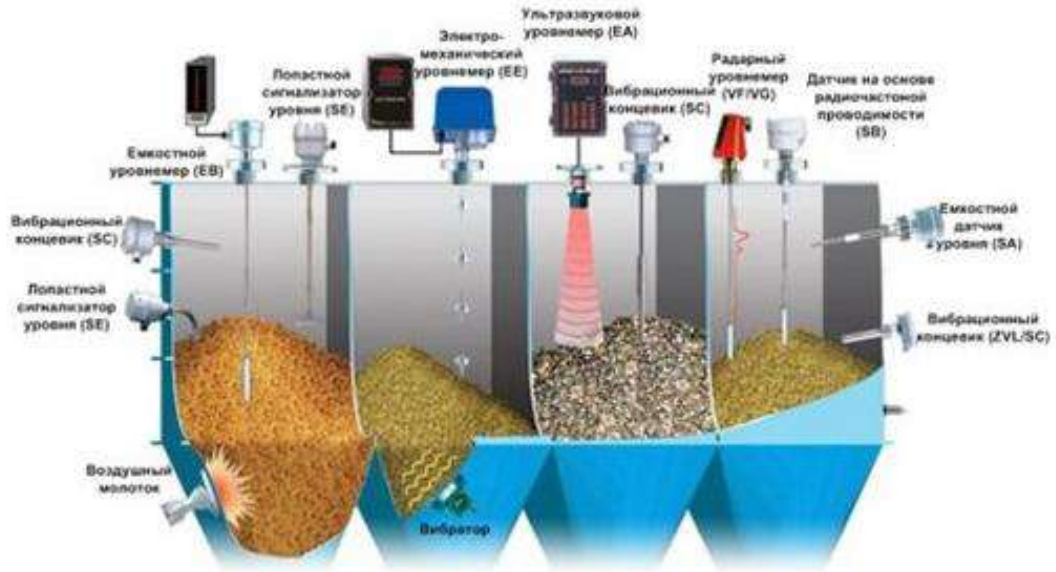


Рисунок 14.6 - Електричні засоби вимірювання рівня

<https://youtu.be/DF24JU3PI-4>

У рівнемірах цього типу використовується залежність електричної ємності чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача від рівня рідини. Конструктивно ємнісні чутливі елементи виконують у вигляді коаксиально розташованих циліндричних електродів або паралельно розташованих плоских електродів. Конструкція ємнісного чутливого елемента з коаксиально розташованими електродами визначається фізико-хімічними властивостями рідини. Для неелектропровідних (діелектричних) рідин, що мають питому електропровідність менш 10^{-6} См/м, застосовують рівнеміри, оснащені чутливим елементом, схеми якого представлені на рис. 5. Одиницею електропровідності служить сименс (См) - величина, зворотна ому (Ом).

Чутливий елемент (рис. 14.7, а) складається із двох коаксиально розташованих електродів 1 і 2, частково занурених у рідину. Електроди утворюють циліндричний конденсатор, міжелектродний простір якого до висоти II заповнено рідиною, а простір Н-II парогазовою сумішшю. Для фіксування взаємного розташування електродів передбачений ізолятор 3.

У загальному виді електрична ємність циліндричного конденсатора визначається

$$C_{\Pi} = C_0 + \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot H}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} \cdot \left[1 + (\epsilon_{\text{ж}} - 1) \cdot \frac{h}{H} \right], \quad (14.6)$$

ϵ - відносна діелектрична проникність міжелектродної речовини;

ϵ_0 - діелектрична проникність вакууму;

$\epsilon_{\text{ж}}$ - діелектрична проникність рідини;

C_0 - ємність прохідного ізолятора (величина постійна);

H - висота електродів;

D та d - діаметри відповідно зовнішнього і внутрішнього електродів.

Для циліндричного конденсатора, міжелектродний простір якого заповнюється речовинами, які мають різні діелектричні проникності, відповідно до рис. 14.7, а, повна ємність C_{Π} визначається вираженням:

$$C_{\Pi} = C_0 + C_1 + C_2, \quad (14.7)$$

де C_0 - ємність прохідного ізолятора;

C_1 - ємність міжелектродного простору, заповненого рідиною;

C_2 - ємність міжелектродного простору, заповненого парогазовою сумішшю.

