**Практика №6**

**ОДНОКРАТНІ НЕПРЯМІ (ОПОСЕРЕДКОВАНІ) ВИМІРЮВАННЯ**

**Опосередкованими** називають вимірювання, які здійснюють непрямим методом, за яким шукане значення фізичної величини визначають за результатами прямих вимірювань інших фізичних величин, які функціонально пов’язані із шуканою величиною.

**Методика розрахунку** стандартна (незалежно від роду ФВ):

1). Записати функціональну залежність (рівняння зв’язку) величини, що оцінюють опосередковано Z, та величин, які вимірюють прямо W, V, Z (методом безпосередньої оцінки, тобто значения величин, які входять до формули зв’язку, отримують за показаннями приладів)

Y = f (W, V, Z)

В загальному випадку одна або кілька величин-аргументів також можуть бути опосередкованими (тобто обрахованими за попередніми вимірюваннями) або бути фізичними сталими.

2). Визначити оцінку дійсного значення опосередкованої величини , підставив в формулу виміряні (обраховані) значення аргументів.

3). Визначити абсолютну похибку опосередкованої величини методом часткового диференціювання, при якому по частинам (по черзі) беруть похідні від функції по кожній прямо виміряній ФВ з урахуванням їх абсолютних похибок

де ∂ - символ часткової похідної.

4). Обрахувати (якщо вони невідомі) за метрологічними характеристиками приладів абсолютні похибки прямо виміряних ФВ

або .

де Хнорм - нормоване значення (діапазон вимірювання) засобу вимірювання для кожної прямо виміряної величини.

5). Визначити відносну похибку значення опосередкованої величини

.

**Приклад 1.**

Визначити максимальні значення абсолютної та відносної похибок вимірювання опору резистора за допомогою вольтметра і амперметра (рис.1), якщо показання вольтметра класу точності 1,0 з верхнею границею вимірювання 15 В дорівнює 10 В, а миллиамперметра класу точності 1,5 з верхнею границею вимірювання 150 мА склало 100 мА. Внутрішні опори приладів не враховувати.



Рис. 1 - Схема вимірювання падіння напруги на резисторі

**Розв'язання**

Функціональна залежність між прямими вимірюваннями напруги та сили струму і опосередкованою величиною - опором - визначається за законом Ома і має вид



Абсолютну похибку визначимо з урахуванням часткових похідних по кожній виміряній величині:

Межі абсолютних похибок кожної прямо виміряної величини з урахуванням метрологічних характеристик вимірювальних приладів будуть:





Тоді межі максимальної абсолютної похибки опору



а межі відносної похибки опору

***Якщо потрібно визначити межі похибок (максимальні значення), то значення похибок прямо виміряних величин враховують за модулем (тобто т. ч., щоб отримати найбільше значення з можливих).***

***Якщо потрібно знайти найбільш вірогідне значение похибки, то абсолютні похибки прямо виміряних величин підсумовують алгебраїчно (з урахуванням знаків). Тобто***



Відповідь: R = (100,0 ± 2,3) Ом, δR = ±2,3%.

**Приклад 2.**

Для визначення електричної потужності, яка виділяється в активному опорі, були виміряні: напруга вольтметром класу 1,5 з межею діапазону вимірювання 150 В (відлік 120 В) і значення опору навантаження 20 Ом за допомогою одинарного мосту з відносною похибкою ± 0,2%. Визначити значення потужності на опорі і максимальні значення її абсолютної та відносної похибок. Внутрішні опори приладів не враховувати.

V: γкл = 1,5 1) Визначимо оцінку дійсного значення опосередкованої

Uнорм = 150 В величини

Uвим = 120 В = =

міст: δм = ± 0,2% 2) Обрахуємо абсолютну похибку шуканої величини

Rн = 20 Ом

Р - ? ΔР - ? δР-?  2UΔU + U2 (-ΔR

3) Визначимо абсолютні похибки напруги та опору:

3.1) Абсолютну похибку напруги визначимо за метрологічними характе-ристиками вольтметра

3.2) Абсолютну похибку опору навантаження визначимо за характеристикою вимірювального одинарного мосту

Тепер підставимо дані в 2) і знайдемо вірогідне і максимальне значення абсолютної похибки опосередкованої величини

2UΔU + U2 (-ΔR = (

;

максимальне:2UΔU ˗ U2(-ΔR) = (

1. Обрахуємо максимальне значення відносної похибки потужності

Запишемо результат вимірювання у вигляді P = Pвим ± ΔР, δР

Р = 720,0 Вт ± 28,4 Вт, δР = ±4,0%.

