

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки  
Кафедра метрології та інформаційно-виміральної техніки

# ВСТУП ДО ФАХУ З МЕТРОЛОГІЇ

## Лекція 14

### Тема: Засоби вимірювання



# Лекція 14

## Тема: Засоби вимірювання

1. Класифікація засобів вимірювань.
2. Ряди значень мір та набори мір.
3. Застосування вимірювальних перетворювачів.
4. Вимірювальні приладдя.



# 1. Класифікація засобів вимірювань.

Засоби вимірювань класифікуються за велими різноманітними ознаками, які в більшості випадків взаємно незалежні і в кожному засобі вимірювань можуть перебувати майже в будь-яких.

**До цих ознак належать:**

- принцип дії;
- спосіб утворення свідчень;
- спосіб отримання числового значення вимірюваної величини;
- точність;
- умови застосування;
- ступінь захищеності від зовнішніх магнітних та електричних полів;
- міцність та стійкість проти механічних впливів та перевантажень;
- стабільність;
- чутливість;
- межі та діапазони вимірювань.

За деякими з цих ознак класифікація різних засобів вимірювань однакова, за іншими вона різна. Деякі з перелічених ознак застосовні лише до одних видів засобів вимірювань і не застосовна кількість ознак охоплює класифікацію електровимірювальних приладів. Вимірювальні перетворювачі можна класифікувати з більшості з перелічених ознак.

## Класифікація за принципом дії

Ту чи іншу величину можна вимірювати за допомогою засобів вимірювань, що відрізняються один від одного принципом дії. Відмінності цих принципів пов'язані з використанням різноманітних фізичних явищ.

Наприклад, для вимірювання довжини застосовують механічні, оптичні, пневматичні та електричні пристрої. Крім того, можуть бути різними способи використання одного і того ж фізичного явища. Так, відмінність принципу дії електровимірювальних пристроїв, у яких використовується взаємодія електричного струму та магнітного потоку, полягає у способі одержання, формі та характері магнітного потоку.

Вимога до точності та інших характеристик засобів вимірювань можуть бути різними залежно від принципу дії, на якому ґрунтується той чи інший пристрій. *Тому в усіх стандартах та інших нормативних документах зазначаються принципи дії засобів вимірювань, на які поширюються норми, що встановлюються цим документом.*

# Класифікація за способом утворення показань

За способом утворення показань вимірювальні прилади можна розділити на три основні групи:

- Показувальні;
- Самопишучі;
- Прилади з наведенням.

**Показувальні - це прилади, що показують вимірювання, якщо на них впливає вимірювальна величина, дають покази, не вимагаючи від спостерігача будь-яких додаткових операцій.**

Покажчик відлікового пристрою переміщається без впливу людини і спостерігається візуально. В одних випадках це переміщення здійснюється під дією тільки вимірюваної величини, як, наприклад, у *амперметрі, вольтметрі, циферблатних вагах.*

**До вимірювальних приладів, що показують, слід віднести прилади з цифровим відліком.** Їх відліковий механізм забезпечує появу в «віконцях» цифр, що становлять число-значення вимірюваної величини.

Вимірювальні прилади з цифровим відліком знаходять більше поширення. Як правило, ними є *електромеханічні або електронні пристрої.*

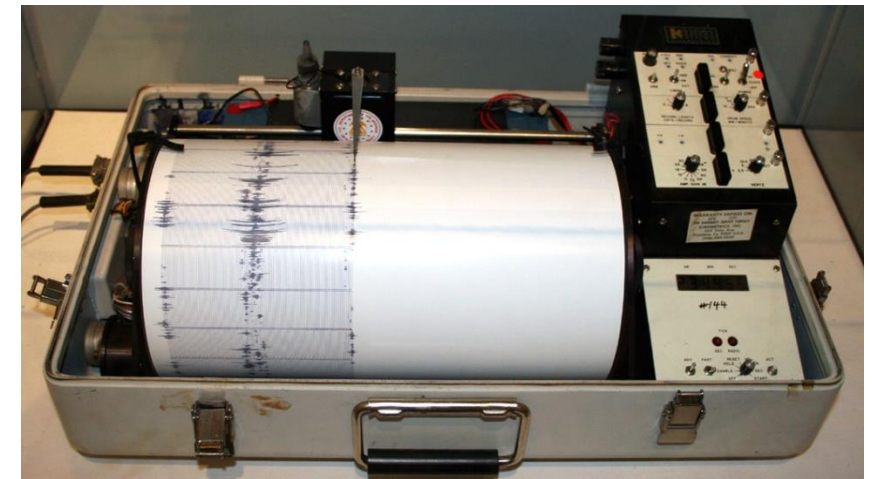


**Самопишучі - це вимірювальні прилади, що самі пишуть, крім шкали та вказівника, містять механізм, при вимірі змінної величини у вигляді діаграми.**

