

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Інженерно-хімічний факультет

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ  
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт  
для студентів напрямку підготовки  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

*Рекомендовано кафедрою автоматизації хімічних виробництв*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2017

Технологічні вимірювання та прилади в системах автоматизації хіміко-технологічних процесів: Метод. вказівки до викон. лаборат. робіт для студ., що навчаються за напр. підгот. «Автоматизація та комп'ют.-інтегр. технології» / Уклад. М. В. Лукінюк, П. М. Сташкевич. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 112 с.

*Рекомендовано кафедрою автоматизації хімічних виробництв  
(Протокол № 9 від 20 червня 2017 р.)*

## **ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ**

### **ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Методичні вказівки до виконання курсового проекту (роботи)  
для студентів напрямку підготовки «Автоматизація  
та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладачі: М. В. Лукінюк, старш. викл.  
П. М. Сташкевич, старш. викл.

Відповідальний редактор А. І. Жученко, докт. техн. наук, проф.

Рецензент С. Г. Бондаренко, канд. техн. наук, доц.

*У авторській редакції*

## Лабораторна робота 1

### ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СИГНАЛІВ І СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

**Мета роботи.** Вивчити принцип дії та будову перетворювачів сигналів і систем дистанційних передач, найбільш поширених у хімічній промисловості.

#### Теоретичні відомості

Для контролю та керування технологічними процесами широко застосовуються телевимірювальні системи ближньої дії, які називають системами дистанційної передачі. З їх допомогою вимірювальна інформація може передаватися на відстань від кількох десятків метрів до 10 – 20 км.

У Державній системі приладів (ДСП) прийняті такі системи передачі: пневматична, електрична струмова та електрична частотна. Крім названих систем передачі вимірювальної інформації в практиці вимірювань використовуються: реостатна, індуктивна, диференціально–трансформаторна, феродинамічна, сельсинна та ін. – названі так у відповідності з типом перетворювача, що здійснює перетворення «природного» сигнала (переміщення) в електричний сигнал.

Однією з важливих ознак сучасних вимірювальних перетворювачів є уніфікація їхніх вхідних і вихідних сигналів. Це забезпечує взаємозамінність передавальних перетворювачів, вимірювальних та інших пристроїв автоматизації і різко скорочує номенклатуру вторинних приладів. Широке застосування в системах автоматизації ЕОМ обумовлює високі вимоги до уніфікації вхідних і вихідних сигналів усіх пристроїв, які належать до систем автоматизації.

З електричних аналогових перетворювачів, які використовуються для перетворення неелектричних величин в електричний вихідний сигнал

і передачі вимірювальної інформації на відстань, найбільшого поширення набули реостатні, диференціально–трансформаторні, феродинамічні та сельсинні.

**Диференціально–трансформаторні перетворювачі (ДТП)** призначені для перетворення лінійного переміщення в електричний сигнал. ДТП (рис.1.1) являє собою індукційну котушку, що складається з первинної трансформаторної обмотки 1 і двох зустрічно з'єднаних вторинних обмоток 3. Між вторинною і первинною обмотками міститься рухоме осердя – плунжер 2, виготовлений з магнітом'якого матеріалу.

Принцип роботи ДТП базується на зміні коефіцієнта взаємної індуктивності між обмотками 1 і 3 при зміні положення плунжера 2. Оскільки вторинні обмотки 3 увімкнені зустрічно, взаємна індуктивність між цими обмотками виразиться залежністю

$$M = M_1 - M_2 = M_{max}(x / x_{max})e^{-i\varphi}, \quad (1.1)$$

де  $M_{max}$  – максимальне значення модуля взаємної індуктивності, яке відповідає повному зміщенню осердя  $x_{max}$  із середнього положення;  $x$  – дійсне зміщення осердя 2 від нейтралі;  $\varphi$  – аргумент вектора взаємної індуктивності.

Вихідна е.р.с. диференціально-трансформаторного перетворювача

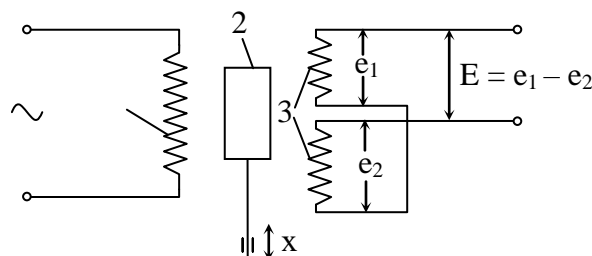


Рис. 1.1. Схема диференціально-трансформаторного перетворювача

$$E = -i\omega IM = -i \omega IM_{max}(x / x_{max})e^{-i\varphi}, \quad (1.2)$$

де  $I$  – струм живлення первинної обмотки;  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  – частота струму живлення.

Значення і фаза вихідного сигналу  $E$  залежать від положення осердя в котушці відносно магнітної нейтралі.

У визначеному діапазоні переміщень плунжера (для різних модифікацій ДТП – від 1,6 до 35 мм) статична характеристика перетворювача є лінійною.

Диференціально-трансформаторні системи передачі інформації складаються з двох ідентичних ДТП (рис. 1.2), один з яких ДТП1 кінематично зв'язаний з чутливим елементом ЧЕ, який разом з ДТП1 утворює первинний вимірювальний перетворювач ПВП, а другий – ДТП2 – є елементом вторинного приладу компенсального зрівноваження (наприклад, серії КС).

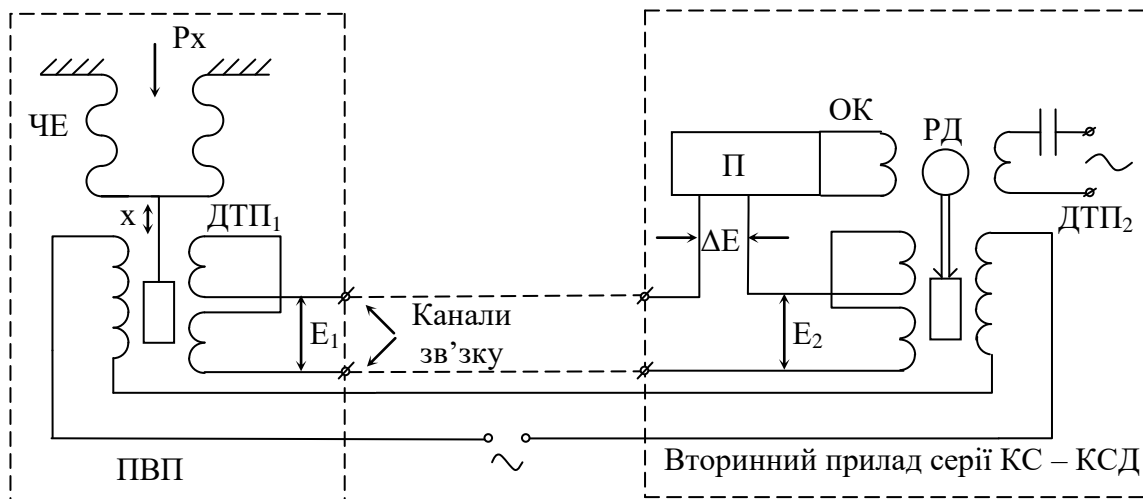


Рис. 1.2. Система дистанційної передачі вимірювальної інформації на базі ДТП

Вторинні обмотки ДТП1 і ДТП2 з'єднані за диференціальною схемою, тому їх загальний вихідний сигнал  $\Delta E = E_1 - E_2$ . Якщо осердя ДТП1 і ДТП2 займають однакове відносне положення, то  $E_1 = E_2$  і  $\Delta E = 0$ . При

переміщенні осердя ДТП1 (в результаті зміни вхідного сигналу  $Px$ ) на величину  $\Delta x$  рівновага буде порушена:  $E_1 \neq E_2$  і  $\Delta E \neq 0$ .

Сигнал розбалансу  $\Delta E$ , підсилений електронним підсилювачем П, надійде на обмотку керування ОК реверсивного двигуна РД. Останній, обертаючись у залежності від напрямку зміни вхідного сигналу в ту чи іншу сторону, через кулачковий механізм переміщує плунжер ДТП2, компенсуючи розбаланс схеми. У такий спосіб забезпечується дистанційна передача сигналу ПВП.

**Феродинамічні перетворювачі (ПФ)** використовуються у вимірювальних пристроях для перетворення кутових переміщень в уніфікований вихідний сигнал і передачі його на відстань. Феродинамічні перетворювачі (рис. 1.3) належать до приладів магнітоелектричної системи і складаються з обмотки збудження 1, магнітопроводу з регульованим магнітним опором 2, обмотки зміщення 3 і поворотної вимірювальної (вихідної) рамки 4.

Магнітний потік, що створюється обмоткою збудження 1, індукує е.р.с. у рамці 4 й обмотці зміщення 3. Е.р.с. у рамці  $E$  залежить від струму живлення в рамці та обмотці зміщення.

Взаємна індуктивність між обмоткою збудження та рамкою  $M_p$ , змінюється при повороті рамки від нуля (горизонтального положення пло-

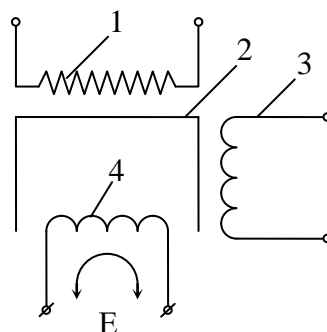


Рис. 1.3. Схема феродинамічного перетворювача

щини рамки) до максимального кута повороту ( $\alpha = \pm 20^\circ$ ) і визначається так:

$$M_p = M_{max}(\alpha/\alpha_{20})e^{-i\varphi}, \quad (1.3)$$

де  $M_{max}$  – максимальне значення взаємної індуктивності при куті повороту  $\alpha_{20}$ ;  $\alpha$  – поточне значення кута повороту.

Аналогічною залежністю виражається взаємна індуктивність між обмотками збудження та зміщення:

$$M_{зм} = KM_{max}e^{-i\varphi}, \quad (1.4)$$

де  $K$  – коефіцієнт, значення якого залежить від модифікації ПФ (зазвичай  $K = 1; 2$ ).

Обмотка зміщення з'єднується послідовно з вимірювальною рамкою узгоджено чи зустрічно, тому загальна взаємна індуктивність визначатиметься виразом:

$$M = M_p \pm M_{зм} = M_{max}(K \pm \alpha / \alpha_{20})e^{-i\varphi}. \quad (1.5)$$

Тут знак " $\pm$ " відбиває характер з'єднання (узгоджено/зустрічно) обмотки зміщення і вимірювальної рамки.

Вихідна е.р.с. ПФ без обмотки зміщення виражається як

$$E = -i\omega IM_p = -i\omega IM_{max}\alpha / \alpha_{20}e^{-i\varphi}, \quad (1.6)$$

а з обмоткою зміщення –

$$E = -i\omega IM_p = -i\omega IM_{max}(K \pm \alpha / \alpha_{20})e^{-i\varphi}. \quad (1.7)$$

Аналіз приведених виразів показує, що залежність вихідної напруги від величини  $\alpha$  – лінійна функція (рис. 1.4).

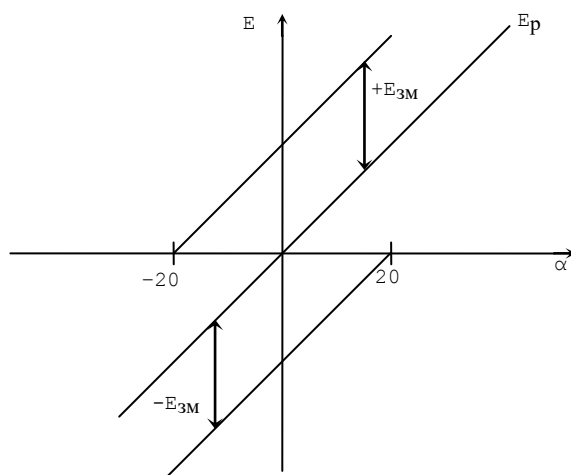


Рис. 1.4. Вигляд робочих характеристик ФП для різних варіантів увімкнення обмотки зміщення

Фаза вихідного сигналу ПФ залежить від напрямку повороту вимірювальної рамки відносно магнітної нейтралі. Як відомо, у магнітопроводі ПФ є регульований опір магнітного потоку. Це досягається за допомогою регулювання повітряного зазору в магнітопроводі. Зміна зазору дозволяє змінювати магнітний потік, а тим самим змінювати чутливість перетворювача. Рівнобіжний перенос статичної характеристики здійснюється за допомогою відповідного спрямування сигналу обмотки зміщення.

Феродинамічна система дистанційної передачі інформації (рис. 1.5) будується за принципом автокомпенсатора з використанням двох перетворювачів – ПФ1 та ПФ2, вихідні сигнали яких  $E_1$  та  $E_2$  спрямовані назустріч один одному. Поворотна рамка ПФ1 зв'язана з чутливим елементом ПВП, а ПФ2 виконує роль компенсуючого пристрою вторинного приладу КСФ.

При неузгодженості кутів повороту ПФ1 і ПФ2 сигнал розбалансу  $\Delta E$  підсилюється в електронному підсилювачі і надходить на реверсивний двигун РД. Останній зрівноважує систему, повертаючи вимірюваль-



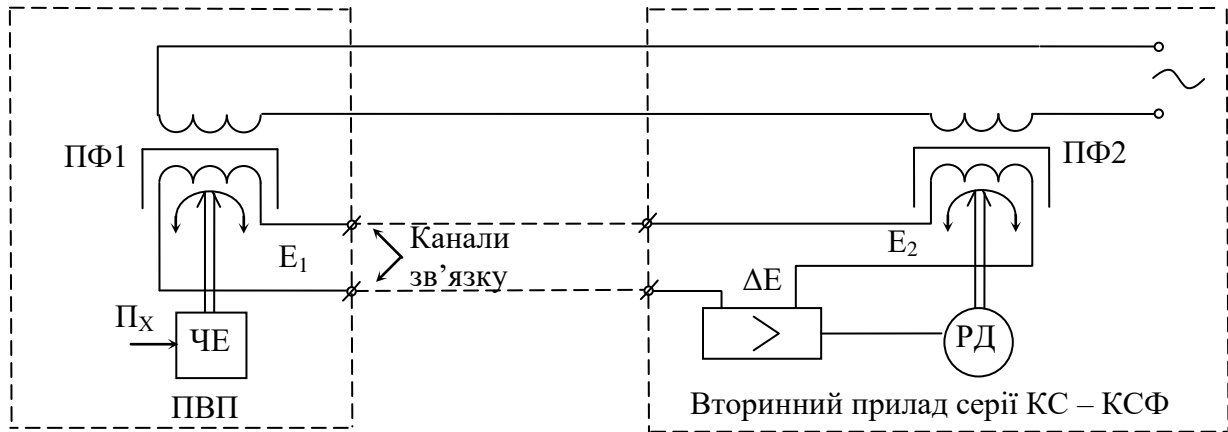


Рис. 1.5. Система дистанційної передачі вимірювальної інформації на базі ПФ

ну рамки компенсувального перетворювача ПФ2 до досягнення нового стану рівноваги:  $E_1 = E_2$ ,  $\Delta E = 0$ .

**Реостатні передавальні перетворювачі** призначені для перетворення кутових і лінійних переміщень вимірювальних пристроїв в електричні сигнали та передачі їх на відстань.

Реостатні перетворювачі (рис.1.6) являють собою дровий лінійний опір (з паладій-вольфрамового сплаву ПдВ–20), намотаний на ізоляційний каркас.

Такими перетворювачами оснащуються різного роду первинні

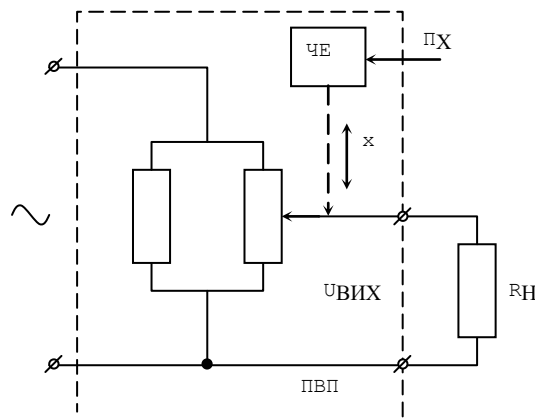


Рис. 1.6. Реостатний перетворювач

вимірювачі, а також одноточкові вторинні прилади, в яких застосовують 10–, 20– і 100–відсоткові перетворювачі. Відсоток перетворення вказує на діапазон шкали у відсотках, у якому з вторинного приладу в околі номінальної точки передається інформація на інші пристрої автоматики.

Дистанційні системи передачі з використанням реостатних перетворювачів будуються за принципом компенсаційного вимірювання (метод зрівноваженого моста) (рис. 1.7, а) і прямого вимірювання за допомогою логометра (рис. 1.7, б).

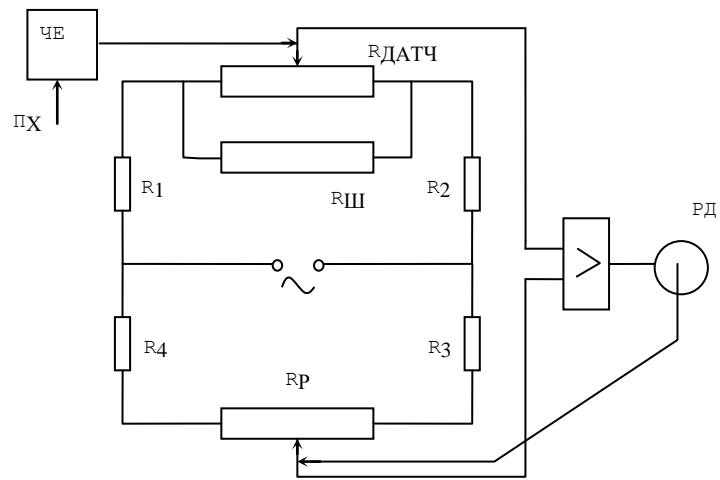
До аналогових перетворювачів електричної гілки відносяться сельсини, за допомогою яких можна передати на відстань великі кутові переміщення.

**Сельсин** являє собою мініатюрну трифазну електричну машину (рис. 1.8), подібну до синхронного генератора або двигуна.

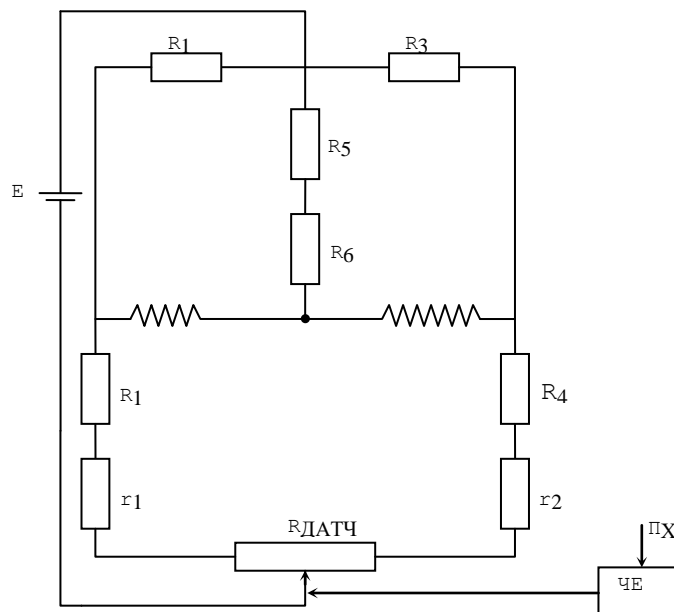
Найчастіше ротор сельсина 1 має однофазну обмотку 2 – обмотку збудження (ОЗ), а статор 3 – трифазну обмотку 4, виконану за схемою «зірка», – обмотку синхронізації (ОС) – іноді їх розглядають як три обмотки, магнітні осі яких зміщені під кутом  $120^\circ$ , тобто з'єднані «зіркою».

Робота сельсинів основана на перетворенні кутових переміщень у зміну індуктивного зв'язку між обмотками збудження та синхронізації.

При протіканні змінного струму через ОЗ утворюється магнітний потік, який синусоїдально розподіляється по колу ротора та пронизує трифазну обмотку статора. Цей змінний магнітний потік індукує в обмотках статора електрорушійні сили, які будуть синфазними, але різними за амплітудою:

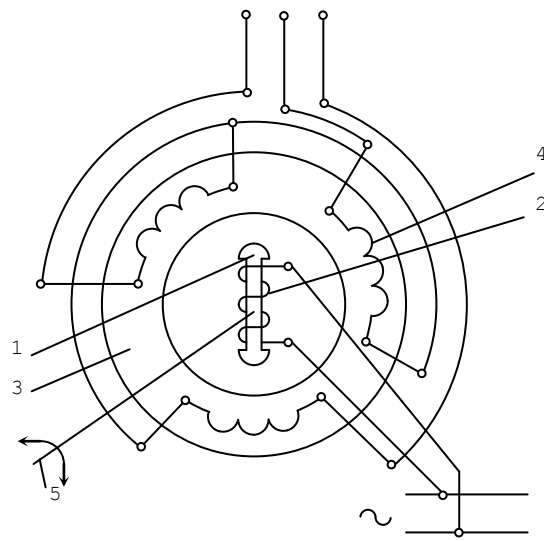


а)

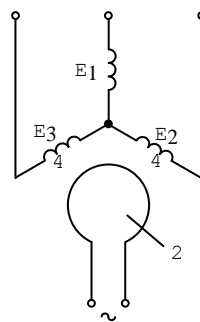


б)

Рис. 1.7. Реостатні системи дистанційної передачі сигналів



а)



б)

Рис. 1.8. Схема сельсина (а) та спрощене його зображення (б)

$$\begin{aligned}
 E_{1Д} &= E_{max} \cos \alpha; \\
 E_{2Д} &= E_{max} \cos(\alpha + 120^\circ); \\
 E_{3Д} &= E_{max} \cos(\alpha + 240^\circ) = E_{max} \cos(\alpha - 120^\circ);
 \end{aligned}
 \tag{1.8}$$

де  $\alpha$  – кут повороту ротора сельсина відносно осі першої фази трифазної обмотки статора;  $E_{max}$  – е. р. с. при збігові осей обмоток ротора і статора.

Сельсинні системи дистанційної передачі інформації будуються з використанням одного сельсина-датчика (СД), зв'язаного з первинним вимірником, і одного чи декількох сельсинів-приймачів (СП) (рис. 1.9).

