

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський промислово-економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В.Бондаренко

_____ 20__ р.

**Методичні вказівки щодо організації
самостійної роботи студентів
з дисципліни Технологічні вимірювання
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація
електроустаткування підприємств і
цивільних споруд»**

Уклав

О.В. Шевченко

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол № 1 від _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Самостійна робота №1

Тема: Принципи та методи вимірювань фізичних величин (ФВ)

Мета: оволодіти знаннями про принципи і методи вимірювання фізичних величин

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1. Принципи вимірювання фізичних величин
2. Методи вимірювання фізичних величин

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте принципи вимірювання фізичних величин
2. Дайте визначення методи вимірювання фізичних величин

ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

В основі вимірювання використовується певний принцип, під яким розуміється фізичне явище або сукупність фізичних явищ використаних для одержання результату у вигляді вимірювальної інформації про значення вимірюваної фізичної величини. Наприклад, вимірювання температури за допомогою термоелектричного ефекту.

У той же час вимірювання можуть бути проведені з використанням різних методів, під якими розуміється сукупність прийомів використання різних принципів та засобів вимірювань для створення вимірювальної інформації. Метод, в перекладі із грецької, означає шлях досліджень, спосіб досягнення мети.

При технологічних вимірюваннях використовуються 2 основних методи вимірювань: безпосередньої оцінки та порівняння з мірою.

Метод безпосередньої оцінки полягає в тому, що значення вимірюваної величини знаходять за допомогою відповідного вимірювального засобу по його відліковому пристрою (шкалі). Метод характеризується прямим перетворенням значення вимірюваної величини у вихідну величину, яка показується або записується вимірювальним приладом, який у свою чергу від градуїований у відповідних одиницях. Метод має найширше використання в умовах виробництва.

Метод порівняння з мірою полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється з однорідною величиною, значення (розмір) якої відтворюється мірою. Міра - це засіб вимірювання, який відтворює ФВ відомого розміру, наприклад, лінійка.

Варіантом методу порівняння з мірою в простому випадку є вимірювання довжини об'єкта лінійкою.

До більш складних різновидів методу порівняння з мірою належать:

- **Компенсаційний (нульовий) метод, або метод повного зрівноважування** - суть якого в тому, що на вимірювальний засіб одночасно подаються і порівнюються - вимірювана величина та однорідна зрівноважуюча величина від регульованої міри, значення якої відомо. Вихідна величина міри регулюється доти, поки не буде досягнута повна рівновага, яка фіксується по нульовому результату ЗВ (нуль – приладу), а результат вимірювання дорівнює значенню регульованої міри.

Цей метод має високу точність вимірювання та незалежність результатів вимірювання від впливу зовнішніх умов і використовується, наприклад, в автоматичних мостах та потенціометрах.

- **Метод заміщення** полягає в тому, що вимірювана величина та вихідна величина регульованої міри діють на один відповідний ЗВ по чергово, поки не буде досягнуто повне зрівноважування, тобто, не буде досягнуто рівності показів ЗВ для обох випадків, що є результатом вимірювань;

- **Диференціальний метод** (різницевий або неповного зрівноважування) полягає в тому, що на вимірювальний засіб подається і вимірюється тільки різниця між шуканою вимірюваною величиною і величиною, яка відтворена мірою. Метод використовується у випадках, коли просто та точно реалізується операція віднімання величин та задання міри і коли вимірювана величина X , може бути надана залежністю:

$$X = X_0 \pm \Delta X, \quad (1.4)$$

де X_0 - номінальне значення вимірюваної величини, що задане мірою;
 $\pm \Delta X$ – можливе відхилення вимірюваної величини від номінального значення, яке, як правило, знаходяться в межах $\pm 10\%$ від X_0 .

Самостійна робота №2

Тема: Структурні схеми ЗВ

Мета: оволодіти знаннями про структурні схеми ЗВ

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 ЗВ з розімкненою структурою
- 2 ЗВ з замкненою структурою

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть ЗВ з розімкненою структурою
- 2 Охарактеризуйте ЗВ з замкненою структурою
- 3 Статична та астатична структури

СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

Аналіз принципів дії різних ЗВ по їхнім структурним особливостям, дозволяє розділити їх на дві групи із суттєво різними вимірювальними ланцюгами.

1) **Перша група – це ЗВ із розімкненою структурою.** Структура утворюється ланцюгом із послідовно з'єднаних ланок перетворювачів.

Простішим прикладом ЗВ із розімкненою структурою є комплект для вимірювання температури за допомогою термопари та мілівольтметра (приладу електромеханічної системи). Структурну схему такого комплексу можна надати ланцюгом із послідовно з'єднаних термопари та перетворювачів П1 та П2, які складають прилад електромеханічної системи:

$$\text{Термопара } (U_{\text{ТЕРС}}) \Rightarrow \text{П1 } (I_T) \Rightarrow \text{П2 } [M = f(I) \equiv \alpha].$$

На виході термопари одержують напругу термоелектрорушійної сили, яка пропорційна вимірюваній в об'єкті температурі і яка надходить на вхід першого перетворювача П1 вторинного приладу. П1 – це вхідна схема, яка перетворює вхідну напругу $U_{\text{ТЕРС}}$ у проміжну величину (вихідний струм I_T) і яка використовується для подальшого перетворення у вимірювальному механізмі П2 в механічний момент M . Далі момент M перетворюється в кут відхилення α повертаючої частини вимірювального механізму приладу, який в свою чергу проградуєований в одиницях вимірюваної температури.

Це структура ЗВ, яка реалізує метод вимірювання - безпосередньої оцінки.

Змінюючи ПВП (датчик), можна за такою структурою отримати вимірювальні пристрої для оцінки різних фізичних величин.

2) **Друга група - це ЗВ із замкнутою структурою і являють собою слідкуючі системи автоматичного регулювання з від'ємним зворотним зв'язком,** за наявності якого в цих ЗВ автоматично виконується порівняння його вихідної величини $X_{\text{вих}}$ із вхідною вимірюваною величиною $X_{\text{вх}}$.

Замкнута структура утворюється також із ланцюга з послідовно з'єднаних перетворювачів із передавальними функціями, але має у своєму складі ще елемент порівняння ЕП та ланцюг від'ємного зворотного зв'язку, у якому розміщена ланка, наприклад, з коефіцієнтом передачі, що $= -1$ (замкнута структура з одиночним від'ємним зворотним зв'язком). Ланка змінює знак вихідної величини $X_{\text{вих}}$, що надходить на елемент порівняння (рис. 2.1). Різниця сигналів на виході елемента порівняння $\Delta X = X_{\text{вих}} - X_{\text{вх}}$ є розузгодження, яке, після підсилення в послідовному ланцюгу перетворювачів, діє на систему таким чином, що система спрямовується прийняти новий стан, в якому різниця (розузгодження) наближається до нуля.

Замкнута структура може бути статичною та астатичною.

Якщо в складі замкнутої структури немає інтегруючої ланки, то вона є статичною:

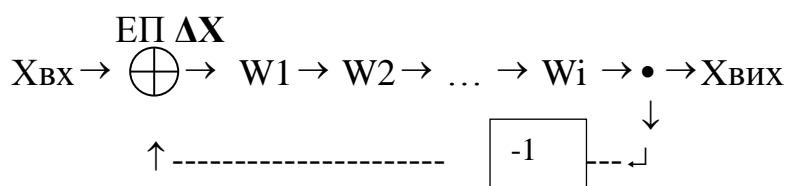


Рис.2.1 . Статична замкнута структура ЗВ.

В астатичній вимірювальній системі (рис.2.2) в складі структури може бути ввімкнута одна або декілька інтегруючих ланок, які роблять систему з астатизмом певного порядку. Структура астатичної системи першого порядку:

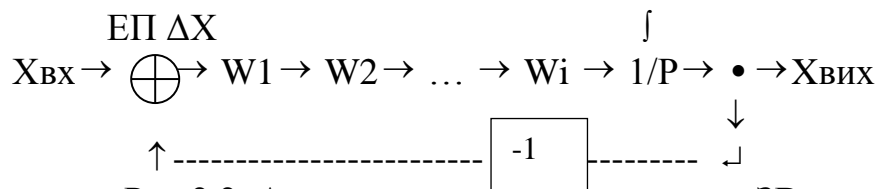


Рис.2.2. Астатична замкнута структура ЗВ першого порядку.

Прикладами астатичної вимірювальної системи (рис.2.2) є схеми автоматичних мостів та потенціометрів. Астатичні вимірювальні системи характеризуються високою швидкістю та малою чутливістю до змін зовнішніх впливаючих факторів, а основний недолік статичних – наявність статичної похибки недокомпенсації (в них різниця ΔX не може дорівнювати нулю).

Самостійна робота №3

Тема: Похибки засобів вимірювань (ЗВ). Клас точності ЗВ.

Мета: оволодіти знаннями про складові похибки вимірювань

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Класифікація складових похибки вимірювань
- 2 Випадкова складова похибки вимірювань
- 3 Систематична складова похибки вимірювань
- 4 Клас точності ЗВ.

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Класифікація складових похибки вимірювань
- 2 Поясніть що таке випадкова складова похибки вимірювань
- 3 Поясніть що таке систематична складова похибки вимірювань

КЛАСИФІКАЦІЯ СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ

1. Класифікація складових похибки за закономірностями прояву.