Для виключення впливу температури рідини на результат вимірювання застосовують компенсаційний конденсатор (рис. 14.7, в). Компенсаційний конденсатор 1 розміщується нижче ємнісного чутливого елемента 2 і повністю занурений у рідину. У деяких випадках при сталості складу рідини його замінюють конденсатором постійної ємності.

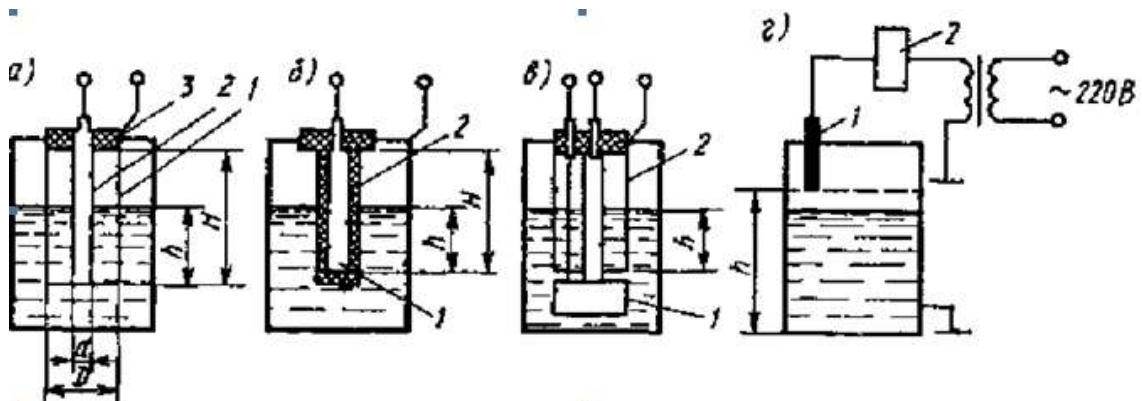


Рисунок 14.7 - Схеми електричних рівнемірів.

Для вимірювання рівня електропровідних рідин - рідин з питомою провідністю більше 10^{-4} См/м застосовують рівнеміри, оснащені ємнісним чутливим елементом, зображеним на рис. 14.7, б. Чутливий елемент являє собою металевий електрод 1, покритий фторопластовою ізоляцією 2. Електрод частково занурений у рідину. Як другий електрод використовується або стінка резервуара, якщо вона металева, або спеціальний металевий електрод, якщо стінка резервуара виконана з діелектрика.

Перетворення електричної ємності чутливих елементів у сигнал вимірювальної інформації здійснюється мостовим, резонансним або імпульсним методом.

У ємнісних рівнемірах перетворення ємності здійснюється імпульсним методом, у реалізації якого використовуються перехідні процеси, що протікають у чутливому елементі, який підключається періодично до джерела постійної напруги.

Ємнісні рівнеміри випускаються класів точності 0,5; 1,0; 2,5. Їхній мінімальний діапазон вимірювання становить 0...0,4 м., максимальний 0...20 м; тиск робочого середовища 2,5...10 МПа; температура від - 60 до + 100°C або від 100 до 250°C. На базі розглянутих ємнісних чутливих елементів розроблені вибухобезпечні сигналізатори рівня розділення рідин "нафтопродукт-вода" і інших рідин з різними значеннями відносної діелектричної проникності. При довжині зануреної частини чутливого елемента 0,25 м похибка спрацьовування сигналізатора ± 10 мм.

Розроблено ємнісні рівнеміри сипучих середовищ. Верхні межі вимірювання рівнемірів обмежені значеннями 4...20 м. Клас точності 2,5.

Кондуктометричні сигналізатори рівня. Рівнеміри цього виду призначені для сигналізації рівня електропровідних рідких середовищ і сипучих середовищ із питомою провідністю більше 10^{-3} См/м. На рис. 5, г наведена схема сигналізатора верхнього граничного рівня рідини. У відповідності зі схемою при досягненні рівнем значення / замикається електричний ланцюг між електродом 1 і корпусом технологічного апарата. При цьому спрацьовує реле 2, контакти якого включені в схему сигналізації.

Принцип дії кондуктометричних сигналізаторів рівня сипучих середовищ аналогічний розглянутому.

Електроди, застосовувані в кондуктометричних сигналізаторах рівня, виготовляють зі сталі спеціальних марок або вугілля. Причому вугільні електроди використовуються тільки при вимірюванні рівня рідких середовищ.