Діаграма являє собою зображення змін вимірюваної величини в залежності від змін іншої змінної величини в більшості випадків часу. Якщо ця змінна величина не є часом, самопишучі вимірювальні пристрої називають координатними. Назва ця умовна, оскільки час також є координатною. Запис виробляється у вигляді стрічки, що рухається, або диска або листа, накладеного на барабан.

Способи запису, що застосовуються нині, дуже різноманітні. Найбільш поширеним є запис чорнилом за допомогою пера тієї чи іншої конструкції та друкування крапок через кольорові стрічки, просочені фарбою. Існують і інші способи запису: тонкою цівкою чорнил, електричною іскрою на металізованому папері, нагрітим стрижнем на папері з восковим шаром і т. д.

До приборів, що самі себе пишуть також потрібно віднести прибори з друкуючими механізмами, які дають показання у виді чисел, надруковані на паперовій стрічці.



Вимірювальні прилади з наведенням вимагають обов'язкового втручання людини, яка переміщенням тих чи інших деталей або добром заходів досягає досягнення певного ефекту — зазвичай приведення до нуля показання нульового індикатора. Після досягнення цього положення проводиться відлік показань щодо відлікового пристосування по сумі підібраних заходів.

**Зазначені вище електромеханічні та електронні цифрові вимірювальні прилади по суті в більшості випадків є вимірювальними приладами з наведенням, у яких процес наведення автоматизований.**



# Класифікація за способом одержання числового значення вимірюваної величини

За способом одержання значення вимірюваної величини вимірювальні прилади можна розділити на дві групи: *прилади безпосередньої оцінки та компонуєчі прилади* (прилади порівняння).

У свою чергу вимірювальні прилади безпосередньої оцінки можна розділити на прилади: значення вимірюваної величини, що існує в даний момент часу та інтегруєчі.

До вимірювальних приладів безпосередньої оцінки належать пристрої, що показують значення вимірюваної величини на відліковому пристрої. Їх градуують та повіряють, використовуючи зразкові вимірювальні прилади. У процесі вимірювання вже зразкові вимірювальні прилади прямої участі не беруть. Якщо величина, що вимірюється, змінна, то відлікове пристосування дозволяє стежити за її змінами.





Інша підгрупа вимірювальних приладів безпосередньої оцінки - **інтегруючі або підсумовуючі**. У принципі їх вимірювальні механізми реагують на миттєві значення тієї чи іншої величини, але величиною, що вимірюється ними, є не ця величина, а сума її творів величини, найчастіше часу. Наприклад, електричний лічильник підсумовує миттєві значення електроенергії, рівні миттєвим значенням потужності  $P$ , множення на малі проміжки часу. Це можна сказати формулою:

$$A = \sum_{t-1}^{t-2} \cdot P_i \Delta t;$$

де,  $A$  - кількість енергії, що протекла через лічильник за час  $t_2 - t_1$ ;

$P_i$  - миттєве значення потужності, яке вона набуває і кожен малий проміжок часу  $\Delta t$ .

$\Delta t$  - малі проміжки часу, куди розділений інтервал чи формул.

$$A = \int_{t_1}^{t_2} p dt;$$

Не слід змішувати два поняття: безпосередньої оцінки та показові вимірювальні прилади, про які йшлося вище. Так, мікромметр, будучи вимірювальним приладом безпосередньої оцінки, за способом утворення показань повинен бути відноситься до вимірювальних приладів з наведенням, а не до показуючих приладів.

**Компариниційні та вимірювальні прилади** призначені для порівняння мір між собою і для порівняння вимірюваної величини вимірювальні прилади з мірами. Особливість компаруючих вимірювальних приладів полягає в тому, що для проведення за допомогою вимірювань необхідні заходи. Приклади компаруючих приладів: ваги важеля, потенціометри.

# Класифікація за точністю

**Точність вимірювань** - це найважливіша характеристика результатів вимірювань, що визначає можливість використання одержаних результатів для тих цілей, заради яких вони були проведені. Одним із вирішальних факторів, що визначають точність вимірювань, є точність засобів вимірювань, що застосовуються.