А) Випадкова складова похибки (ВСП) Δ_B - це складова похибки вимірювань, яка змінюється за повторних вимірювань однієї і тієї ж величини ФВ випадковим чином, і в появі різних значень якої не вдається визначити будь-яку закономірність. ВСП - це похибка, яка непередбачувана ні по знаку, ні по розміру, або недостатньо вивчена. ВСП визначаються сукупністю причин, які важко проаналізувати. Чинники, які визивають ВСП, з'являються нерегулярно і зникають несподівано, або проявляються з непередбачуваною інтенсивністю. Присутність випадкової похибки легко визначається при повторних вимірах незмінної ФВ і проявляється у вигляді деякого розкиду результатів вимірювань.

Головна особливість ВСП при вимірюванні є її непередбачуваність від одного вимірювання до іншого і не завжди можна встановити причину її виникнення. Тому величину ВСП характеризують показом закону розподілу її ймовірності, або показом параметрів цього закону, розроблених в теоріях ймовірності та математичної статистики.

Б) Однією із різновидностей ВСП є промах – надмірна ВСП. Промах, або груба похибка – це похибка окремого результату вимірювань (РВ), яке входить в ряд вимірювань, що за даних умов різко відрізняється від інших РВ цього ряду. Основне джерело їх виникнення – це різкі зміни умов проведення вимірювань або похибка оператора (різка зміна напруги живлення мережі, неправильний відлік по шкалі приладу або його запис). При одноразових вимірюваннях визначити промах неможливо. Для зменшення його появи проводять 2-х – 3-х разові вимірювання, а за результат приймають середнє значення. При багаторазових вимірюваннях для визначення промахів використовуються статистичні критерії. Промахи не враховуються при обробці результатів вимірювань.

В) Під систематичною складовою похибки (ССП) Δ_C розуміється складова загальної похибки, яка залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірах однієї і тієї ж фізичної величини.

До чинників першого виду, які обумовлюють появу систематичних похибок належать: 1) неправильне градування ЗВ; 2) зміщення нуля ЗВ (приладу). Коли налаштовують ЗВ, то кажуть, що його "налаштували на нуль". У процесі роботи ЗВ це налаштування поступово збивається, тобто, з'являється похибка, яка закономірно змінюється в часі і яку часто називають ще функціональною, так як її зміну в часі можна записати у вигляді математичної функції.

Прикладом систематичної похибки є похибка термоелектричного термометра, що закономірно змінюється внаслідок зміни температури вільних кінців терморпарі. Прикладом другого виду систематичних похибок – є більшість додаткових похибок, які є незмінними в часі функціями різних факторів (температури навколишнього середовища, напруги живлення, вологості і т. п..

У процесі вимірювання значення фізичної величини, з урахуванням дії багатьох чинників проявляються одночасно обидві складові абсолютної похибки Δ вимірювання: як випадкова ВСП (Δ_B) так і систематична ССП (Δ_C). Випадкова похибка характеризує відхилення окремого результату вимірювання від певного центра її групування, а систематична – характеризує зміщення цього центру відносно істинного значення вимірюваної величини.

У загальному випадку абсолютна похибка Δ вимірювань – є випадковою функцією часу і не можна сказати, яке значення вона матиме в певний момент

часу. Можна лише говорити про ймовірність появи її значення в тому чи іншому інтервалі.

Г) По закономірності прояву розрізняють також **прогресуючі (дрейфові) похибки** - це складові похибки, які повільно (поступово) змінюються в часі і визиваються як правило старінням деталей ЗВ. Особливість - вони можуть бути скориговані введенням поправки, але тільки на деякий час, а потім вони знову монотонно зростають. Чим менше необхідне значення прогресуючої похибки, тим частіше необхідно проводити її корекцію.

2. За місцем виникнення похибки вимірювань поділяють на **методичні та інструментальні**.

Методичні похибки - складові похибки вимірювання, які виникають через недосконалість методу вимірювання та граничними межами точності значень використаних фізичних констант і припущень в розрахункових формулах.

Інструментальні похибки - це складові похибки вимірювання фізичної величини, які залежать від похибки використаних засобів вимірювання.

Вони визначаються конструктивними, технологічними або схемними недоліками ЗВ. Інструментальні систематичні похибки виявляють шляхом перевірки засобу вимірювання по зразковому ЗВ більш високої точності.

3. За наявністю бо відсутністю функціонального між похибкою вимірювання та значенням вимірюваної величини розрізняють адитивну та мультиплікативну складові похибок вимірювання. Ці терміни служать опису смуги похибок ЗВ.

Адитивна (від лат. *additivus* – додавання) – це похибка, значення якої не залежить від вимірюваної величини (похибка додавання до нуля). Адитивна похибка має сталі значення по всій характеристиці перетворення ЗВ або по всій шкалі приладу. Це поняття однаково використовується як для випадкових, так і для систематичних похибок.

Прикладом систематичної адитивної похибки є неточність налаштування приладу на нуль, тобто, похибка зміщення нуля приладу, яка приводить до того, що реальна статична характеристика приладу зміщується по відношенню до його номінальної характеристики на величину систематичної адитивної похибки Δ_{ca} . Ще приклад – наявність постійної додаткової ваги на чашках ваговимірювального пристрою. Для усунення таких похибок в багатьох ЗВ, передбачений механічний або електричний пристрій для встановлення нуля (коректор нуля).

Прикладом випадкових адитивних похибок – похибка наведення змінної Е.Р.С. на вхід приладу, похибка теплового шуму чи ненадійного контакту при вимірюванні опору. Граничні межі такої похибки утворюють на характеристиці перетворення приладу смугу постійної ширини, величиною в граничне значення випадкової адитивної похибки $\Delta_{ва}$.

У разі суто адитивної смуги похибок абсолютна похибка вимірювань Δ по діапазону вимірювання приладу залишається незмінною для будь-яких значень вимірюваної фізичної величини.

Мультиплікативна (від лат. *multiplicatio* – множення) – це похибка, яка прямо пропорційно залежить від значення вимірюваної величини (її ще називають похибкою чутливості і вона теж може бути випадковою або систематичною).

Причини виникнення – зміна чутливості ЗВ, що зв'язана зі зміною, наприклад, коефіцієнта підсилення підсилувача, або зі зміною жорсткості мембрани чутливого елемента манометра, або протидіючої пружини електромеханічного приладу.

Оскільки в разі суто мультиплікативної смуги похибок абсолютна похибка Δ вимірювань збільшується пропорційно поточному значенню X вимірюваної ФВ, то відносна похибка $\gamma_s = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%$ є постійною за будь-якого значення X вимірюваної величини.

Самостійна робота №4

Тема: Автоматичні мости серії КСМ-3

Мета: оволодіти знаннями про автоматичні мости серії КСМ-3

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема автоматичного моста КСМ-3 з термометром опору
- 2 Будова та принцип дії автоматичного моста КСМ-3

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Схема автоматичного моста КСМ-3 з термометром опору
- 2 Будова та принцип дії автоматичного моста КСМ-3
- 3 Застосування автоматичного моста серії КСМ-3

Автоматичні мости серії КСМ-3

Автоматичні врівноважені мости є технічними приладами високого класу точності. Вони бувають що показують, що показують і самописними із записом або на дискової, або на стрічковій діаграмі. Прилади зі стрічковою діаграмою служать для виміру й запису температури в одній крапці (однокрапкові) або в декількох крапках (багатокрапкові). Прилади з дисковою діаграмою виготовляються тільки однокрапковими. Шкала автоматичних урівноважених мостів градуйована в градусах Цельсія із вказівкою її приналежності до певного градуировке термометра опору.

По пристрої автоматичні "урівноважені мости відрізняються від автоматичних потенціометрів тільки вимірювальною схемою. На мал. 3.4. дана принципова схема автоматичного врівноваженого мосту. У вимірювальну схему входять; R_1 , R_2 і R_3 — резистори, що утворять три плечі мостової схеми, четверте плече утворене опором R_t термометра; R_p — реохорд; $R_{ш}$ — шунт реохорда, службовець для припасування опору R_p до заданого нормованого значення; $R_{п}$ — резистор для установки діапазону виміру; $R_{д}$, - додатковий резистор для припасування початкового значення шкали; R_6 — баластовий резистор у ланцюзі харчування для обмеження струму; $R_{л}$ — резистори для припасування опору лінії до определенного значення. ТЕ - струмовідвід, СД - двигун для переміщення діаграмної стрічки або каретки друкувального пристрою. Всі резистори виготовляються з манганінового дроту, отже, коливання температури повітря не впливають на значення опорів цих резисторів.

Термометр опору підключений до мосту по трьох провідній схемі.

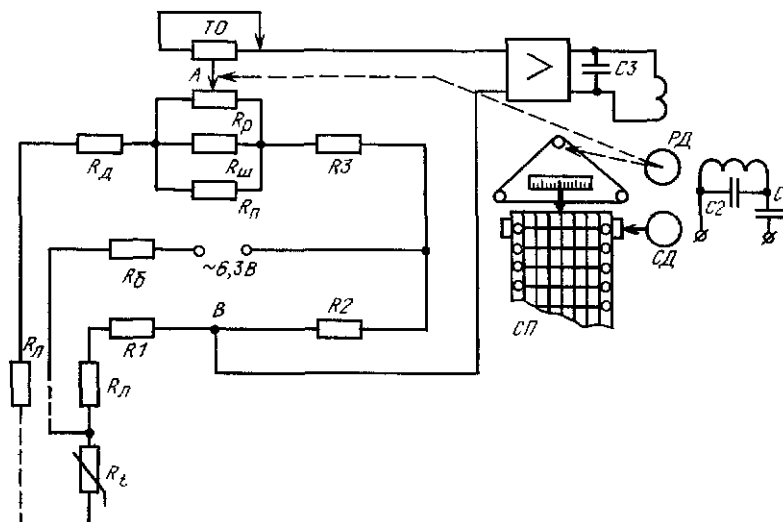


Рис. 3.4. Принципова схема автоматичного врівноваженого мосту

Вимір і запис температури виробляються в такий спосіб. Зміна опору терморезистора R_t порушує рівновага мостової схеми, і в діагоналі АВ мосту виникає напруга неузгодженості, що надходить на вхідний трансформатор, потім підсилюється підсилювачем до значення, достатнього для приведення в дію реверсивного двигуна РД. Вихідний вал двигуна, обертаючись у ту або іншу сторону залежно від знака сигналу неузгодженості, переміщає движок реохорда й перо самописа СП. При досягненні рівноваги мостової схеми вихідний вал двигуна зупиняється, а движок реохорда, показчик і перо

самописа займають положення, що відповідає вимірюваному опору термометра, а, отже, температурі вимірюваного об'єкта.