3. Завдання

Вивчити будову та принцип дії представлених приладів для вимірювання рівня та визначити сфери їх використання.

4. Контрольні запитання

- 4.1 Які існують прилади для вимірювання рівня?
- 4.2 Який принцип дії буйкових засобів для вимірювання рівня?
- 4.3 Який принцип дії гідростатичних засобів для вимірювання рівня?
- 4.4 Які електричні засоби для вимірювання рівня Ви знаєте?
- 4.5 Який принцип дії електричних засобів для вимірювання рівня?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15
ПОВІРКА ТА МЕТРОЛОГІЧНА АТЕСТАЦІЯ
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

1. Мета роботи

1.1 Ознайомитись з порядком атестації засобів вимірювання.

2. Завдання:

2.2 Вивчити порядок атестації КВП та правила оформлення протоколу повірок.

3. Загальні вимоги

Підприємства, установи та організації, фізичні особи - суб'єкти підприємницької діяльності, які експлуатують, виробляють, ремонтують, продають і видають напрокат засоби вимірювальної техніки, що підлягають повірці, зобов'язані своєчасно подавати зазначені засоби вимірювальної техніки на повірку.

Переліки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації і підлягають повірці, складають їх користувачі (за винятком фізичних осіб, що не є суб'єктами підприємницької діяльності) і подають на погодження до наукових метрологічних центрів, територіальних органів та повірочних лабораторій, які будуть проводити повірку.

Порядок складання та погодження цих переліків засобів вимірювальної техніки встановлено нормативно-правовим актом ЦОВМ. Засоби вимірювальної техніки, які призначено для застосування в побутовій сфері для власних потреб, подають на періодичну та позачергову повірку за бажанням їх власника. Це положення не стосується засобів вимірювальної техніки, результати вимірювань якими застосовують для розрахунків за спожиті для побутових потреб електричну і теплову енергію, газ і воду.

Повірку засобів вимірювальної техніки мають забезпечувати наукові метрологічні центри, територіальні органи та повірочні лабораторії безвідмовно (відповідно до погоджених переліків засобів вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації і підлягають повірці, і (або) письмового звернення). У разі відсутності умов, необхідних для проведення

півірки, науковий метрологічний центр, територіальний орган або півірочна лабораторія зобов'язані зазначити іншу найближчу організацію, що може здійснити півірку.

Засоби вимірювальної техніки подають на півірку укомплектованими, разом з необхідними допоміжними пристроями та, за вимогою наукового метрологічного центру, територіального органу або півірочної лабораторії, експлуатаційними документами, свідоцтвами про попередню півірку або державну метрологічну атестацію.

4. Умови проведення півірки

Півірку засобів вимірювальної техніки можна проводити:

- у стаціонарних або пересувних півірочних лабораторіях;
- безпосередньо на підприємствах, у цьому випадку державних півірників (півірників) відряджають на підприємства.

Під час проведення півірки засобів вимірювальної техніки на місцях їх виготовлення, ремонту або експлуатації заявники повинні:

- забезпечувати у разі потреби доставку робочих еталонів та допоміжних засобів півірки, які належать науковим метрологічним центрам, територіальним органам або півірочним лабораторіям, до місця півірки і у зворотному напрямку;
- надавати необхідні нормативні, експлуатаційні та інші документи;
- відряджати допоміжний персонал та надавати приміщення, необхідні для проведення півірки;
- забезпечувати необхідні умови півірки (температуру і вологість навколишнього повітря, захист від зовнішніх електромагнітних полів тощо) та дотримання вимог техніки безпеки і санітарних норм (освітленість робочих місць для проведення півірки, наявність заземлення, вентиляції тощо);
- забезпечувати зберігання робочих еталонів і допоміжних засобів півірки, які належать науковим метрологічним центрам, територіальним органам або півірочним лабораторіям;

- надавати, в разі застосування пересувної повірочної лабораторії, місце стоянки та забезпечувати під'єднання її до мереж електро-, газо- і водопостачання, каналізації, а також забезпечувати збережність цієї лабораторії.

5. Порядок проведення первинної повірки

Під час випуску з виробництва допускається проводити вибіркову первинну повірку засобів вимірювальної техніки, якщо це передбачено відповідним нормативним документом або методикою повірки. Позитивні результати вибіркової первинної повірки поширюються на всі засоби вимірювальної техніки з партії, яку подають на повірку.