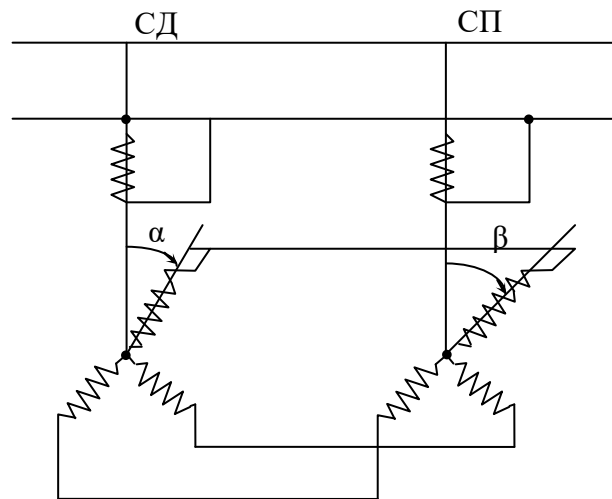


Рис. 1.9

Обмотки збудження СП та СД живляться змінною напругою, а обмотки синхронізації сельсинів увімкнені за диференціальною схемою. Такий режим роботи сельсинів називається *індикаторним*.

Магнітні потоки обмоток збудження індукують е.р.с. в обмотках синхронізації СД і СП відповідно:

$$\begin{aligned}
 E_{1Д} &= E \cos \alpha; & E_{1П} &= E \cos \beta; \\
 E_{2Д} &= E \cos(\alpha + 120^\circ); & E_{2П} &= E \cos(\beta + 120^\circ); \\
 E_{3Д} &= E \cos(\alpha - 120^\circ); & E_{3П} &= E \cos(\beta - 120^\circ).
 \end{aligned}
 \tag{1.9}$$

Тут  $\alpha$ ,  $\beta$  – кути неузгодження між осями статорних та найближчих роторних обмоток;  $E$  – амплітудне значення е.р.с. при  $\alpha = \beta = 0$ .

Якщо  $\alpha = \beta$ , будуть справедливими наступні залежності

$$E_{1Д} = E_{1П}; \quad E_{2Д} = E_{2П}; \quad E_{3Д} = E_{3П}.
 \tag{1.10}$$

У цьому випадку сельсинна система буде збалансована, бо струми в обмотках синхронізації дорівнюють нулю. Якщо  $\alpha \neq \beta$ , то в обмотках синхронізації течуть струми, які створюють магнітний синхронізуючий момент між ротором і статором СП:

$$M = M_m \sin \theta, \quad (1.11)$$

де  $\theta = \alpha - \beta$ ,  $M_m$  – максимальне значення моменту при  $\theta = 90^\circ$ .

Під дією синхронізуючого моменту ротор СП повернеться на кут повороту ротора СД, тоді відновиться рівновага  $\alpha = \beta$ .

За допомогою сельсинів можна отримати також аналоговий сигнал, пропорційний величині вимірюваного параметра. Це досягається за допомогою одного сельсина. Окрім індикаторного режиму сельсинні передавальні системи можуть працювати й у так званому *трансформаторному* режимі (режим датчика). У цьому випадку максимальний кут повороту ротора складає  $90^\circ$ .

**Пневматичні передавальні перетворювачі** призначені для перетворення кута повороту вихідної осі вимірювальних приладів, пропорційного сигналові вимірювальної інформації, в уніфікований пневматичний вихідний сигнал, який змінюється в межах  $0,02 \dots 0,1$  МПа.

На рис. 1.10 зображена принципова схема пневматичного перетворювача типу ПП, як встановлюється в манометрах, дифманометрах та деяких вторинних приладах.

Перетворювач зв'язаний з вихідною віссю вторинного приладу через сектор 2 за допомогою шестерні 1, закріпленої на осі приладу. Вихідна вісь вторинного приладу, сектор 2 і ролик 3 повертаються на кут  $\alpha_{\text{вх}}$  (до  $40^\circ$ ). Кут повороту сектора за допомогою ролика 3, стрічки 15 та пружини 14 перетворюється у пропорційне зусилля  $q$  на важелі 13. В перетворювачі це зусилля перетворюється у вихідний пневматичний сигнал.

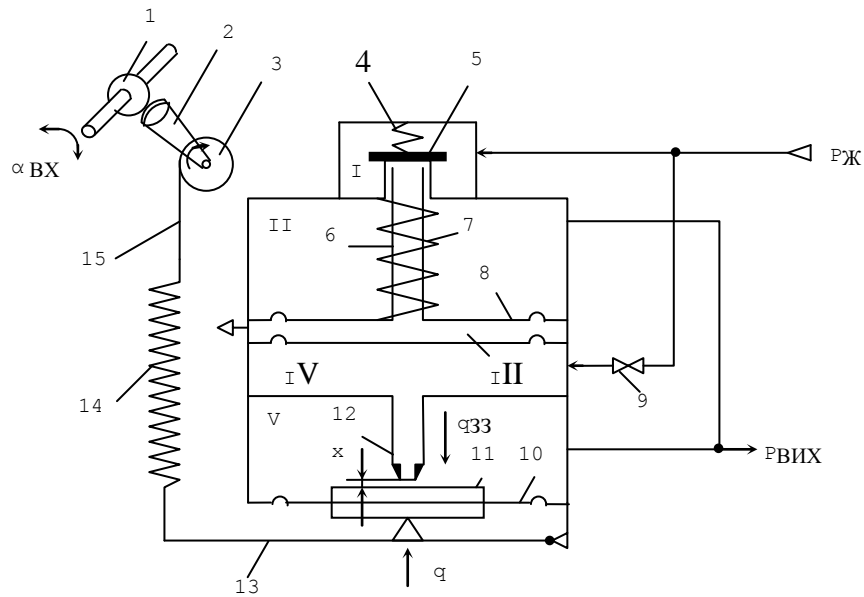


Рис. 1.10

Стиснене повітря через редуктор під тиском  $P_{ж} = 0,14$  МПа поступає в камеру I, а через постійний дросель 9 – у камеру IV. Тиск у цій камері визначається значенням зазору  $x$  між соплом 12 та заслінкою 11, яка одночасно є жорстким центром мембрани зворотного зв'язку 10. Розмір зазору  $x$  є функцією зусилля  $q$ , а отже, і вимірювальної величини.

На дроселі 9 підтримується перепад постійної величини. Камера III сполучена з атмосферою. Вихідний пневматичний сигнал  $P_{вих}$  формується у камері II, в яку повітря надходить з камери I через пластинчатий клапан 5, зв'язаний з мембранним блоком 8 за допомогою порожнистого штоку 6.

В положенні, показаному на рис. 1.10, пластинчатий клапан 5 закритий зусиллям пружини 4, а камера II через шток 6 і камеру III з'єднана з атмосферою. У цьому випадку вхідне зусилля  $q$  мале і відповідно невеликим є тиск у камері IV та опір на виході сопла 12. Тому зусилля, що діє на мембранний блок 8 з боку камери IV, менше, ніж зусилля пружини 7. При зростанні зусилля  $q$  на важелі 13 зазор  $x$  буде зменшуватись, і разом з тим

буде збільшуватись опір на виході з сопла. Відповідно збільшиться тиск у камері IV. При цьому рівновага сил, які діють на мембранний блок 8, порушиться, і порожнистий шток 6 переміститься вгору.

Шток підніматиме пластинчатий клапан 5, який відкриваючись, буде пропускати через кільцевий канал повітря із камери I у II і далі – у лінію виходу, з якої повітря надходить також у камеру від'ємного зворотного зв'язку V. При збільшенні тиску у цій камері мембрана 10 розвиває зусилля  $q_{зз}$ , яке при певному значенні зазору  $x$ , а разом з тим і вихідного сигналу  $P_{вих}$  – зрівноважує зусилля  $q$ .

Автоматичне підтримання вихідного тиску  $P_{вих}$  досягається при динамічній рівновазі мембранного блоку (порожнистий шток та пластинчатий клапан перебувають у режимі незгасних високочастотних коливань).

### **Опис лабораторної установки**

На лабораторному стенді (рис. 1.11) змонтовані реостатний 23, сельсинний 22, диференціально-трансформаторний 20, пневматичний 15 та феродинамічний 13 перетворювачі. Вихідні сигнали перетворювачів виведені на вторинні прилади 1, 2, 5, 6 та 7 відповідно. Напряга живлення електричних перетворювачів надходить від мережі через реле 11 та трансформатор 17. Живлення кожного перетворювача вмикається тумблерами 14, 18, 19 і 21. Живлення стенда вмикається тумблером 12. Пневматичний перетворювач живиться стисненим повітрям через байпасну панель 16. Тиск живлення змінюється редуктором цієї панелі. Вихідні сигнали феродинамічного та диференціально-трансформаторного



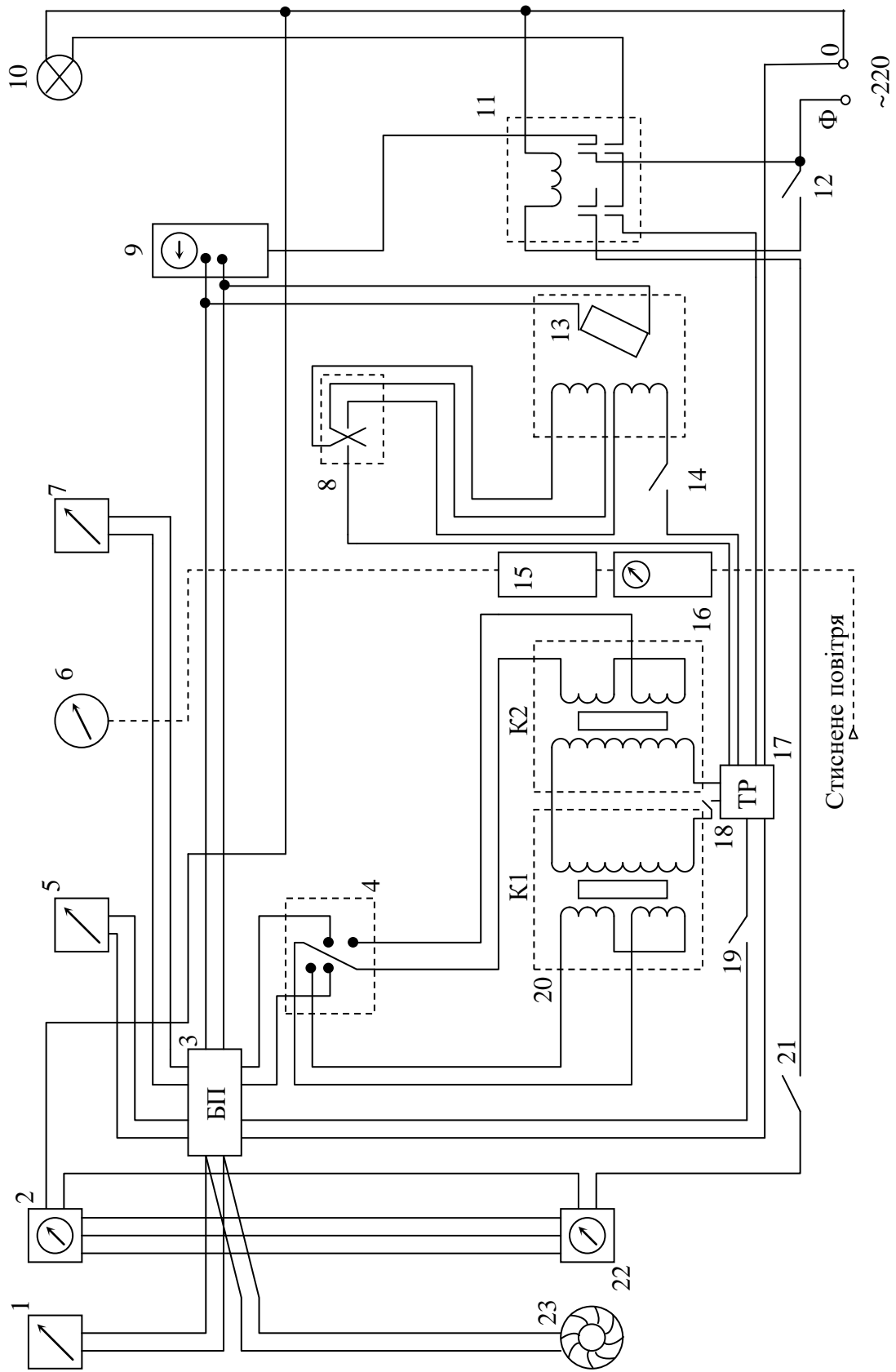


Рис. 1.11

перетворювачів надходять на вторинні прилади 5 і 7 через блок перетворення (випрямляч) 3.

Вихідний сигнал феродинамічного перетворювача паралельно подається на осцилограф 9. Осцилограма дозволяє спостерігати зміну вихідного сигналу за амплітудою та фазою.

На установці зібрано два диференціально-трансформаторних перетворювачі  $K1$  і  $K2$ . З допомогою трипозиційного перемикача 4 ці перетворювачі по чергово можуть підключатися до вторинного приладу 5. В середньому положенні перемикача 4 на вхід вторинного приладу подається сумарний сигнал перетворювачів  $K1$  і  $K2$ .

За допомогою трипозиційного перемикача 8 обмотки феродинамічного перетворювача комутуються між собою з виходом на вимірювальний прилад 7 та осцилограф 9.

У верхньому положенні перемикача сигнал вихідної обмотки та обмотки зміщення вмикаються зустрічно, у нижньому – узгоджено. У нейтральному положенні до вимірювального приладу підключається вимірювальна рамка, обмотка зміщення при цьому відімкнена.

### **Послідовність виконання роботи**

1. Ознайомитися з лабораторною установкою.
2. Тумблером 12 подати напругу живлення на стенд.
3. Заживити реостатну систему тумблером 19 і зняти статичну характеристику перетворювача  $U_{\text{вих}} = f(\alpha)$  при прямому та зворотному ходах. Кут повороту  $\alpha$  належить задавати за оцифрованими позначками шкали.
4. Вимкнути живлення реостатного перетворювача.

5. Заживити сельсинну систему тумблером 21 і зняти статичну характеристику  $\alpha_{п} = f(\alpha_{д})$  при прямому та зворотному ходах. Тут  $\alpha_{п}$  і  $\alpha_{д}$  – відповідно кут повороту сельсина-приймача та сельсина-датчика.

6. Вимкнути живлення сельсинної системи.

7. Заживити диференціально-трансформаторні перетворювачі.

8. Перемикач 4 поставити в нижнє положення і зняти статичну характеристику  $U_{вих} = f(l)$  перетворювача K1 у всьому діапазоні переміщень  $l$  плунжера при прямому та зворотному ходах.

9. Перемикач 4 поставити у верхнє положення і зняти статичну характеристику  $U_{вих} = f(l)$  для другого перетворювача K2. При зніманні статичних характеристик перетворювачів слід пам'ятати, що фаза вихідного сигналу змінюється на протилежну при переході плунжера через нейтральне положення.

10. На одному графіку побудувати статичні характеристики обох перетворювачів та визначити область їх узгодження (збігу).

11. У знайдений області задати ряд переміщень плунжерів перетворювача K1 та скомпенсувати сигнал розбалансу переміщенням плунжера перетворювача K2.

12. Вимкнути живлення диференціально-трансформаторних перетворювачів і тумблером 14 заживити феродинамічний перетворювач та осцилограф.

13. Тумблер 8 поставити в нейтральне положення і, обертаючи ручку феродинамічного перетворювача, за осцилограмою (горизонтальна лінія) визначити точку шкали, що відповідає нейтральному положенню вимірювальної рамки.

14. Відносно початкової точки зняти статичну характеристику  $U_{вих} = f(\alpha)$  перетворювача, задаючи значення кута  $\alpha$  за оцифрованими

поділками. При цьому слід пам'ятати, що весь діапазон шкали датчика відповідає поворотів рамки в межах  $\pm 20^\circ$  відносно початкової точки.

15. Зняти статичні характеристики перетворювача при узгодженому і зустрічному з'єднанні обмотки зміщення та вимірювальної рамки. При цьому, спостерігаючи осцилограму, потрібно звернути увагу на зміну фази вихідного сигналу.

16. Вимкнути живлення феродинамічного перетворювача, осцилографа і стенда.

17. Редуктором байпасної панелі 16 подати тиск живлення на пневматичний перетворювач 15.

18. Обертанням шкали перетворювача задати ряд фіксованих точок  $i$ , записуючи відповідні їм значення вихідного тиску за шкалою манометра 6, зняти залежність  $P_{\text{вих}} = f(\alpha)$ .

19. Редуктором панелі 16 скинути до нуля тиск живлення.

### **Оформлення звіту**

За результатами вимірювань побудувати статичні характеристики перетворювачів.

Звіт повинен містити схеми досліджених перетворювачів, установки, результати експерименту, а також отримані статичні характеристики перетворювачів.

## Лабораторна робота 2

### ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТИСКУ ТИПУ «САФІР»\*

**Мета роботи.** Вивчити призначення, принцип дії, будову і роботу перетворювачів типу «Сафір» на прикладі перетворювача «Сафір - 22ДД», а також ознайомитися з конструкціями вибухозахищених вимірювальних перетворювачів «Сафір-22-Вн»: абсолютного тиску «Сафір-22ДА-Вн», надлишкового тиску «Сафір-22ДН-Вн», розрідження «Сафір-22ДВ-Вн», тиску та розрідження «Сафір-22ДНВ-Вн», різниці тисків «Сафір-22ДД-Вн», гідростатичного тиску «Сафір-22ДГ-Вн» (надалі – перетворювачі).

### Теоретичні відомості

Перетворювачі призначені для роботи в системах автоматичного контролю та керування технологічними процесами і забезпечують безперервне перетворення значення вимірюваного параметра – тиску (надлишкового, абсолютного, гідростатичного), розрідження, різниці тисків нейтральних і агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал.

Перетворювачі різниці тиску можуть використовуватися для перетворення значень рівня рідини, витрати рідини або газу, а перетворювачі гідростатичного тиску для перетворення значень рівня рідини в уніфікований струмовий сигнал.

Перетворювачі різниці тиску при роботі з блоком добування кореня можуть використовуватися для отримання лінійної залежності між вихідним сигналом і вимірюваною витратою.

Перетворювачі «Сафір» належать до виробів Державної системи

---

О\* Виробник – завод «Манометр», м. Харків.

приладів (ДСП). Вони витримують сейсмічні навантаження до 9 балів, мають вибухобезпечний рівень вибухозахисту, від якого залежить від моделі: «вибухонепроникна оболонка» (маркування за вибухозахисту IExdПВТ4/H<sub>2</sub>) або сполучення «спеціальний вид вибухозахисту» та «вибухонепроникна оболонка» (маркування за вибухозахистом IExsdПВТ4/H<sub>2</sub>), і можуть застосовуватися у вибухонебезпечних зонах приміщень і зовнішніх установок згідно з вимогами нормативно-технічних документів, які визначають застосування енергоустаткування у вибухонебезпечних середовищах. Позначення маркування за вибухозахистом у залежності від моделі наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Модель	Маркування за вибухозахистом
2020, 2030, 2040, 2050, 2051, 2060, 2061, 2150, 2160, 2161, 2170, 2171, 2350, 2351	IExsdПВТ4/H <sub>2</sub>
2110, 2120, 2130, 2140, 2210, 2220, 2230, 2240, 2310, 2320, 2330, 2340, 2410, 2420, 2430, 2434, 2440, 2444, 2450, 2460, 2464, 2520, 2530, 2540	IExsdПВТ4/H <sub>2</sub>

Перетворювачі призначені для роботи з вторинною показувальною та реєструвальною апаратурою, регуляторами та іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю і системами керування, що працюють від стандартного вхідного сигналу 0...5, 0...20 або 4...20 мА постійного струму. Межі допустимої основної похибки  $\delta_{\text{доп}} = \pm 0,25$  %.

За стійкістю до кліматичних впливів перетворювачі в залежності від виконання відповідають: виконанню УХЛ\* категорії для роботи при температурі від плюс 1 до плюс 50 °С (основний варіант виконання) або, на обґрунтовану вимогу споживача, від плюс 1 до плюс 80 °С; виконанню У\* категорії для роботи при температурі від мінус 30 до плюс 50 °С (основний варіант виконання) або, на обґрунтовану вимогу споживача, від мінус 50 до плюс 80 °С; виконанню Т категорії для роботи при температурі від мінус 10 до плюс 55 °С або від мінус 20 до плюс 80 °С (згідно з замовленням).

Верхні межі вимірювань у залежності від перетворюваних фізичних величин для конкретних моделей датчиків наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Вимірювана фізична величина	Позначення моделі	Верхня межа вимірювань (діапазон вимірювань) в одиницях вимірювань	
		кПа	МПа
Абсолютний тиск	2030; 2031	6,3*; 10; 16; 25; 40; 63; 100	-
	2040; 2041	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400*	-
	2050; 2051	63*; 100; 160; 250; 400; 630	1,0; 1,6*
Надлишковий тиск	2110	0,25*; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0	-
	2115	0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3	-
	2120	1,6*; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40*	-
	2130; 2131	6,3*; 10; 16; 25; 40; 63; 100	-
	2140; 2141	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400*	-

	2150; 2151	63*; 100; 160; 250; 400; 630	1,0; 1,6*
	2160; 2161	630*	1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10
	2170; 2171		6,3*; 10; 16; 25; 40; 63; 100
Розрідження	2210	-0,25*; -0,4; -0,63; -1,0; -1,6; -2,5; -4,0	-
	2215	-0,63; -1,0; -1,6; -2,5; -4,0; -6,3	-
	2220	-1,6*; -2,5; -4,0; -6,3; -10; -16; -25; -40*	-
	2230; 2231	-6,3*; -10; -16; -25; -40; -63; -100	-
	2240; 2241	-16*; -25; -40; -63; -100	-
Тиск – розрідження	2310	(від мінус 0,125 до 0,125 включ.)*; так само 0,200 « 0,200 «; « 0,315 « 0,315 «; « 0,500 « 0,500 «; « 0,800 « 0,800 «; « 1,250 « 1,250 «; « 2,000 « 2,000 «;	-
	2315	(від мінус 0,315 до 0,315 включ.)*; так само 0,500 « 0,500 «; « 0,800 « 0,800 «; « 1,250 « 1,250 «; « 2,000 « 2,000 «; « 3,150 « 3,150 «;	-
	2320	(від мінус 0,800 до 0,800 включ.)*; так само 1,250 « 1,250 «; « 2,000 « 2,000 «; « 3,150 « 3,150 «; « 5,000 « 5,000 «; « 8,000 « 8,000 «; « 12,500 « 12,500 «; ( « 20,000 « 20,000 « )*	-
	2330; 2331	(від мінус 3,150 до 3,150 включ.)*; так само 5,000 « 5,000 «; « 8,000 « 8,000 «; « 12,500 « 12,500 «; « 20,000 « 20,000 «; « 31,500 « 31,500 «; « 50,000 « 50,000 «;	-



	2340; 2341	(від мінус 12,500 до 12,500 включ.)*; так само 20,000 « 20,000 «; « 31,500 « 31,500 «; « 50,000 « 50,000 «; « 80,000 « 80,000 «; « 100,000 « 150,000 «; ( « 100,000 « 300,000 « )*	-
	2350; 2351	від мінус 100 до (60; 150; 300; 530; 900) включ.	(від мінус 0,1 до 1,5 включ.)*
Різниця тисків	2410	0,25*; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0	-
	2415	0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3	-
	2420; 2424	1,6*; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40*	-
	2430; 2434	6,3*; 10; 16; 25; 40; 63; 100	-
	2440; 2444	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400*	-
	2450; 2454	63*; 100; 160; 250; 400; 630	1,0
	2460	630*	1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10
	2464		1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16
Гідро- статичний тиск	2520	1,6*; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40*	-
	2530	6,3*; 10; 16; 25; 40; 63; 100	-
	2540	25; 40; 63; 100; 160; 250; 400*	-

Примітки:

1. Верхні межі вимірювань (діапазони вимірювань), позначені знаком \*, виготовлюються тільки за узгодженням з підприємством-виробником.
2. За замовленням споживачів датчики можуть виготовлятися з верхніми межами вимірювань (діапазонами вимірювань), виражених в інших одиницях вимірювання тиску ( $\text{kgf/m}^2$ ;  $\text{kgf/cm}^2$ ; bar; mbar).