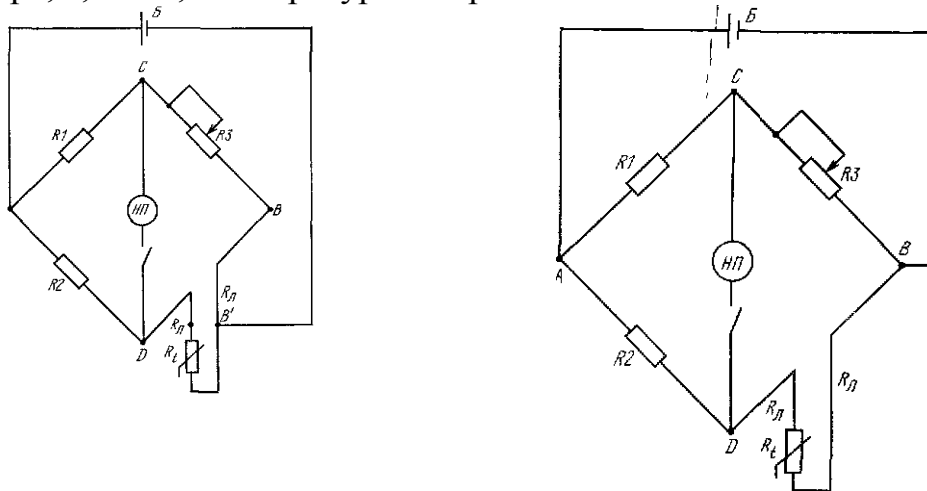


Рис. 3.5. Схеми підключення електричного термометра опору до вимірювального мосту

Мостова схема, зображена на рис. 3.5, може бути рівноваги за умови:

$$(R_1 + R_{л1} + R_{д1} + R_{п1})R_2 = (R_1 + R_{л1})(R_3 + R_{п2})$$

де R - наведений опір ділянки реохорда левее движка А;

R - наведений опір ділянки реохорда правее движка А.

Для автоматичних урівноважених мостів установлена основна погрішність, що допускається, виражена у відсотках від значення, що нормує. Вона становить $\pm 0,25$ або $\pm 0,5^*$.

Вітчизняна промисловість випускає наступні основні типи автоматичних урівноважених мостів: що показують КПМ1 і КВМ1; що показують і самописні зі стрічковою діаграмою КСМ1, К.СМ2 і КСМ4; що показують і самописні з дисковою діаграмою КСМ3. Ці прилади мають додаткові сигнальні й регулюючі пристрої й можуть бути використані в системах сигналізації й регулювання температури.

Самостійна робота №5

Тема: Біметалеві прилади

Мета: оволодіти знаннями про біметалеві прилади

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Принцип дії біметалевих приладів

2 Біметалеві амперметри

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3. Н.Г.Фарзана Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989

4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

1 Принцип дії біметалевих приладів

2 Біметалеві амперметри

У біметалевих термометрах (рис.4.10), як чутливий елемент використовують термобіметалеву пластину або стрічку, зігнуту у вигляді гвинтової чи спіральної пружини. Біметал одержують методом холодного прокатування двох металів з різними коефіцієнтами розширення від температур. При нагріванні пластини 1 розгинається у бік матеріалу з меншим коефіцієнтом розширення α_1 .



Кут φ розкручування або закручування біметалевого датчика, за умови $E_1 * h_1^2 = E_2 * h_2^2$, визначається рівнянням:

$$\varphi = \frac{3(\alpha_2 - \alpha_1)L}{2h} * \Delta t, \quad (4.14)$$

де E_1, E_2 – модулі пружності використаних металів (МПа); h – загальна товщина біметалевої пластини, $h = h_1 + h_2$, (м); h_1, h_2 – товщини складових.

Діапазон вимірювання таких термометрів: $-150 \dots 700^\circ\text{C}$, а клас точності від 1,5 до 4,0.

Промисловість випускає біметалеві реле ТБ-ЭЗК з три позиційною приставкою сигналізації та регулювання в діапазоні $-60 \dots +300^\circ\text{C}$ залежно від марки біметалу. Біметалеві термометри класів 2,0 і 2,5 використовуються для вимірювання температури приміщень (як побутові). Переваги обох видів термометрів: простота конструкції та обслуговування, компактність та невисока вартість.

Самостійна робота №6

Тема: Компенсаційний метод вимірювання

Мета: оволодіти знаннями про компенсаційний метод вимірювання температури

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Компенсаційна схема вимірювання температури
- 2 Автоматичний потенціометр
- 3 Метрологічні характеристики

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Компенсаційна схема вимірювання температури
- 2 Автоматичний потенціометр
- 3 Метрологічні характеристики автоматичних приладів

Компенсаційний метод вимірювання

Компенсаційний метод ґрунтується на зрівноваженні (компенсації) вимірюваної ТЕРС термопари рівною по величині, але оберненою по знаку відомою різницею потенціалів, яка утворюється за допомогою допоміжного джерела струму.

Підвищення точності досягається за рахунок вимірювання максимального значення ТЕРС в режимі холостого ходу, коли струм в ланцюгу, утвореному термопарою, схемою компенсації та вимірювальним приладом (гальванометром) відсутній.

Найпростіша схема компенсації (рис. 4.14) складається із реохорда, що під'єднаний до зразкового джерела струму E , термопари R_{AB} , що вмикається так, щоб її ТЕРС була направлена на зустріч падінню напруги на відповідній частині реохорду від зразкового джерела E та вимірювального приладу НП. При цьому завжди можливо знайти таке положення повзунка, при якому буде рівність $E_{(t_x, t_0)} = U_{AL}$, а струм через вторинний прилад (НП) буде відсутній.

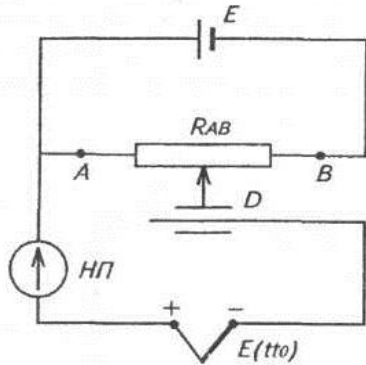


Рис. 4.14. Компенсаційна схема вимірювання ТЕРС термопари

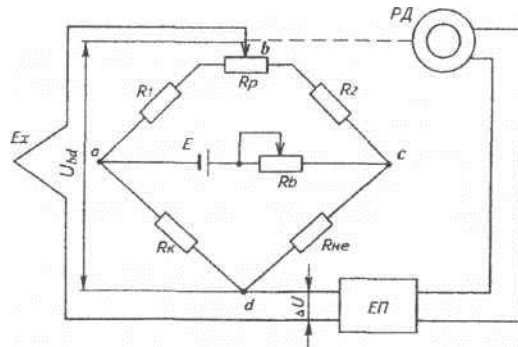


Рис. 4.15. Автоматичний потенціометр

Найбільш розповсюджені автоматичні потенціометри з компенсаційною мостовою схемою (рис. 4.15), яка використовується одночасно, як для компенсації зміни температури вільних кінців, так для безпосереднього зрівноваження термоелектрорушійної сили термопари напругою вимірювальної діагоналі мосту через показник рівноваги (нуль-прилад) - електронний підсилювач ЕП. Причому зрівноважування відбувається переміщенням повзунця каліброваного опору автоматично за допомогою безперервно діючого слідкуючого пристрою, який використовується, як показник рівноваги.

На шкалі кожного типу потенціометра вказується: 1) клас точності, що залежить від типу потенціометра [в межах 0,5(в основному); 1,0 та 1,5, а для типу КСП4 - клас 0.25] та 2) - тип термопари, в комплекті з якою він атестований.

Найбільш поширені в промисловості типи потенціометрів:

1. Показувальні мініатюрні з плоскою нерухомою шкалою типу КПП1 і обертальною шкалою типу КВП1 з вмонтованим (або ні) кнопковим перемикачем на 6 і 12 точок вимірювання температури.
2. Показувальні та самописні мініатюрні КСП13.
3. Малогабаритні типу КСП2, одноточкові на 3,6 і 12 точок.
4. Повногабаритні типу КСП4(Н. 1,3,6 і 12 точок).

5. Малогабаритні із записом на дисковій діаграмі КСПЗ (можуть мати електричні або пневматичні передавальні перетворювачі).

6. Прилади показуючі та реєструючі Диск-250 (Диск-250Н).

Всі перелічені типи можуть мати додатково вмонтовані пристрої сигналізації та регулювання, з виходом як на пневматичні, так і електричні пристрої.