Первинну повірку проводять на місці виготовлення (ремонт) засобів вимірювальної техніки, у наукових метрологічних центрах, територіальних органах ЦОВМ або в повірочних лабораторіях. Місце проведення повірки визначають наукові метрологічні центри, територіальні органи або повірочні лабораторії, які проводять повірку.

Для проведення первинної повірки на місці виготовлення (ремонт) засобів вимірювальної техніки у заявників організують контрольно-повірочні пункти (КПП) територіальних органів або повірочних лабораторій. КПП створюють згідно зі спільним наказом підприємства-заявника та територіального органу або повірочної лабораторії. Діяльність КПП регламентують положенням про КПП, затвердженим керівниками підприємства-заявника та територіального органу або повірочної лабораторії.

Якщо щоденний випуск засобів вимірювальної техніки з виробництва (ремонт) не забезпечує постійного завантаження одного державного повірника (повірника), то КПП можна не організовувати. У цьому разі порядок проведення повірки визначають згідно з договором підприємства-заявника з територіальним органом або повірочною лабораторією.

Первинну повірку засобів вимірювальної техніки проводять за договором або письмовим зверненням заявника, яке подають до організації, що проводить повірку, або керівнику КПП.

6. Порядок проведення періодичної повірка

Засоби вимірювальної техніки, які зберігають та не використовують, можна не піддавати періодичній повірці. У цьому випадку засоби вимірювальної техніки треба піддавати позачерговій повірці безпосередньо до введення в експлуатацію, продажу або видавання напрокат.

Засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, в тому числі ті, які видають напрокат, підлягають періодичній повірці через встановлені міжповірочні інтервали.

Періодичну повірку можна проводити на території заявника, наукового метрологічного центру, територіального органу або повірочної лабораторії. Місце проведення повірки визначає науковий метрологічний центр, територіальний орган або повірочна лабораторія, зважаючи на економічні чинники, можливість транспортування еталонів, допоміжного обладнання та засобів вимірювальної техніки, що повіряють, погоджуючи це рішення з заявником.

Періодичну повірку проводять у календарні терміни, встановлені переліком засобів вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації та підлягають повірці, або за письмовим зверненням заявників.

Порядок подання фізичними особами, які не є суб'єктами підприємницької діяльності, - власниками засобів вимірювальної техніки, результати вимірювання якими застосовують для здійснення розрахунків за спожиті для побутових потреб електричну і теплову енергію, газ і воду, на періодичну повірку цих засобів встановлює Кабінет Міністрів України.

Тривалість перебування засобів вимірювальної техніки на повірці, за умови їх подання відповідно до переліку засобів вимірювальної техніки, які перебувають в експлуатації та підлягають повірці, або письмового звернення, не повинна перевищувати 15 робочих днів після оплати за повірку (за винятком засобів вимірювальної техніки, тривалість повірки яких згідно з методикою повірки перевищує цей термін).

Якщо засіб вимірювальної техніки призначено, щоб вимірювати (відтворювати) декілька фізичних величин, і (або) він має декілька діапазонів

вимірювання, але його застосовують для вимірювання (відтворення) меншої кількості фізичних величин або не в усіх діапазонах (чи якщо засіб вимірювальної техніки застосовують лише в окремій частині діапазону вимірювання), то за письмовим зверненням заявника під час періодичної повірки таких засобів вимірювальної техніки дозволено контролювати їхні метрологічні характеристики лише стосовно зазначених фізичних величин і діапазонів (частин діапазонів) вимірювання. У таких випадках свідоцтво про повірку оформлюють обов'язково. У свідоцтві про повірку роблять відповідний запис щодо особливостей застосування таких засобів вимірювальної техніки.

7. Оформлення результатів первинної, періодичної повірки

Результати вимірювання та інші дані, отримані під час проведення повірки, має бути задокументовано відповідно до методики повірки. На вимогу заявника йому надають засвідчену копію протоколу повірки, якщо його складання передбачено методикою повірки.

