

Задача 1

При одноразовому вимірюванні фізичної величини отримано показ засобу вимірювальної техніки $X_{вим} = 10$. Визначити, чому дорівнює значення вимірюваної величини, якщо експериментатор має апіорну інформацію про засіб вимірювальної техніки і умови виконання вимірювань згідно з даними.

Засіб вимірювання має діапазон вимірювань від $X_0 = 0$ до $X_N = 20$, клас точності $\gamma = 0.1$, а значення адитивної поправки дорівнює $\Theta_a = 1.01$

Межа допустимої абсолютної похибки засобу вимірювання:

$$\Delta X = \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0.1 \cdot 20}{100} = 0.02$$

Межі, в яких знаходиться значення вимірюваної величини без урахування поправки, визначаються таким чином:

$$Q_1 = X_{вим} - \Delta X = 10 - 0.02 = 9.98$$

$$Q_2 = X_{вим} + \Delta X = 10 + 0.02 = 10.02$$

Внесення поправки проводимо на останньому етапі обробки результатів. Поправка адитивна Θ_a додається до меж

$$Q'_1 = Q_1 + \Theta_a = 9.98 + 1.01 = 10.99$$

$$Q'_2 = Q_2 + \Theta_a = 10.02 + 1.01 = 11.03$$

Отже межі, в яких знаходиться значення вимірюваної величини від $Q'_1 = 10.99$ до $Q'_2 = 11.03$

Задача 2

Вимірювальний пристрій безпосередньої оцінки з верхньою межею вимірювання (нормованим значенням) X_N , класом точності, який має шкалу з кількістю поділок N підключено до електричного кола. Відлік по шкалі пристрою складає n поділок.

Визначте ціну поділки C , чуттєвість пристрою S , значення вимірювальної величини X , границю допустимої абсолютної похибки Δ_{∂} і границю відносної похибки вимірювання δ .

Вихідні дані

Верхня межа вимірювання $X_N = 1.5 \text{ A}$

Кількість поділок шкали $N = 30$

Клас точності $\gamma = 2.5$

Відлік поділок $n = 11$

Розрахунок

Ціна поділки:

$$C = \frac{X_N}{N} = \frac{1.5}{30} = 0.05 \text{ A}$$

Чуттєвість пристрою:

$$S = \frac{1}{C} = \frac{1}{0.05} = 20 \text{ A}$$

Значення вимірювальної величини:

$$x = C \cdot n = 0.05 \cdot 11 = 0.55 \text{ A}$$

Границя допустимої абсолютної похибки:

$$\Delta_{\partial} = \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{2.5 \cdot 1.5}{100} = 0.038 \text{ A}$$

Границя відносної похибки вимірювання:

$$\delta = \frac{\Delta_{\partial}}{x} \cdot 100\% = \frac{0.038}{0.55} \cdot 100 \cdot \% \quad \delta = 6.818 \cdot \%$$

№ варіанту	Назва пристрою	Ціна поділки C	Чутливість пристрою S	Значення виміру величини X	Границя допустимої абсолютної похибки Δ_{∂}	Границя відносної похибки δ
2	Амперметр	0,05	20	0,55	0,038	6,82%

Задача 3

Технічний амперметр магнітоелектричної системи зномінальним струмом $I_H = 25A$, числом номінальних поділок $a_H = 100$ має оцифровані поділки від нуля до номінального значення, які проставленні на кожній п'ятій частині шкали (стрілки знеструмлених амперметрів займають нульове положення).

Повірка амперметра проводилася взірцевим амперметром тієї ж системи.

Абсолютна похибка:

$$\Delta X_1 = -0.04A \quad \Delta X_2 = 0.06A \quad \Delta X_3 = -0.03A \quad \Delta X_4 = 0.02A \quad \Delta X_5 = 0.01A$$

Абсолютна похибка указана для кожної оцифрованої поділки шкали після нуля в порядку їх збільшення, включаючи номінальний струм амперметра.

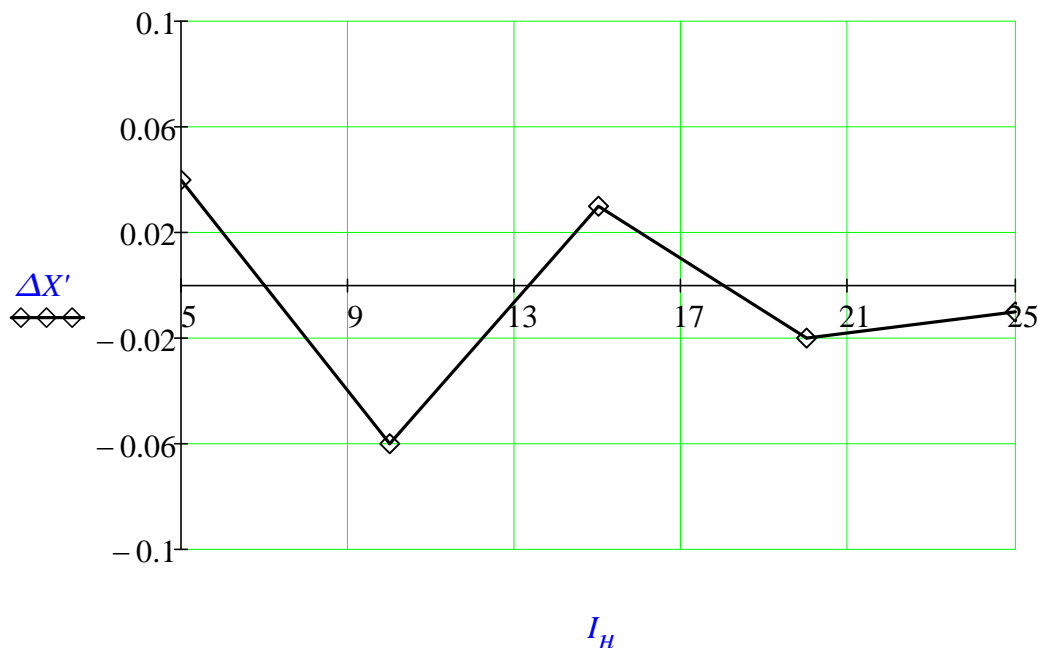
Оцифровані поділки шкали:

$$I_{H1} = 5 \cdot A \quad I_{H2} = 10 \cdot A \quad I_{H3} = 15 \cdot A \quad I_{H4} = 20 \cdot A \quad I_{H5} = 25 \cdot A$$

Визначимо поправки вимірювань. Знак поправки протилежний абсолютній похибці:

$$\Delta X'_1 = 0.04 \cdot A \quad \Delta X'_2 = -0.06 \cdot A \quad \Delta X'_3 = 0.03 \cdot A \quad \Delta X'_4 = -0.02 \cdot A \quad \Delta X'_5 = -0.01 \cdot A$$

Побудуємо графік поправок



Визначимо зведену похибку:

$$\Delta X_{звi} = \frac{\Delta X_i}{I_{Hi}} \cdot 100\% \quad I_H = \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \end{pmatrix} \cdot A \quad \Delta X = \begin{pmatrix} -0.04 \\ 0.06 \\ -0.03 \\ 0.02 \\ 0.01 \end{pmatrix} \cdot A \quad \Delta X_{зв} = \begin{pmatrix} -0.8 \\ 0.6 \\ -0.2 \\ 0.1 \\ 0.04 \end{pmatrix} \cdot \%$$

Вкажемо, до якого найближчого стандартного класу точності відноситься даний прилад - найбільша зведена похибка на всіх відмітках шкали - отже даний прилад має клас точності $K = 0.8$.