**Ускладнемо задачу.** Припустимо, що вольтметр має внутрішній опір, який дорівнює 30,00 кОм ± 0,05 кОм.

**Розв’язання**

Внутрішній опір вольтметра має бути врахований як опір, який паралельно підключений до опору навантаження.

Тоді оцінка дійсного значення потужності буде

Визначимоабсолютну похибку опосередкованої величини - потужності

а) максимальну похибку:

б) вірогідну похибку:

ΔР = ±

Відносна похибка: δмакс = ±(3,00 Вт / 720,48 Вт) 100% = ± 0,416389 % ≈ ±0,42%,

δвір = ±(2,9999 Вт / 720,48 Вт) 100% = ± 0,416375 % ≈ ±0,42%.

Запишемо результат вимірювання у вигляді P = Pвим ± ΔР, δР

Рмакс = Рвір = 720,5 Вт ± 3,0 Вт, δР = ±0,4 %.

**Приклад 3.**

Визначити результат вимірювання напруги **Uх** на ланці кола ***ав*** (рис. 2), яка складається з послідовно з’єднаних міліамперметра **мА,** резистора **R** та стабілітро-на **VD**, а також абсолютну і відносну похибки результату вимірювання. Відомі параметри кола:

а) міліамперметр **мА** класу точності **0,5** з межею вимірювання **15 мА** і вну-трішнім опором **RА  = (1,80 ± 0,03) Ом**, **Iвим = 12 мА**;

б) опір резистора **R** **= (150 ± 1) Ом**;

в) стабілітрон **VD** з напругою стабілізації **Uст****= (9,50 ± 0,02) В.**

**RА**  **R VD**

***а*** **мА *в***

**Uх**

Рис. 2.

**Розв’язання**

1). Запишемо функціональну залежність: Uх = I (RА + R) + Uст.

Визначимо оцінку дійсного значення напруги на ланці *ав:*

Uх = Iвим (RА + R) + Uст  = 12·10-3 А (1,8 + 150) Ом + 9,5 В = 11,3216 В ≈ 11,3 В

2). Визначимо абсолютну похибку опосередкованої величини

3). Визначимо абсолютні похибки величин-аргументів

а абсолютні похибки інших аргументів відомі:

Тоді межі абсолютної похибки напруги

4). Відносна похибка буде

.

Запишемо результат вимірювання: Uх = (11,32 ± 0,03) В, = ± 0,3 %.

**Задачі для самостійної роботи**

**Гр. 318**

1. Визначити оцінку дійсного значення потужності, яка розсіюється на резис-торі, її максимальні абсолютну і відносну похибки, якщо омметром класу точнос-ті 0,5/1,0 в діапазоні вимірювання 0…100 Ом отримано значення **Rвим = 62,15 Ом**, а падіння напруги на цьому резисторові виміряно вольтметром класу точності 1,5 з верхнею границею вимірювання 30 В і дорівнює **Uвим****= 22 В**.

2. Опір **Rх** складається з трьох послідовно з'єднаних резисторів, які мають такі значення опорів: **R1****= (220 ± 10) Ом; R2 = (352 ± 2) Ом; R3 = (50,5 ± 0,5) Ом**. Оцінити дійсне значення опору **Rх** та його максимальну похибку в абсолютній і відносній формі.

**Гр. 319**

1. Визначити оцінку дійсного значення, абсолютну і відносну похибки результату вимірювання опору резистора, що був виміряний методом амперметра – вольтметра в нормальних умовах, якщо показання амперметра класу точності 2,5 з верхньою границею діапазона вимірювання 50 мА отримали 42,5 А, а показання вольтметра класу точності 0,5/1,0 і границею діапазона вимірювання 15 В склало 12,2 В. Внутрішні опори приладів не враховувати.

2. Вимірювання опору **Rx** (**Rx** як функція від 3-х аргументів **Rx = f(R1, R2, R3)**) здійснювали за допомогою одинарного мосту постійного струму, в якому при умові рівноваги  отримали такі результати: **R1вим****= (100,000,05) Ом, R2вим = (220,000,06) Ом, R3вим = (110,000,04) Ом**. Визначити опір резистора **Rх** і можливі найбільші абсолютну та відносну похибки вимірювання **Rx** .