Позитивні результати первинної, періодичної та позачергової повірки засобів вимірювальної техніки засвідчують відбитком повірочного тавра на засобі вимірювальної техніки і (або) свідоцтвом про повірку чи записом з відбитком повірочного тавра у відповідному розділі експлуатаційних документів. Порядок засвідчення зазначають у методиці повірки засобу вимірювальної техніки конкретного типу. За погодженням з заявником дозволено оформлювати одне свідоцтво про повірку на декілька однотипних засобів вимірювальної техніки з обов'язковим зазначенням загальної кількості та заводських номерів всіх повірених засобів вимірювальної техніки. Якщо доступ до вимірювального механізму (органів регулювання) засобів вимірювальної техніки пломбують, відбиток повірочного тавра ставлять на пломбу. Відповідну вимогу щодо необхідності нанесення відбитка повірочного тавра на пломбу наводять у методиці повірки і (або) в експлуатаційних документах.

На зворотному боці свідоцтва про повірку або в додатку до нього (якщо це передбачено методикою повірки) наводять дані, одержані під час повірки. Якщо одержані під час повірки дані наводять на зворотному боці свідоцтва про повірку, то, відразу після закінчення наведеної інформації, їх повинен підписати вчений зберігач еталону або державний повірник (повірник) та затвердити печаткою або відбитком повірочного тавра. Якщо одержані під час повірки дані наводять у додатку до свідоцтва про повірку, усі сторінки додатку повинні бути пронумеровані та мати позначення номера свідоцтва, до якого складено додаток. У свідоцтві про повірку має бути посилення на додаток із зазначенням кількості сторінок у ньому. Дані, отримані під час повірки та наведені у додатку, відразу після закінчення наведеної інформації, повинен підписати вчений зберігач еталону або державний повірник (повірник) та затвердити печаткою або відбитком повірочного тавра.

Форму і розміри повірочних тавр та тавр-гасників, порядок їх зберігання, обліку і застосування встановлено в ДСТУ 3968.

Якщо відбиток повірочного тавра або пломбу пошкоджено чи свідоцтво про повірку втрачено, то засіб вимірювальної техніки вважають не повіреним.

Якщо в результаті повірки засіб вимірювальної техніки визнають не придатним до застосування, то вчений зберігач еталону або державний повірник (повірник), анулює свідоцтво про повірку і (або) гасить попередній відбиток повірочного тавра чи робить відповідний запис в експлуатаційних документах. Анулювання результатів повірки одного засобу вимірювальної техніки, які наведено у свідоцтві про повірку, оформлене на декілька однотипних засобів вимірювальної техніки, роблять закреслюючи номер відповідного засобу вимірювальної техніки, про що треба засвідчити підписом вченого зберігача еталону або державного повірника (повірника) та печаткою (або відбитком тавра-гасника).

На засоби вимірювальної техніки, що визнані непридатними до застосування за результатами повірки, оформлюють довідку про непридатність, яку видають заявнику на його вимогу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Контрольно-вимірювальні прилади: конспект лекцій / В. О. Кравченко, Є. О. Шевель, Т. С. Вольвач. – Суми, 2021. – 142 с.
2. Курилов А. Ф. Теплотехнічні вимірювання і прилади : навч. посіб. /
3. А. Ф. Курилов, В. М. Козін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 189 с.
4. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 6-11 лютого 1998 року №113/98-ВР.
5. ДСТУ 2681-94 Метрологія, терміни та визначення. – К., Держстандарт України, 1994.
6. ДСТУ 2682-94 Метрологічне забезпечення, основні положення. – К., Держстандарт України, 1998.
7. ДСТУ 2708-94 Повірка засобів вимірювань, організація і порядок проведення. – К., Держстандарту України, 1998.
8. ДСТУ 3215-95 Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки, організація та порядок проведення. – К., Держстандарт України, 1998.
9. Поліщук Є. С. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин / Є. С. Поліщук. – К. : Вища школа, 1998.-352 с.
10. Резніченко Т. П. Контрольно-вимірювальні прилади : лабор.-практ. / Резніченко Т.П., Рубан О.В., Щелочинін Я.Б. – К. : НАУ, 2006 – 130 с.
11. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин/Є.С. Поліщук. – К.: Вища школа, 1998 – 352 с.
12. Контрольно-вимірювальні прилади : лабор.-практ. / Т. П. Резніченко, О. В. Рубан, Я. Б. Щелочинін. – К. : НАУ, 2006 – 130 с.

Козін Віктор Миколайович
Кравченко Володимир Олексійович
Івченко Олександр Володимирович
Барсукова Ганна Володимирівна
Безсмертний Олександр Сергійович

Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної і заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень, 2025 р. Формат А4: Гарнітура Times New Roman
Тираж: 60 примірників. Замовлення _____ Ум. друк. арк. 3,54