2. Що таке фізична величина? Види фізичних величин. Наведіть приклади величин, що належать до різних груп фізичних величин.

Людина у своєму прагненні пізнати фізичні об'єкти - об'єкти пізнання - виділяє деяку відокремлену кількість властивостей, загальних у якісному відношенні для ряду об'єктів, але індивідуальних для кожного з них в кількісному відношенні. Такі властивості отримали назву фізичних величин (ФВ). Фізичні величини розрізняють в якісному і кількісному відношенні. Якісна сторона - визначає вид величини (довжина, маса, теплоємність, вологість, тиск, температура тощо), а кількісна її розмір.

Фізична величина - властивість, спільна в якісному відношенні для багатьох фізичних об'єктів і індивідуальна в кількісному відношенні для кожного з них.

Розмір фізичної величини - кількісний склад властивості в даному об'єкті. Розмір фізичної величини існує об'єктивно, незалежно від того, що ми знаємо про неї. Фізичні величини, як і об'єкти, яким вони притаманні, існують у часі і просторі. Тому загалом їх розміри, а у векторних величинах і напрямки, є функціями часу і координат простору. Якщо розміри скалярних, або розміри і напрямки векторних величин не змінюються то вони звуться сталими (незмінними), якщо змінюються, то - змінними величинами.

Значення ФВ - це кількісна оцінка вимірюваної величини, повинна бути не тільки числом, а числом іменованим.

Результат вимірювання повинен бути відображений у визначених одиницях, прийнятих для даної величини. Фізичну величину, якій за визначенням привласнено числове значення, яке дорівнює одиниці, прийнято називати одиницею фізичної величини. Таким чином, значення фізичної величини це її оцінка у вигляді деякого числа. Наприклад, маса 101 кг, довжина 91м тощо.

В метрології розрізняють істинне (шукане) і дійсне значення фізичних величин. Істинне значення фізичної величини, яке ідеальним чином відображає в якісному і кількісному відношенні відповідну властивість об'єкту, повинно бути вільне від похибок вимірювань. Так як усі фізичні величини знаходяться експериментальним або дослідним шляхом і їх значенню притаманні помилки вимірювань, то істинне значення фізичних величин залишається невідомим.

Значення фізичних величин, що знайдене експериментальним або дослідним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що для визначеної мети може бути використано замість нього, носить назву дійсного значення фізичних величин. При експериментальних або дослідних вимірюваннях значення фізичних величин, знайдене з допустимою по технічним вимогам похибкою, приймається за дійсне значення.

Фізичні величини в залежності від множини розмірів, які вони можуть мати при вимірюваннях у обмеженому діапазоні, діляться на аналогові (безперервні) та дискретні (квантовані по рівню). Аналогова величина може мати у заданому діапазоні нескінченну множену розмірів (така величина практично не змінюється у часі, а якщо змінюється то дуже повільно). Дискретна величина має у заданому діапазоні тільки лічену множину розмірів. Фізична величина, яка перебуває у причинно-наслідкових зв'язках з іншими величинами, є їх функцією, в тому числі функцією часу. Функція часу - це процес, тобто послідовна в часі зміна розміру величини, а також величина окремий випадок процесу.

Якщо значення величини можна заздалегідь точно передбачити на підставі причинно-наслідкових зв'язків з іншими величинами то її називають

детермінованою. Коли значення величини ніякому передбаченню не піддається, то вона - індетермінована.

Проміжне місце займають випадкові величини, частина причинно-наслідкових зв'язків яких з іншими величинами відома, а частина не відома. Тому випадкова величина має дві складові - детерміновану та індетерміновану. Щодо вимірювань, теоретично всі величини можна трактувати як випадкові з різним співвідношенням між детермінованою і індетермінованою складовими. Практично, якщо детермінована складова велика, а індетермінована менша від допустимої похибки, з якою треба знайти значення даної величини, то ця величина трактується як детермінована і навпаки. Таким чином, чим менша допустима похибка визначення значення величини, тим більш треба враховувати її характер - поділ на детерміновану та індетерміновану складові, тобто розглядати величину як випадкову.

На підставі викладеного видно, що вимірювана величина і тим більш результат вимірювань, одержаний з похибкою (дійсне значення), і самі похибки повинні трактуватися як випадкові величини.

Основні визначення:

Дійсне значення - це значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що з певною метою може бути використане замість нього. Це значення змінюється залежно від необхідної точності вимірювань. При технічних вимірюваннях значення фізичної величини, знайдене з допустимою похибкою, приймається за дійсне значення.

Істинне значення фізичної величини - це значення, яке ідеально віддзеркалює властивості даного об'єкта як в кількісному, так і в якісному відношенні. Воно не залежить від засобів нашого пізнання і є тією абсолютною істиною, до якої ми прагнемо і хочемо записати її у вигляді числового значення.

Одиниця фізичної величини - фізична величина, значення якої рівне одиниці.

За характером взаємозалежності фізичні величини поділяються на основні і похідні. Наприклад - Міжнародна система СІ (7 основних, 2 додаткових та багато видів похідних одиниць).

Основна фізична величина - це фізична величина, що входить у систему і умовно прийнята за незалежну від інших величин цієї системи (наприклад: маса - 1 кг., довжина - 1 м.).

Похідна фізична величина - це фізична величина, що входить у систему і визначається через основні величини цієї системи (наприклад: прискорення, м / с²).

За особливістю додавання фізичні величини поділяють на - адитивні, неадитивні.

Адитивні величини додаються (наприклад, маси тіл).

Неадитивні, які не додаються (наприклад, щільність, яка вимірюється шляхом інших вимірів).

За наявністю або відсутністю розмірності фізичні величини поділяють на розмірні та безрозмірні (або відносні).

Розмірна фізична величина - величина в розмірності якої показник ступеня розмірності хоча б однієї з однакових величин не дорівнює нулю.

Безрозмірна (відносна) величина - є відношення даної фізичної величини до однорідної. Застосовується для різного роду характеристик (наприклад, коефіцієнт корисної дії).

Відносні величини мають різні форми вираження: частка - база порівняння прийнята за одиницю - 1; відсоток (%) - база порівняння прийнята за 100, ($1\% = 10^{-2}$); проміль (‰) - база порівняння прийнята за 1000 ($1\text{‰} = 10^{-3}$); продециміль (‱) - база порівняння прийнята за 10000 ($1\text{‱} = 10^{-4}$); просантіміль (‱) - база порівняння прийнята за 100000 ($1\text{‱} = 10^{-5}$); мільйонні долі (ppm) - база порівняння прийнята за 1000000 ($1\text{ppm} = 10^{-6}$) іт.д.

Логарифмічною величиною називають логарифм відношення фізичної величини до однорідної величини (наприклад, бел, децибел).

За способом отримання числового значення вимірювальної фізичної величини всі вимірювання діляться на прямі, побічні, сукупні, сумісні.