Для датчиків різниці тисків граничний допустимий робочий надмірний тиск:

- 1,6; 2,5; 4 МПа для датчиків моделей 2410, 2415, 2520, 2530, 2540;
- 32; 40 МПа для датчиків моделей 2424, 2434, 2444, 2454, 2464;
- 4; 10; 16; 25 МПа для датчиків моделі 2420;
- 10; 16; 25 МПа для датчиків решти моделей.

## Будова і принцип дії перетворювача.

Перетворювач складається з вимірювального пристрою та електронного блока. Перетворювачі різних параметрів мають уніфікований електронний пристрій і відрізняються лише конструкцією вимірювального блока.

Вимірюваний параметр подається в камеру вимірювального блока і лінійно перетворюється в деформацію чутливого елемента і зміну електричного опору тензорезисторів тензоперетворювача, розміщеного у вимірювальному блоці.

Чутливим елементом тензоперетворювача є пластина з монокристалічного сапфіра з кремнієвими плівковими тензорезисторами (структура КНС), міцно з'єднана з металевою мембраною тензоперетворювача.

Тензорезисторний перетворювач (тензорезистор) являє собою провідник, що змінює свій опір при деформації стиснення/розтягнення. При деформації провідника змінюються його довжина  $l$  і площа поперечного перерізу  $Q$ . Деформація кристалічної решітки призводить до зміни питомого опору  $\rho$ . Ці зміни приводять до зміни опору  $R$  провідника

$$R = \rho l / Q. \quad (2.1)$$

Ця властивість більшою чи меншою мірою притаманна всім провідникам. У наш час знаходять застосування провідникові (фольгові, дровові та плівкові) і напівпровідникові тензорезистори. Найкращим вітчизняним матеріалом для виготовлення провідникових тензорезисторів, які використовуються при температурах нижче 180 °С, є константан. Залежність опору  $R$  від відносної деформації  $\varepsilon$  з достатньою точністю описується лінійним двочленом

$$R = R_0(l + S_T\varepsilon), \quad (2.2)$$

де  $R_0$  – опір тензорезистора без деформації;  $S_T$  – тензочутливість матеріалу.

Тензочутливість константану лежить в межах 2,0...2,1. Нелінійність функції перетворення не перевищує 1 %.

Фольгові тензорезистори являють собою тонку лакову плівку, на яку нанесено фольгову тензочутливу решітку з константану товщиною 4...12 мкм (рис. 2.1), покриту лаком. Фольгові тензорезистори нечутливі до поперечної деформації внаслідок малого опору перемичок, які з'єднують тензочутливі елементи.

Дротяний тензорезистор має аналогічну будову, але його решітка виконана з константанового дроту товщиною 20...50 мкм.

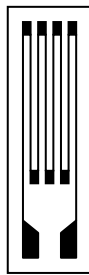


Рис. 2.1

Фольгові та дротові тензорезистори звичайно мають довжину 5...20 мм, ширину 3...10 мм. Їх номінальний опір складає 50, 100, 200, 400 і 800 Ом.

Напівпровідникові тензорезистори являють собою пластинку монокристала кремнію або германію довжиною 5...10 мм, завширшки 0,2...0,8 мм. До її торців приварені вивідні провідники. Номінальний опір лежить в межах 50...800 Ом. Властивості напівпровідникових і металевих перетворювачів сильно відрізняються. Чутливість напівпровідникових перетворювачів, яка в десятки разів перевищує чутливість дротових тензорезисторів, може бути як позитивною, так і негативною і лежить в

межах  $S_T = 55 \dots 130^*$ . Як опір, так і чутливість тензоперетворювачів сильно залежать від температури. До вад тензоперетворювачів слід віднести великий розкид їхніх параметрів і характеристик.

Тензорезистори застосовуються для перетворення деформації різних деталей у зміну електричного опору. Для цього вони приклеюються до цих деталей і зазнають однакових з ними деформацій.

### Схеми вмикання

Найчастіше тензорезисторні перетворювачі вмикаються у схему незрівноваженого моста (рис. 2.2, а).

Якщо опір навантаження  $R_H$  є достатньо великим (режим холостого ходу), то вихідна напруга моста

$$U_x = UR_1 / (R_1 + R_2) - UR_3 / (R_3 + R_4) = U[(R_1R_4 - R_2R_3) / (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)], \quad (2.4)$$

де  $U$  – напруга живлення;  $R_1, R_2$  – однакові тензорезистори.

При відсутності вимірюваної деформації тензорезистори  $R_1$  і  $R_2$  мають однаковий опір:  $R_{10} = R_{20} = R_0$ . Крім того, зазвичай вибирають і  $R_3 = R_4$ . Тоді у випадку, коли деформація тензорезистора відсутня ( $\varepsilon = 0$ ),  $U_x = 0$ . При деформації тензорезисторів, коли  $\varepsilon \neq 0$  і  $R_1 \neq R_2$ , вихідна напруга моста буде пропорційною різниці опорів тензорезисторів:

$$U_x = U(R_1 - R_2) / 2[(R_1 + R_2)]. \quad (2.5)$$

---

\* Як відомо, кристалам притаманні яскраво виражені анізотропні властивості: їхні властивості залежать від напрямку дії зусилля в кристалі. У напівпровідникових тензоперетворювачах це призводить до того, що коефіцієнт тензочутливості, наприклад, кремнієвих тензорезисторів може мінятися в межах від -100 до +200 – у залежності від того, вздовж якого кристалографічного напрямку прикладено зусилля.

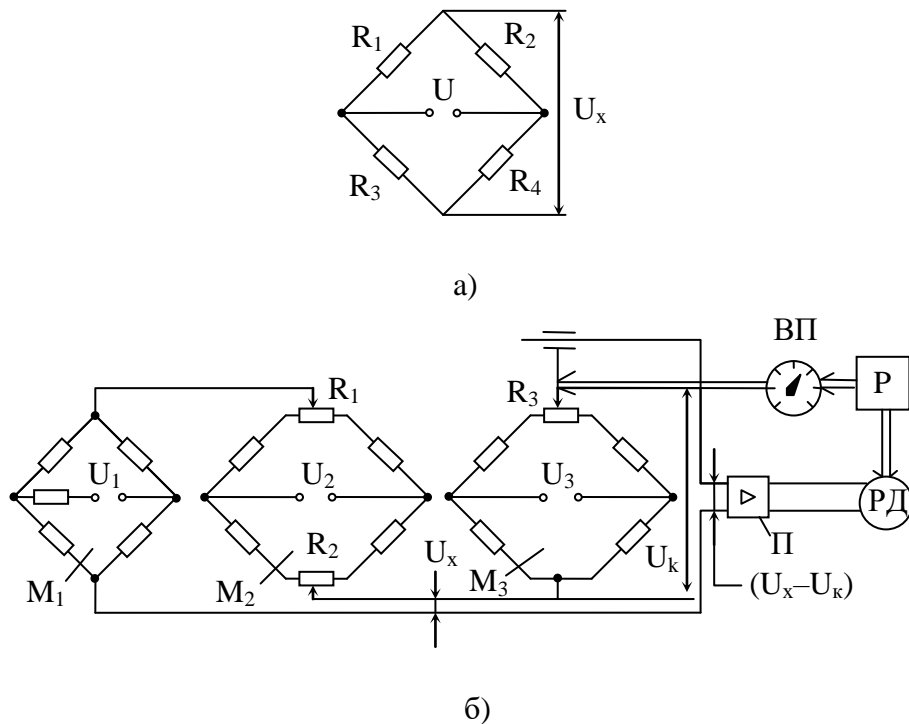


Рис. 2.2

Мостовий ланцюг є диференціальним, тому в ньому компенсуються адитивні похибки. З застосуванням мостові схеми тензорезисторні прилади будуються за диференціальною схемою першого або другого типу. При використанні диференціальної схеми першого типу, тобто при  $R_1 = R_2 + \Delta R$  і  $R_2 = R_0$ , вихідна напруга схеми і чутливість в режимі холостого ходу

$$U_x = U\Delta R / (4R_0), \quad S_x = U_x / (\Delta R / R_0) = U / 4. \quad (2.6)$$

При використанні диференціальної схеми другого типу, коли  $R_1 = R_2 + \Delta R$  і  $R_2 = R_0 - \Delta R$ , вихідна напруга і чутливість в режимі холостого ходу збільшуються вдвічі.

При  $R_H \neq \infty$  вихідна напруга і чутливість будуть меншими отриманих значень.

Вихідна напруга тензорезисторного моста звичайно не перевищує 10...20 мВ. Для подальшого перетворення таку напругу без посилення

важко використовувати. Тому в тензорезисторних приладах використовуються підсилювачі.

Якщо напруга живлення моста  $U$  не стабілізована, то при її варіаціях можлива мультиплікативна похибка. Для вилучення останньої використовується компенсаційний метод вимірювання вихідної напруги моста (рис. 2.2, б).

При нульовому значенні вимірюваної величини напруга тензорезисторного моста  $M_1$  компенсується за допомогою моста  $M_2$  – його підстроювальними резисторами  $R_1$  і  $R_2$ . Результуюча напруга  $U_x$  буде пропорційною вимірюваній величині.

Міст  $M_3$  служить для компенсації цієї напруги. Його вихідна напруга  $U_k$  увімкнена зустрічно напрузі  $U_x$ . Різниця напруг  $U_x - U_k$  підсилюється підсилювачем П і подається на реверсивний двигун РД. При цьому ротор двигуна, обертаючись, через редуктор Р переміщує повзунок реохорда  $R_3$  і покажчик вторинного приладу ВП відносно шкали. Переміщення повзунка реохорда  $R_3$  проводиться так, щоб зменшувалась різниця  $U - U_k$ . Ротор РД зупиняється, коли  $U - U_k = 0$ , при цьому повзунок реохорда займає положення, що відповідає значенню напруги  $U_x$ , а покажчик приладу – положення, що відповідає значенню вимірюваної величини.

Мости  $M_1, M_2, M_3$  живляться від одного джерела змінної напруги, від різних обмоток трансформатора. При нестабільності джерела живлення напруги  $U_1, U_2, U_3$  змінюються пропорціонально, тому рівність  $U_x = U_k$  не порушується. Не змінюються і покази вторинного приладу ВП. Основна похибка вимірювання становить  $\pm 0,5\%$  від нормувального значення, що дорівнює  $2\Delta R_{max}$  (тут  $\Delta R_{max}$  – максимальне значення приросту опору плеча моста).

## Похибки тензорезисторних перетворювачів

Тензорезистори можуть використовуватися або для вимірювання механічних напружень і деформацій, або для вимірювання інших механічних величин: сил, тиску, прискорень та ін., якщо деформація є проміжною величиною перетворення. У першому випадку для градування тензорезисторів з партії відбирають декілька штук і вони наклеюються на зразкову балку. За допомогою гир у балці створюють певні деформації  $\varepsilon$ . За значеннями деформацій та відповідних їм опорів розраховується чутливість наклеєних тензорезисторів

$$S = [(R - R_0) / R_0] / \varepsilon, \quad (2.7)$$

де  $R, R_0$  – опір тензорезистора під дією деформації  $\varepsilon$  і без неї.

Це значення приймається за номінальне для всієї партії. Чутливість інших тензорезисторів тієї ж партії може відрізнитися від номінальної на 2...10 %.

У другому випадку тензорезистори є постійними перетворювачами датчика. Відхилення їх чутливості від номінального значення враховується при градуванні приладу, і результуюча похибка приладу значно менша, ніж у першому випадку, і перебуває в межах 0,2...0,5 %.

Похибка може виникнути також унаслідок температурних змін опору перетворювача. При зміні температури він змінюється як унаслідок зміни питомого опору матеріалу, так і внаслідок зміни натягу через різні температурні коефіцієнти подовження тензорезистора  $\beta_T$  і деталі  $\beta_d$ , на яку він наклеєний. Повна зміна опору

$$\Delta R = R_0[\alpha + S(\beta_d - \beta_T)]\Delta T, \quad (2.8)$$

де  $R_0$  – опір тензорезистора при нормальній температурі;  $S$  – його чутливість;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору;  $\Delta T$  – зміна температури.

Гранично припустиме зміщення «нуля» (зміна вихідного сигналу при нульовому значенні тиску), виражене у відсотках від діапазону зміни вихідного сигналу, викликане зміною температури навколишнього повітря від границь діапазону  $(23 \pm 2)$  °С до будь-якої температури в робочому діапазоні температур на кожні 10 °С, визначається за формулою:

$$\Delta_{0t} = \pm \Delta'_{0t} (1 + 0,5P'_{max} / P_{max}), \quad (2.9)$$

де  $\Delta'_{0t}$  – значення, що вибирається з таблиці 2.3;  $P'_{max}$  – максимальна верхня межа вимірювань для даної моделі перетворювача;  $P_{max}$  – дійсне значення верхньої межі вимірювань.

Відносна зміна діапазону вихідного сигналу  $\Delta'_{dt}$ , обумовлена зміною температури навколишнього середовища від границь діапазону  $(23 \pm 2)$  °С до будь-якої температури в робочому діапазоні температур, на кожні 10 °С зміни температури не перевищує  $\pm \Delta'_{dt}$  (значення  $\Delta'_{dt}$  вибирається з таблиці 2.3).

Таблиця 2.3

Для датчиків з межею припустимої основної похибки, %	$\Delta'_{0t}$ , %	$\Delta'_{dt}$ , %
$\pm 0,2$	0,06	0,10
$\pm 0,25$	0,08	0,12
$\pm 0,5$	0,15	0,20

Зміна вихідного сигналу датчиків з діапазонами зміни вихідного сигналу 4...20 мА і 20...4 мА, викликана плавною зміною напруги живлення від 15 до 42 В, не виходить за межі  $\pm 0,005$  % від діапазону зміни вихідного сигналу на кожні 1 В зміни напруги живлення.

Зміна вихідного сигналу датчиків, викликана зміною опору навантаження, не виходить за межі  $\pm 0,01$  % від діапазону зміни вихідного сигналу на кожні 100 Ом зміни опору навантаження.



Температурний коефіцієнт опору константану можна змінювати, змінюючи його термообробку. Завдяки цьому тензорезистори можна виготовляти так, щоб при наклеюванні на певний матеріал його опір не залежав від температури. Такі тензорезистори називаються термокомпенсованими.

Температурна похибка провідникових тензорезисторів переважно має адитивий характер. Для її компенсації використовується диференціальна схема підключення тензорезисторів. При вимірюванні механічних напружень застосовують схему першого типу з двома або чотирма тензорезисторами. Робочі тензорезистори наклеюють на досліджувану деталь вздовж очікуваної деформації, а компенсаційні – уперек.

При дії сили  $F$  в ослаблених перерізах  $A-A$  і  $B-B$  виникають пружні деформації: в перерізі  $A-A$  – деформація розтягнення, в перерізі  $B-B$  стиснення. Деформація пружного елемента за допомогою тензорезисторів перетворюється в електричний сигнал. Тензорезистори  $R_1 - R_4$  підключаються до мостової схеми. Застосування чотирьох наклеєних на один пружний чутливий елемент тензорезисторів збільшує чутливість моста і зменшує температурну похибку приладу. Позитивною рисою паралелограмного пружного елемента є його добра захищеність від поперечних сил, позацентрово прикладених сил, згинальних і обертальних моментів.

При вимірюванні інших величин, наприклад сили, використовується диференціальна схема другого типу. При цьому на силовимірювальну пружину з різних сторін наклеюють два тензорезистора, так щоб при згинанні пружини під дією сили один з них розтягувався, інший – стискався. У обох випадках температурні умови і температурні зміни опорів тензорезисторів однакові. Тензорезистори підключаються в суміжні плечі моста, і це компенсує температурну похибку. Для збіль-

шення чутливості на силовимірювальну пружину можна наклеїти чотири тензорезистора, причому перетворювачі, що сприймають деформації одного знаку, повинні підключатися в протилежні плечі моста.

У тензорезисторних приладах високої точності, а також для отримання датчиків із уніфікованими характеристиками, щоб забезпечити їх взаємозамінність, застосовуються мостові схеми з нормувальними резисторами (рис. 2.3). На приведеній схемі  $R_1 \dots R_4$  – тензорезистори;  $R_6$  і  $R'_6$  – резистори, призначені для балансування моста;  $R_{T1}$  і  $R'_{T1}$  – термозалежні резистори для компенсації адитивної температурної похибки;  $R_q$  і  $R'_q$  – резистори, змінюючи опори яких, можна регулювати чутливість датчика;  $R_{T2}$  і  $R'_{T2}$  – термозалежні резистори, за допомогою яких компенсується температурна зміна чутливості;  $R_{вх}$  і  $R'_{вх}$  – резистори, які служать для регулювання вхідного і вихідного опорів моста.

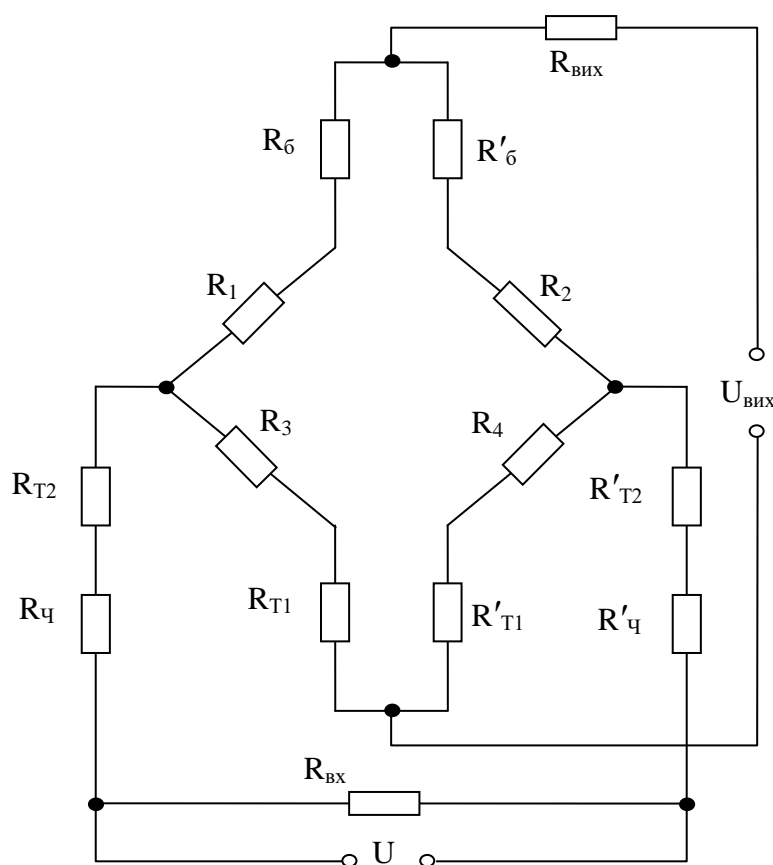


Рис. 2.3 Схема тензорезисторного перетворювача з нормувальними резисторами

## Будова тензорезисторного динамометричного перетворювача

Сила впливає на пружний елемент, створюючи в ньому механічні

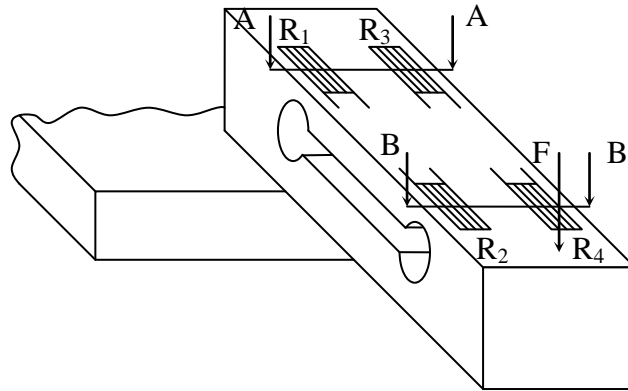


Рис. 2.4. Паралелограмний пружний модуль

напруження та деформує його.

Останнім часом в датчиках сили для вагомірної техніки широко використовуються паралелограмні пружні елементи (рис. 2.4).

При дії сили  $F$  в ослаблених перерізах  $A-A$  і  $B-B$  виникають пружні деформації: в перерізі  $A-A$  – деформація розтягнення, в перерізі  $B-B$  стиснення. Деформація пружного елемента за допомогою тензорезисторів перетворюється в електричний сигнал. Тензорезистори  $R_1 - R_4$  підключаються до мостової схеми. Застосування чотирьох наклеєних на один пружний чутливий елемент тензорезисторів збільшує чутливість моста і зменшує температурну похибку приладу. Позитивною рисою паралелограмного пружного елемента є його добра захищеність від поперечних сил, позацентрово прикладених сил, згинальних і обертальних моментів.

### Будова та робота складових частин

Схема перетворювачів Сафір-22ДН-Вн моделей 2150, 2160, 2170 та Сафір-22ДНВ-Вн моделі 2350 представлена на рис. 2.5.