Конструктивно термомпари виконують в захисній арматурі, яка захищає їх від впливу гарячих, хімічноагресивних газів, які можуть вивести із ладу термоелектроди, тому арматура виконується газонепроникною, механічно стійкою та жаростійкою і в той час - теплопровідною.

При вимірюваннях температури до 600°C захисну арматуру виконують із сталених безшовних труб, до 1100°C – із нержавіючої сталі; при більш високих температурах захищають кварцевими і фарфоровими трубами. Робочі кінці термомпар з'єднують спайкою, або зварною. На всьому протязі, крім кінця, термоелектроди ізолюють один від одного (до 300°C- азбестом, до 1100°C - кварцевими трубами чи бусами, вище – тільки фарфорові труби, буси).

Самостійна робота №7

Тема: Загальні положення. Одиниці вимірювання тиску

Мета: оволодіти знаннями про види та одиниці вимірювання тиску

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Загальні поняття про тиск

2 Одиниці вимірювання тиску

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3. Н.Г.Фарзана Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989

4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

1 Загальні поняття про тиск

2 Надлишковий та абсолютний тиск

3 Одиниці вимірювання тиску

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. ВИДИ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

Тиск рідин газів пари є важливим параметром що характеризує хід багатьох хіміко-технологічних процесів в харчовій промисловості.

Тиском називається фізична величина, яка характеризується інтенсивністю нормальних, тобто, перпендикулярних до поверхні, розподілених сил, з якими одне тіло діє на поверхність іншого. Наприклад фундамент будови на ґрунт, рідина на стінки ємності.

Іншими словами **тиск характеризується силою**, що рівнорозподілена по нормалі до поверхні іншого тіла, на яке вона діє. Якщо сили розподілені вздовж поверхні рівномірно, то тиск на будь-яку частину поверхні дорівнює:

$$P=G/F, \quad (5.1)$$

де G - сума сил, прикладених перпендикулярно до поверхні; F - площа цієї поверхні. **Такий тиск ще називають гідростатичним.**

Іншими словами, **гідростатичний тиск характеризується відсутністю напруженостей зсуву** (дотичними напруженостями). В нерухомих рідинах з точністю, обумовленою власною вагою середовища, тиск є гідростатичним. Гідростатичним є тиск і у в'язких рідинах при повільному зростанні тиску, коли опір зсуву дорівнює нулю. Таким є тиск і в твердій речовині, яку стискають. Коли із збільшенням тиску міжатомні сили притягування стають набагато меншими, в порівнянні із силами стискування, починає проявлятися в тій чи іншій формі властивість течії твердих тіл.

При нерівномірному розподілі сил формула (5.1) визначає середній тиск на дану площу, а в межі при $F \rightarrow 0$ – тиск в даній точці.

В цьому випадку у в'язких рідинах і твердих тілах, середнім тиском (середньою нормальною напруженістю) в даній точці тіла називається середнє арифметичне значення нормальних напруженостей в трьох взаємноперпендикулярних напрямках. Тиск, який відповідає такому визначенню, називають **квазігідростатичним**. Чим менше величина напруженостей зсуву, тим ближче квазігідростатичний тиск до гідростатичного. **Техніка вимірювання тисків і розрідження відноситься виключно до вимірювання гідростатичних тисків.**

З іншої сторони тиск можна розглядати як кількість потенціальної енергії, яка вміщується в одиниці об'єму стиснутої рідини. Це витікає з того, що якщо помножити чисельник і знаменник формули (5.1) на одиницю довжини, в якій виміряна площа, то в правій частині замість сили отримуємо роботу або потенціальну енергію, яка віднесена до одиниці об'єму середовища, яке знаходиться під тиском.

Розрізняють поняття: абсолютного, атмосферного та надлишкового тисків.

Абсолютний тиск P_{abs} – це тиск, який відраховується від стану повної відсутності тиску, тобто, за початок абсолютного тиску приймають абсолютний нуль тиску, що відповідає тиску в середині ємності після повної відкачки із неї повітря. Нуль такого тиску – це «тиск пустоти».

Прикладом абсолютного тиску – є **атмосферний тиск P_{atm}** , який ще називають барометричним. Він визначається вагою стовпа атмосфери (слоїв атмосфери), що знаходиться на точкою вимірювання атмосферного тиску. Тиск в космосі близький до абсолютного нуля тиску і складає 10^{-12} атмосферного

тиску. В більшості випадків тиск, який необхідно вимірювати, утворюється і відкритих

чи закритих посудинах, тобто, в просторі оточеному атмосферою і який знаходиться під дією атмосферного тиску. В цих випадках практичне значення має перевищення тиску в посудині над атмосферним. Таке перевищення називають **надлишковим тиском** $P_{над}$. За початок відліку надлишкового тиску $P_{над}$ приймають значення атмосферного тиску. Приклад надлишкового тиску це тиск, який утворюється у відкритій посудині вагою рідини, яка в ній знаходиться. На горизонтальне дно посудини в будь-якій її точці діє, крім атмосферного, однаковий надлишковий тиск, величина якого може бути оцінена вагою стовпа рідини, який розміщений над кожним cm^2 дна посудини. Абсолютний тиск $P_{абс}$ на дно посудини дорівнює: $P_{абс} = P_{атм} + P_{над}$. Таким чином, надлишковий тиск дорівнює відповідному йому абсолютному тиску за відрахуванням значення атмосферного:

$$P_{над} = P_{абс} - P_{атм}. \quad (5.2)$$

Від'ємне значення надлишкового тиску за цією формулою називають розрідженням або вакуумметричним тиском $P_{вак}$. Термін вакуум походить від латинського «vacuum» (пустота) і означає тиск, що значно нижчий атмосферного.

Це тиск, що менший атмосферного і дорівнює: $P_{вак} = P_{атм} - P_{абс}$. (5.3)

Ця залежність показує, що вакуумметричний тиск $P_{вак}$ не може перевищувати атмосферний тиск $P_{атм}$, який має місце в даний момент і в даному місці, і що від'ємне значення абсолютного тиску не може бути. Найбільш глибокий вакуум, який досягнуто сучасними існуючими методами, відповідає абсолютному тиску 10^{-13} від атмосферного.

Термін вакуум використовується для позначення двох різних понять, таких як: **розрідження**, тиск який відраховується вниз від тиску атмосфери, який прийнятий за нуль, **так і абсолютного тиску**, меншого по величині з атмосферний. Щоб запобігти цій двоякості, ввели термін вакуумметричний тиск для поняття розрідження.

Одиниці вимірювання тиску.

Одиницею вимірювання тиску в системі СІ є паскаль (Па). 1Па – тиск прикладений силою 1 ньютон (Н), яка рівномірно розподілена по нормальній до неї площі в $1m^2$. Приставки кратності: $1кПа = 10^3 Па$, а $1МПа = 10^6 Па$.

В манометрії допускається використання і позасистемних одиниць тиску.

Найбільш розповсюджена - технічна атмосфера (ат або $кгс/cm^2$), що являє собою тиск, який утворюється силою в 1кг, рівномірно розподіленою по нормалі до поверхні, площею в $1cm^2$): $1ат = 1кгс/cm^2 = 98066,5Па \cong 100кПа = 0,1 МПа$.

Так як тиск в одну технічну атмосферу є досить великою величиною, то на практиці для вимірювання малих тисків використовують одиниці тиску: мм ртутного та водяного стовпа:

$$1ат = 735,56 \text{ мм.рт.ст. при температурі } 0^\circ C$$

$$1кгс/cm^2 = 738,2 \text{ мм.рт.ст. при температурі } 20^\circ C;$$

$$1ат = 10 \text{ м водяного стовпа при } 4^\circ C.$$

$$1\text{мм рт.ст.} = 133,322 \text{ Па}$$

$$1\text{мм.вод.ст.} = 9,8 \text{ Па.}$$

Наступна одиниця тиску – бар: $1бар = 10^5 Па = 0,1 МПа$ і є по величині трохи більшим за технічну атмосферу.

Ще використовується одиниця тиску - фізична атмосфера (атм), яка дорівнює тиску стовпа ртуті висотою 760мм при температурі 0°C на 1 см^2 і прискоренні вільного падіння $g=9,81\text{ м/с}^2$.

$1\text{ атм} = 1,0332\text{ кгс/см}^2 \cong 103\text{ КПа}$ – відповідає нормальному атмосферному тиску і використовується як одиниця при перерахунках об'ємів газу та повітря, при їхньому переході із одного стану в інший (при зрідженні газів).

Для вимірювання тиску використовуються манометри, назва яких походить від грецького слова «*manos*» – рідкий, негустий, розріджений.

Самостійна робота №8

Тема: Первинний перетворювач тиску типу «Сапфір»

Мета: оволодіти знаннями про первинний перетворювач тиску типу «Сапфір»

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Структурна схема первинного перетворювача тиску типу «Сапфір»
- 2 Принцип дії первинного перетворювача тиску типу «Сапфір»

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Структурна схема первинного перетворювача тиску типу «Сапфір»
- 2 Принцип дії тензомодулю перетворювача тиску типу «Сапфір»
- 3 Метрологічні характеристики

Первинний перетворювач тиску типу «Сапфір»

Структурна схема первинного вимірювального перетворювача (ПВП) "Сапфір" для вимірювання надлишкового тиску показана на рис. 5.8.