Прямі - це такі вимірювання, коли значення вимірювальної величини знаходять прямо із дослідних значень (порівняння розміру з розміром, або показів вимірювального приладу). Наприклад, вимірювання довжини лінійкою, температури - термометром.

Побічні - це такі, при яких значення вимірювальної величини знаходять за проміжним результатом прямих вимірів інших величин, зв'язаних із вимірювальною величиною відомою залежністю. Наприклад, потужність знаходимо за результатами виміру напруги вольтметром і сили струму амперметром.

Сукупні - проводять для декількох однакових фізичних величин, значення яких знаходять методом рішення системи рівнянь. Наприклад, знаходження струмів в складній електричній мережі методом контурних струмів.

Сумісні - виконують для двох і більше не однакових фізичних величин, їх значення знаходять при розв'язанні одного або системи рівнянь.

12. Що таке еталон одиниці фізичної величини? Які типи еталонів вам відомі? Що таке повірочна схема і для чого вона призначена? Що таке повірка засобів вимірювань і якими способами вона може здійснюватись?

Передавання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів робочим засобам вимірювань проводиться за допомогою зразкових засобів вимірювальної техніки, точність яких значно вища, ніж робочих засобів.

Зразкові засоби вимірювань — це затверджені в установленому порядку міри, вимірювальні прилади або ж вимірювальні перетворювачі, які призначені для повірки та градуювання за ними інших засобів вимірювальної техніки.

Зразковим засобом вимірювальної техніки (засобом вимірювань) називається засіб, який використовується для повірки інших засобів вимірювальної техніки (вимірювань) і затверджений як зразковий.

На зразкові засоби вимірювань видаються свідоцтва з вказаними метрологічними характеристиками та розрядом за повірочною схемою.

Зразковими можуть бути тільки ті засоби вимірювальної техніки, які своєчасно пройшли метрологічну атестацію і визнані придатними для використання їх як зразкові.

За точністю зразкові засоби поділяються на чотири розряди, а засоби, які відповідають найвищому ступеню по-вірчої схеми, називаються **вихідними зразковими засобами вимірювань**.

На рис. 1 показано метрологічну послідовність передачі розмірів одиниць фізичних величин від первинних еталонів — робочим еталонам, від них — розрядним зразковим засобам вимірювань, далі — робочим засобам вимірювань. На схемі показана ієрархія засобів вимірювальної техніки. Найвищий рівень точності представлений первинним еталоном, нижні рівні займають робочі засоби вимірювань.

Між розрядами зразкових засобів вимірювань існує точномірна підпорядкованість: засоби 1-го розряду мають найвищу точність, а засоби 4-го розряду — найнижчу. Зразкові засоби вимірювань 1-го розряду повіряються робочими еталонами, а зразкові засоби 2-го та наступних розрядів повіряються зразковими засобами безпосередньо попередніх розрядів. Для різних видів вимірювань (за вимогами практики) встановлюється різна кількість розрядів зразкових засобів вимірювань і стандарти новітніх схем для відповідного виду засобів вимірювань.

Як видно зі схеми, окремі робочі засоби найвищої точності можуть повірятися за допомогою робочих еталонів; робочі засоби вимірювання вищої точності — зразковими засобами 1-го розряду; робочі засоби високої точності — зразковими засобами 2-го розряду та ін.

Зразкові засоби вимірювань зберігаються у метрологічних інститутах, лабораторіях державної та відомчої метрологічної служби. Засоби вимірювань як зразкові затверджуються органами Держстандарту, які у своїх лабораторіях мають зразкові засоби вимірювань вищого розряду, ніж пред'явлені для атестації. В окремих випадках з дозволу органів державної метрологічної служби надається право затверджувати зразкові засоби вимірювань метрологічним службам, якщо в останніх є відповідні умови.

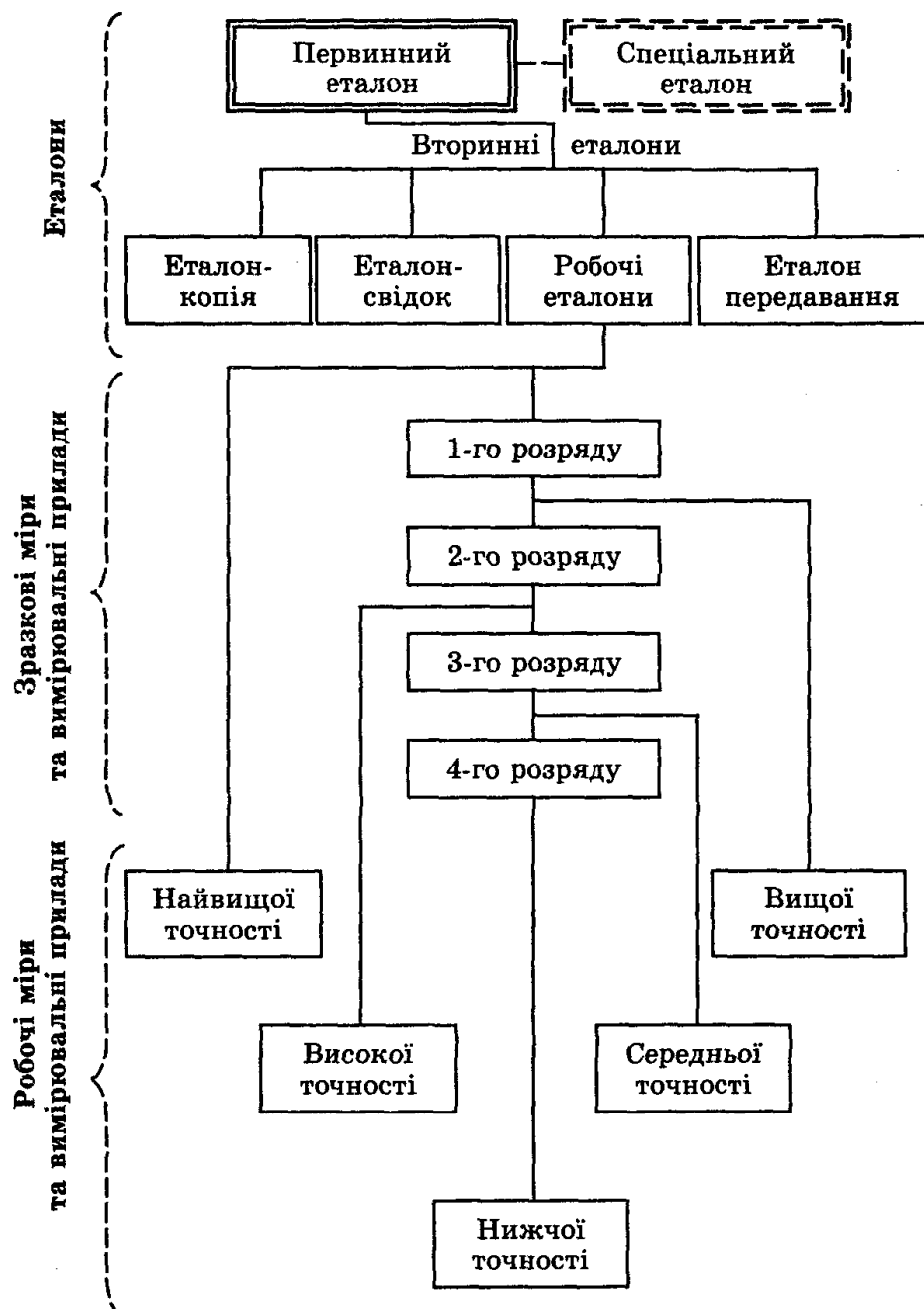


Рис. 1. Метрологічна послідовність передачі розмірів фізичних одиниць від еталонів до робочих вимірювальних приладів

Усі зразкові засоби вимірювань підлягають обов'язковій повірці у терміни, визначені Держстандартом України.