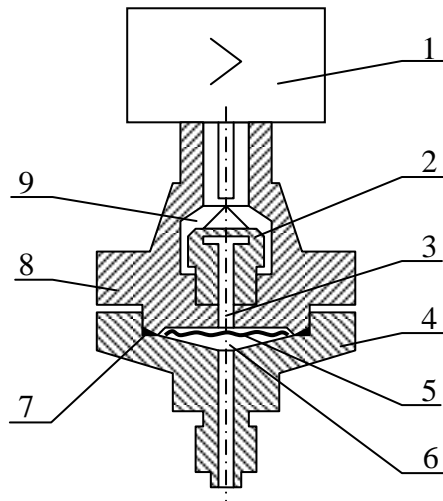


Рис. 2.5. Схема перетворювачів Сафір-22ДН-Вн моделей 2150, 2160, 2170 та Сафір-22ДНВ моделі 2350

Мембранний тензоперетворювач 2 розміщений всередині основи 8. Внутрішня порожнина 3 тензоперетворювача заповнена кремнійорганічною рідиною і відділена від вимірюваного середовища металевією гофрованою мембраною 5, привареною по периметру до основи 8. Порожнина 9 сполучена з навколишньою атмосферою. Вимірюваний тиск подається в камеру 6 фланця 4, ущільненого прокладкою 7.

Вимірюваний тиск діє на мембрану 5 і – через рідину – на мембрану тензоперетворювача, спричинюючи її деформування та зміну опору тензорезисторів. Електричний сигнал від тензоперетворювача через провідники передається з вимірювального блоку в електронний пристрій 1.

Перетворювачі Сафір-22ДА-Вн моделей 2050 і 2060 відрізняються від описаних вище тим, що в них порожнина 9 вакуумована та герметизована.

Схема перетворювачів Сафір-22ДД-Вн моделей 2410, 2420, 2430, 2434, 2440, 2444 представлена на рис. 2.6. Тензоперетворювач 4 мембранно–важільного типу розміщений всередині основи 9 у замкненій порожнині 11, заповненій кремнієм-органічною рідиною і відділений від вимірюваного середовища, що вимірюється металевими гофрованими мембранами 8.

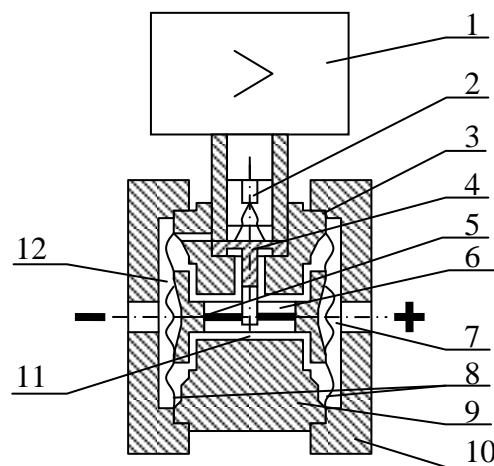


Рис. 2.6. Схема перетворювачів Сафір-22ДД-Вн моделей 2410, 2420, 2430, 2434, 2440, 2444

Мембрани 8 приварені по зовнішньому контуру до основи 9 і сполучені між собою центральним штоком 6, зв'язаним із кінцем важеля тензоперетворювача 4 тягою 5. Фланці 10 ущільнені прокладками 3. Вплив вимірюваної різниці тиску (більший тиск подається в камеру 7) на мембрани 8 викликає їх деформацію, а через згадані кінематичні елементи – деформацію мембрани тензоперетворювача 4 і відповідно зміну опору його тензорезисторів.

Електричний сигнал від тензоперетворювача передається в електронний пристрій 1 провідниками через гермовивід 2.

Вимірювальний блок витримує без руйнування вплив одностороннього перевантаження робочим надмірним тиском. Це забезпечується тим, що при такому перевантаженні одна з мембран 8 лягає на відповідно профільовану поверхню основи 9, і цим припиняється її подальше деформування.

Перетворювачі Сафір-22ДН-Вн моделей 2110, 2120, 2130, 2140 і Сафір-22ДНВ-Вн моделей 2310, 2320, 2330, 2340 відрізняються від перетворювачів Сафір-22ДД-Вн тим, що в них камера 12 сполучена з атмосферою.

Перетворювачі Сафір-22ДВ-Вн відрізняються тим, що вимірюваний тиск подається в камеру 12, а камера 7 сполучена з атмосферою.

Перетворювачі Сафір-22ДГ-Вн моделей 2520, 2530, 2540 відрізняються від перетворювачів Сафір-22ДД-Вн наявністю фланця з «відкритою» мембраною для монтажу безпосередньо на технологічному апараті.

Для увімкнення в роботу перетворювача Сафір-22ДД-Вн вентильним блоком схема якого наведена на рис. 2.7, треба послідовно виконати такі операції:

1. Закрити обидва вентиля, для чого повернути їх рукоятки за годинниковою стрілкою (дивитися з боку відповідних рукояток) до упору (положення А).

2. Зрівняти тиск у плюсовій та мінусовій камерах, для чого плавно повернути рукоятку вентиля плюсової камери на 1,5 – 2 оберти проти годинникової стрілки. Після цього перевірити і при необхідності – відкоригувати вихідний сигнал.

3. Повернути рукоятку вентиля плюсової камери проти годинникової стрілки до упору (положення В).

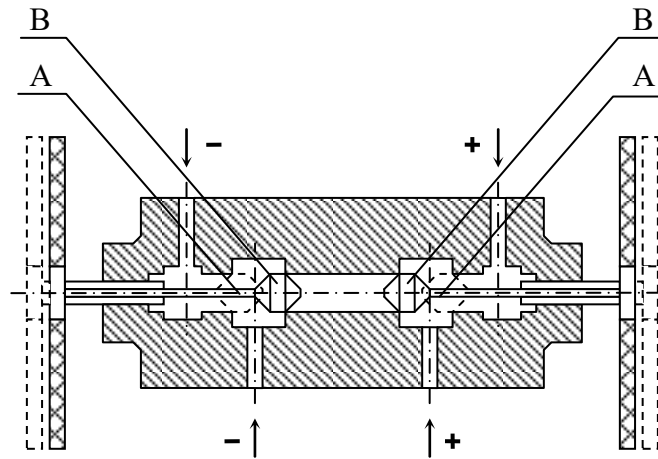


Рис. 2.7. Вентильний блок

4. Повернути рукоятку вентиля мінусової камери проти годинникової стрілки до упору (положення *B*).

При заповнюванні вимірювальних камер перетворювача вимірюваним середовищем необхідно стежити за тим, щоб у камерах перетворювача не залишалося пробок газу (при вимірюванні різниці тисків рідинних середовищ) чи рідини (при вимірюванні різниці тисків газу).

Для продування камер перетворювача та зливання конденсату фланці вимірювального блоку оснащенні спеціальними пробками.

Зміна опору тензоперетворювачів вимірювального пристрою (датчика) перетворюється в уніфікований струмовий сигнал електронним блоком, структурна схема якого наведена на рис. 2.8.

При вмиканні живлення датчика, джерело струму живлення тензоперетворювача ДСЖТ заживлює струмом тензоперетворювач ТП, розміщений у вимірювальному блоці ВБ. Вихідна напруга з ТП надходить на вхід вимірювального підсилювача ВП, а температурний сигнал з ТП – на вхід вимірювального підсилювача температурного сигналу ВПТ, з виходу якого через інвертор температурного сигналу ІТ надходить на входи те-

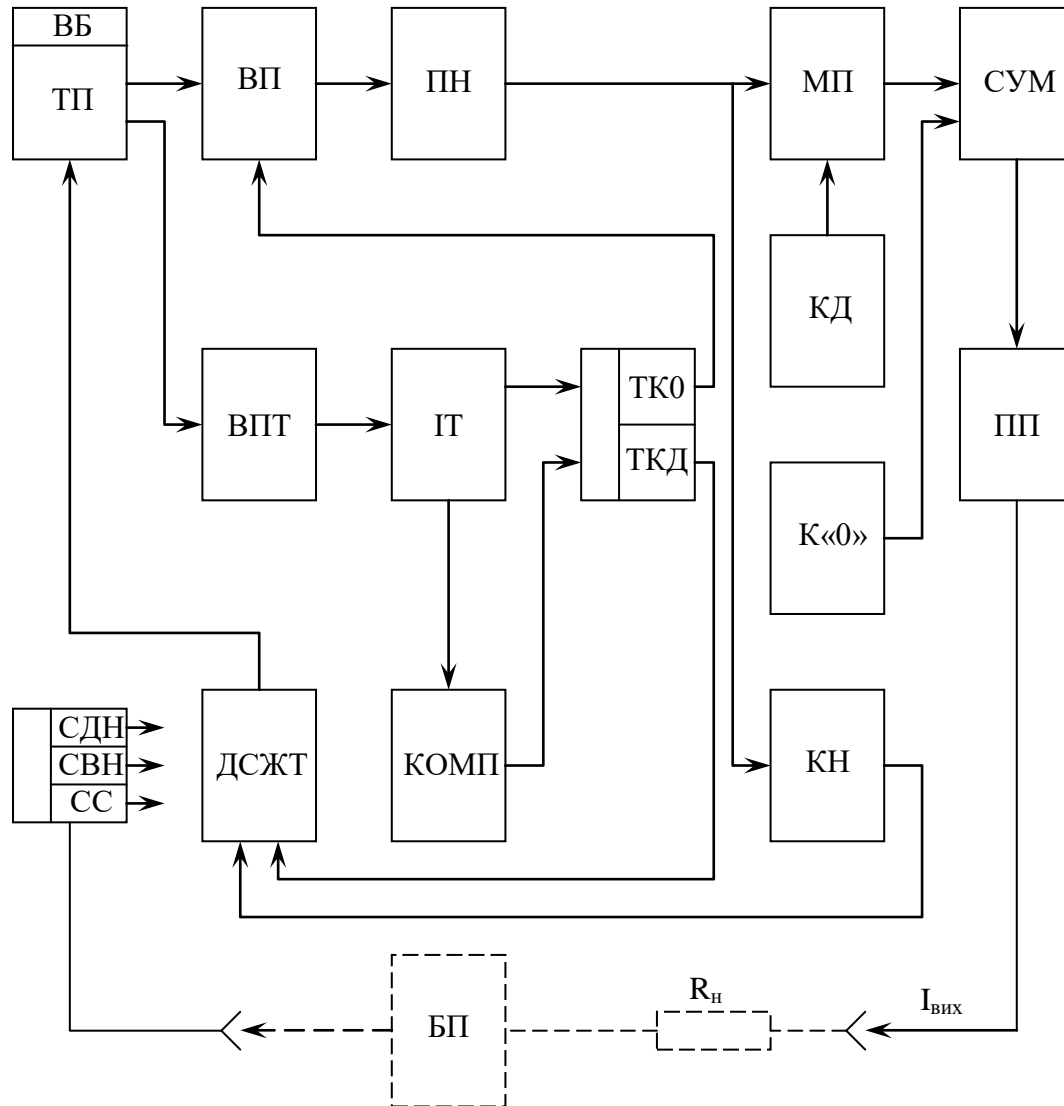


Рис. 2.8. Блок-схема електронного блока

температурного коректора «нуля» ТК0, температурного коректора «діапазону» ТКД та компаратора (КОМП). Після порівняння з сигналом КОМП коригувальна напруга з виходів ТК0 і ТКД надходить у ВП і перший вхід ДСЖТ відповідно.

З виходу ВП вимірювальний сигнал через нормувальний підсилювач ПН надходить на входи масштабного підсилювача МП і коректора нелінійності КН. З вихода КН сигнал надходить на другий вхід ДСЖТ, з вихода якого надходить у ТП.



Коректор діапазону КД задає коефіцієнт перетворення МП, а коректор «нуля» К0 – зміщення нуля на виході датчика.

Сигнал з виходу МП надходить у суматор СУМ і далі в підсилювач потужності ПП, який здійснює перетворення напруги у вихідний струм.

Стабілізацію напруги живлення виконують стабілізатор додатньої напруги СДН і стабілізатор від'ємної напруги СВН, а стабілізацію струму живлення – стабілізатор струму живлення СС.

### **Опис лабораторної установки**

Установка для дослідження перетворювачів «Сафір-22ДД» та індикатора постійного тиску ІПДЦ (рис. 2.9) складається з перетворювача «Сафір-22ДД» (поз. 1); індикатора постійного тиску ІПДЦ (поз. 2); блока живлення перетворювачів 22БП-36 (поз. 3); цифрового вольтметра Щ304-1 (поз. 4); лампового високовольтного вольтметра В7-26 (поз. 5); тумблера ввімкнення електричного живлення Т<sub>1</sub> (поз. 6); перемикача різновиду роботи Т2 (поз. 7); байпасної панелі пневможивлення БПДК-А (поз. 8); задатчика стабілізованного тиску П23Д.4 (поз. 9); дросельного дільника тиску на змінних дроселях П2Д.2М (поз. 10); U-подібного рідинного дифманометра ДТ-5 (поз. 11); неоновому індикатору живлення стенду 12; дільника живлення на опорах R<sub>1</sub> і R<sub>2</sub> (поз. 13).

### **Робота установки**

При ввімкненні тумблера Т<sub>1</sub> (поз. 6) напруга живлення 220 В надходить на вхід блока живлення 22БП-36 (поз. 3), індикатора постійного тиску ІПДЦ (поз. 2), лампового вольтметра В7-26 (поз. 5), цифрового вольтметра Щ304-1 (поз. 4) та неоновому індикатору (поз. 12), який сигналізує про подачу на стенд напруги живлення. Блок живлення 22БП-36 заживлює також перетворювач «Сафір-22ДД» (поз. 1).

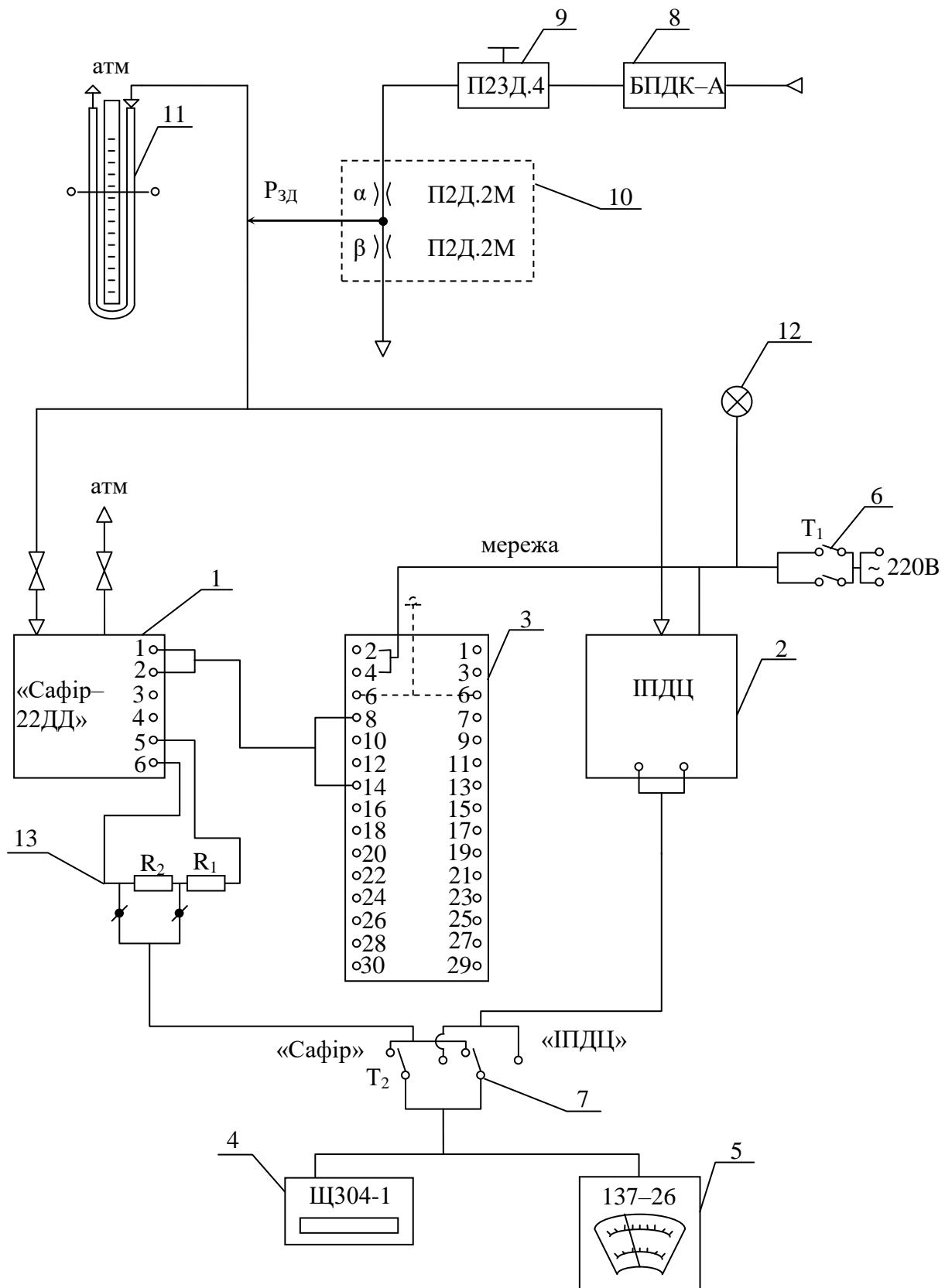


Рис. 2.9. Схема лабораторної установки

Від лінії стисненого повітря тиск живлення надходить на вхід байпасної панелі БПДК-А (поз. 8), де редукується за допомогою вбудованого в панель редуктора до тиску  $1,4 \pm 0,14$  кгс/см<sup>2</sup>.

Далі тиск живлення поступає на вхід точного задатчика тиску П23Д.4 (поз. 4), з виходу якого подається на вхід дросельного діляника 10. На ділянику у відповідності з встановленими коефіцієнтами провідностей дроселів  $\alpha$  і  $\beta$  тиск ділиться у потрібному співвідношенні, а відтак у вигляді пневматичного сигналу, що імітує вимірюваний параметр, надходить на вхід рідинного дифманометра (поз. 11), перетворювача «Сафір-22ДД» (поз. 1) та індикатора постійного тиску ІПДЦ (поз. 2). Покази рідинного манометра ДТ-5 використовуються в якості зразкових.

На перетворювачі «Сафір-22ДД» вимірюваний тиск діапазону 0...400 мм. вод. ст. перетворюється в стандартний струмовий сигнал 0...5 мА, а на індикаторі ІПДЦ вхідний сигнал діапазону 0...600 мм вод. ст. перетворюється в сигнал напруги 0...1 В. Оскільки «Сафір-22ДД» має клас точності 0,25, а ІПДЦ – 0,15, то для вимірювання вихідних сигналів цих перетворювачів використовується цифровий вольтметр Щ304-1, який сприймає вхідний сигнал в діапазоні 0...1 В. Для того, щоб цим вольтметром можна було вимірювати вихідний сигнал перетворювача «Сафір-22ДД», його вихідний сигнал діапазону 0...5 мА спочатку надходить на вхід діляника напруги  $R_1R_2$  (поз. 13), де на опорах  $R_1 = 5,6$  кОм і  $R_2 = 240$  кОм перетворюється в сигнал напруги 0...1 В. Далі цей сигнал надходить на тумблер  $T_2$  (поз. 7), за допомогою якого здійснюється почергова комутація на вхід вольтметра Щ304-1 (поз. 4) вихідних сигналів перетворювача «Сафір-22ДД» та індикатора ІПДЦ. Паралельно з вольтметром Щ304-1 до виходу тумблера  $T_2$  (поз. 7) підключено ламповий високоомний вольтметр В7-26 (поз. 5), що дозволяє порівнювати аналоговий та цифровий сигнали вимірюваної інформації.

## Порядок виконання роботи

1. За допомогою тумблера  $T_1$  заживити стенд напругою живлення 220 В. Про подачу напруги буде сигналізувати світіння неоновому індикатора 12.

2. Подати тиск пневматичного живлення  $1,4 \text{ кг/см}^2$  за допомогою байпасної панелі керування БПДК-А. Підстроювання тиску живлення здійснюється за допомогою редуктора та манометра, розміщених на цій панелі.

3. За допомогою регулятора пневматичного дроселя  $\alpha$  (поз. 10) (маленька біла ручка на стенді) і рідинного дифманометра 11 сформувати пневматичний сигнал вимірювальної інформації на входах перетворювача «Сафір-22ДД» та індикатора ПДЦ.

Вхідний сигнал перетворювача «Сафір-22ДД» повинен бути в межах  $0 \dots 400$  мм вод. ст., а вхідний сигнал індикатора ПДЦ –  $0 \dots 600$  мм вод. ст. Якщо обертанням регулятора дроселя  $\alpha$  встановити дані діапазони вхідних сигналів не вдається, то необхідно підстроїти тиск живлення дросельного діляника (поз.10) за допомогою точного задатчика тиску П23Д.4 (поз.9) (велика біла ручка на стенді).

4. За допомогою тумблера  $T_2$  здійснити почергову комутацію вихідних сигналів перетворювача «Сафір-22ДД» та індикатора ПДЦ на цифровий та ламповий вольтметри.

5. Підключивши за допомогою тумблера  $T_2$  (поз. 7) входи цифрового Щ304-1 і лампового В7-26 вольтметрів до виходу перетворювача «Сафір-22ДД», подати на вхід цього перетворювача за допомогою регулятора дроселя  $\alpha$  (маленька біла ручка на стенді) 5-6 значень пневматичного вимірювального сигналу з діапазону  $0 \dots 400$  мм вод. ст. при прямому і зворотному ходах.

6. Зняти значення вихідного сигналу змінної напруги за шкалами цифрового та лампового вольтметрів.

7. Результати експериментів занести до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

$P_{\text{вх.}}$ ММ ВОД. СТ.								
$U_{\text{цифр.}}$								
$U_{\text{ламп.}}$								

8. Побудувати графіки залежності вихідної напруги від вхідного тиску для цифрового і лампового вольтметрів.

9. Визначити варіацію показань  $V_U$  та зведену варіацію  $W_U$  цифрового та лампового вольтметрів і порівняти їх:

$$V_{U_i} = U_{\text{зх}i} - U_{\text{пх}i} ; \quad (2.10)$$

$$W_U = (V_{U_{\text{max}}} / D)100, \quad (2.11)$$

де  $D = U_{\text{к}} - U_{\text{н}}$  – діапазон вимірювання.