**Похибкою міри** називається алгебраїчна різниця між номінальним і дійсним її значеннями.

Точність вимірювальних пристроїв характеризується сумарною похибкою т.е. похибка, в яку входить похибка градування та підготовки, а також змінні похибки варіації і т. д. Оскільки змінні похибки змінюються в певних межах, то можна визначити межі сумарних похибок вимірювальних приладів.

**Основна похибка** (погрішність, визначена за нормальних умов) – ознака класифікації засобів вимірювань за точністю (головним, але не єдиним).

Засоби вимірювань кожного виду поділяються на **класи точності** залежно від значень граничних допустимих основних погрішностей \*. Для кожного виду засобів вимірювань встановлюється ряд класів точності і їм присвоюються ті плі інші позначення: номери, числа, літери тощо. Класи точності дуже різноманітні.

Кожен клас точності визначається, що характеризують рівень точності засобу вимірювань, причому точність, що визначається зазвичай найвищою для даного пристрою, можна користуватися ним для ведення поправок.

Засоби вимірювання, що застосовуються як зразкові при зразкових при перевірці менше точних засобів вимірювань, класифікують за розрядами. У якості критерію для класифікації за розрядами приймається точність, що забезпечується при обліку поправок. До 1-го розряду відрізнити найбільш точні зразкові засоби вимірювань, перевірка робочими еталонами. За зразковими засобами з 1-го розряду повіряють зразкові засоби вимірювань 2-го розряду і т. д. Розряди встановлюються перевірочними схемами.

## Класифікація за умовами застосування

Для кожного засобу виміру встановлюють межі умов їх примітки та забезпечуються ті їхні властивості, які визначають рівень точність їх показань.

Найбільше значення більшості засобів вимірювань має дотримання встановленого інтервалу температури. Якщо вказується, що засіб вимірювань розрахований для примикання і в межах певного діапазону температури, це означає, що похибки приладу інші його характеристики в межах цього діапазону нормовані. Наприклад, показання електровимірювальних приладів на кожні 10С зміни температури можуть змінитися на значення, що дорівнює основної допустимої похибки або певній частці. Іншими словами, похибка може в гіршому випадку виявитися вдвічі більшою, ніж допускається.

Не всім засобів вимірювань доводиться нормувати робочу температуру і вологість. У той же час для деяких з них додатково нормують атмосферний тиск, який зазвичай вказують в міліметрах ручного стовпа. Іноді замість тиску вказують припустиму висоту над рівнем моря. Для багатьох радіо та електровимірювальних пристроїв існує ще дві впливові величини, що вимагають нормування: робоча напруга мережі та діапазон частот, при яких може прийматися вимірювальний пристрій.



# Класифікація за рівнем захищеності від впливу зовнішніх магнітних та електричних полів

Постійно діючою, впливає коштом вимірів, величиною є магнітне полі Землі. У кожній точці Землі воно приблизно постійно. Магнітне поле Землі та інші магнітні поля впливають на показання низки засобів вимірювань, принцип дії яких ґрунтується на використанні магнітних та електромагнітних явищ.

**Магнітні поля, що виникають у сучасних технічних пристроях, набагато сильніше магнітного поля Землі, тому від них необхідно захищати навіть не дуже чутливі засоби вимірювань.** Так як захист від впливу магнітних полів завжди ускладнює та подорожчає засоби вимірювань, то застосовують її лише за наявності таких магнітних полів, які можуть вплинути на нього. Залежно від напруженості магнітних полів завжди ускладнює та подорожчає засоби вимірювань, то застосовують її лише за наявності таких магнітних полів, які можуть вплинути на нього. *Залежно від напруженості магнітних полів використовують засоби вимірювань, відповідним чином захищені від них.*

Для електровимірювальних приладів розроблено класифікацію за рівнем захищеності від впливу магнітних полів. Введено дві категорії захищеності: 1 та 2. Категорії I відповідає великий ступінь захищеності (ГОСТ 1845-59).

*На показання вимірювальних приладів, що ґрунтуються на використанні електростатистичних подій (взаємодії електричних зарядів), впливають електричні поля.* На міру захищеності від впливу електричних полів також введено категорії.