В цьому випадку тензорезистори наносяться у вигляді монокристалічної плівки кремнію на сапфірову мембрану (рис.5.8,б). А сам первинний вимірювальний перетворювач складається з тензомодуля і вмонтованого електронного підсилювача ЕП (рис. 5.8,а). Тензомодуль – це корпус 1, в якому розміщується двошарова мембрана – нижня 2 металева, та верхня 3 із сапфіру, що закріплюється на металевій мембрані 2. На сапфіровій мембрані розміщується чотири однотипних тензорезистори, які вмикаються за мостовою схемою. Сапфір – це мінерал (різновид корунду, підклас простих окислів алюмінію), який виготовляють синтетично і який являє собою кристал синього чи голубого кольору з домішками заліза та титану. Окремі резистори з'єднані так, що за прогину мембрани опори резисторів R1 та R3 зростають, а R2 та R4 зменшуються.

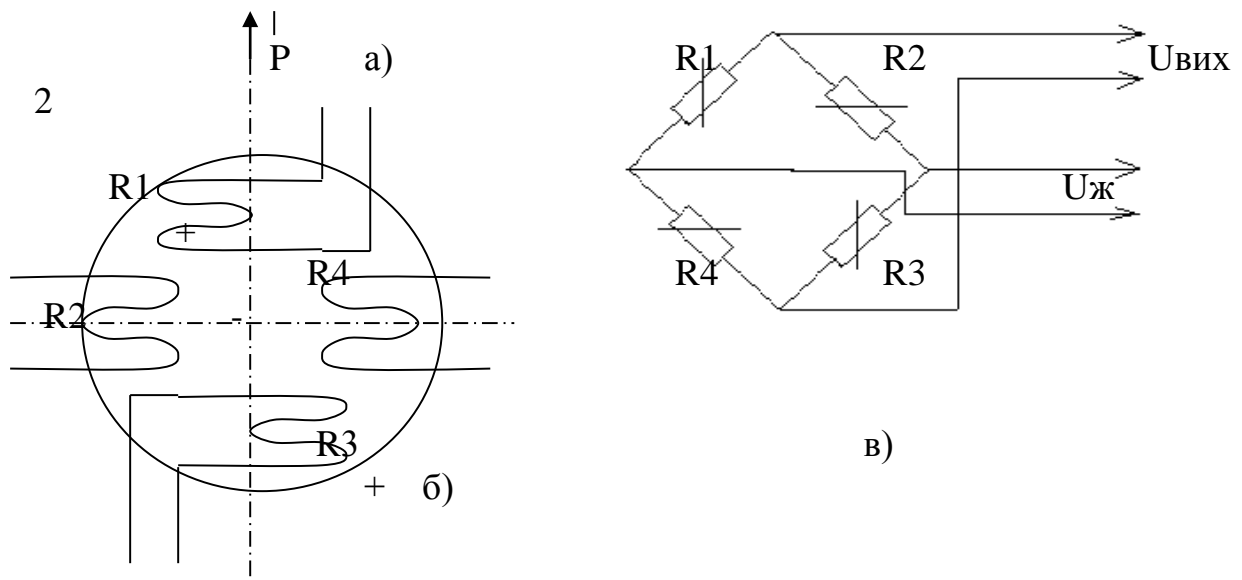


Рис. 5.8. Варіант виконання тензомодулю типу "Сапфір".

Напруга у вимірювальній діагоналі мостової схеми дорівнює:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ж}} \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 R_3 + R_2 R_4} \quad (5.11)$$

При зростанні тиску рівновага мосту порушується і виникає різниця напруги у вимірювальній діагоналі, яку сприймає перетворювач.

Максимальне значення напруги $U_{\text{вих}} = 0,1 \text{ В}$, тому напругу підсилюють в ЕП, який розміщують в цьому ж корпусі. Сигнал вимірювальної інформації подається за двопровідною схемою до блоку живлення БЖ, де перетворюється в уніфікований сигнал по струму, який подається на вторинний прилад.

Вимірюючи перетворювачі «Сапфір» забезпечують вимірювання тисків до 100мПа, розрідження – до 10^{-5} мПа, різниці тисків від 2,5Па до 16мПа. За класом точності бувають: 0,1; 0,25; 0,5. Переваги: надійність, так як використовуються незначні деформації чутливих елементів; стабільність, високий клас точності – 0,1, дистанційна передача інформації.

Самостійна робота №9

Тема: Пневматичні ЗВ тиску

Мета: оволодіти знаннями про пневматичні ЗВ тиску

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Принцип дії пневматичні ЗВ тиску
- 2 Робота пневмосилових елементів ЗВ тиску

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Принцип дії пневматичні ЗВ тиску
- 2 Робота пневмосилових елементів ЗВ тиску
- 3 Метрологічні характеристики
- 4Типи пневматичних ЗВ тиску

Пневматичні ЗВ тиску

Преобразователи давления измерительные с электрическим токовым выходным сигналом входят в общий комплекс унифицированной системы взаимозаменяемых компенсационных преобразователей ГСП.

Измерительные преобразователи давления (в дальнейшем преобразователи) предназначены для непрерывного преобразования давления (абсолютного, избыточного или вакуумметрического) в пропорциональный электрический токовый сигнал дистанционной передачи.

Преобразователи используют в комплекте с вторичными приборами, регуляторами и другими устройствами автоматики, машинами центрального контроля и системами управления, работающими от стандартного входного сигнала в виде электрического постоянного тока 0-20, 4-20 или 0-5 мА.

Преобразователи построены по блочному принципу. Основным блоком преобразователя является электросиловой преобразователь.

Каждый преобразователь состоит из электросилового линейного преобразователя и измерительного блока.

Принцип действия преобразователя основан на электрической силовой компенсации.

Усилие, с которым измерительный блок воздействует на электросиловой преобразователь, создает момент M , (рис. 6) вызывающей незначительные перемещения рычажной системы передаточного механизма и связанного с ним плунжера 6 индикатора рассогласования. Индикатор рассогласования преобразует это перемещение в управляющий сигнал электрического тока, поступающий на вход электронного усилителя 7. Выходной сигнал усилителя в виде постоянного тока поступает на обмотку катушки силового механизма и одновременно в последовательно соединенную с ней линию дистанционной передачи.

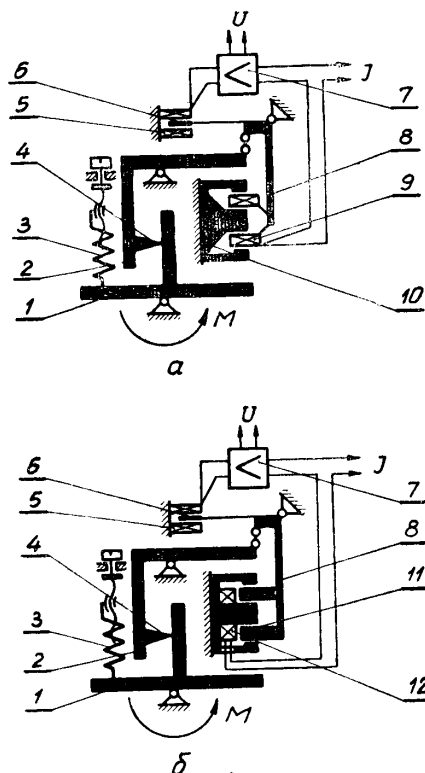


Рис. 6

В электросиловом преобразователе типа П-Э1 (рис. 6а) взаимодействие постоянного магнита 10 с магнитным полем, создаваемым током. Протекающим по обмотке подвижной катушки 9, создает пропорциональное этому току усилие.

В электросиловом преобразователе типа П-ЭР1 (рис. 6б) взаимодействие электромагнита 12 с подвижным сердечником 11 создает усилие, пропорциональное квадрату тока, протекающего по обмотке этого электромагнита.

Усилие, создаваемое силовым механизмом, уравнивает через рычажную систему входное усилие.

Самостійна робота №10

Тема: Ємнісні рівнеміри

Мета: оволодіти знаннями про ємнісні рівнеміри

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Принцип дії ємнісних рівнемірів

2 Принципова схема кондуктометричного сигналізатора рівня

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989

4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю

1 Принцип дії ємнісних рівнемірів

2 Принципова схема кондуктометричного сигналізатора рівня

3 Структурна схема первинного вимірювального перетворювача

Ємнісні рівнеміри

У ємнісних рівнемірах використовуються діелектричні властивості рідин. Первинний вимірювальний перетворювач (ПВП) ємнісного рівнеміра (рис. 6.4) являє собою електричний конденсатор, який перетворює зміну рівня рідини на пропорційне змінювання ємності. ПВП являє собою електрод або електроди (циліндричні або у вигляді пластин), що опускаються у вимірюване за рівнем середовище.

Принцип ємнісних ПВП ґрунтується на різниці між діелектричною проникністю рідини та повітря і відповідно на залежності електричної ємності датчика від зміни рівня рідини або сипкого матеріалу постійної вологості. Для кожного значення рівня, ємність датчика визначається як ємність двох паралельно з'єднаних конденсаторів, один з яких утворюється частиною електродів перетворювача і рідиною, рівень якої вимірюється, а другий — іншою частиною електродів перетворювача і повітрям або паром рідини.