### Оформлення звіту

Звіт має містити короткі відомості про будову та роботу перетворювачів типу «Сафір», їх схеми та схему лабораторної установки, таблицю результатів вимірювань, графіки статичних характеристик перетворювача «Сафір-22ДД», а також висновки щодо відповідності отриманих результатів класам точності випробуваних засобів вимірювання.

## ДОДАТОК А

### Структура умовного позначення перетворювачів типу «Сафір»

«Сафір»- Ех/Вн — 2420 — 01 — У2\*(-30+50) — 0,25 — 6,3 кПа — 10 — 42 — Н1

1. Виконання за вибухозахистом \_\_\_\_\_  
представляється для вибухозахищеного виконання:

Ех – «Іскробезпечне електричне коло»,

Вн – «Вибухонепроникна оболонка»

2. Модель за таблицею 2.2 \_\_\_\_\_

3. Позначення виконання за матеріалами (додаток Б) \_\_\_\_\_

4. Позначення виду кліматичного виконання та діапазон температур \_\_\_\_\_

5. Межа допустимої основної похибки \_\_\_\_\_

6. Верхня межа вимірювань із зазначенням одиниці вимірювань за таблицею 2.2 \_\_\_\_\_

7. Гранично припустимий робочий надлишковий тиск в МПа (див. після табл. 2.2) \_\_\_\_\_

8. Код вихідного сигналу: 05-(0...5) мА; 50-(5...0) мА; 42-(4...20) мА; 24-(20...4) мА \_\_\_\_\_

9. Код комплекту монтажних частин (представляється тільки при замовленні комплекту) \_\_\_\_\_

## ДОДАТОК Б

### Позначення виконання датчиків тиску «Сафір» за матеріалами, що контактують з вимірюваним середовищем

Позначення виконання за матеріалами	Матеріал мембран	Фланці датчика, пробки для дренажу та продувки, ніпель, монтажний фланець, корпус блока клапанного	
		Матеріал	маркування деталей
01	Сплав 36НХТЮ	Вуглецева сталь з покриттям	80
02	Сплав 36НХТЮ	Сталь 12Х18Н10Т	15
05	Стрічка Б5МТЦ (ВУС-6)	Сталь 12Х18Н10Т	15
07	Тантал	Сталь 12Х18Н10Т	15
09	Титан ВТ1-0	Титановий сплав	62
11	Титановий сплав	Сталь 12Х18Н10Т	15
12	Титановий сплав	Титановий сплав	62

**Примітки:**

1. Матеріал ущільнювальних кілець – фторкаучук чи спеціальні марки гуми.
2. Матеріал ущільнювальних металевих прокладок – мідь або нержавіючі сплави.
3. Сталь 12Х18Н10Т; сплави 06НХ28МДТ, ХН65МВ, Н70МФВ – за ГОСТ 5632-72; сплав 36НХТЮ – за ГОСТ 10994-74; титан та титанові сплави – за ГОСТ 19807-91; сталь вуглецева – за ГОСТ 1050-88; ВУС-6 – за ТУ1-92-179-91; мідь – за ГОСТ 859-78; фторкаучук – за ТУ 6-05-1652-88.
4. За вимогою замовинка при замовленні датчиків виконання за матеріалами 05, 07 фланці, пробки для дренажу та продування, ніпель, монтажний фланець, корпус клапанного блока можуть виготовлюватися зі сплавів 06ХН28МДТ, ХН65МВ і Н70МФВ з маркуванням деталей 28, 30 і 32 відповідно. При цьому виконанні позначення датчика за матеріалами визначається матеріалом мембрани.

## **Лабораторна робота 3**

### **КОНЦЕНТРАТОМІРИ**

**Мета роботи.** Вивчити побудову та принцип дії концентратомірів КНЧ та КСО; зробити перевірку концентратомірів КНЧ1-М та КСО-4.

#### **Теоретичні відомості**

##### **Концентратомір кондуктометричний КНЧ1-М**

КНЧ1-М – промисловий автоматичний стаціонарний прилад неперервної дії, призначений для вимірювання та реєстрації концентрації чи питомої електропровідності, приведені до температури градування, агресивних, плівкоутворювальних і забруднених розчинів, електропровідність яких має однозначну залежність від концентрації та перебуває у межах 0,01...1 Ом/см.

Прилад забезпечує вимірювання питомої електропровідності без температурної корекції з точністю не менш 1 % від максимального значення шкали.

Температура аналізованого розчину складає – 10 ... + 120 °С. Припустиме відхилення температури розчину не повинне перевищувати  $\pm 15$  °С від робочої точки.

В залежності від варіанту встановлення датчика на трубопроводах чи ємностях відкритого типу концентратомір має проточне чи занурене виконання з довжиною штанги 1,5 або 2,5 м.

##### **Будова та принцип дії приладу**

Принцип дії концентратомірів КНЧ базується на індукційному методі вимірювання опору рідинного витка, який утворюється при зануренні чутливого елемента концентратоміра в контрольоване середовище. Вимірювання здійснюється компенсаційним методом.



Принципова електрична схема приладу показана на рис. 3.1. Чутливий елемент датчика приладу складається з живильного трансформатора Тр1 та вимірювального трансформатора Тр2. На осерді Тр1 розташована обмотка живлення, а на осерді Тр2 – вимірювальна обмотка.

Коло, що складається з обмоток 3, 4, 9, 10 та резистора  $R_5$  (магазин опорів типу МСР-63), використовується для імітації рідинного витка при налагоджуванні та перевірці приладу.

Коло, що складається з обмоток 5, 6, 11, 12 та резистора  $R_6$ , призначене для підстроювання температурної характеристики системи рідинного витка. Коло основної та температурної компенсації містить вторинну обмотку диференціально-трансформаторної котушки  $L_t$ , з резисторами  $R_1 - R_4$ ,  $R_{11}$ , які шунтують її, обмотки датчика VII, VIII, резистори  $R_8 - R_{10}$ ,  $R_{12}$  та терморезистор  $R_7$ .

Коло, що складається з обмотки IX та резисторів  $R_{13}$ ,  $R_{14}$ , необхідне для коригування температурного коефіцієнта  $\alpha$  за діапазоном вимірювання.

Прилад працює так. При зануренні чутливого елемента датчика в контрольоване середовище з концентрацією "V" шкали при градуювальній температурі магнітні потоки  $\Phi_1$  та  $\Phi_2$  в осерді вимірювального трансформатора, викликані струмом рідинного витка та потоком кола підстроювання температурної характеристики системи рідинного витка, скомпенсовані магнітним потоком  $\Phi_3$ , викликаним струмом розбалансу системи основної та температурної компенсації.

Плунжер диференційно-трансформаторної котушки займає нейтральне положення, струм у колі вторинної обмотки котушки дорівнює нулю і система компенсації вторинного приладу перебуває у спокої.

При зміні електропровідності контрольованого розчину змінюється опір рідинного витка, що призводить до зміни магнітного потоку  $\Phi_1$ . Нова явлена різниця магнітних потоків  $\Delta\Phi$  утворює сигнал на обмотці X. За допомогою підсилювача сигнал підсилюється. Система компенсації вторинного приладу виходить зі стану спокою, плунжер диференціально-трансформаторної котушки зміщується з нейтрального положення, і у колі компенсації протікає струм, який зумовлює появу магнітного потоку  $\Delta'\Phi$ , що за величиною дорівнює  $\Delta\Phi$ , але протилежний за знаком.

В результаті система відпрацювання вторинного приладу змістить покажчик відлікового пристрою, який показує вимірювану величину в одиницях шкали приладу.

При відхиленні температури контрольованого середовища від температури градування, змінюються опори рідинного витка та опір терморезистора  $R_7$ . Система температурної компенсації налагоджена таким чином, що магнітний потік в осерді вимірювального трансформатора, викликаний приростом струму рідинного витка за рахунок зміни його температури, компенсується додатковим магнітним потоком, викликаним зміною струму в діагоналі (коло  $R_8, R_{10}, R_{12}$ ) системи основної та температурної компенсації за рахунок зміни опору терморезистора  $R_7$ .

### **Методика перевірки концентратоміра КНЧ1–М**

Методика перевірки концентратоміра полягає в тому, що замість резистора  $R_5$  та терморезистора  $R_7$  підключають магазини опорів типу МСР–63 і встановлюють на них відповідні значення опорів при градувальній температурі для "∇" шкали (табл. 3.1 та 3.2).

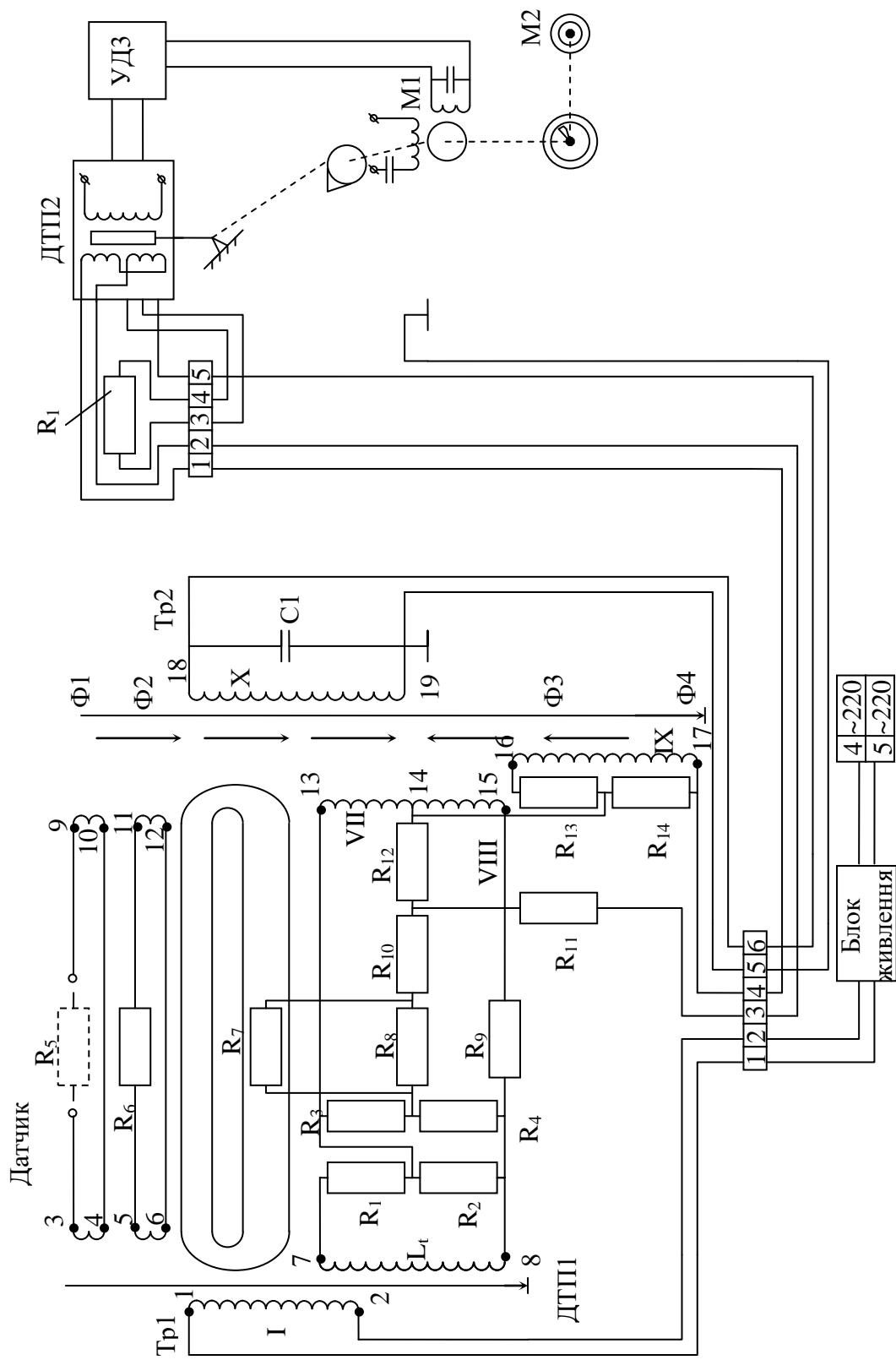


Рис. 3.1

Порівнюючи табличні значення концентрації і показання вторинного приладу, встановлюють похибку показів концентратоміра.

Таблиця 3.1

$t, ^\circ\text{C}$	+ 40	+ 50	+ 70
$R7, \text{Ом}$	122,99	79,46	52,79

Таблиця 3.2

Поділка шкали, %	Діапазон вимірювання		Опір рідинного витка, Ом, при температурі середовища, $^\circ\text{C}$		
	% $\text{H}_2\text{SO}_4$	См/см	+40	+55	+70
0	<b>72,0</b>	0,407	22,95	17,47	<b>13,80</b>
20	<b>73,2</b>	0,384	24,59	18,49	<b>14,54</b>
50	<b>75,0</b>	0,351	27,44	20,30	<b>15,18</b>
80	<b>76,8</b>	0,323	30,39	22,05	<b>16,91</b>
100	<b>78,0</b>	0,308	32,28	23,15	<b>17,57</b>

### Концентратомір КСО–4

Концентратомір типу КСО–4 призначений для безперервного вимірювання та автоматичного регулювання концентрації сірчаної кислоти чи олеуму на сірчаноокислотних заводах.

Принцип дії концентратоміра базується на використанні залежності електропровідності сірчаної кислоти чи олеуму від концентрації. Вимірювання проводиться за схемою зрівноваженого моста змінного струму.

Принципова електрична схема приладу зображена на рис. 3.2. Сірчана кислота чи олеум, концентрація яких вимірюється, безперервно проходять крізь проточний чи занурений датчик, в якому змонтовані два

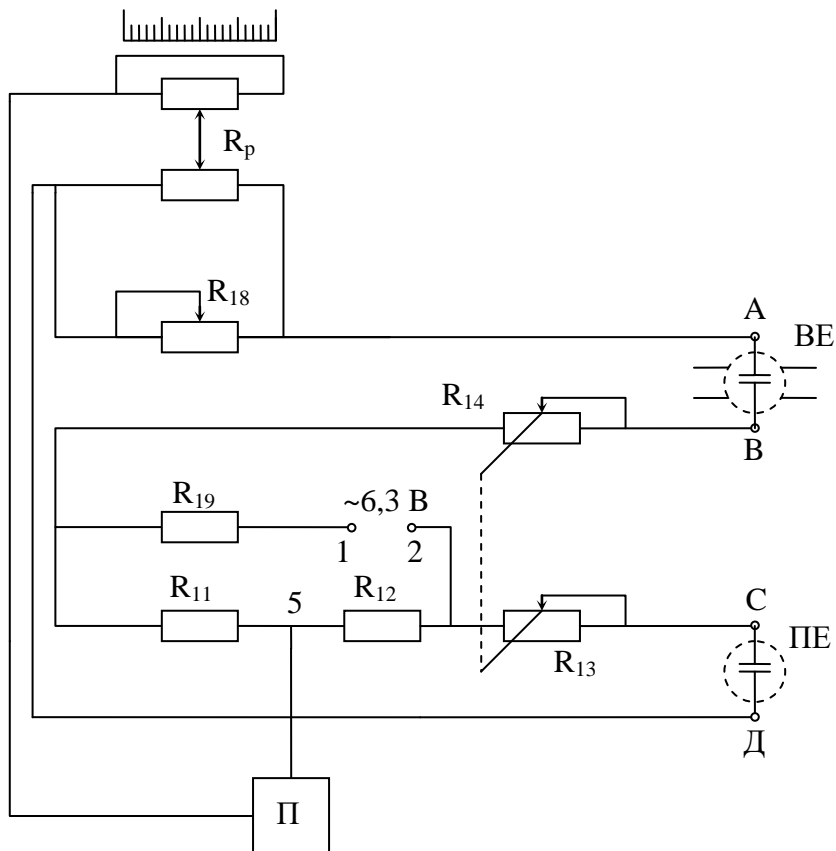


Рис. 3.2

вимірювальні електроди (ВЕ) і порівнювальний електродний елемент (ПЕ), який служить для усунення впливу зміни температури кислоти та олеума на покази приладу.

Елементи (ВЕ та ПЕ) датчика, резистори  $R_{11} - R_{14}$  та реохорд  $R_p$ , встановлені у вимірювальній схемі вторинного приладу, утворюють мостову схему, що живиться змінною напругою 6,3 В. В діагональ вимірювального моста увімкнено електронний підсилювач П, вихід якого подається на обмотку керування реверсивного двигуна РД-09.

При зміні концентрації  $H_2SO_4$  змінюється опір вимірювальних електродів ВЕ і порушується рівновага вимірювального моста. Напруга розбалансу моста підсилюється підсилювачем і реверсивний двигун переміщує повзунок реохорда  $R_p$  до настання рівноваги вимірювального

моста. Одночасно двигун переміщує стрілку відлікового пристрою та перо самописця. В момент рівноваги вимірювальної схеми кожному значенню опору вимірювального елемента відповідає певне положення стрілки та пера відносно шкали електронного моста.

### Методика перевірки концентратоміра КСО–4

Методика перевірки концентратоміра полягає у тому, що замість вимірювальних електродів ВЕ та порівнювального елемента ПЕ до вторинного приладу підключають магазини опорів типу МСР-63 і на них виставляють відповідні значення опорів (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Вміст H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> чи SO <sub>3</sub> , %	Опір елементів, Ом	
	Вимірювального	порівнювального
97	158,6	226,1
98	191,1	226,1
99	307,7	226,1

### Опис установки

Схема установки для перевірки концентратомірів КНЧ1-М та КСО-4 наведена на рис. 3.3. Установка включає: 1 – концентратомір КСО-4, 2 – його датчик, 3 – концентратомір КНЧ1-М, 4 – його датчик, 5 – магазин опорів МСР-63, 6 – блок живлення концентратоміра КНЧ1-М, 7 – сигнальну лампочку, 8 – імітатор термоопорів, 9, 10, 11 – тумблери підключення магазину опорів та датчиків, 12 – тумблер увімкнення електроживлення.

В установці замість магазину опорів, який імітує опір порівнювального елемента (для КСО-4) та опір терморезистора  $R_7$  (для КНЧ1-М), підключено блок каліброваних опорів 8, що відповідають

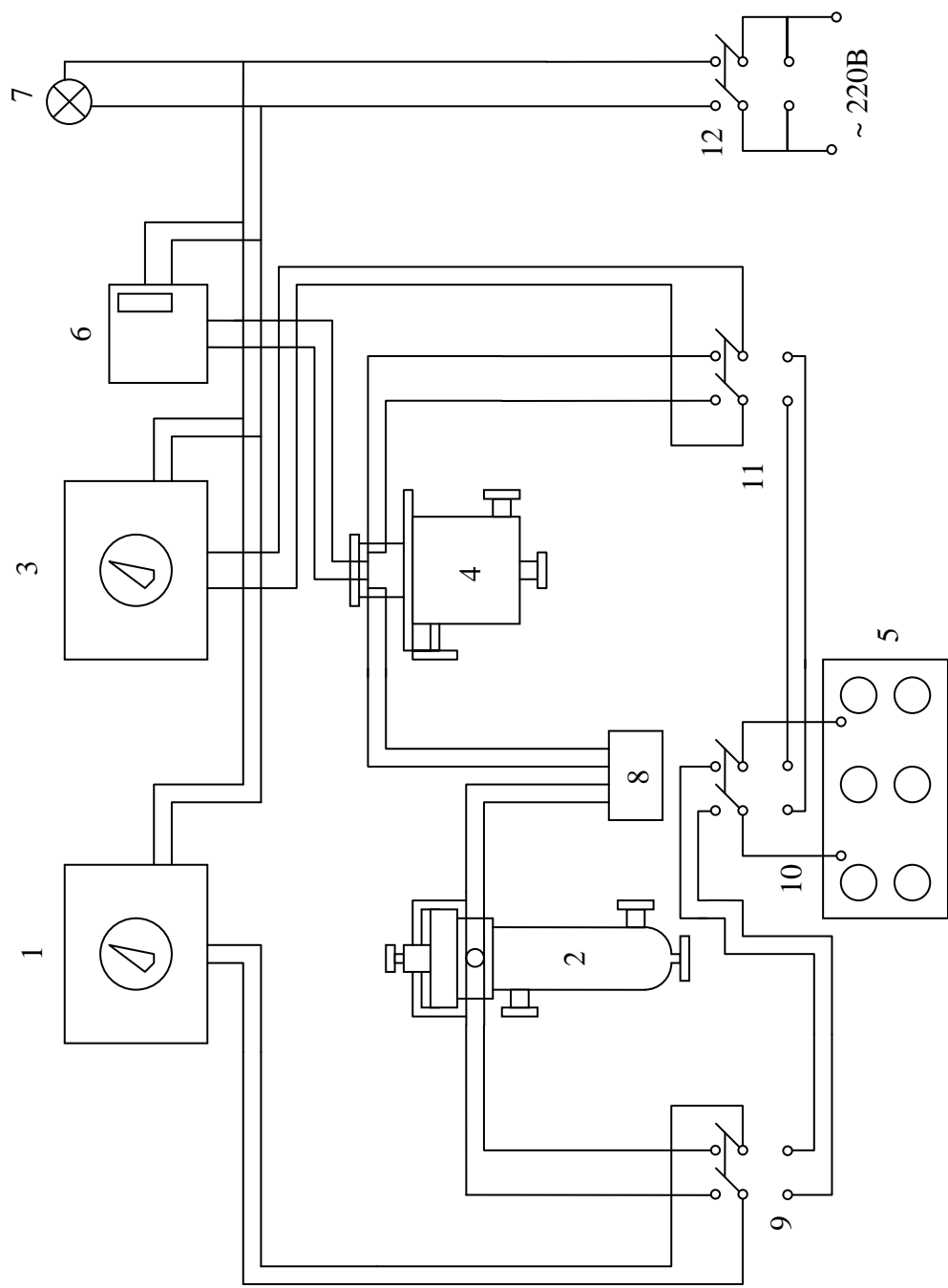


Рис. 3.3. Схема установки

опорам порівнювального елемента і терморезистора  $R_7$  при температурі + 70 °С (див. табл. 3.1).