# Класифікація по міцності та стійкості проти механічних впливів та перевантажень

Існують зовнішні явища, вплив яких не виражається у безпосередньому впливі на показання засобів вимірювань, але вони можуть стати причиною псування та порушення дій механізму. вода, інші рідини та гази, пил і т. п. Від впливу цих факторів засоби вимірювань *захищають кожухами або виконують їх у корпусах із особливих матеріалів із застосуванням захисних покриттів*. За ступенем захисту від зовнішніх впливів розрізняють засоби вимірювань прості, пилозахищені, бризкозахищені, водозахищені, герметичні, газозахищені, вибухобезпечні.

Вибухова безпечність знецінюється в першу чергу такою конструкцією засобів вимірювань, за якої виключається можливість появи іскри. Якщо повністю усунути можливість появи іскри не можна, то корпус конструюють так, щоб у разі виникнення вибуху він був би локалізований у ньому.

На засіб вимірювання можуть впливати також зовнішні механічні сили: **трясіння, вібрації, удари**.

Наслідки механічних впливів можуть бути різними. Вони можуть *призвести до перекручування показань* і ймовірності їх відліку під час цих впливів, але після припинення їх усі властивості засобу вимірювань відновлюються, зруйнувати чи зіпсувати засоби вимірів. Так як деякі засоби вимірювань доводиться використовувати в умовах механічних впливів, різних за інтенсивністю та іншими характеристиками, їх або захищають від руйнівної дії, або посилюють їх міцність, або ж пристосовують їх для можливості відліку показань у цих умовах.

До питань міцності відноситься також чутливість вимірювальних пристроїв до навантажень. **Під перевантаженням розуміють перевищення вимірюваної величиною верхньої межі вимірів**. Деякі вимірювальні прилади (головним чином компанують) продовжують при цьому давати показання, наприклад, рівноплечі ваги, проте точність вимірювань при цьому значно знижується. При подальшому збільшенні навантаження прилади можуть деформуватися і навіть руйнуватися.

Інші вимірювальні прилади можуть витримувати *обмежені та короточасні навантаження*. До них відносяться електровимірювальні прилади.

Всі засоби вимірювань, що мають електричні ланцюги (у тому числі і неелектровимірювальні), випробовують *на міцність електричної ізоляції* відповідно до вимог техніки безпеки.

## Класифікація зі стабільності показань засобів вимірювань

Значення заходів або показання вимірювальних приладів змінюються нерідко і без впливу зовнішніх факторів після більш-менш тривалого часу. Причиною таких змін у більшості випадків є **внутрішні структурні зміни матеріалів**, з яких виготовлені основні деталі засобу вимірювання. Таким змінам, званим старінням більшою мірою схильні до сплави металів і органічні матеріали.

Крім **старіння матеріалів**, з яких виготовлені засоби вимірювань, причинами порушення їх стабільності можуть бути помилки, допущені під час конструювання чи розрахунку, і навіть погана якість виготовлення.

*В будь-якому вимірювальному приладі, що має рухливі частини, на переміщення яких впливає тертя, показання будуть тим постійнішими, чим більше корисні сили, що діють, і чим менше сили тертя (або інші шкідливі явища).*

Непостійність показань вимірювальних пристроїв містять електронні елементи (радіолампи тощо), може бути наслідком **неправильного вибору режиму роботи цих елементів**.

Причиною мінливості показань вимірювальних приладів з наведенням можуть бути **зазори між рухомими частинами, мінливість електричного контакту** і т. п.

*Ступінь мінливості показань вимірювальних приладів, або стінка зворотної величини - відтворюваності показань, - у багатьох випадках характеризується варіацією показань.*

## Класифікація чутливості вимірювальних приладів

Під чутливістю вимірювального приладу розуміють його особливість реагувати зміни вимірюваної величини. Це по собі не викликає жодних заперечень, проте при ближчому розгляді та кількісному визначенні чутливості виявляються деякі особливості цього поняття. *Кількісно чутливість* оцінюють ставленням зміни положення покажчика щодо шкали (вираженого в лінійних або кутових одиницях) до зміни вимірюваної величини, що викликала його. Наприклад, зміна електричної напруги на 2 мкВ викликала переміщення стрілки гальванометра на 6 мм (довжиною дуги). Отже чутливість гальванометра дорівнюватиме від 2 до 3 мм/мкВ.

Іноді вважають, що **чутливість** - величина, обернена мірою поділу. Це правильно у разі, якщо шкала рівномірна, тобто. довжина поділів однакова. У тих випадках, коли шкала нерівномірна, але міра поділу по всій шкалі не змінюється, чутливість може змінюватись у кілька разів. Наприклад, якщо на початку шкали довжина розподілу дорівнює 1мм, а в кінці - 4 мм, то при незмінній мірі розподілу чутливість вимірювального приладу в кінці шкали буде вчетверо більше, ніж на початку.