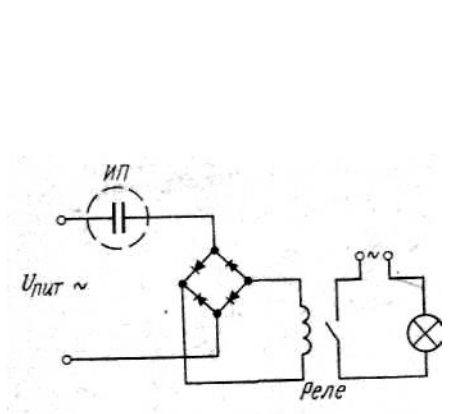


Рис.6.3. Принципова електрична схема кондуктометричного сигналізатора рівня

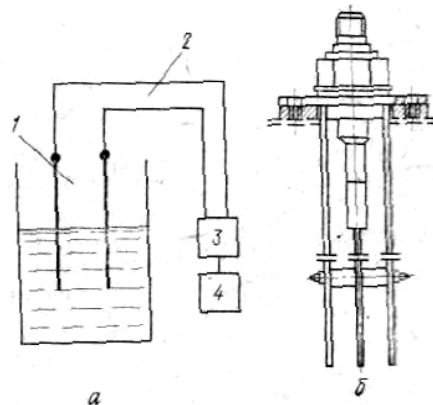


Рис. 6.4. Структурна схема (а) і вимірювальний перетворювач (плстинчатий) ємнісного

Ємнісний рівнемір (рис.6.4) складається з ПВП 1, що опускається у вимірюване середовище, проводів 2 з'єднання, вимірювального блоку 3 і показуючого або самописного приладу 4.

Ємність перетворювача, що має постійну по висоті форму електродів (у Ф):

$$C = \epsilon G_0 h + \epsilon_0 G_0 (l-h) = [(\epsilon_r - 1) h + 1] \epsilon_0 G_0, \quad (6.4)$$

де $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ — абсолютна діелектрична проникність матеріалу, Ф/м; G_0 - стала провідності системи електродів, яка залежить від їхньої геометрії; h — глибина занурення електрода в матеріал, м; l — повна довжина електродів, м.

Для неелектропровідних матеріалів застосовуються неізольовані електроди у вигляді стержня, двох коаксіальних циліндрів або паралельних пластин. Для електропровідних матеріалів електроди покриваються шаром ізоляції, частіше всього фторопластом. Електроди включаються в мостову схему або коливальний контур генератора високої частоти. Зміна рівня вимірюваного середовища приводить до зміни ємності у міжелектродному просторі датчика, що для пластинчатого перетворювача викликає зміну його ємності за формулою:

$$C_{II} = [0,088b/a] [\epsilon_{ж} h + \epsilon_{cp} (H-h)], \quad (6.5)$$

де **b** - ширина пластини перетворювача, м; **a** — відстань, між пластинами, м; $\epsilon_{ж}$ -діелектрична проникність рідини; **h** — вимірювана висота рівня, м; $\epsilon_{ср}$ — діелектрична проникність середовища (для повітря $\epsilon_{в}=1$); **H** — висота (довжина) пластин, м.

Ємнісні сигналізатори рівня по конструкції, простіші ємнісних рівнемірів і являють собою ємнісні реле, що спрацьовують при підході рівня середовища до електрода (або при його зануренні в середовище).

Самостійна робота №11

Тема: Поплавкові та буйкові рівнеміри

Мета: оволодіти знаннями про поплавкові та буйкові рівнеміри

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Поплавкові рівнеміри

2 Буйкові рівнеміри

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989

4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

1 Поплавкові рівнеміри

2 Буйкові рівнеміри

3 Способи використання поплавкових та буйкових рівнемірів

Поплавковим називається рівнемір, принцип роботи якого ґрунтується на залежності положення чутливого елемента — поплавка від рівня рідини, в якій він знаходиться. Поплавок плаває на поверхні рідини і відслідковує її рівень. Деяке занурення поплавка у вимірювану рідину за її незмінної густини є незмінним. Рівень визначається за положенням покажчика, з'єднаного з поплавком гнучким (стрічка, трос) або жорстким механічним зв'язком.

Поплавкові рівнеміри використовують для регулювання рівня рідини в резервуарі. Поплавок (рис. 9.1) з'єднаний через важельний пристрій з клапаном, який регулює постачання рідини з трубопроводу до резервуару. З підвищенням рівня рідини поплавок піднімається і діє на клапан, який зменшує постачання рідини. Такі регулятори рівня застосовуються, наприклад, у кип'ятильниках безперервної дії для регулювання постачання води з водопроводу в поживну коробку.

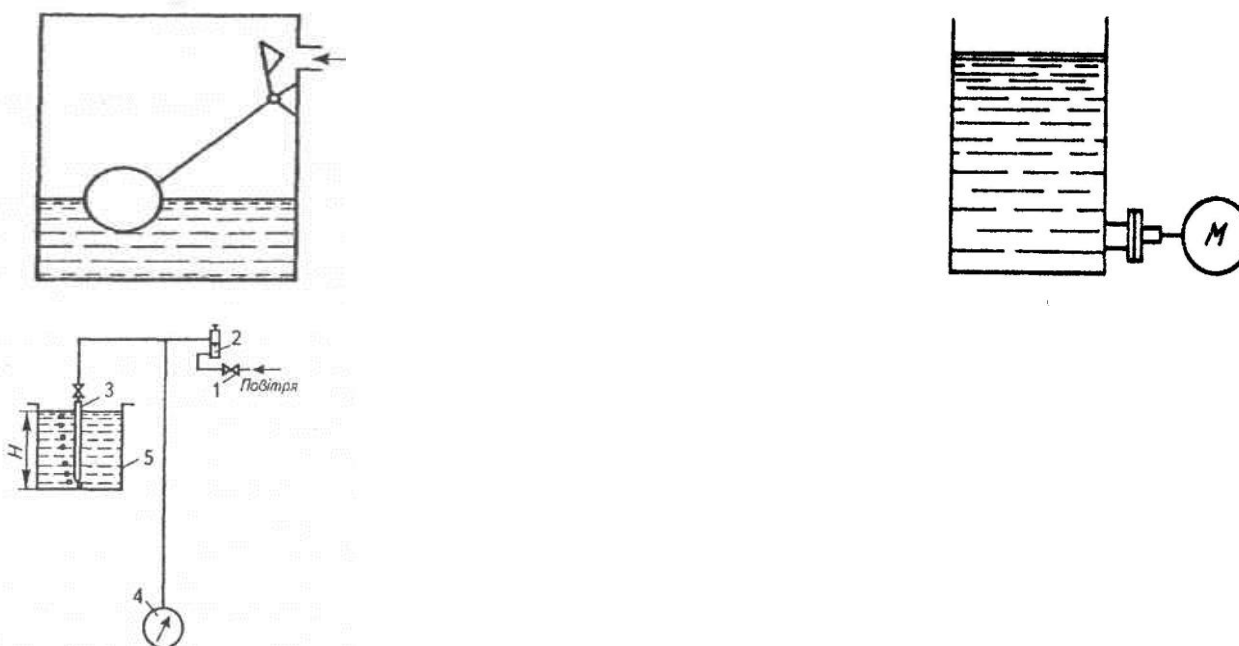


Рис. 6.1. Поплавковий рівнемір а) та п'єзометричний б) рівнеміри

Недоліком поплавкових рівнемірів і регуляторів рівня є велика металоємність, недостатня надійність та точність. Коливання значення густини рідини викликає додаткову похибку вимірювань. Для її зменшення слід зменшити занурення поплавка, що досягається або збільшенням площі перерізу або полегшенням поплавка. Переваги поплавкових рівнемірів: простота конструкції; широкий діапазон вимірювань; досить висока точність та можливість вимірювання агресивних та в'язких середовищ. Найчастіше використовуються для вимірювання рівня рідин у великих відкритих резервуарах, а також закритих з низьким тиском.

Буйковими називаються рівнеміри, принцип роботи яких ґрунтується на законі Архімеда: залежності виштовхувальної сили, яка діє на чутливий елемент — буйок, від рівня рідини (див. розділ - густиноміри). Буйок являє собою масивне тіло (наприклад, циліндр), яке підвішене вертикально в середині посудини і занурене в рідину. Буйок з'єднується з пневмосиловим перетворювачем або з ДТП за допомогою важеля, вивід якого із робочої посудини здійснюється через гофровану металеву мембрану. Ця мембрана є і опорою, навколо якої повертається важіль при зміні рівня в об'єкті.

Буйкові рівнеміри часто використовуються для вимірювання однорідних, в тому числі агресивних, рідин, які можуть знаходитись під робочим тиском до 32 МПа та в широкому діапазоні температур (від -200 до +600 °С, але які не мають властивості адгезії (прилипання) до буйка.

Самостійна робота №12

Тема: Витратоміри постійного тиску (ротаметри)

Мета: оволодіти знаннями про витратоміри постійного тиску (ротаметри)

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Принцип роботи витратоміра постійного тиску
- 2 Ротаметр з диференціально-трансформаторним перетворювачем

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Принцип роботи витратоміра постійного тиску
- 2 Ротаметр з диференціально-трансформаторним перетворювачем

Самостійна робота №13

Тема: Турбінні витратоміри

Мета: оволодіти знаннями про турбінні витратоміри

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Принцип дії турбінного витратоміра

2 Метрологічні характеристики

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989

4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

1 Принцип дії турбінного витратоміра

2 Метрологічні характеристики

3 Правила встановлення турбінного витратоміра

За принципом дії тахометричні лічильники рідин і газів поділяються на швидкісні та об'ємні. У швидкісних приладах (рис.7.3) рідина, яка проходить через камеру, обертає вертушку, кутова швидкість якої пропорційна швидкості потоку. Такі прилади використовуються як лічильники гарячої та холодної води.

Застосовують лічильники з крильчаткою (рис. 7.3, а та б), які розміщуються перпендикулярно до вимірюваного потоку, і з гвинтовою вертушкою (рис. 7.3, в), у яких потік рідини спрямований паралельно до осі вертушки.