### **Послідовність виконання роботи**

1. Тумблером 12 подати електроживлення на установку.
2. Підключити магазин МСР-63 до концентратоміра КНЧ1-М, для чого тумблер 10 перевести в положення "КНЧ", а тумблер 11 – в положення "МСР" і виставити на МСР-63 опір, який відповідає значенню "∇" шкали приладу при температурі + 70 °С (див. табл. 3.2).
3. Увімкнути електроживлення вторинного приладу 3 концентратоміра (тумблером, встановленим під кришкою приладу).
4. Встановити тумблер блока живлення 6 в положення "Вкл."
5. Виставити на магазині опорів значення для 0 та 100 % шкали при градуювальній температурі + 70 °С (див. табл. 3.2). Стрілка вторинного приладу повинна встановитися на відмітках початку та кінця шкали. Якщо стрілка не встановлюється, виставити її за допомогою потенціометра "Діапазон".
6. Виставити на магазині опорів МСР-63 значення, що відповідають 20, 50 та 80 % шкали при градуювальній температурі + 70 °С (див. табл. 3.2).
7. Розрахувати абсолютну та відносну похибку і заповнити табл. 3.4.
8. Тумблером 8 відключити МСР-63 від КНЧ1-М.
9. Вимкнути живлення вторинного приладу 3 концентратоміра.
10. Перемкнути тумблер 10 в положення "КСО", а тумблер 9 – в положення "МСР".
11. Виставити на магазині МСР-63 значення опору, що відповідає нижній межі шкали приладу (див. табл. 3.3).



Таблиця 3.4.

Поділка шкали, %	Діапазон вимірювання		Опір рідинного витка при 70 °С, Ом	Показання приладу, % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Похибки	
	%	См/см			абсолютна	відносна
0	72,0	0,407	13,80			
20	73,2	0,384	14,54			
50	75,0	0,351	15,80			
80	76,8	0,323	16,91			
100	78,0	0,308	17,57			

12. Подати електроживлення на вторинний прилад концентратоміра КСО–4 і прогріти прилад упродовж 10 хв.

13. Здійснити перевірку показів у трьох точках шкали приладу, для чого виставити на магазині МСР–63 значення опорів, які відповідають оцифрованим відміткам шкали КСО–4 (див. табл. 3.3).

14. При відхиленні показань від табличних більш ніж на 0,1 % провести коригування вторинного приладу за допомогою ручок "Нуль" для встановлення початкової точки шкали, та "Шунт" – для встановлення діапазону вимірювань.

15. Отриманні дані занести в табл. 3.5 і розрахувати похибку.

Таблиця 3.5

Опір вимірювального елемента, Ом	Вміст H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	Покази приладу, % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Похибки	
			абсолютна	відносна
158,6	97			
191,1	98			
307,7	99			

16. Вимкнути живлення вторинного приладу КСО-4 та живлення установки.

### **Оформлення роботи**

Звіт з роботи повинен містити схему та опис установки, результати вимірювань та їх обробки, а також висновки щодо відповідності отриманих похибок класам точності вивірюваних приладів.

## Лабораторна робота 4

### ТЕРМОКОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ ГАЗОАНАЛІЗАТОР

**Мета роботи.** Вивчити побудову та принцип дії термокондуктометричного газоаналізатора ТКГ–4М; проградувати газоаналізатор ТКГ–4М; виміряти об’ємний вміст SO<sub>2</sub> в аналізованій газовій суміші.

#### Теоретичні відомості

Дія термокондуктометричного газоаналізатора базована на залежності теплопровідності аналізованої газової суміші від концентрації контрольованого компонента. При цьому теплопровідність газової суміші зазвичай порівнюється з теплопровідністю повітря чи іншого газу і виражається в абсолютних або відносних одиницях.

Абсолютні та відносні значення коефіцієнтів теплопровідності для деяких газів ( $\lambda_r$ ) при нормальних умовах ( $\lambda_{\text{п}}$  – коефіцієнт теплопровідності для повітря) наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Газ	$\lambda_r \cdot 10^3$ , Вт/(м·°С)	$\lambda_r / \lambda_{\text{п}}$	Газ	$\lambda_r \cdot 10^3$ , Вт/(м·°С)	$\lambda_r / \lambda_{\text{п}}$
Азот	23,72	0,996	Двоокис вуглецю	14,59	0,614
Аміак	21,33	0,887	Кисень	24,16	1,016
Водень	169,6	7,130	Метан	31,38	1,320
Водяна пара при 100 °С	23,15	0,973	Окись вуглецю	22,94	0,965
Повітря	23,78	1,000	Сірчастий ангідрид	8,17	0,344
Двоокис азоту	42,71	1,796	Сірководень	12,79	0,538

Теплопровідність більшості газових сумішей з достатньою для практичних цілей точністю може бути розрахована так:

$$\lambda_{\text{см}} = \lambda_1 P_1 / 100 + \lambda_2 P_2 / 100 + \lambda_3 P_3 / 100 + K + \lambda_n P_n / 100, \quad (4.1)$$

де  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  – вміст компонентів з теплопровідністю  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$  за умови, що  $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = 100 \%$ .

Якщо теплопровідність одного з компонентів газової суміші значно більша за теплопровідність другого (для бінарної суміші) чи суми теплопровідностей решти компонентів (для багатокомпонентної системи), то зміна теплопровідності усієї газової суміші може служити мірою зміни вмісту в газовій суміші цього компонента.

Для визначення теплопровідності газової суміші в камеру, крізь яку при постійній витраті продувається ця суміш, розміщують металеву нитку з великим температурним коефіцієнтом опору та пропускають нею електричний струм. Температура – а отже й електричний опір нитки, що нагрівається струмом, – залежать від теплопровідності середовища, яке оточує нагрітий провідник, від якої, в свою чергу, залежить процес тепловіддачі в навколишнє газове середовище. Таким чином, по зміні електричного опору нитки можна робити висновки щодо концентрації аналізованого компонента.

Одна з найбільш простих та широко розповсюджених схем, які використовуються в термокондуктометричних газоаналізаторах, – схема вимірювального моста постійного струму, два протилежних плеча якого розміщені в робочих газових камерах, через які продувається аналізована газова суміш, а два інших – в порівнювальних камерах, заповнених повітрям чи іншим газом. Плечі моста являють собою електричні опори, що нагріваються до певної температури електричним струмом, який у них протікає.

При пропусканні крізь робочі газові камери контрольованої суміші, теплопровідність якої змінюється відповідно до вмісту аналізованого компонента, електричний опір розміщених в цих камерах пліч моста

змінюється, і у вимірювальній діагоналі моста виникає струм, пропорційний концентрації аналізованого компонента. За допомогою увімкненого в цю діагональ моста вторинного приладу зі шкалою, відградуваною у відсотках вмісту аналізованого компонента, визначається його концентрація у газовій суміші.

Термокондуктометричний газоаналізатор ТКГ-4М призначений для визначення об'ємного вмісту в газових сумішах водню, кисню, аміаку та інших газів шляхом порівнювання теплопровідності контролюваного газу з теплопровідністю повітря (якщо шкала газоаналізатора починається з нуля) або сумішшю, концентрація контролюваного компонента в якій дорівнює нижній межі діапазону вимірювання. Газоаналізатор ТКГ-4М – автоматичний прилад безперервної дії, що складається з фільтра газу, панелі подавання газу ППГ-1, датчика, крізь який продувається аналізована газова суміш, джерела стабілізованого живлення СДЖ-4 і вторинного приладу – електронного потенціометра КСП-3.

Аналізований газ після проходження через фільтр надходить у панель подавання газу ППГ-1 з голчастим вентилям і регулятором витрати ротаметричного типу, в якому постійність витрати забезпечується відбиранням газу з постійним тиском (під поплавком ротаметра) через постійний опір – діафрагму. Далі досліджуваний газ із постійною швидкістю спрямовується в датчик газоаналізатора, де теплопровідність газу порівнюється з теплопровідністю повітря при незмінній температурі стінок блока датчика і постійному тискові аналізованої суміші у ньому.

Датчик газоаналізатора (рис. 4.1) являє собою металевий блок з чотирма камерами, з яких дві проточні є робочими, а дві глухі – порівняльними (інколи такий блок називають термокондуктометричним детекто-

ром).

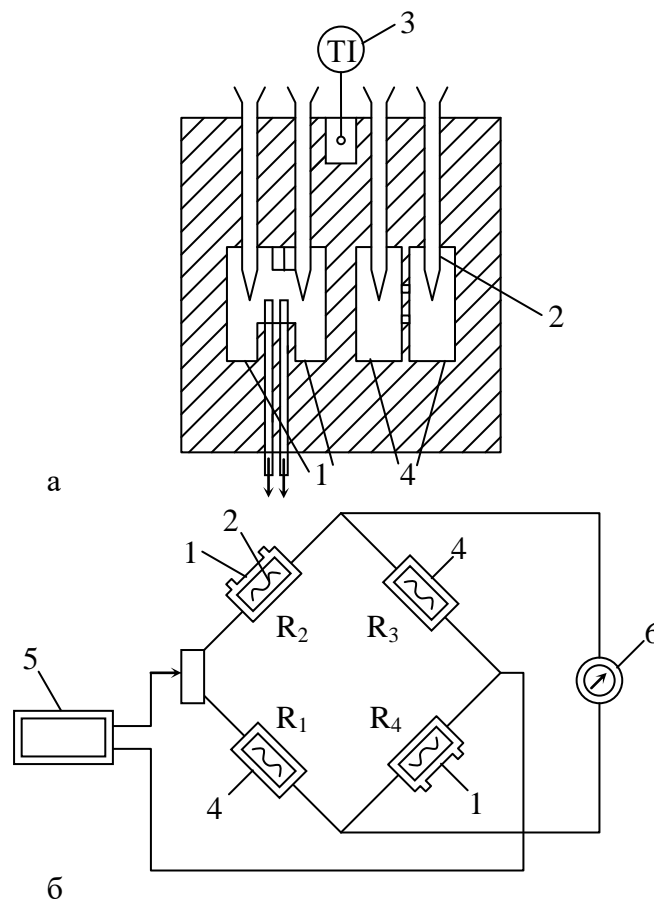


Рис. 4.1. Вимірювальний блок (а) і електрична схема (б) датчика газоаналізатора ТКГ-4М: 1 – робочі камери; 2 – нитки плечових елементів  $R_1 - R_4$ ; 3 – контактний термометр; 4 – порівняльні камери; 5 – джерело стабілізованого живлення; 6 – вторинний прилад КСП-3;  $R_5$  – реостат.

Теплопровідності аналізованої газової суміші та повітря порівнюються за схемою вимірювального незрівноваженого моста постійного струму. Плечі моста виготовлені з тонкого платинового дроту. Два плеча  $R_2$  і  $R_4$  розміщують в робочих камерах 1, крізь які безперервно протікає досліджувана газова суміш, а два інших плеча  $R_1$  і  $R_3$  – в порівняльних камерах 4, заповнених повітрям. Плечі моста нагріваються електричним струмом постійної величини, що проходить через них, до певної температури.

Проходячи вхідним каналом датчика газоаналізатора, аналізована газова суміш нагрівається до температури блока датчика, і потім надходить у робочі камери, з яких крізь вихідний канал виводиться у відповідну лінію. При пропусканні крізь робочі камери аналізованої суміші початкової концентрації, мостова схема перебуває у рівновазі. Покази приладу остаточно встановлюються на нуль реостатом  $R_5$ .

Якщо крізь робочі камери пропустити суміш газів, вміст аналізованого компонента в якій відрізняється від початкового, то теплопровідність цієї суміші буде відрізнятися від теплопровідності газів у порівняльних камерах; при цьому змінюються умови тепловіддачі від ниток плечових елементів у робочих камерах. В результаті змінюється температура пліч  $R_2$  та  $R_4$ , а отже і їх опір. У вимірвальній діагоналі моста виникає різниця потенціалів, пропорційна вмісту аналізованого компонента в газовій суміші. Розбаланс моста вимірюється вторинним приладом – автоматичним самописним потенціометром КСП-3, шкала якого відградуєвана у відсотках аналізованого компонента.

Для стабілізації роботи газоаналізатора живлення його вимірвального моста здійснюється від джерела стабілізованого живлення СДЖ-4, вихідна напруга якого складає 4 В при постійній силі струму  $(425 \pm 10)$  мА. Цим забезпечується нагрівання моста до певної температури. Для усунення впливу коливань температури навколишнього середовища на покази приладу блок датчика термостатується.

Чутливим елементом системи термостатування є контактний термометр 3. Намотана на бічну поверхню блока обмотка обігріву датчика вмикається і вимикається електронним реле. Система термостатування забезпечує підтримування постійної температури  $(40 \pm 0,5)$  °С при коливанні температури навколишнього середовища в межах 10...35 °С.

Прилад працює від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Основна похибка газоаналізатора не перевищує  $\pm 5\%$  від діапазону його шкали. Перепад тиску газу у приладі складає 100...150 Н/м<sup>2</sup>.

Установка для градуювання термокондуктометричного газоаналізатора ТКГ-4М зображена на рис. 4.2. В лабораторії газоаналізатор градується на двоокис сірки, безбарвний газ з характерним різким запахом. В лабораторних умовах його отримують додаванням соляної кислоти до твердого кислого сульфіту натрію:



Суміш з різним вмістом двоокису сірки міститься в трьох балонах: в 1-му та 2-му балоні відомий вміст  $\text{SO}_2$ , у 3-му – суміш, що аналізується на вміст  $\text{SO}_2$ . Суміш з різним вмістом двоокису сірки або стиснене повітря, що відбирається з лінії живлення, можуть спрямовуватися через кран 5 і фільтр 8 до регулятора витрати 10 на панелі ППГ-1, за допомогою якої встановлюються постійна витрата газової суміші: маностатом 9 підтримується постійним її тиск.

Далі аналізована суміш (чи стиснене повітря) подається в датчик 11 термокондуктометричного газоаналізатора ТКГ-4М, що живиться від стабілізованого джерела живлення 12. Відсотковий вміст аналізованого газу визначається за шкалою вторинного приладу – автоматичного потенціометра 13 типу КСП-3.

Градування термокондуктометричного газоаналізатора ТКГ-4 полягає в експериментальному знаходженні залежності кількості поділок на шкалі його вторинного приладу від об'ємного вмісту сірчистого ангідриду в еталонних сумішах.



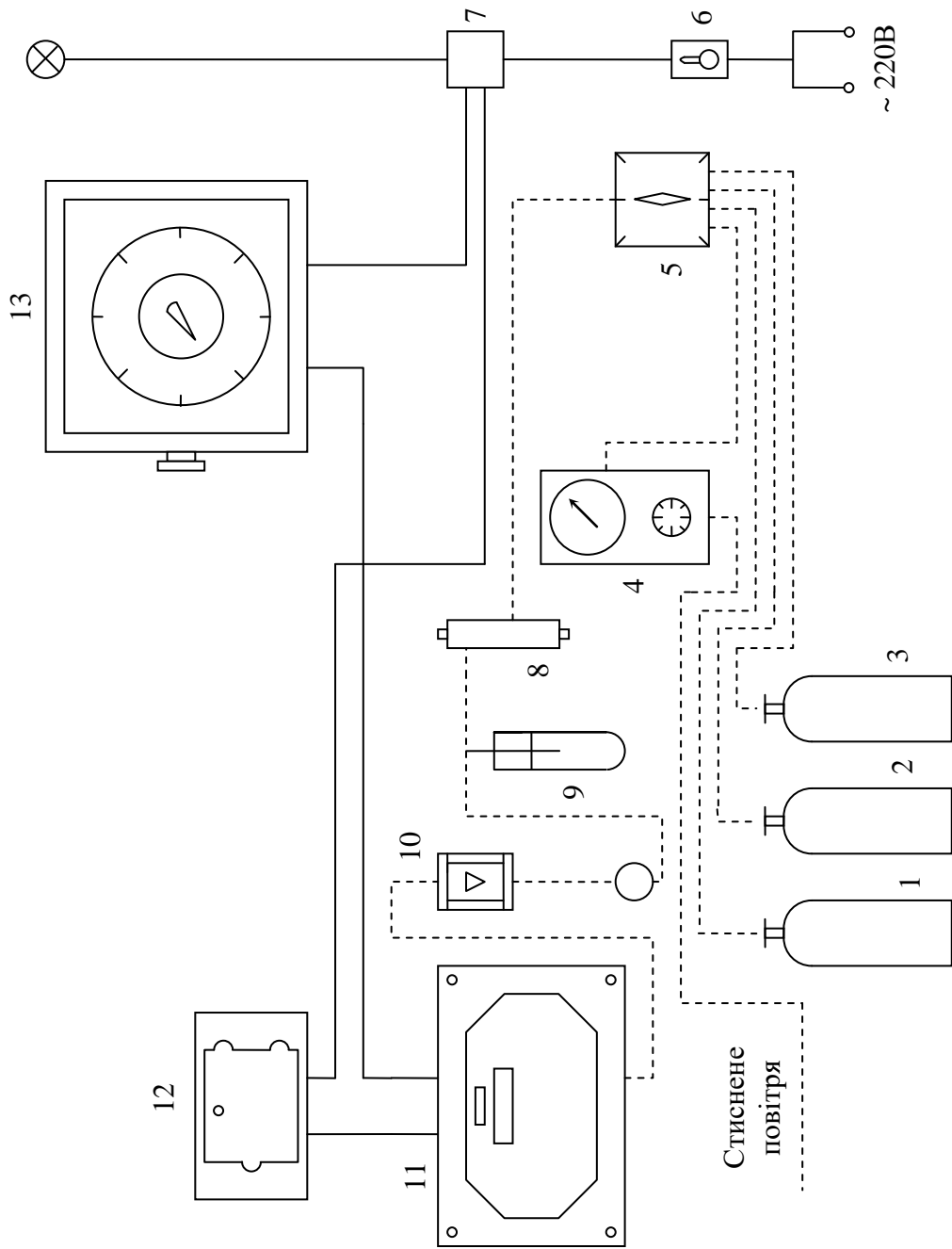


Рис. 4.2

### Послідовність виконання роботи

1. Подати напругу живлення на стенд тумблером на похилій панелі.
2. Перевірити установку стрілки вторинного приладу газоаналізатора ТКГ-4М на нуль. Для цього за допомогою редуктора 4 подати в датчик газоаналізатора ТКГ-4М чисте повітря, контролюючи його витрату за ротаметром регулятора витрати на панелі ППГ-1. При цьому тумблер перемикача 5 повинен бути в положенні "П" (повітря). Якщо стрілка приладу не встановлюється на нульову відмітку шкали, треба відкоригувати її положення, обертаючи гвинт реостата з написом "Установка шкали", розміщений під кожухом датчика газоаналізатора ТКГ-4М.
3. Поставивши тумблер перемикача 5 в положення "1", подати еталонну газову суміш з балона 1 у датчик термокондуктометричного газоаналізатора. Зафіксувати точку на шкалі приладу ТКГ-4М, на якій стрілка вторинного приладу зупиниться, і записати дані в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Номер суміші	Об'ємний вміст SO <sub>2</sub> в суміші, %	Показання ТКГ-4, % шкали		Варіація показань
		Прямий хід	Зворотний хід	
1				
2				
3				

Перевести перемикач 5 у проміжне положення "П" і продути систему повітрям.

4. Поставивши тумблер перемикача 5 в положення "2", здійснити градування газоаналізатора за еталонною сумішшю з балона 2 (табл. 4.2).

5. Продувши систему повітрям в положенні перемикача 5 "П", поставити його в положення "З" і виміряти об'ємний вміст SO<sub>2</sub> в аналізованій суміші з балона 3 за шкалою відградуйованого приладу.

Повторити експерименти при зворотному ході.

6. Побудувати градууювальну характеристику ТКГ-4М.

### **Оформлення звіту**

У звіті навести схему датчика газоаналізатора ТКГ-4М, схему установки, короткий опис методики і результати проведення експерименту включно з градууювальною характеристикою газоаналізатора.

## Лабораторна робота 5

### ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

**Мета роботи.** Вивчити способи вимірювання витрати методами змінного і постійного перепадів тиску, індукційним методом; вивчити прилади, що реалізують ці методи; опанувати методику градування витратомірів.

#### Теоретичні відомості

Витратою називають кількість речовини (рідини або газу), що протікає через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу. В залежності від одиниці вимірювань розрізняють масову та об'ємну витрати.

#### Вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску

Вимірювання витрати на основі змінного перепаду тиску – найбільш вивчений і поширений у виробничій практиці метод. Суть його полягає в тому, що в трубопроводі, яким протікає контрольована речовина, співвісно з трубопроводом встановлюється спеціальний звужувальний пристрій із отвором, значно меншим за площу перерізу (рис. 8.1).

Внаслідок переходу частини потенціальної енергії потоку в кінетичну його середня швидкість у звуженому перерізі підвищується, в результаті чого статичний тиск в данному перерізі стає меншим статичного тиску перед звужувальним пристроєм. Залежність між витратою нестисливої рідини і перепадом тиску на звужувальному пристрої можна встановити,

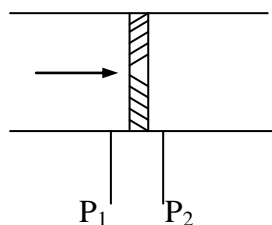


Рис. 8.1. Звужувальний пристрій (діафрагма)

скориставшись рівнянням збереження енергії Бернуллі, записаним для перерізів до та після звужувального пристрою, і рівнянням нерозривності струменю в тих же перерізах.

В результаті отримаємо залежність для визначення об'ємних витрат

$$Q = \alpha \varepsilon S_0 [2(P_1 - P_2) / \rho]^{1/2}, \quad (8.1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт витрати (безрозмірна величина, визначувана тільки експериментально);  $\varepsilon$  – поправковий множник, який враховує зміну густини вимірюваного середовища при проходженні через звужувальний пристрій;  $S_0$  – площа перерізу звужувального пристрою;  $\rho$  – щільність середовища в реальних умовах вимірювання;  $P_1, P_2$  – тиск безпосередньо перед звужувальним пристроєм і після нього.

Величини  $\alpha, \varepsilon, S_0, \rho$  для конкретних умов вимірювання і заданого звужувального пристрою є постійними. Тому (8.1) зведеться до вигляду

$$Q = k(P_1 - P_2)^{1/2}. \quad (8.2)$$

Рівняння (8.2) відображає зв'язок між витратою конкретного середовища і перепадом тиску на звужувальному пристрої. Витратомір змінного перепаду тиску складається зі стандартного звужувального пристрою, встановленого на трубопроводі, яким протікає контрольована речовина, та дифманометра–витратоміра дзвонового, кільцевого, мембранного чи сильфоного типу. В залежності від потреб диференціальний манометр може бути показувальним, самописним, сигналізуювальним, перетворювальним чи регулювальним.

### **Витратоміри постійного перепаду тиску**

Ці пристрої називають ще витратомірами обтікання чи ротаметрами. Принцип їх дії оснований на сприйнятті динамічного напору контрольованого середовища чутливим елементом (поплавком), розміщеним у потоці.