Часто під чутливістю вимірювального приладу неправильно розуміють зміну вимірюваної величини, що викликає найменше переміщення вказівника, яке ми можемо помічати при нормальному для даного вимірювального приладу способі відліку. Однак цю характеристику не слід змішувати з чутливістю, оскільки вона по суті протилежна їй.

Якщо величиною, що вимірюється, є довжина, то значення чутливості буде виражатися безрозмірним числом, називають передатним ставленням. Так як у більшості випадків розподілу шкал пристроїв для вимірювання довжин або кутів бувають рівномірними, то вказується не чутливість, а лише ціна розподілу.

## Класифікація за межами та діапазонами вимірювання

Дуже важливою характеристикою будь-якого засобу вимірювання, що визначає в першу чергу *придатність його для тих цілей*, для яких він призначений, є **межі вимірювання**, тобто найменше та найбільше значення вимірюваної величини, які можуть бути виміряні цим засобом вимірювань. **Нижня і верхня межі вимірювання обмежують діапазон значень вимірюваної величини, що визначаються за допомогою цього засобу вимірювань. Цей діапазон називають діапазоном виміру.** Так як у багатьох вимірювальних приладах нижньою межею виміру є нуль, то їх часто характеризують не діапазном виміру, а верхньою його межею, скорочено називаючи його «межа виміру».

*У багатьох вимірювальних приладах є пристрої, що дозволяють змінювати діапазони вимірювання іноді в дуже широких межах.* У цих випадках слід говорити про загальний діапазон вимірювання, що охоплюється вимірювальним приладом, і про окремі діапазони, які часто називають невдалим терміном «*подіапазони*».

Перевірці повинні піддаватися всі діапазони в обов'язковому порядку, оскільки неможливо передбачити всі випадки застосування вимірювального приладу за час між перевірками.



## 2. Ряди значень мір та набори мір

*Робочі та зразкові засоби виготовляють у вигляді окремих екземплярів, наборів та магазинів.* Навіть тоді, коли заходи виготовляють у вигляді окремих екземплярів, ряд значень вибирають таким чином, щоб вони забезпечували перехід від одного значення до іншого з дотриманням метрологічних вимог. Наприклад, зразкові котушки електричного опору не тільки виготовляють, а й застосовують окремо, послідовне або паралельне їх включення, як правило, не проводиться. Проте їх виготовляють з номінальними значеннями, що є закономірним рядом і рівними  $1-10^{+n}$  Ом, де  $n$ -цілі числа або нуль.

*При виготовленні наборів чи магазинів засобів для вибору низки значень висувають особливі вимоги.* При цьому прагнуть найбільш раціонально, використовуючи найменшу кількість заходів, забезпечити можливість отримання найбільшої кількості поєднань. Наприклад, набір гир будується за рядом 1; 2; 2; 5 (у кожному десятковому числовому розряді), що дає можливість відтворити всі значення від 1 до 10. Такий ряд визнаний раціональнішим, ніж ряд 1; 2; 3; 4, що містить гирі чотирьох розмірів замість трьох. Це має значення при масовому виробництві. Крім того, гирі 2 і 3, особливо 3 і 4 не дуже помітно відрізняються за розмірами, що ускладнює користування ними. Цей же ряд застосовується і в магазинах електричних заходів зі штепсельним перемиканням. Крім нього, у магазинах заходів зі штепсельним та важелевим перемиканням застосовується декадна Система  $(1; 2; ;3.: 10) * 10^{-n}$ .

До наборів плоскопаралельних кінцевих заходів довжини (називаються для стислості «плитками») пред'являється інша вимога: будь-яке значення довжини (в заданих межах) має відтворюватись за допомогою не більше чотирьох-п'яти заходів. Так, набір з 87 плиток довжиною від 0,5 до 100 мм дозволяє відтворювати довжину від 0,5 до 340 мм з інтервалами 0,005%; В 0,01 та 0,1 мм, застосовуючи не більше чотирьох плиток. Якби набір плиток був складений по ряду, подібному до набору гирь (1; 2; В 2; В 5; В 10; 203), для відтворення довжини 188,88 мм знадобилося б не чотири, а 13 заходів.

### 3.Застосування вимірювальних перетворювачів

**Вимірювальний перетворювач** може бути вбудований в один корпус з вимірювальним механізмом або являти собою вільний пристрій.