Основні вимоги до зразкових засобів вимірювань, які використовуються для повірки робочих засобів вимірювань у промислових умовах.

1. Клас точності зразкового засобу вимірювання повинен бути вищим на декілька класів за повіряємий засіб.

2. Діапазон вимірювання зразкового засобу вимірювань повинен перевищувати діапазон робочого засобу або ж дорівнювати йому.

3. Зразковий засіб вимірювань повинен мати свідоцтво про своєчасну атестацію із зазначенням шкали, класу точності, заводського номера, дати повірки, організації та повірника, а на звороті — похибок для усіх оцифрованих значень шкали.

Засіб вимірювальної техніки — технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики; До засобів вимірювальної техніки відносяться засоби вимірювань та вимірювальні пристрої.

Тип засобу вимірювальної техніки — сукупність засобів вимірювальної техніки одного і того ж призначення, які мають один і той же принцип дії, однакову конструкцію та виготовлені за однією і тією ж технічною документацією;

Засіб вимірювань — засіб вимірювальної техніки, який реалізує процедуру вимірювань. До засобів вимірювань відносяться кодові засоби вимірювань, реєструючі засоби вимірювань, вимірювальні прилади та вимірювальні системи.

Вимірювальний прилад — засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації.

Вимірювальний пристрій — засіб вимірювальної техніки, в якому виконується лише одна зі складових частин процедура вимірювань (вимірювальна операція);

Еталон — засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення і (чи) зберігання одиниці вимірювань одного чи декількох значень, а також передачу розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки;

Первинний еталон — еталон, що забезпечує відтворення та (або) зберігання одиниці фізичної величини з найвищою в країні (у порівнянні з іншими еталонами тієї ж одиниці) точністю;

Державний еталон — офіційно затверджений еталон, який забезпечує відтворення одиниці вимірювань та передачу її розміру іншим еталонам з найвищою у країні точністю;

Робочий еталон — еталон, призначений для перевірки чи калібрування засобів вимірювальної техніки;

Міжнародний еталон — еталон, який за міжнародною угодою призначений для погодження розмірів одиниць, що відтворюються і зберігаються державними (національними) еталонами;

Зразковий засіб вимірювальної техніки (засіб вимірювань) — засіб вимірювальної техніки (засіб вимірювань), який служить для перевірки інших засобів вимірювальної техніки (вимірювання) і затверджений як зразковий;

Вихідний еталон — еталон, який має найвищі метрологічні властивості серед еталонів, що є на підприємстві чи в організації;

Нестандартизовані засоби вимірювальної техніки (засоби вимірювань) — засоби вимірювальної техніки (засоби вимірювань), вимоги до яких не регламентовані у відповідній нормативній документації.

Важливими функціями, що виконує Державна метрологічна служба, є перевірка та калібрування засобів вимірювальної техніки, а також метрологічна експертиза документації.

Повіркою засобів вимірювальної техніки називається встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик, а калібруванням засобів вимірювальної техніки — визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, на які не поширюється державний метрологічний нагляд.

Порядок оформлення результатів перевірки встановлюється Держстандартом України. За порушення умов правил проведення перевірки засобів вимірювальної

техніки керівники підприємств і організацій несуть відповідальність згідно із законодавством.

Державні повірники зобов'язані проводити повірку з додержанням вимог відповідних нормативних документів із метрології.

Повірка засобів вимірювальної техніки проводиться територіальними органами Держстандарту України, акредитованими на право її проведення. Повірка здійснюється службовими особами територіальних органів Держстандарту України - державними повірниками.

Повірка засобів вимірювальної техніки з використанням державних еталонів проводиться метрологічними центрами Держстандарту України.

Повірку засобів вимірювальної техніки під час експлуатації та випуску з виробництва і ремонту можуть виконувати метрологічні служби підприємств і організацій, акредитовані на право проведення цієї повірки.

За порушення умов і правил проведення повірки засобів вимірювальної техніки керівники відповідних підприємств і організацій несуть відповідальність згідно із законодавством. Порядок оформлення результатів повірки встановлюється Держстандартом України.

Місцеві органи виконавчої влади повинні сприяти проведенню повірки засобів вимірювальної техніки на місці їх експлуатації, у тому числі:

- надавати відповідні приміщення;
- забезпечувати допоміжним персоналом і транспортом;
- повідомляти власників і користувачів засобів вимірювальної техніки про час і місце проведення повірки.

Калібрування ЗВТ – це визначення в певних умовах або контроль метрологічних характеристик ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд.

Калібруванню підлягають ЗВТ під час випуску з виробництва, які повинні пройти державні приймальні випробування і на які не поширюється державний метрологічний нагляд.

Необхідність проведення калібрування при експлуатації ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, визначається їх користувачем.

Калібрувальні лабораторії, які проводять калібрування ЗВТ для інших підприємств і для громадян – суб'єктів підприємницької діяльності, повинні бути акредитовані. Калібрування та оформлення їх результатів проводяться в порядку, встановленому ДСУ.

22. Перерахуйте можливі прояви похибок. Назвіть ознаки за якими класифікуються похибки. Сформулюйте властивості випадкової, систематичної складових похибок вимірювання

Похибки вимірювань

При вимірюванні фізичних величин слід чітко розмежувати два поняття: істинні значення фізичних величин та результати їх вимірювань.

Істинне значення фізичної величини — це значення, що ідеально відображає властивості об'єкта як у кількісному, так і в якісному відношеннях. Істинні значення не залежать від засобів нашого пізнання і є абсолютною істиною, до якої наближається спостерігач, намагаючись виразити її як числове значення.

Похибка результатів вимірювання — це число, що показує можливі межі невизначеності значення вимірюваної величини.

Результат вимірювання є продуктом пізнання спостерігача і є приблизною оцінкою значення шуканої величини. Результати залежать від методів вимірювання, технічних засобів, властивостей органів чуття спостерігача, зовнішнього середовища й самих фізичних величин. Різниця Δ між результатом вимірювання X та істинним значенням шуканої величини Q називається **абсолютною похибкою вимірювання**:

$$\Delta = X - Q. (1)$$

Проте, оскільки істинне значення Q шуканої фізичної величини невідоме, невідомі й похибки вимірювання. Тому Для одержання хоча б приблизних відомостей про них у формулу (1) замість істинного значення підставляють так зване **дійсне Ад**. Під останнім слід розуміти значення фізичної величини, знайдене експериментально, яке настільки наближається до істинного, що його можна використовувати у вимірюванні замість істинного. Замість дійсних значень використовують розрахункові значення, обчислені за формулами, покази еталонів, зразкових приладів і точніших технічних засобів вимірювання.