Для вимірювання кількості газу найбільш розповсюджені об'ємні ротаційні лічильники (рис. 7.4). У середині кожуха 2 лічильника обертаються ротори 1. Вали роторів зв'язані між собою зубчастими колесами, які знаходяться поза корпусом. Обертання одного з валів передається на лічильний механізм. За один оберт ротор відсікає чотири об'єми газу, які в сумі дорівнюють об'єму вимірювальної камери лічильника.

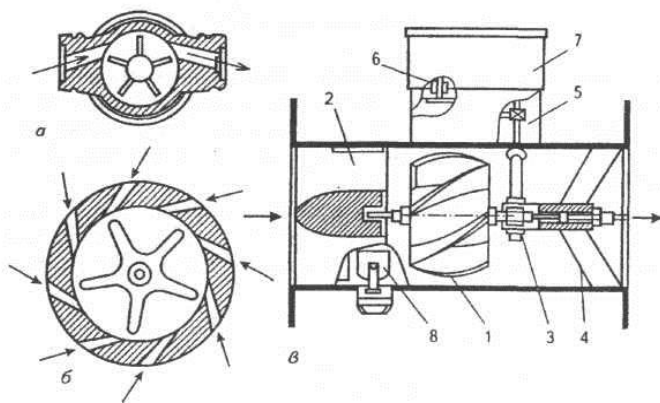


Рис. 7.3. Швидкісні лічильники рідини: а, б- з крильчаткою,

в - з гвинтовою вертушкою

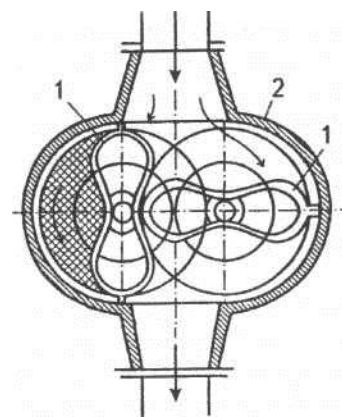


Рис. 7.4. Ротаційний лічильник

Самостійна робота №14

Тема: Кулонометричний метод

Мета: оволодіти знаннями про кулонометричний метод вимірювання вологості

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Схема кулонометричного гігрометра

2 Принцип дії кулонометричного гігрометра

3 Метрологічні характеристики

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірвальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірвальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Схема кулонометричного гігрометра
- 2 Принцип дії кулонометричного гігрометра
- 3 Метрологічні характеристики

Витратоміри постійного перепаду тиску або ротаметри застосовуються для вимірювання витрати чистих та малозабруднених рідин і газів, що протікають у трубопроводах без значних коливань витрати, особливо широко в спиртовому, виноробному, пиво-безалкогольному та інших виробництвах.

У ПВП **перетворювачах витрати постійного перепаду тиску** (ротаметрах, їх ще називають приладами обтікання) в середині конічної трубки, що розширюється до гори, знаходиться поплавок, який має особливу форму: знизу – конус, угорі – невеликий обідок зі скісними пазами, і який знаходиться під дією динамічного тиск потоку вимірюваного середовища. Конічна трубка такого первинного вимірвального перетворювача розташовується в місці вимірювання витрати завжди вертикально. Скісні пази на поплавку приводять до його обертання під час проходження речовини трубою, щоб він не торкався її стінок і знаходився в центрі потоку. Слово ротаметр походить від латинського «roto» – обертаюсь, а весь прилад називають ротаметр.

У місці розташування поплавок поперечний переріз трубки зменшується на значення площі поперечного перерізу поплавка (в найбільшому по діаметрі його місці).

Якщо витрата зростає, то згідно з законом Бернуллі для стаціонарного руху речовини, в разі зменшення поперечного перерізу трубки, швидкість рідини чи газу в цьому місці зростає, а тиск зменшується. Тому тиск P_2 над поплавком (рис. 7.6) стає меншим, ніж тиск P_1 під ним. Збільшується ΔP (із-за збільшення тиску P_1 напорі рідини знизу) і поплавок починає підніматись вгору, але при цьому розширюється кільцеподібний зазор між ним та стінками трубки, в

наслідок чого зменшується дросельний ефект від присутності поплавка, тобто, зменшується швидкість рідини в зазорі, що приводить до зростання тиску P_2 та відновлення перепаду тиску ΔP до початкового значення, яке залежить від сили тяжіння поплавка. Піднімання поплавка припиняється. При зменшенні витрати має місце обернений ефект. Таким чином, кожному значенню витрати відповідає певна висота підйому поплавка. У відповідності із визначенням - основу ротаметру складає трубка 1 (рис. 7.6), як правило, скляна, з внутрішньою конічною поверхнею, в середині якої розміщують поплавок 2. Переміщення поплавка відбувається до тих пір, поки перепад тиску не зрівняється з масою поплавка, що приходить на одиницю площини його поперечного перерізу.

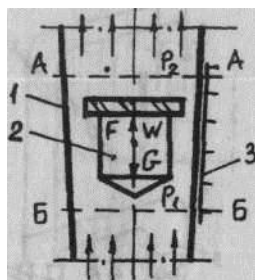
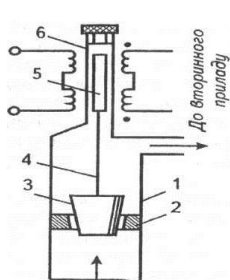


Рис.7.6



а)



б)

Рис. 7.7. Ротаметри з ДТП а) та Sitrans FVA Troglux

Зверху вниз діє сила G тяжіння поплавця:

$$G = V_n (\rho_n - \rho) g, \quad (7.10)$$

де g – прискорення вільного падіння; V_n та ρ_n - об'єм і густина поплавка; ρ - густина рідини, що проходить крізь ротаметр.

Знизу вверх на поплавець діють сила тертя середовища об поплавок, якою можна нехтувати, та сила F , яку утворює середовище, яке протікає через ротаметр, і яка визначається різницею статичних тисків ($P_1 - P_2$), які виникли внаслідок прискорення потоку в кільцевому зазорі між стінкою і поплавцем:

$$F = (P_1 - P_2) f_n; \quad (7.11)$$

де f_n — площа поперечного перерізу поплавка у місці його найбільшого діаметру.

Поплавок буде нерухомим у потоці рідини або газу, якщо виконуватиметься умова рівноваги сил, що діють знизу і зверху:

$$G = (P_1 - P_2) F_n. \quad (7.12)$$

З іншого боку можемо записати:

$$P_1 - P_2 = G / F_n = \frac{V_n (\rho_n - \rho) g}{f_n}. \quad (7.13)$$

А це означає, що при постійній густині речовини, права частина формули є незмінною і не залежить від витрати речовини. Відповідно незмінним є перепад тиску $P_1 - P_2$. Звідси і інша назва ротаметрів як приладів постійного перепаду тиску.

Швидкість V обтікання речовиною поплавка у кільцеподібному зазорі між ним і стінками трубки дорівнює:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}. \quad (7.14)$$

Звідси
$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{V^2 * \rho}{2}. \quad (7.15)$$

Прирівнюючи залежності 7.13 та 7.15, можемо визначити швидкість речовини в кільцеподібному зазорі:

$$V = \sqrt{\frac{2g \sqrt{R-\rho}}{\rho * F_n}}. \quad (7.16)$$

Ця швидкість визначає об'ємну витрату Q вимірюваної речовини, що проходить через кільцеподібний зазор поперечного перерізу F_k :

$$Q = V * F_k = \varphi F_k \sqrt{\frac{2g \sqrt{R-\rho}}{\rho * F_n}}. \quad (7.17)$$

Із наведеного рівняння випливає, що за коефіцієнта витрати $\varphi = \text{const}$, існує лінійна залежність між величинами Q і F_k , який в свою чергу пропорційний висоті занурення поплавка. Проте за конічної форми трубки лінійна залежність між значенням Q і переміщенням поплавця порушується через нелінійну залежність F_k по висоті трубки. Крім того, в реальних умовах дещо змінюється величина φ . Тому використання рівномірної шкали для ротаметрів зумовлює частку загальної похибки вимірювань.

Із останнього рівняння випливає також, що положення поплавця залежить не тільки від витрати, а і від густини контрольованого середовища. З цього боку ротаметри розділяються на дві групи: для рідин які градуують на воді, і для газів, які градууються на повітрі.

Корпус ротаметра являє собою скляну конічну трубку, на зовнішній поверхні якої нанесена шкала. Показчиком є верхня горизонтальна площина поплавця. Матеріал поплавка — сталь, алюміній, бронза, ебоніт, пластмаси — не повинен піддаватися корозії в контрольованому середовищі і повинен мати добру здатність виділятися в потоці контрольованого середовища. Відхилення густини, тиску та температури вимірюваної за витратами речовини проводить до додаткових похибок вимірювання.

В деяких типах ротаметрів (рис.7.7,а) конічним роблять поплавок 3, який переміщується в середині діафрагми постійного поперечного перерізу 2. Але принципової різниці між такими ротаметрами не має. На цьому ж рисунку приведена схема ротаметра з диференціально-трансформаторним перетворювачем, який дозволяє передавати сигнал вимірювальної інформації на відстань.

Вимірювальна частина витратоміра з диференціально-трансформаторним перетворювачем складається з циліндричного металевого корпусу 1 з діафрагмою 2. Усередині діафрагми переміщується конусний поплавок 3, насаджений на шток 4. Під дією потоку рідини поплавок може переміщуватися в отворі діафрагми. На верхньому кінці штоку закріплено осердя 5 диференційно-трансформаторного перетворювача. Осердя переміщується усередині трубки 6, зовні якої знаходиться котушка перетворювача.