**Гр. 319а**

1. Визначити оцінку дійсного значення, абсолютну і вдносну похибки результату вимірювання опору резистора, що був виміряний методом амперметра – вольтметра в нормальних умовах, якщо показання амперметра класу точності 2,5/1,5 з верхньою границею діапазона вимірювання 20 мА отримали 12,8 А, а показання вольтметра класу точності 1,5 з верхньою границею діапазона вимірю-вання 10 В склало 9,4 В. Врахувати внутрішній опір приладів: амперметра 5,5 Ом, а вольтметра 95 кОм.

2. Вимірювання опору **Rx** здійснювали за допомогою одинарного мосту постійного струму, в якому при умові рівноваги  отримали такі результати: **R1вим****= (85,20,4) Ом, R2вим = (122,00,5) Ом, R3вим = (42,60,2) Ом**. Визначити опір резистора **Rх** і можливі найбільші абсолютну та відносну похибки вимірювання **Rx** .

**Гр. 310**

1. Опір резистора **Rx** виміряно методом заміщення з почерговим вимірюван-ням падіння напруги на двох послідовно з'єднаних резисторах **Rх**  і **Rет**  за допо-могою потенціометра типу ППТВ-1 (рис. 1) і отримано наступні результати вимірювань: **Ux****= 0,85664 В**, **Uет****= 0,85676 В**.

Еталоний резистор має номінальне значення **Rет.ном****= 100 Ом** класу точності 0,01. Межі абсолютної похибки вимірювання напруги потенціометром визнача-ються за формулою **ΔU = ± (300·Uизм + 4·Uном)·10-6** В, де **Uвим**– виміряне значення напруги, а **Uном****= 2 В** – верхня межа діапазону вимірювання потенціометра. Внутрішній опір джерела напруги **Е** не враховувати.

Визначити оцінку дійсного значення опору резистора **Rx** і найбільшу похибку результату вимірювання (абсолютну і вдносну).

Е

**Rх Rет**

**Uх Uет**

Рис. 1

2. Визначити потужність, яка розсіюється на резисторі, її максимальні абсо-лютну і відносну похибки, якщо омметром класу точності **2,0** на верхній границі діапазону вимірювання **100 Ом** отримали **Rвим = 54,6 Ом**, а падіння напруги на цьому резисторі виміряно вольтметром класу точності **1,5/1,0** з діапазоном вимірювання **-30 В…+ 30 В** і дорівнює **Uвим****= 24 В**.

**Гр.311**

1. Значення опору однозначної міри - котушки опору - виміряно за допомо-гою потенціометра (див. рис. 1). Показання потенціометра при підключенні до **Rx** було **Ux****= 1,01256 В**, а до **RЭ**– **Uет = 0,99365 В**.

Визначити опір котушки **Rx** та її можливу максимальну похибку вимірюван-ня, якщо номінальне значення опору еталонного резистора є **Rет. ном = 100 Ом**, його класс точности 0,01%, а межі абсолютної похибки потенцометра визначають за формулою: **ΔU = ± (4,8 + 30·Ux)·10-6****В**.

2. Опір **Rx** виміряно за допомогою чотириплечого моста і розраховується за формулою  Визначити результат вимірювання, його абсолютну і від-носну похибки, якщо: **R2 = (85±5) Ом, R3 = (1250±15) Ом, R4** = **(510,5 ± 0,8) кОм.**

**Гр. 312**

1. Значення опору **Rx** виконано методом звірення з еталонним опором **Rет** за допомогою потенціометра постійного струму (див. рис. 1). Номінальне значення еталонного резистора **Rет ном = 100 Ом** і клас точності 0,01 відомі. Виміряні значен-ня: **Uет = 1,03656 В** та **Ux****= 1,53756 В**. Межа абсолютної похибки вимірювання напруги потенціометра визначається за формулою: **ΔUх = ± (4·Uизм + 10) ·10-6** **В**. Визначити опір резистора **Rx**, абсолютну і відносну похибки його вимірювання.

2. Для вимірювання опору **Rx** застосовують резистори з номінальнимі значен-нями: **R0 = 350 Ом; R2 = 100 Ом; R3 = 560 Ом; R4 = 500 Ом**. Класи точності резисто-рів (відповідно): **0,3%; 0,1%; 0,5%; 0,5%**. Визначити оцінку дійсного значення **Rx**, межі абсолютної і відносної похибок опору **Rx***,*якщо 