Причини виникнення похибок: недосконалість методів вимірювання, технічних засобів, органів чуттів спостерігача, зміна умов проведення експерименту. Зміна умов проведення досліджень може впливати на фізичну величину, технічні засоби і самого спостерігача.

Кожна із наведених причин виникнення похибок є зумовлена багатьма чинниками, під впливом яких формується загальна похибка вимірювання. Їх можна об'єднати у дві великі групи.

1. Чинники, що з'являються нерегулярно і зникають несподівано або проявляються з непередбачуваною інтенсивністю. До них належать: перекося елементів приладів за їх напрямними, нерегулярні зміни моментів в опорах, зміна зовнішніх умов та умов навколишнього середовища, послаблення уваги спостерігача тощо. Складова сумарної похибки, яка виникає під впливом цих чинників, називається **випадковою похибкою вимірювань**. Її основна особливість полягає у тому, що вона змінюється випадково при повторних визначеннях однієї й тієї самої величини. Крім того, не завжди можна встановити причину виникнення випадкових похибок та передбачити їх інтенсивність.

При розробці нових засобів вимірювання інтенсивність появи більшості чинників цієї групи вдається виявити і звести до загального рівня, так що вони більш-менш однаково впливають на формування випадкової похибки. Проте деякі з них можуть проявлятися надпосильно (наприклад, зміна напруги у мережі електроживлення) і призводити до того, що похибка перевищуватиме допустимі

межі. Такі похибки у складі випадкових називаються **грубими**. До них слід віднести і похибки з вини спостерігача: зумовлені його станом, правильність за шкалою, точність записів результатів вимірювань.

2. Чинники постійні або такі, що закономірно змінюються у процесі вимірювання фізичної величини. До них належать методичні похибки, зміщення стрілки приладу та недосконалість елементів (пружних) засобу вимірювання.

Складові сумарної похибки, що виникають під дією чинників другої групи, називаються **систематичними похибками** вимірювання. Їх особливість полягає в тому, що вони або постійні за величиною, або ж закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї й тієї самої величини. Таким чином, у процесі визначення фізичної величини, з урахуванням дії багатьох чинників проявляються як випадкові δ , так і систематичні θ похибки вимірювань:

$$\Delta = \delta + \theta. (2)$$

Для одержання точних результатів вимірювань, які б мінімально відрізнялися від істинного значення Q , необхідні численні вимірювання із наступним математичним опрацюванням експериментальних даних. Тому найбільше значення має вивчення похибок як функції номера спостережень або ж функції часу $\Delta(t)$. Тоді окремі значення похибок можна розглядати як значення цієї функції для окремих (вибіроч) спостережень:

$$\Delta_1 = \Delta(t_1); \Delta_2 = \Delta(t_2) \dots \Delta_n = \Delta(t_n). (3)$$

У загальному випадку похибка є випадковою функцією часу і не можна сказати, яке значення вона матиме у певний момент часу. Можна лише говорити про ймовірність появи її значення у тому чи іншому інтервалі.

Систематичні похибки зазвичай визначаються і виключаються із результатів вимірювання і називаються **відкоригованими результатами \bar{X} -вимірювань**. Випадкова похибка при цьому дорівнює різниці між відкоригованим результатом вимірювання та істинним або ж дійсним значенням шуканої величини:

$$\delta = \bar{X} - Q; \delta = \bar{X} - A_D. (4)$$

При виключенні систематичної похибки вимірювана величина складається із коригованого значення результату вимірювання \bar{X} і випадкової похибки δ , а сама вимірювана величина A стає випадковою величиною: $A = \bar{X} \pm \delta$.

2. Опис випадкових похибок

Розглянемо результати спостережень X за величиною Q як випадкову величину, що може набувати різні значення X_i при різних спостереженнях за нею.

Найуніверсальнішим способом опису випадкових величин є знаходження їх інтегральних або диференціальних функцій розподілу.

Під інтегральною функцією розподілу результатів спостережень слід розуміти залежність ймовірності того, що результат спостереження X , в i -му досліді буде меншим деякого значення X' від самої величини x :

$$F_x(x) = P\{X_i \leq x\} = P\{-\infty < X_i \leq x\}. (5)$$

Розглянемо результати окремих спостережень X_i як випадкові точки на осі Ox , що можуть наближатися до величини Q з лівого боку (рис. 1, а) або ж розміщуватися навколо величини Q (рис. 2, а).

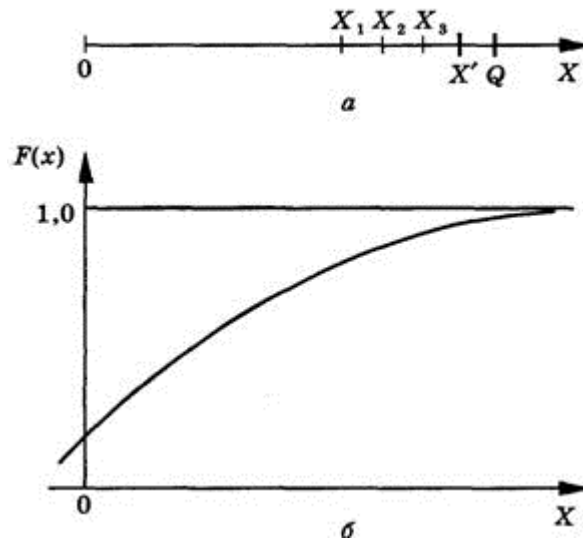


Рис. 1. Асиметричне розміщення результатів спостережень:

а — на осі ОХ; б — інтегральна функція

При переміщенні точки X' праворуч по осі Ох ймовірність того, що в результаті вимірювання точки X_i розташуються лівіше від точки X' , зростає, а інтегральна функція асимптотично наближається до 1 (рис. 1, б).

При $X' = Q$, коли результати вимірювань розміщені з правого та лівого боків від Q (рис. 2, б), інтегральна функція має точку перегину, тобто розподіл результатів відносно істинного значення шуканої величини буде симетричним.

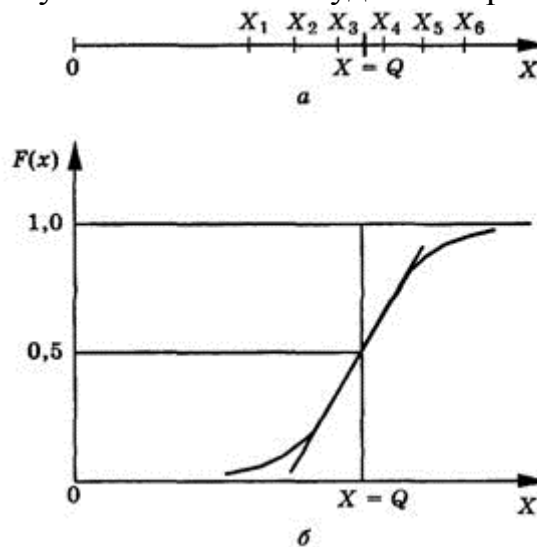


Рис. 2. Симетричне розміщення результатів спостережень:

а — на осі ОХ; б — інтегральна функція

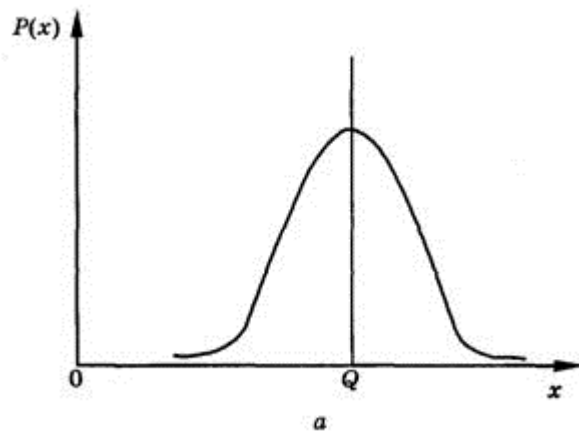
Таким чином, інтегральна функція дає уявлення про розміщення результатів вимірювання X_i відносно істинного значення вимірюваної величини Q .