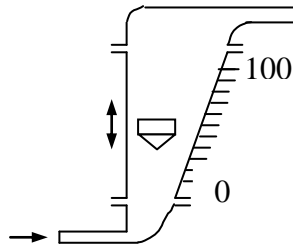


Рис. 8.2. Скляний ротаметр

Ротаметр складається з вертикальної конічної трубки, що розширюється догори, всередині якої поміщений поплавок, який вільно переміщується вгору – униз. На зовнішній стороні конічної трубки нанесена рівномірна шкала в межах 0...100 без зазначення одиниць вимірювання. Ротаметри зі скляною трубкою застосовуються тільки для візуальних відліків, оскільки вони позбавлені пристроїв для передачі інформації на відстань. Крім того, тиск середовища в них не повинен перевищувати  $5,9 \cdot 10^5$  Па, а температура  $+ 100$  °С.

Серійно випускаються скляні ротаметри на діаметри труб 4, 6, 10, 15, 25 і 40 мм та діапазони вимірювань від 0,0025 до  $16 \text{ м}^3/\text{год}$  за водою і від 0,063 до  $40 \text{ м}^3/\text{год}$  за повітрям. Металеві ротаметри, оснащені електричною або пневматичною дистанційною передачею (рис. 8.3 і 8.4), дозволяють вимірювати витрату непрозорих середовищ під тиском до  $6,3 \cdot 10^6$  Па.

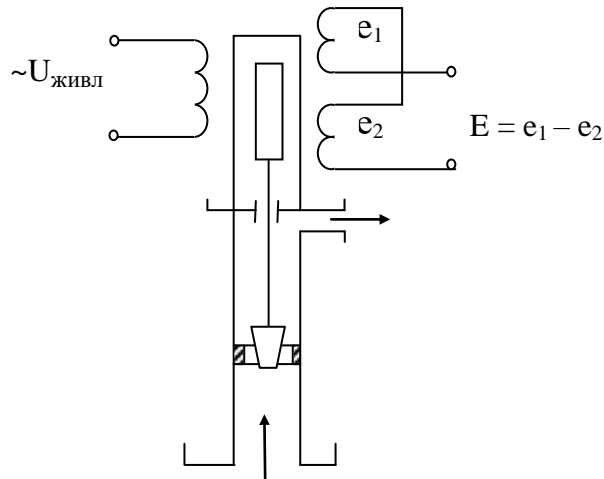


Рис. 8.3. Електричний ротаметр

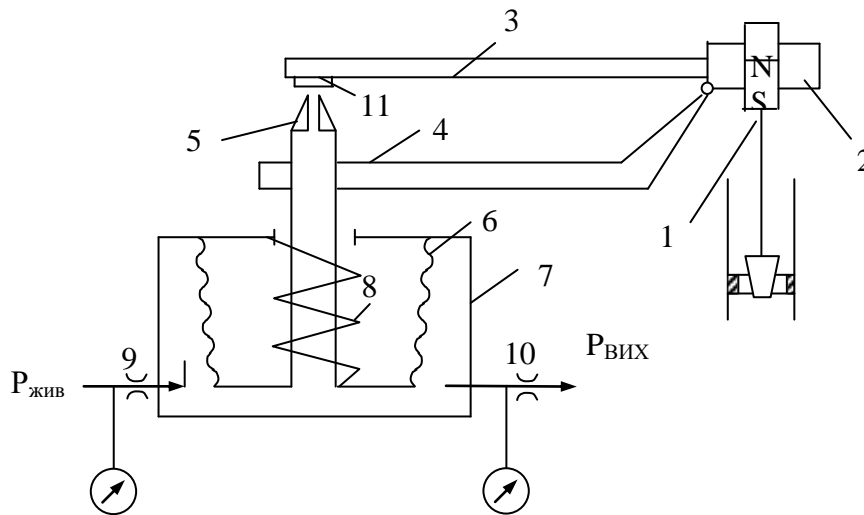


Рис. 8.4. Пневматичний ротаметр:

1 – постійний магніт; 2 – магнітна муфта; 3 – важіль; 4 – важіль зворотного зв'язку; 5 – сопло; 6 – сильфон зворотного зв'язку; 7 – пневмоблок; 8 – пружина; 9, 10 – пневмодроселі; 11 – заслінка.

### Індукційні витратоміри

Витратоміри цього типу використовуються для вимірювання витрати тільки електропровідних рідин, електропровідність яких не менша  $1 \cdot 10^{-4}$  См/м, а питомий опір  $10^3 \dots 10^5$  Ом·м. Принцип дії індукційних витратомірів (рис. 8.5) оснований на вимірюванні е. р. с., яка індукується в потоці

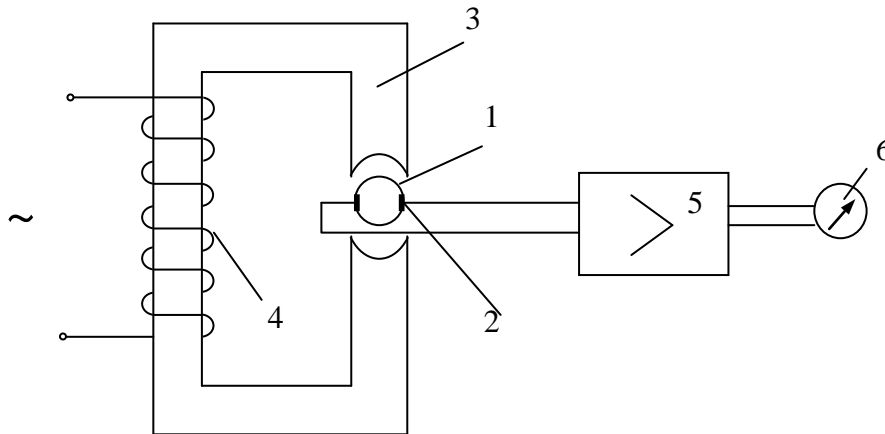


Рис. 8. 5. Індукційний витратомір:

1 – трубопровід; 2 – електроди, 3 – феромагнітний наконечник, 4 – обмотка збудження, 5 – електронний підсилювач; 6 – вторинний прилад

рідини під дією зовнішнього магнітного поля і є пропорційною витраті цієї рідини. Відповідно до закону Фарадея, на кінцях провідника довжиною  $L$ , який рухається зі швидкістю  $V$  в напрямку, перпендикулярному до своєї осі та до силових ліній магнітного поля з індукцією  $B$ , виникає е. р. с.:

$$E = LBV. \quad (8.3)$$

У відповідності до закону величина  $E$  при постійних значеннях  $L$  і  $B$  для відповідного витратоміра залежатиме тільки від швидкості руху.

Якщо у виразі (8.3) довжину провідника замінити величиною діаметра трубопроводу  $D$ , а середню швидкість потоку в ньому виразити через витрату:  $V_{\text{ср}} = Q / S = 1,27 \cdot Q / D^2$ , то е. р. с., яка індукується в потоці при змінному магнітном полі,

$$E = 1,27 B_0 \sin \omega \tau Q / D,$$

де  $B_0$  – максимальне значення індукції;  $\omega$  – частота струму живлення;  $\tau$  – час;  $Q$  – витрата;  $S$  – площа поперечного перерізу труби.

Промислові зразки індукційних витратомірів забезпечують вимірювання витрат у діапазоні  $1 \dots 2500 \text{ м}^3/\text{год}$ .



## Опис установки

Експериментальна установка для вивчення і тарування ротаметрів (рис. 8.6) складається з двох рідинних контурів, утворених трубопроводами, насосом 1, мірним бачком 9 і зливним бачком 3. Після насоса на трубопроводі встановлені ротаметри – скляний 4, пневматичний 5 і електричний 6, під'єднані послідовно до насоса вентилями 11, 12, 13 відповідно. Виходи ротаметрів 5 і 6 підключені до вторинних приладів 8 типу ПВ4 і 7 типу КСД–2. До приладів 5 і 8 підведено стиснуте повітря живлення, величину якого змінюють редуктором 2 і контролюють за показами манометра, вмонтованого у ротаметр 5. На виході мірного бачка 9 встановлено зливний вентиль 18, за допомогою якого зливають воду з бачка 9. За допомогою вентилів 11, 12, 13 по чергово подають воду від насоса в мірний бачок відповідно через ротаметри 4, 5, 6. Змінюючи ступінь відкриття вентилів 11, 12, 13, можна змінити витрату води через відповідні ротаметри. Мірний бачок 9 оснащений водомірним склом, яке дозволяє контролювати рівень його заповнення та відмірювати визначений об'єм заповнення.

Фіксуючи час заповнення мірного бачка, можна обрахувати витрату контрольованої рідини через ротаметри при різних ступенях відкриття вентилів 11, 12, 13.

Установка оснащена секундоміром, призначеним для визначення часу заповнення мірного бачка. Стенд оснащений елементами 14, 15, 16, 17 для подачі живлення до насоса, КСД–2 і ПВ.

Установка для градуювання електромагнітного витратоміра аналогічна описаній і, окрім регулювальної апаратури та насоса, включає в себе датчик електромагнітного витратоміра та вторинний прилад типу ИР–51.

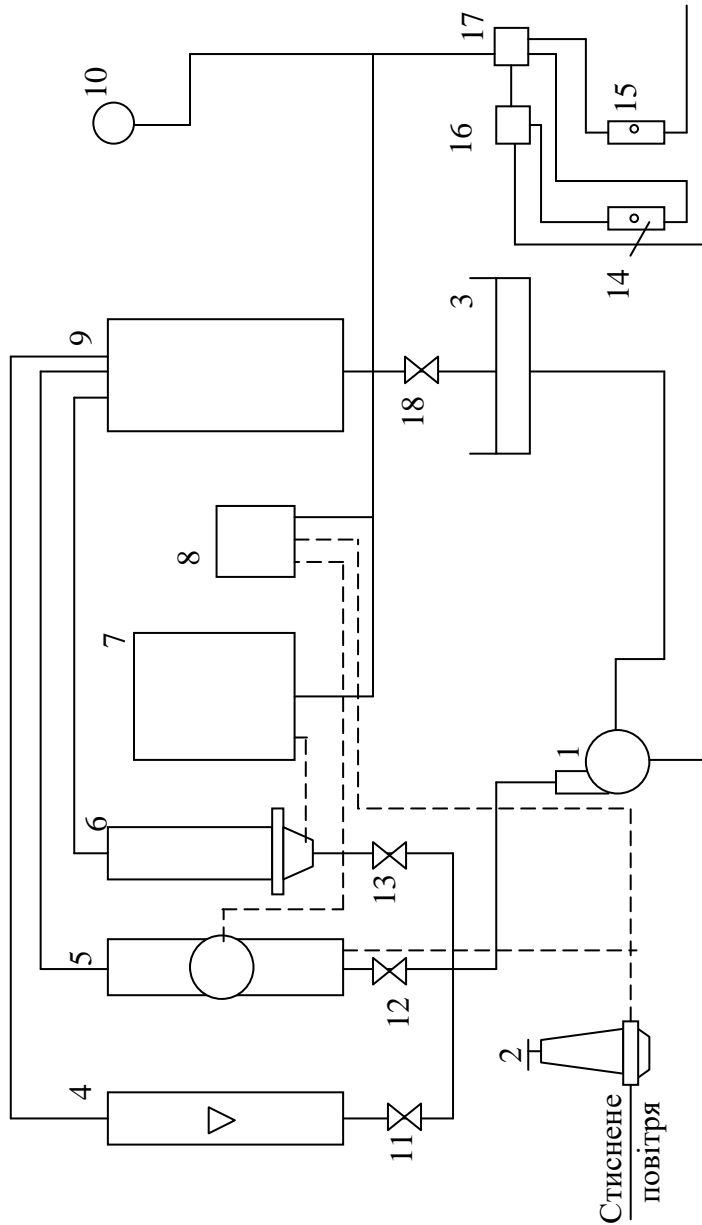


Рис.8.6. Схема лабораторної установки для тарування ротаметрів

### Методика тарування ротаметрів

Тарування ротаметрів полягає у встановленні залежності % шкали приладу від витрати. Необхідно протарувати кожний ротаметр окремо, підключаючи по чергово потік води від насоса до ротаметрів 4, 5, 6 за допомогою відкриття відповідного вентиля (див. рис. 8.6).

Наприклад, при градуюванні скляного ротаметра вентиля 12 і 13 закриті, а вентиль 18 відкритий. Вентилем 11 встановлюють витрату, відповідну до 10 % шкали ротаметра, після чого закривають вентиль 18.

При досягненні рівнем води в мірному бачку 9 нижньої мітки на водомірному склі вмикають секундомір і замірюють час заповнення відповідного об'єму бачка 9 водою. При досягненні рівнем води в бачці 9 верхньої мітки на водомірному склі секундомір зупиняють.

Аналогічно роблять при встановленні витрати води через ротаметр 20, 30, ..., 100 % шкали ротаметра. При таруванні ротаметрів 5 і 6 витрату через 10 % шкали задають вентилями 12 і 13 відповідно за шкалами вторинних приладів 7 і 8.

### **Послідовність проведення експерименту**

Перед проведенням експерименту необхідно ознайомитися з установкою (див. рис. 8.6), вивчивши попередньо роботу та будову всіх приладів, якими вона оснащена. Після цього:

закрити вентиля 11, 12, 13, відкрити вентиль 18;

редуктором 2 встановити тиск повітря живлення 1,2...1,4 атм на прилади 5 і 8;

тумблером 15 подати напругу живлення на стенд;

тумблером 14 увімкнути насос;

відкрити вентиль 11 і здійснити тарування скляного ротаметра 4, міняючи величину витрати через 10 % його шкали;

після визначення тарувальної характеристики скляного ротаметра відкрити вентиль 12, закрити вентиль 11 і визначити тарувальну характеристику пневматичного ротаметра 5;

при відкритому вентилі 13 і закритих вентилях 11, 12 отримати характеристику електричного ротаметра 6;

аналогічним чином зняти характеристику індукційного ротаметра;

відключити насос, живлення і закрити всі вентиля.

За отриманими даними для кожного ротаметра побудувати статичні характеристики:  $Q_{\text{води}} = f(\% \text{ шкали})$ , л/с.

### **Оформлення звіту**

Звіт повинен містити схему лабораторної установки, опис послідовності виконання роботи, результати досліджень і отримані статичні характеристики витратомірів.

## Лабораторна робота 6

### ПЕРЕВІРКА ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ МАНОМЕТРІВ.

**Мета роботи.** Вивчити будову, принцип дії та призначення диференціальних манометрів; будову та роботу передавальних перетворювачів, які застосовуються у диференціальних манометрах; освоїти методику перевірки диференціальних манометрів.

#### Призначення, принцип дії та будова дифманометра ДМ

Мембранний дифманометр ДМ – частина комплекту, призначеного для дистанційного вимірювання:

- а) різниці тисків (перепаду);
- б) витрати рідин, газів і пари (за методом змінного перепаду);
- в) надлишкового тиску (напору, тяги);
- г) рівня рідин;
- д) густини рідин (гідростатичним методом).

Принцип дії дифманометра базується на використанні деформації чутливого елемента (мембрани) приладу від дії на нього тиску.

Чутливий елемент дифманометра (рис. 9.1) – мембранний металевий блок, який складається з двох або чотирьох мембранних коробок 1 і 2, закріплених по обидва боки розділювальної подушки 3, що розділяє герметичний корпус 4 на дві вимірювальні камери: нижню – плюсову і верхню – мінусову.

Кожна мембранна коробка зварена з двох мембран, профілі яких збігаються. Внутрішні порожнини мембранних коробок з'єднані між собою і заповнені дистильованою водою чи кремній-органічною рідиною. Тиск до чутливих елементів підводиться через імпульсні трубки 5 і 6, на яких установлені два запірні голчасті вентиля 7 і 8 та зрівняльний вентиль 9,

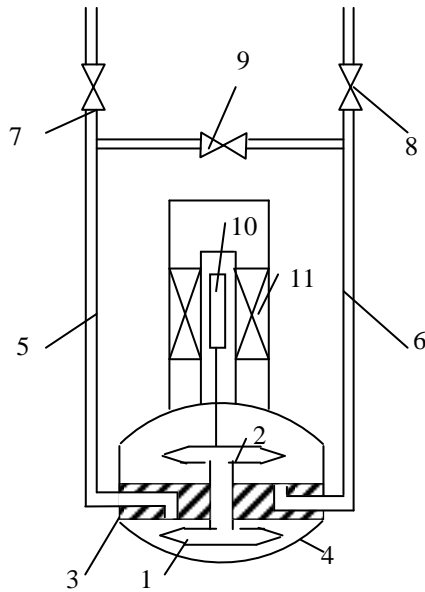


Рис. 9.1. Схема мембранного дифманометра ДМ

який з'єднує обидві трубки. На маховичках вентилів нанесені позначення: на плюсовому – знак «+», на мінусовому – «-», на зрівняльному – «0».

Під впливом різниці тисків у плюсовій і мінусовій камерах нижня коробка стискається, рідина з неї перетікає у верхню коробку, викликаючи переміщення плунжера 10 диференціального трансформатора 11, що є проміжним передавальним перетворювачем. Вихідний сигнал диференціального трансформатора при цьому міняється за амплітудою, а при переході плунжера через нейтральне положення – і за фазою.

Деформація чутливого елемента відбувається доти, поки сили, зв'язані з перепадом тиску, не зрівноважаться силами пружної деформації мембранних коробок.

Якщо фактичний перепад тиску перевищить перепад, на який розраховано прилад, або одна з мембранних коробок перебуватиме під впливом однобічного перевантаження, ушкодження коробки не відбудеться, позаяк обидві мембрани, маючи схожі профілі, складуться по всій площі,

витискуючи всю рідину в другу коробку. При цьому хід мембран не вийде за межі їхньої пружності.

Слід зазначити, що жорсткість мембранного блоку, розташованого в плюсовій камері, менша жорсткості блоку, розміщеного в мінусовій. Таке конструктивне рішення дозволяє здійснити температурну компенсацію (зменшити вплив коливань температури навколишнього повітря і вимірюваного середовища). При незмінному значенні вимірюваного перепаду тиску плунжер повинен залишатися нерухомим, якщо при цьому зміниться температура в камерах «+» і «-». Зміна температури в мембранному блоці підвищить тиск усередині блоку, але при цьому тільки мембрана з меншою жорсткістю одержить переміщення, тому положення плунжера не зміниться.

Вихідний сигнал дифманометра, оснащеного диференціально-трансформаторним перетворювачем, може бути передано на вторинний електронний прилад типу КВД, КСД, КСФ, на електронний регулятор або керувальну обчислювальну машину.

Серед недоліків диференціальних манометрів мембранного типу з мембранами, що переміщаються, слід назвати нелінійність їхніх характеристик, порівняно невисоку чутливість і розкид робочих характеристик мембран. Знизити вплив розкиду робочих характеристик на точність вимірювання можна шляхом збільшення кількості мембран (мембранних коробок) у блоці. При цьому середнє квадратичне відхилення  $\sigma_B$  пружної характеристики блока, що складається з  $n$  мембран, від номінальної буде тим меншим, чим більше мембран у блоці:

$$\sigma_B = (\sigma_M / \sqrt{n}) \cdot C, \quad (9.1)$$

де  $\sigma_M$  – середнє квадратичне відхилення пружної характеристики однієї мембрани;  $C$  – коефіцієнт пропорційності.

При побудові вимірювальної схеми мембранного манометра по методу силового зрівноважування зазначений недолік може бути цілком усунутий.

### Диференціальний манометр типу ДМПК-100

Дифманометр мембранний пневматичний компенсаційний є безшкальним вимірювачем, оснащеним пневматичним передавальним перетворювачем (рис. 9.2).

Дифманометр призначений для безперервного перетворення контрольованого чи регульованого перепаду тиску в пневматичний сигнал.

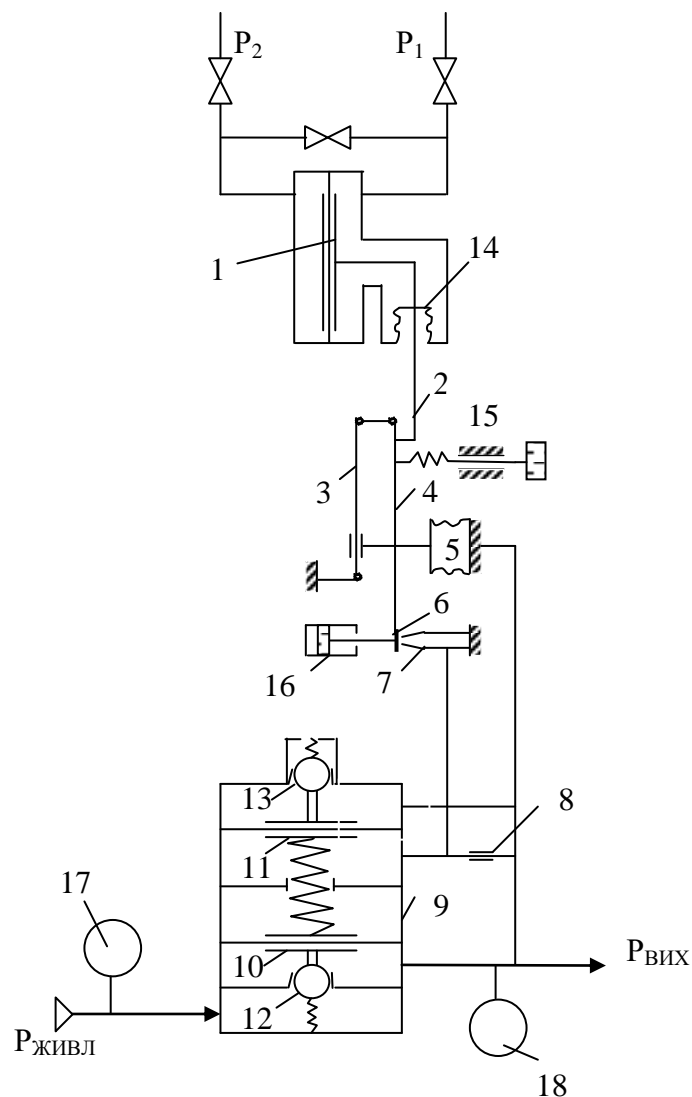


Рис. 9.2. Схема компенсаційного дифманометра ДМПК



ДМПК-100 працює у комплекті з будь-яким вторинним пневматичним приладом чи пристроєм, розрахованим на стандартний діапазон пневмосигналу (від 0,2 до 1,0 кгс/см<sup>2</sup>), може бути використаний для вимірювання чи регулювання перепаду тисків, витрати (в комплекті зі звужувальним пристроєм), надлишкового тиску, розрідження, рівня чи концентрації рідин.