Основні характеристики та деякі конструктивні особливості окремих вимірювальних перетворювачів, як правило, нормуються державними стандартами. Вимірювальні перетворювачі бувають *взаємозамінними, обмеженими замінними і незамінними або індивідуальними*.

Взаємозамінні перетворювачі можуть без будь-яких обмежень замінювати один одного. Щоб забезпечувати таку взаємозамінність, нормують ряд показників перетворювачів. Їх встановлюють і стандартизують раціональний ряд коефіцієнтів перетворення. **Під коефіцієнтом перетворення ми розуміємо відношення значення величини на виході, коли одна фізична величина перетворюється на іншу, коефіцієнт перетворення є самерозмірною величиною.** Коефіцієнт перетворення масштабних перетворювачів абстрактне число, оскільки визначається ставленням двох значень однієї й тієї ж фізичної величини.

Іншими важливими характеристиками взаємозамінних перетворювачів є значення вхідний та вихідний величин кожної окремо. Встановлення певного ряду цих значень забезпечує широку взаємозамінність перетворювачів. Завдяки встановленню таких рядів значно скорочується кількість різновидів первинних та вторинних вимірювальних пристроїв за межами вимірів.

**Важливою характеристикою взаємозамінних перетворювачів є точність та сталість коефіцієнта перетворення фізичної величини у всьому діапазоні робочого режиму.** Більшість взаємозамінних перетворювачів встановлюють *класи точності*. При виборі перетворювача прагнуть до того, щоб його клас точності, якщо це можливо, був вище класу точності вимірювального приладу, що застосовується з перетворювачем, інакше кажучи, щоб застосування якнайменше знижувало загальну точність вимірювання даним засобом вимірювань.

Як щодо вимірювальних приладів, так і щодо вимірювальних перетворювачів вживають таких заходів, щоб відхилення від нормальних умов застосування якнайменше впливали на точність вимірювання, якнайменше змінювали коефіцієнт перетворення. Тому клас точності перетворювача не тільки точність коефіцієнта перетворення та інші характеристики за нормальних умов, а й рівень їх змін при відхиленнях від цих умов.

*Вимірювальний перетворювач, як і інший вимірювальний пристрій, не може бути віднесений до того чи іншого класу точності тільки на підставі однієї ознаки - відповідності вимогам для даного класу за нормальних умов.*

*Взаємозамінні перетворювачі можуть застосовуватися з вимірювальними приладами будь-якої конструкції та за будь-якого джерела вимірюваної величини за умови збігу входних та вихідних характеристик перетворювачів.*

Іноді використання індивідуальних перетворювачів дозволяє поліпшити технічні характеристики вимірювального приладу в цілому шляхом компенсації перетворювача похибок або інших незадовільних характеристик вимірювача.

## 4. Вимірювальні приладдя

До вимірювального приладдя пред'являють ряд метрологічних вимог, іноді дуже жорстких. **Незважаючи на те, що вимірювальні приладдя і не змінюють меж виміру, вони можуть виявитися джерелом помітних похибок.** *Причина їх виникнення може критися у невдалій конструкції вимірювальної приналежності, а й у невмілому використанні її.*

Так, термостат для перевірки термометрів може бути причиною серйозних помилок при перевірці, якщо він не забезпечує однакової температури у всьому просторі, в якому знаходяться термометри. *Причиною нерівності температур можуть бути недоліки конструкції термостата або неправильне включення.*

Наприклад, оператор не ввімкнув мішалку або не перевіряв, чи достатня швидкість її обертання, і т. п.

Розвиток електронної техніки призвів до широкого використання електронних та інших підсилювачів електричних величин (струму, напруги тощо).

Так, підвищення чутливості нульових індикаторів за допомогою підсилювачів часто дозволяє підвищити точність виміру нульовими методами. За допомогою підсилювачів приводять у дію синхронні двигуни в тих випадках, коли джерело напруги вимірюваної або точно відомої частоти не має достатньої потужності. Зокрема, це буває необхідним при вимірюванні частоти коливань або швидкості обертання стробоскопічним методом.

Підсилювачі, розраховані на посилення малого струму або напруги в строго кілька разів, слід розглядати як масштабні перетворювачі, а не як вимірювальні приладдя,

**Вимірювальні підсилювачі використовуються при вимірюванні електричних величин, так і при вимірюваннях неелектричних величин електричними методами.**