Наочнішим є опис результатів спостережень і випадкових похибок за допомогою диференціальної функції розподілу ймовірностей. Вона позначається через $P_x(x)$ і відповідно $P_\delta(\delta)$. Диференціальна функція розподілу є похідною від інтегральної за своїм аргументом:

$$P_x = \frac{F_x(x)}{dx}; P_\delta = \frac{F_\delta(\delta)}{d\delta} \quad (6)$$

Графік диференціальної функції розподілу, який називається **кривою розподілу**, має дзвоноподібну форму з максимумом при $X = Q$ (рис. 3, а) і відповідно при $\delta = 0$ (рис. 3, б).

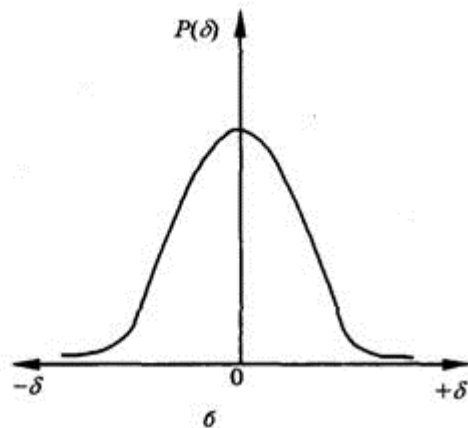
Оскільки інтегральна функція $F_x(+\infty) = 1$, справедлива рівність



$$\int_{-\infty}^{+\infty} P_x(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} P_\delta(\delta) d\delta = 1. \quad (7)$$

Рис. 3. Диференціальні функції розподілу:

а — результатів спостережень; б — випадкових похибок



Таким чином, площа, обмежена кривою диференціальної функції розподілу і віссю абсцис, дорівнює 1, а ймовірність попадання результату спостереження і випадкової похибки у заданий інтервал дорівнює цій площі.

Вирази $P_\delta(\delta)d\delta$ і $P_x(X)dx$ називаються **елементами ймовірності**. Вони дорівнюють ймовірностям того, що випадкові величини δ і X можуть прийняти деяке значення в інтервалах $d\delta$ та dx , тому по формі кривої розподілу можна сказати про те, які інтервали значень випадкових похибок більш чи менш імовірні. Для кривої розподілу випадкових похибок, показаної на рис. 3, більш імовірні малі значення похибок, які лежать навколо $\delta = 0$. Ймовірність великих похибок значно менша.

Таким чином, результати спостережень сконцентровані навколо істинного значення вимірюваної величини, і в міру наближення до нього елементи ймовірності їх виникнення зростають. Це дає право прийняти за оцінку істинного значення вимірюваної величини координату центру тяжіння фігури, утвореної кривою розподілу і віссю абсцис, названої **математичним сподіванням результатів спостережень**:

$$M[X] = m_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x P_x x dx. \quad (8)$$

Виходячи з виразу математичного сподівання, можна зробити чіткіше визначення систематичної та випадкової похибок.

Систематичною похибкою називається різниця між математичним сподіванням результатів спостережень та істинним значенням вимірюваної величини:

$$\theta = M[X] - Q. \quad (9)$$

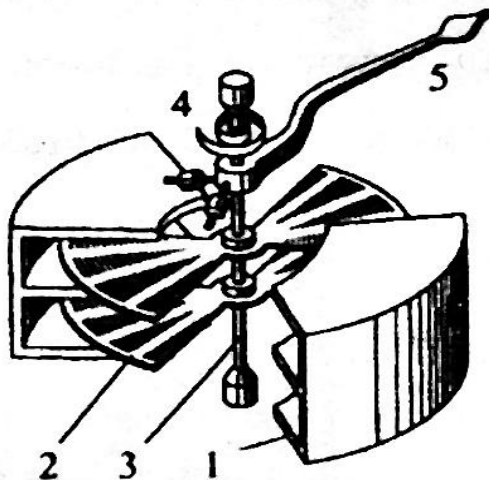
Випадкова похибка — різниця між результатом одиничного спостереження і математичного сподівання результатів:

$$\delta = X_i - M[X]. \quad (10)$$

Виходячи з наведених визначень можна вивести істинне значення вимірюваної величини:

$$Q = M[X] \pm Q \pm \delta. \quad (11)$$

32. Накресліть вимірювальний механізм, опишіть будову, принцип дії у електростатичних вольтметрів. Опишіть їх позитивні та негативні якості. Електростатичні вимірювальні механізми застосовуються в основному у вольтметрах, використовуваних для вимірювання напруги у високовольтних ланцюгах постійного і змінного струму і ланцюгах з високочастотними сигналами.



Мал. 1. Пристрій електростатичного вимірювального механізму.

Конструкція. Принцип дії електростатичного пристрою (мал. 1) заснований на взаємодії двох заряджених електродів, один з яких нерухомий 1, а другий 2 має можливість обертатися на осі 3 в створюваному першим електричному полі. Спиральна пружина 4 задає момент опору і служить для подачі потенціалу на рухому пластину (електрод).

Достоїнства. Високий вхідний опір, що визначає мале енергоспоживання; реакція на значення напруги, що діє, не залежить від форми сигналу; широкий частотний діапазон вимірюваного сигналу; висока точність (до 1%).

Недоліки. Нелінійна шкала; мала чутливість; значний вплив зовнішніх електромагнітних полів (необхідно екранувати).

Принцип дії приладів електростатичної системи заснований на взаємодії двох електрично заряджених тіл. Конструктивно вони виконуються у вигляді нерухомої і рухомої пластин до яких прикладається вимірювана напруга (рис.2).