Витратомір постійного перепаду тиску типу Sitrans FVA Troglux фірми «Siemens» (рис. 7.7,б) призначений для вимірювання об'ємів прозорих потоків рідин та газів в закритих трубопроводах. Прилад проградуирований для рідин з питомою вагою 1 кг/л. Для всіх інших речовин шкалу необхідно перераховувати. Основні технічні характеристики Troglux:

1. Температурний діапазон: 60°C (для води 50°C).
2. Клас точності: 2,5.

3. Межа вимірювань при тисках до 10 бар: для рідин – від 12,5 л/год до 25 м³/год; для газів – від 200 л/год до 430 м³/год.

Самостійна робота №15

Тема: Вимірювання вологості методом точки роси

Мета: оволодіти знаннями про вимірювання вологості методом точки роси

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Метод вимірювання вологості методом точки роси

2 Метрологічні характеристики

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989

4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

1 Метод вимірювання вологості методом точки роси

2 Метрологічні характеристики

Суть методу точки роси полягає у визначенні температури, за якої водяна пара, що є в контрольованому газі, за її охолодження досягає стану насичення, тобто починає конденсуватися. Точка роси — температура та тиск, за яких газ набуває стану насичення і випадає роса. Початок конденсації фіксується візуально (в лабораторних приладах) або за допомогою фотоелементів (в автоматичних вологомірах). Такі прилади ще називаються гігрометрами. Промисловість випускає гігрометри типів ГП-215 та ГП-225 для контролю і сигналізації відносної вологості. Діапазон 10 — 100 %, клас точності — 4,0.

Особливістю автоматичних гігрометрів є наявність нагрівально-охолоджувального пристрою та фотооптичної системи для стеження за зміною точки роси.

Самостійна робота №16

Тема: Теплові газоаналізатори

Мета: оволодіти знаннями про теплові газоаналізатори

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Схема термокондуктометричного газоаналізатора

2 Принцип дії термокондуктометричного газоаналізатора

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989

4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Схема термокондуктометричного газоаналізатора
- 2 Принцип дії термокондуктометричного газоаналізатора
- 3 Метрологічні характеристики

ТЕПЛОВІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРИ

У теплових газоаналізаторах концентрація контрольованого компонента здійснюється вимірюванням теплових властивостей газової суміші, які залежать від концентрації цього компонента. Із них найбільше розповсюджені термокондуктометричні та термохімічні газоаналізатори — автоматичні прилади, які працюють в складі інформаційно-вимірювальних і управляючих систем.

Принцип роботи термокондуктометричних газоаналізаторів ґрунтується на значній розбіжності теплопровідності компонентів газової суміші. Так, якщо теплопровідність повітря за 0°C умовно прийняти за 100%, то для двоокису вуглецю CO₂ вона становить 61%, водню H₂ — 713, двоокису сірки SO₂ — 34, кисню O₂ — 102%. Найчастіше таким методом визначається вміст двоокису вуглецю. Для підвищення точності вимірювань прилад має додаткові пристрої для усунення тих компонентів газової суміші, які значно відрізняються від теплопровідності повітря, наприклад H₂ і SO₂.

Для вимірювання теплопровідності газової суміші використовується нагрітий струмом провідник, кількість теплоти Q, що віддається провідником стінкам датчика є функцією

$$Q = f(k; \Delta t; \lambda), \quad (9.23)$$

де k — постійний коефіцієнт, залежний від конструкції газової камери датчика; Δt — різниця температур між провідником і стінками камери; λ — теплопровідність суміші.

Таким чином, теплопровідність газової суміші буде однозначно визначати температуру провідника і відповідно його опір.

Однією з найпростіших і поширювальних вимірювальних систем термокондуктометричного газоаналізатора є не зрівноважений міст, із джерелом стабілізованого живлення ДСЖ (рис.9.22). Резистори R₁ — R₄

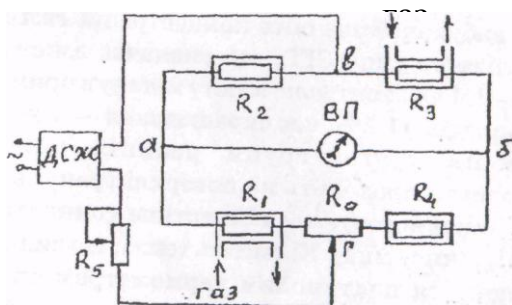


Рис. 9.22.

виконані із платиного дроту і розігріваються струмом до температури близько 100 °C. Двоє з них — R₁ і R₃ розміщені в камері, через яку проходить контрольований газ, а опори R₂ і R₄ розміщені в герметичних камерах з еталонним газом або повітрям. За проходженням через камеру повітря виконується умова рівноваги мостової схеми: $R_1 R_3 = R_2 R_4$. У вимірюваній діагоналі аб різниця потенціалів відсутня і стрілка мілівольметра ВП показує нуль. Якщо

це не так, то проводять балансування моста за допомогою опору R_0 . Якщо через камери пропускається контрольований газ, наприклад CO_2 , то теплопередача від термометрів опору R_2 і R_3 до стінок камери датчика погіршується, температура їх зростає, відповідно зростають опори r_1 і R_3 , тому $R_1 R_3 > R_2 R_4$. Як наслідок у діагоналі аб виникає відповідна різниця потенціалів, вимірювана вторинним приладом ВП, шкала якого градуйована у % CO_2 . Опір R_5 служить для виставлення сили струму у діагоналі живлення «вг». Випускаються прилади типів ГЕУК, ГЕД, ТКГ для визначення H_2 , CO_2 , SO_2 , NH_3 у димових газах парогенераторів, газах виробництва аміаку, хлору, сірчаної кислоти тощо. Клас точності 5. Більш точними є компенсаційні схеми. Промисловість випускає автоматичний газоаналізатор типу ТП, в якому використовується схема подвійного моста — вимірювального і компенсаційного. Клас точності - 2.5.

Самостійна робота №17

Тема: Оптичні методи вимірювання складу рідин

Мета: оволодіти знаннями про оптичні методи вимірювання складу рідин

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Загальні поняття
- 2 Фотоелектричні та абсорбційні методи

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзана Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Фотоелектричні та абсорбційні методи
- 2 Нефелометричні методи

ОПТИЧНІ МЕТОДИ. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ.

В оптичних методах аналізу складу розчинів використовується зв'язок між складом розчину та оптичними властивостями системи, які визивають: світлопоглинання, світлорозсіювання, заломлення світла, обертання площини поляризації плоскополяризованого світла, а також залежність вторинного світіння речовини в залежності від її складу. Звідси розрізняють відповідно: колориметричний аналіз; нефелометричний та турбідиметричний аналіз; рефрактометричний аналіз; поляриметричний аналіз та люмінесцентний аналіз.

Таким чином, до оптичних методів контролю складу рідин відноситься:

- **абсорбційний** метод, при реалізації якого використовується явище селективного (вибіркового) поглинання світла в контролюємій речовині;
- **нефелометричний** – використовується явище розсіювання світла на частинках, що знаходяться в рідині або газі;
- **рефрактометричний** – використовується залежність показника заломлення від концентрації контролюємого рідкого середовища;
- **поляриметричний** – використовується властивість деяких активних речовин повертати площину поляризації при проходженні через них плоскополяризованого світла.
- **люмінесцентний** – використовується залежність вторинного світіння речовини в залежності від її складу.

По техніці виконання оптичні методи розділяють на суб'єктивні (візуальні, не автоматичні) та на об'єктивні (фотоелектричні), які використовуються в системах автоматичного контролю якості.

В фотоелектричних (автоматичних) абсорбційних методах використовується різні довжини хвиль електромагнітного спектру:

- видимі довжини хвиль, тоді методи називаються **колориметричні**;
- ультрафіолетові;
- інфрачервоні (невидимі).

Кожну із довжин хвиль вибирають залежно від оптичних властивостей контролюємих речовин.

Нефелометричні методи розділяють на: турбідиметричні, якщо вимірювання проводяться в світлі, що проходить крізь речовину; та безпосередньо нефелометричні – коли вимірювання проводять під кутом до напрямку падаючого світла.

В рефрактометричних методах використовується показник заломлення світла та явище повного внутрішнього відбиття.

В поляриметричних – використовується властивість деяких активних речовин обертати площину поляризації при проходженні крізь них плоскополяризованого світла.

Самостійна робота №18

Тема: Вимірювання параметрів вібрацій

Мета: оволодіти знаннями про вимірювання параметрів вібрацій

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Вимірювання параметрів вібрацій
- 2 Схема індукційного віброакселерометра

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзане Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Питання для самоконтролю:

- 1 Вимірювання параметрів вібрацій
- 2 Схема індукційного віброакселерометра
- 3 Метрологічні характеристики

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
3. Н.Г.Фарзана Технологические измерения и приборы М.; Высш. школа,1989
- 4 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 5 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Матеріали, що входять до складу самостійної роботи:

- 1 Короткі відомості про дисципліну.
- 2 Мета і завдання вивчення дисципліни, зв'язок з іншими дисциплінами.

- 3 Перелік знань та умінь, якими студент повинен оволодіти в результаті вивчення дисципліни.
- 4 Перелік рекомендованої літератури, методичних матеріалів та інших джерел інформації.
- 5 Словник або визначення найбільш важливих термінів, понять тощо.
- 6 Рекомендації щодо роботи студентів з літературою.