Енергія електричного поля $W_e = CU^2/2$. При русі рухомої пластини ємність 3 між ними змінюється. Формула моменту, що обертає, матиме вигляд

$$M_B = \frac{1}{2} \frac{dC}{da} U^2$$

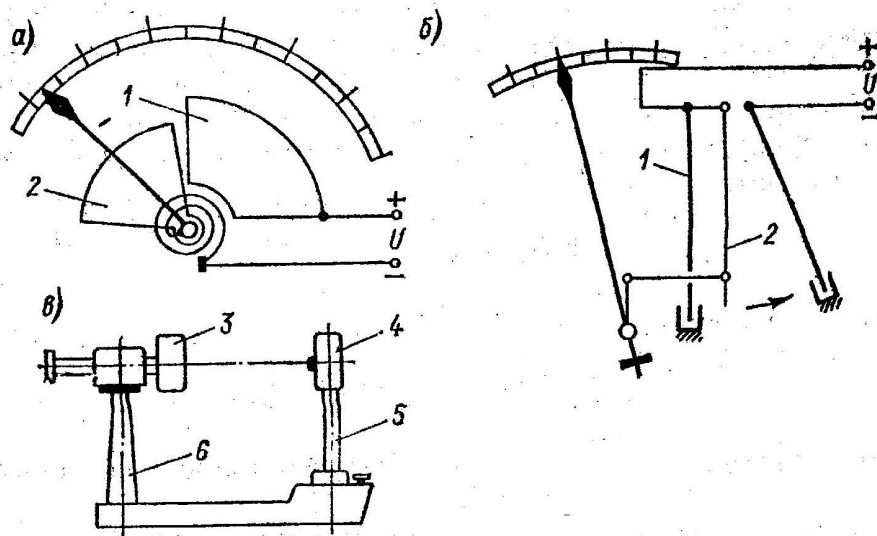
і відхилення покажчика

$$a = \frac{1}{2W} \frac{dC}{da} U^2 \quad (1)$$

Протидіючий момент створюється спіральною пружиною (рис.2, а) або вагою рухомої пластини (рис.2, би). З рівняння (1) виходить, що електростатичні прилади є вольтметрами і килвольтметрами, придатними для вимірювання постійної і змінної напруги. Шкала градуйована на постійній напрузі, справедлива для значення змінної напруги будь-якої форми, що діє.

До достоїнств електростатичних приладів відносяться: великі межі напруги (до 1МВ); широкий діапазон частот вимірюваної напруги (до 30МГц). Недоліки: мала чутливість; мала надійність; нелінійність шкали; вплив температури навколишнього середовища і зовнішнього електричного поля.

Електростатичні прилади виконуються у вигляді щитових і переносних вольтметрів і кіловольтметрів для застосування в ланцюгах постійного і змінного струму з частотою від 20 Гц до 30 МГц.



Мал. 2 Пристрій електростатичних приладів: а - з робочою площею пластин, що змінюється; б - з відстанню, що змінюється, між пластинами; в - високовольтного
1 і 2 - нерухома і рухома пластини; 3 - високовольтний електрод; 4 - заземлений електрод; 5 - металева труба; 6 - ізолятор

Гальванометром називається прилад електровимірювання з неградуваною шкалою, який має високу чутливість до струму або напруги. Гальванометри широко використовуються як нуль-індикатори, а також для вимірювання малих струмів, напруги і кількості електрики, якщо відома постійна гальванометра. Окрім магнітоелектричних існують і деякі інші види гальванометрів, наприклад електростатичні, звані електрометрами. Проте їх застосування вельми обмежене.

Основна вимога, що пред'являється до гальванометрів, — висока чутливість, яка досягається, головним чином, шляхом зменшення протидіючого моменту і використання світлового покажчика з великою довжиною променя.

По конструктивному оформленню розрізняють: а) гальванометри переносні (з вбудованою шкалою), в яких використовуються як стрілочні, так і світлові покажчики; б) гальванометри дзеркальні, з окремою шкалою, вимагаючі стаціонарної установки по рівню.

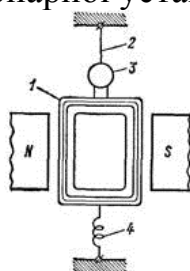


Рисунок 3

Схематичний пристрій гальванометра на підвісі.

У переносних гальванометрах рухома частина встановлюється на розтяжках, а в дзеркальних — на підвісі. У останньому випадку струмопідведення до обмотки рамки 1 здійснюється за допомогою підвісу 2 і безмоментної нитки 4. Для вимірювання кута повороту рамки служить люстерко 3, на яке фокусується промінь світла від спеціального освітлювача.

Постійна дзеркального гальванометра даної конструкції залежить від відстані між люстерком і шкалою. Її умовилися виражати для відстані, рівного 1 м, наприклад: $C_1 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{м/мм}$. Для переносних гальванометрів в паспорті вказують ціну поділки шкали, наприклад: 1 поділка = $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ А}$.

Найчутливіші дзеркальні гальванометри мають постійну до $10^{-11} \text{ А} \cdot \text{м/мм}$; у переносних гальванометрів постійна складає приблизно $10^{-8} — 10^{-9} \text{ А/поділку}$.

Стандарт на гальванометри (ГОСТ 7324 - 68) допускає відхилення постійної гальванометра (або ціни поділки) від вказаної в паспорті на $\pm 10\%$.

Важливою характеристикою гальванометра є постійність нульового положення покажчика, під яким розуміють неповорнення покажчика до нульової відмітки при плавному його русі від крайньої відмітки шкали. По цьому параметру гальванометри ділять на розряди постійності. Умовне позначення розряду постійності нульового положення покажчика гальванометра, що складається з цифрового позначення розряду постійності, укладеної в ромб, наносять на шкалу гальванометра при маркуванні.

Багато гальванометрів забезпечують магнітним шунтом. Регулюючи положення шунта за допомогою виведеної назовні ручки, можна міняти значення магнітної індукції в робочому зазорі. При цьому змінюється постійна, а також ряд інших параметрів гальванометра. На вимогу стандарту, магнітний шунт повинен змінювати постійну по струму не менше ніж в 3 рази. У паспорті гальванометра і в його маркуванні вказують значення постійної при двох крайніх положеннях шунта — повністю введеному і повністю виведеному.

Гальванометр повинен мати коректор, що переміщає при круговому обертанні покажчик в ту або іншу сторону від нульової відмітки. Гальванометри з рухомою частиною на підвісі повинні бути забезпечені аретиром (пристосуванням для механічної фіксації рухомої частини), який включають, наприклад, при перенесенні приладу.

Гальванометри зважаючи на високу чутливість необхідно захищати від завад. Так, від механічних струсів гальванометри захищають, встановлюючи їх на капітальні стіни або спеціальні фундаменти; від струмів завад — електростатичним екрануванням тощо.

Характер руху рухомої частини гальванометра при зміні вимірюваної величини залежить від його заспокоєння, яке визначається опором зовнішнього ланцюга. Для зручності роботи з гальванометром цей опір підбирають близьким до так званого зовнішнього критичного опору R_k , вказаному в паспорті гальванометра. Якщо гальванометр замкнений на зовнішній критичний опір, то покажчик плавно і за мінімальний час підходить до положення рівноваги, не переходить його і не скоює біля нього коливань.

Балістичний гальванометр дозволяє вимірювати малі кількості електрики (імпульс струму), що протікають протягом коротких проміжків часу — частки секунди. Таким чином, балістичний гальванометр призначений для імпульсних вимірювань. Теорія балістичного гальванометра показує, що якщо прийняти допущення про те, що рухома частина починає свій рух після закінчення імпульсу струму в обмотці рухомої рамки, то кількість електрики Q , що протекла в ланцюзі, пропорційна першому максимальному відхиленню покажчика α_{1m} , тобто $Q = C_6 \cdot \alpha_{1m}$, де C_6 — балістична постійна гальванометра в кулонах на поділку.

Слід зазначити, що C_6 не залишається незмінною для даного гальванометра, а залежить від опору зовнішнього ланцюга, що вимагає звичайно її визначення в

процесі вимірювань дослідним шляхом.

Вказане вище допущення виконується тим точніше, чим більше момент інерції рухомої частини гальванометра i , отже, більше період вільних коливань T_0 . Для балістичних гальванометрів T_0 складає десятки секунд (для звичних гальванометрів — одиниці секунд). Це досягається збільшенням моменту інерції рухомої частини гальванометра за допомогою додаткової деталі у вигляді диска.

Вібраційний гальванометр - вимірювач малих змінних струмів і напруг магнітоелектричними електромеханічними приладами без перетворювачів змінного струму в постійний. Прикладом є вібраційний гальванометр, який використовується перш за все в якості нуля індикатора в ланцюгах змінного струму в діапазоні частот від декількох десятків до декількох сотень герц.

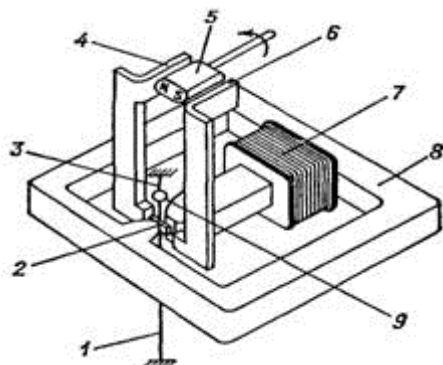


Рисунок 4 - Пристрій вимірювального механізму вібраційного гальванометра- з рухомим магнітом.

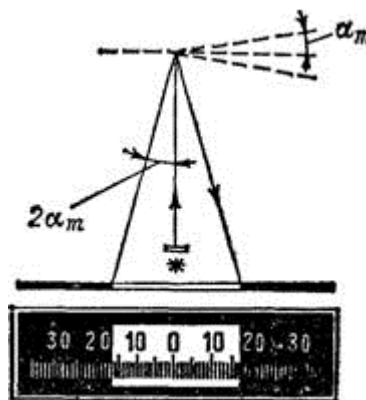
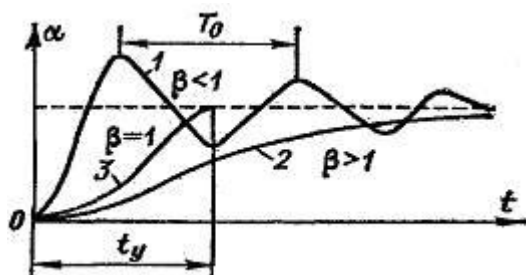


Рисунок 2

Найбільше застосовуються магнітоелектричні вібраційні гальванометри з рухомим магнітом. Пристрій вимірювального механізму такого приладу схематично показаний на рисунку 4. Тут рухомий магніт 2 розташований між полюсами Ш - подібного електромагніту 8, обмотка 7 якого включена в ланцюг вимірюваного змінного струму. Рухомий магніт укріплений на розтяжках 3 і 1. Перпендикулярно полюсам електромагніту розташовані ще два полюси 4 і 6, між виступаючими частинами яких поміщений поворотний постійний магніт 5. Поворотом цього магніту можна змінити значення магнітного потоку між полюсами 4 і 6. Таким чином, в даному приладі протидіючий момент створюється розтяжками і постійним магнітом 5. За відсутності струму в обмотці 7 рухомий магніт 2 встановлюється уздовж ліній поля в зазорі. За наявності змінного струму в обмотці котушки рухомий магніт 2 прагне встановитися уздовж результуючої двох полів — постійного та змінного та починає коливатися. Разом з магнітом 2 коливатиметься і люстерко 9, закріплене на розтяжці і використовуване для оптичного покажчика. Люстерко освітлюється лампочкою, що поміщається всередині приладу, а віддзеркалення від нього у вигляді світлової смужки потрапляє на прозору шкалу (рисунок 2). При коливанні рухомої частини гальванометра світлова смуга на шкалі скоюватиме поступально-поворотний рух і завдяки здатності спостерігача зберігати якийсь час зорове враження сприйнята оком смуга здаватиметься спостерігачу розширеною. Міняючи за допомогою виведеної назовні ручки положення магніту 5 (рисунок 1), можна налаштовувати вібраційний гальванометр на резонанс між частотою власних коливань рухомої частини, залежною від значення протидіючого моменту, і частотою змінного струму в обмотці котушки. При резонансі ширина спостережуваної смуги буде найбільшою. Звичайно вібраційні гальванометри будують на частоти приблизно 30-100 Гц з ціною поділки 10^{-7} — 10^{-8} А.

Гальванометри. Особливо чуттєві магнітоелектричні прилади для виміру струмів, напруг і кількості електрики називаються гальванометрами. Клас точності гальванометрам не присвоюється. Гальванометри часто використовують як нуль індикатори, що показують відсутність струму в ланцюзі. Для цього випускаються гальванометри з двосторонньою шкалою, тобто з нульовою оцінкою посередині.

Гальванометри розділяються на переносні і стаціонарні. Рухлива котушка в переносних гальванометрів кріпиться на розтяжках; внутрішній відліковий пристрій постачений оптичним показчиком. Стаціонарні (дзеркальні) гальванометри виконують з підвісом рамки (котушки) і зовнішньою шкалою, на яку падає промінь світла у відбитий від дзеркальця.



Легка котушка і малий питомий протидіючий момент створюють умови для виникнення механічних загасаючих коливань рухливої частини гальванометра (рисунок 4, крива 1).

Для прискорення припинення коливань застосовують електромагнітне заспокоєння.

Рисунок 4 - Графіки різних режимів руху рухливої частини гальванометра.

$$P = \frac{(B \cdot s \cdot n)^2}{R_{\Sigma}} = \frac{(B \cdot s \cdot n)^2}{R_{\Gamma} + R_H}$$

Коефіцієнт заспокоєння згідно формулі (5)

де R_{Γ} — опір проводів рамки гальванометра; R_H — опір зовнішнього ланцюга, на який замкнута рамка.

Очевидно, що коефіцієнт заспокоєння є функція $P = f(R_{\Gamma} + R_H)$ і змінюючи зовнішній опір, можна змінювати коефіцієнт заспокоєння та інтервал часу заспокоєння. Припустимо, що при деякому $P = P_{KP}$ настає критичний режим, при якому протягом мінімального інтервалу часу t_y настає заспокоєння. Уведемо поняття

$$\beta = \frac{P}{P_{KP}} = \frac{R_{\Gamma} + R_{H,KP}}{R_{\Gamma} + R_H}$$

ступеня заспокоєння

де $R_{H,KP}$ - деяке значення зовнішнього опору, при якому виникає критичний режим. У критичному режимі $\beta_{KP} = 1$ і процес установа характеризується кривою 3 на рисунку 4. Якщо $\beta > 1$, режим аперіодичний (крива 2), якщо $\beta < 1$, - коливальний (крива 1). У паспортних даних гальванометра приводяться значення R_{Γ} , $R_{H,KP}$, власний період механічних коливань T_0 і тривалість заспокоєння в критичному режимі t_y .