Дія дифманометра ДМПК-100, як і інших модифікацій дифманометрів подібного типу, оснований на принципі пневматичної силової компенсації.

Зусилля, що виникає під дією вимірюваного перепаду на мембрані чи мембранному блоці, зрівноважується через систему важелів 2, 3, 4 зусиллям, яке розвивається тиском у компенсаційному елементі (сильфоні) зворотного зв'язку 5.

Різниця тисків  $P_1$  і  $P_2$  діє на еластичну мембрану з жорстким центром 1 (чутливим елементом може бути також використовуватися мембранний блок з металевих мембран), створюючи зусилля, що через важелі 2 і 4 переміщує заслінку 6 відносно сопла 7. Зміна зазору між соплом і заслінкою викликає зміну тиску повітря, що надходить через дросель 8 до сопла. Одночасно змінюється тиск у камері В пневматичного підсилювача 9 і прогин мембран 10 і 11, а також положення впускного 12 і випускного 13 клапанів. У результаті змінюються тиски в камерах Б і В, причому це продовжується доти, доки заслінка 6 не займе таке положення відносно сопла, за якого зрівноважаться моменти, створені зусиллям на сильфоні 5 зворотного зв'язку і мембрані 1. Оскільки деформація мембрани і сильфона є незначною (хід заслінки не перевищує 50 мікрон), зміна жорсткості цих пружних елементів не впливає на покази приладу.

Верхні межі вимірювання перепаду тиску дифманометром можна регулювати переміщенням сильфона 5 уздовж важеля 3. При цьому, по суті,

змінюється величина компенсувального зворотного зв'язку. Ущільнювальний сильфон 14 служить для виведення важеля 2 з камери тиску. Пружина 15 призначена для настроювання початкового тиску пневмосигналу  $P_{\text{вих}}$ .

Пневматичний підсилювач живиться стисненим повітрям, тиск якого складає 1,26...1,4 кгс/см<sup>2</sup>. Тиск живлення надходить у камеру А і через клапан 12 – у камеру В від'ємного зворотного зв'язку й у сильфон зворотного зв'язку 5. Далі надходить у лінію виходу та у камеру В – через дросель 8. Камера Г через клапан 13 сполучена з атмосферою. Демпфер 16 призначений для зменшення можливих автоколивань, які виникають у системі при великих стрибкоподібних змінах вимірюваного перепаду тиску.

### **Диференціальний манометр типу ДСЕР**

Диференціальний манометр ДСЕР являє собою безшкальний перетворювач перепаду тиску в струмовий уніфікований сигнал 0...5 мА. Чутливим елементом дифманометра є сильфон, який перетворює вимірюваний перепад тиску в зміщення магнітного плунжера. Дифманометр ДСЕР має те ж призначення, що і ДМПК та ДМ.

Цей дифманометр оснащений передавальним перетворювачем з магнітною компенсацією (рис. 9.3) типу ММП (магнітомодуляційний перетворювач), які виробляються у двох різновидах – з лінійною та квадратичною характеристиками і призначені для перетворення невеликих лінійних переміщень в електричний сигнал.

Перетворювачі з лінійною характеристикою використовуються з дифманометрами, призначеними для вимірювання перепаду, тиску, розрідження та рівня. Перетворювачі з квадратичною характеристикою призначені для дифманометрів, які використовуються для вимірювання

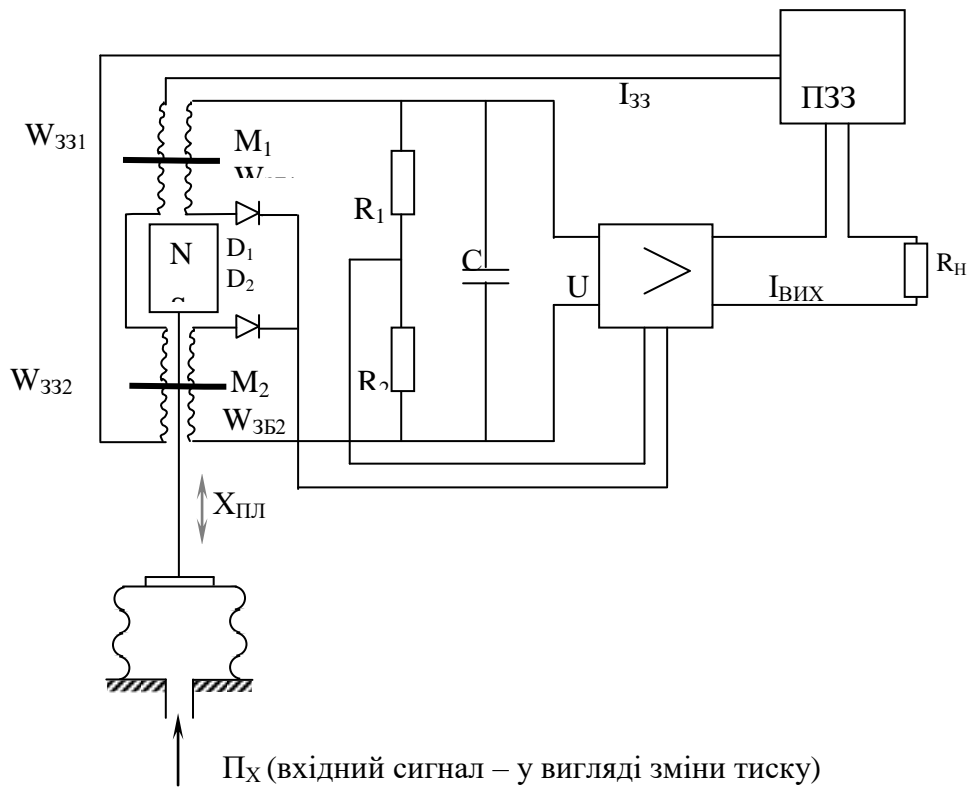


Рис. 9.3. Схема магніто-модуляційного перетворювача

витрати рідин і газів за перепадом тиску на звужувальному пристрої, зв'язаним із витратою квадратичною залежністю.

Структурна схема перетворювача з магнітною компенсацією зображена на рис. 9.4.

Магнітний плунжер 2 служить для перетворення переміщення центра чи вільного кінця пружного чутливого елемента 1 в керувальний магнітний потік  $\Phi_M$ . Магнітний перетворювач 3 призначений для перетворення різниці магнітних потоків  $\Delta\Phi = \Phi_M - \Phi_{33}$ , створюваних постійним магнітом 2 і струмом зворотного зв'язку  $I_{33}$ , в електричний сигнал  $U$ . Сигнал, який знімається з виходу магнітного перетворювального пристрою 3 подається на вхід напівпровідникового підсилювача 4, що підсилює його і перетворює у вихідний сигнал постійного струму  $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$  мА.

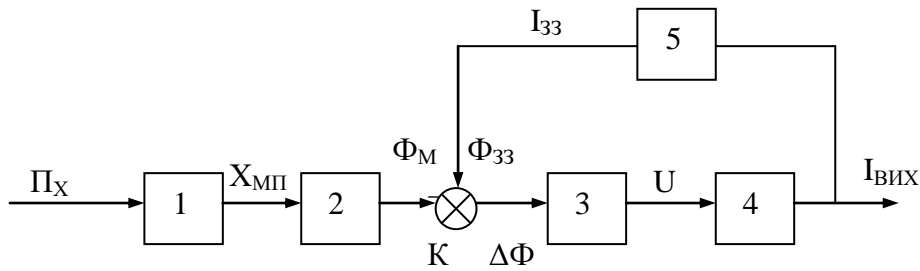


Рис. 9.4. Структурна схема перетворювача з магнітною компенсацією:

1 – чутливий елемент; 2 – магнітний плунжер (постійний магніт); 3 – магнітний перетворювальний пристрій; 4 – підсилювач; 5 – пристрій зворотного зв’язку; К – компаратор

Пристрій від’ємного зворотного зв’язку 5 дозволяє реалізувати необхідний закон перетворення.

Вихідний сигнал  $U$  магнітного перетворювального пристрою 3 визначається виразом

$$U = K_1 X_{\text{МП}} - K_2 I_{33}, \quad (9.2)$$

де  $K_1, K_2$  – постійні коефіцієнти;  $X_{\text{МП}}$  – переміщення магнітного плунжера;  $I_{33}$  – струм зворотного зв’язку.

Вихідний струм напівпровідникового підсилювача буде:

$$I_{\text{ВИХ}} = K_{\text{П}} U, \quad (9.3)$$

де  $K_{\text{П}}$  – коефіцієнт підсилення.

Для перетворювача з лінійною характеристикою:

$$X_{\text{МП}} = A \Pi_x, \quad I_{33} = K_{33} I_{\text{ВИХ}}, \quad (9.4)$$

де  $A$  – постійний коефіцієнт;  $K_{33}$  – коефіцієнт передачі пристрою зворотного зв’язку;  $\Pi_x$  – вимірювальний параметр.

Підставляючи (9.3) та (9.4) у (9.2), отримаємо

$$I_{\text{ВИХ}} = K_1 X_{\text{МП}} / (1 / K_{\text{П}} + K_2 K_{33}). \quad (9.5)$$

При досить великому коефіцієнті передачі підсилювача ( $K_{\text{П}} \rightarrow \infty$ ) цей вираз набуває вигляду

$$I_{\text{ВИХ}} = K_1 X_{\text{МП}} / (K_2 K_{33}) = A K_1 \Pi_x / (K_2 K_{33}). \quad (9.6)$$

При лінійному перетворенні вхідного сигналу від'ємний зворотний зв'язок утворюється резистором, через який протікає струм.

Для одержання пропорційної залежності вихідного струму передавального перетворювача від витрати середовища  $Q$ , вимірюваного за перепадом тиску  $\Delta P$  на звукувальному пристрої, коли

$$X_{\text{мп}} = A \cdot \Delta P = BQ^2, \quad (9.7)$$

Необхідно буде застосувати нелінійний зворотний зв'язок з такою залежністю:

$$I_{33} = K'_{33} I_{\text{вих}}^2. \quad (9.8)$$

Підставивши ці залежності у вирази (8.2) і (8.3), (при  $K_{\text{п}} \rightarrow \infty$ ) одержимо:

$$I_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{BK_1}{K_{33}K_2}} Q. \quad (9.9)$$

Квадратичний закон перетворення вимірюваної величини формується включенням у ланцюг від'ємного зворотного зв'язку нелінійних елементів.

Магнітний перетворювальний пристрій (рис. 9.3) складається з двох обмоток збудження  $W_{3Б1}$ ,  $W_{3Б2}$  і двох обмоток зворотного зв'язку  $W_{3З1}$  і  $W_{3З2}$ , розташованих на двох спеціальній форми магнітопроводах  $M_1$  і  $M_2$ . Ланцюг збудження містить діоди  $D_1$  і  $D_2$  та баластні резистори  $R_1$  і  $R_2$ . Обмотки збудження і баластні резистори утворюють вимірювальну схему незрівноваженого моста. Вимірювальний ланцюг моста містить також фільтрувальний конденсатор  $C$ . Живлення моста здійснюється від силового трансформатора підсилювача напругою у вигляді прямокутних імпульсів з частотою 50 Гц, сформованих за допомогою стабілітрона й обмежувального резистора. До вихідного ланцюга входять пристрій зворотного зв'язку ПЗВ і навантаження  $R_{\text{н}}$ . Обмотки збудження, розміщені на магнітопроводах, увімкнені зустрічно і зфазовані так, щоб у магнітопро-

водах магнітний потік, який створюється однією з них ( $W_{зБ1}$ ), був спрямований узгоджено з керувальним магнітним потоком постійного магніту NS, а іншої ( $W_{зБ2}$ ) – зустрічно. Обмотки зворотного зв'язку, що розміщуються на тих же магнітопроводах, також увімкнені зустрічно. Це дозволяє компенсувати збуджувані в них е.р.с. від обмоток збудження. Магнітні потоки в магнітопроводах  $M_1$  і  $M_2$ , які створюються струмом  $I_{зз}$  при протіканні його обмотками зворотного зв'язку, спрямовані магнітним потоком постійного магніту назустріч один одному.

При нейтральному положенні плунжера струми, що протікають в обмотках збудження, рівні між собою, але протилежні за напрямом, тому вихідний сигнал  $U$  мостової схеми дорівнює нулю. При зміщенні магнітного плунжера вгору або вниз на магнітопроводи  $M_1$  і  $M_2$  діє магнітний потік постійного магніту, який в одному магнітопроводі, наприклад,  $M_1$ , здійснює підмагнічувальну дію, додаючись до магнітного потоку від обмотки збудження  $W_{зБ1}$ , а в іншому,  $M_2$ , навпаки, діє розмагнічувально, віднімаючись від магнітного потоку обмотки  $W_{зБ2}$ . Внаслідок цього в магнітопроводі  $M_1$  стан насичення настане раніше, ніж у магнітопроводі  $M_2$ , а, отже, значення середнього струму, що протікає через обмотку збудження  $W_{зБ1}$ , і баластний резистор  $R_1$ , буде більшим, ніж у ланцюзі  $W_{зБ2} - R_2$ . Сигнал, що знімається з резисторів  $R_1$  і  $R_2$  буде пропорційним керувальному впливові магнітного потоку постійного магніту. Магнітні потоки зворотного зв'язку в магнітопроводах  $M_1$  і  $M_2$  спрямовані назустріч магнітним потокам постійного магніту. Магнітний потік зворотного зв'язку в магнітопроводі спрямований назустріч магнітному потоку від обмотки збудження  $W_{зБ1}$ , а в магнітопроводі  $M_2$  він збігається за напрямом із магнітним потоком від обмотки збудження  $W_{зБ2}$ . Робота магнітного перетворювального пристрою при керуванні постійним струмом зворотного зв'язку відбувається аналогічно ке-

руванню магнітним потоком постійного магніту. При зміщеному вгору постійному магніті сигнал, що знімається з резисторів, буде пропорційним результуючому керувальному впливові магнітних потоків постійного магніту і зворотного зв'язку.

За вторинні пристрої, що працюють у комплекті з магнітотрансформаторним перетворювачем, можуть використовуватися міліамперметри типу КПУ, КВУ і КСУ, електронні регулятори зі струмовим входом і КЕОМ.

### **Опис лабораторної установки**

Лабораторна установка (рис. 9.5) для вивчення та перевірки диференціальних вимірювачів тиску складається з трьох дифманометрів 1, 2, 3 типів ДМ, ДМПК, ДСЕР, що підлягають перевірці та зразкових вимірювачів тиску 4, 7, 9.

Зразковий вимірювач тиску 4 являє собою різновид промислового U-подібного рідинного диференціального манометра типу ДТ-5. Вимірювач 7 виконаний у вигляді чашкового манометра нестандартного типу; зразковий манометр 9 – пружинного типу.

Вторинними приладами, що визначають вихідні сигнали диференціальних манометрів є: міліамперметри 5,6 і манометр 8.

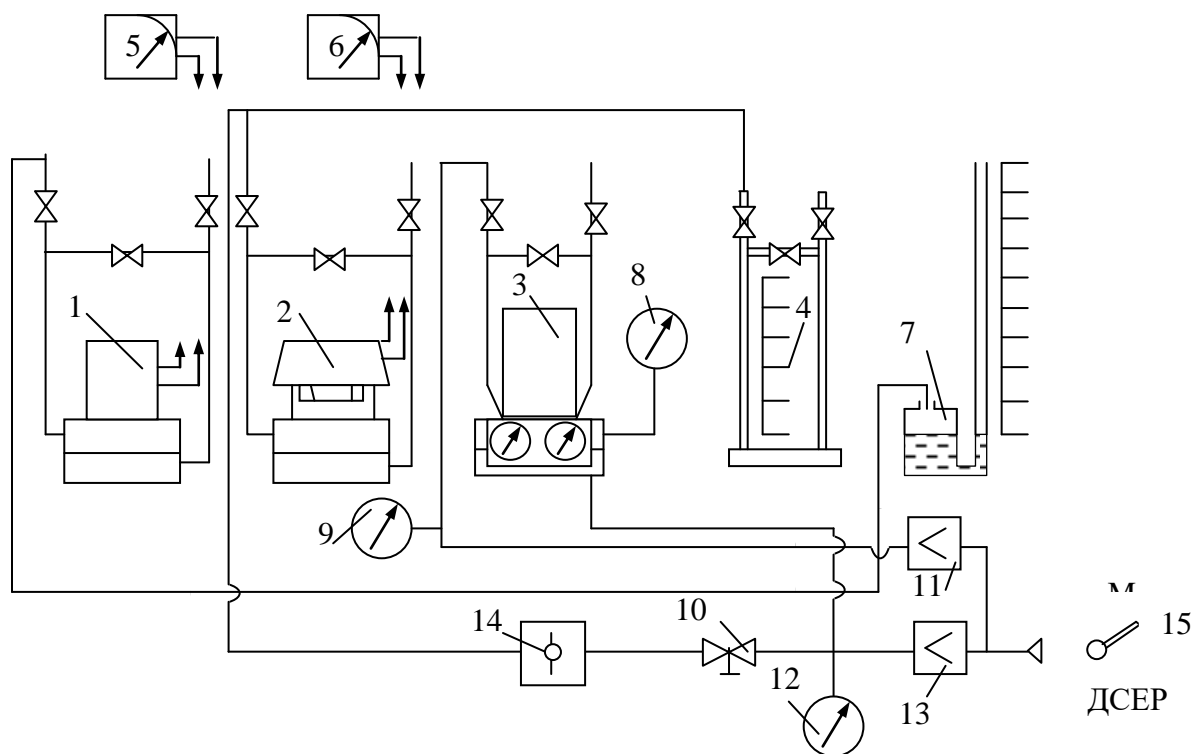


Рис. 9.5. Схема лабораторної установки

Методично перевірка дифманометрів зводиться до порівняння їхніх показів із показами зразкових вимірювачів, похибки яких істотно нижче похибок вивірюваних дифманометрів. Тиск на вивірювальний вимірювач і на зразковий манометр подається одночасно від одного джерела. При цьому пристрої завдання тиску повинні мати високу стабільність і відтворюваність.

У лабораторній установці тиск на прилади задається від джерела тиску за допомогою редуктора 11 для перевірки ДМПК-100, а для перевірки дифманометрів ДМ і ДСЕР – за допомогою регульованого дростеля 10. Прилади 1, 7 і 2, 4 попарно підключаються до задатчика тиску за допомогою комутатора пневматичних ліній 14, який має три фіксованих положення: ДМ, ДСЕР і нейтральне.

Тиск, який подається на установку та у лінію живлення дифманометра 3, регулюється редуктором 13 і контролюється манометром 12.



Вторинні прилади 5 і 6 підключаються до виходів дифманометрів 1 і 2 відповідно тумблером 15.

### Методика проведення експерименту

1. Ознайомитися з пристроєм і принципом дії досліджуваних дифманометрів.

2. Ознайомитися з лабораторною установкою і підготувати її до роботи, для чого:

2.1. установити межі вимірювань дифманометрів, що підлягають перевірці;

2.2. подати на установку тиск живлення ( $P = 1,26 \dots 1,4$  кгс/см<sup>2</sup>) за допомогою редуктора 13 і контрольного манометра 12. При цьому редуктор 11 і дросель 10 повинні перебувати в положенні, при якому тиск на вимірювачі не надходить, а комутатор 14 і тумблер 15 – у нейтральному положенні.

3. Комутатор 14 і тумблер 15 поставити в положення "ДМ".

4. Плавню змінюючи ступінь відкриття дроселя 10, подати на дифманометр 1 (за зразковим манометром 7) ряд фіксованих значень тиску з приростом через 10 % від максимального значення вимірюваного перепаду і зафіксувати відповідні значення вихідного сигналу дифманометра за показами міліамперметра 5.

5. Дросель 10 вернути у початкове положення.

6. Комутатор 14 і тумблер 15 перемкнути в положення "ДСЕР".

7. Здійснити перевірку дифманометра ДСЕР за зразковим приладом 4 відповідно до методики, наведеної в п. 4. Значення виходу дифманометра зафіксувати за показами міліамперметра 6.

8. Дросель 10 поставити у вихідне положення, комутатор 14 і тумблер 15 – у нейтральне.

9. Редуктором 11 подати вхідний тиск на дифманометр ДМПК-100 (за показами манометра 9), змінюючи його на 10 % від максимального значення вимірюваного перепаду тиску. Значення вихідного сигналу дифманометра зафіксувати за показами манометра 8.

10. Редукторами 11 і 13 скинути тиск до нульового значення.

11. За результатами експерименту побудувати статичні характеристики  $y_{\text{вих}} = f(x_{\text{вх}})$  вивірених дифманометрів.

### **Оформлення звіту**

Звіт повинен містити результати випробувань, схеми дифманометрів і установки, статичні характеристики вивірених дифманометрів.

## Лабораторна робота 7

### ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ

**Мета роботи.** Вивчити будову та принцип роботи приладів для вимірювання рівня; виконати градування вимірювачів рівня, змонтованих на лабораторному стенді.

Теоретичні відомості

**Поплавкові вимірювачі рівня.** В основу роботи цих вимірювачів (рівнемірів і датчиків-реле) покладено закон Архімеда, на якому побудовані як вимірювачі з постійною виштовхувальною силою – поплавкові, так і зі змінною – буйкові.

Вимірювачі першого типу (рис. 6.2) являють собою поплавок 1, підвішений на гнучкому тросі, перекинутому через ролики 2. На другому кінці троса закріплено тягар-противагу 3 для забезпечення постійного натягу троса. У статичному положенні вимірювача рівняння рівноваги сил, прикладених до поплавка, матиме вигляд (якщо знехтувати вагою троса)

$$G_{\text{п}} = N_A + N_g,$$

де  $G_{\text{п}}$  – сила тяжіння поплавка;  $N_A$  – виштовхувальна сила, що діє на поплавок з боку рідини;  $N_g$  – сила тяжіння тягаря-противаги 3.

Зі зміною рівня на поплавок діятиме додаткова виштовхувальна сила, обумовлена додатковим зануренням поплавка на глибину  $h_{\text{п}}$ . Тоді рівняння рівноваги матиме вигляд

$$G_{\text{п}} = N_g \pm S_{\text{п}} h_{\text{п}} \rho_{\text{р}},$$

де  $S_{\text{п}}$  – площа поперечного перерізу поплавка 1;  $\rho_{\text{р}}$  – густина рідини; знак  $\pm$  відповідає знакові зміни рівня.

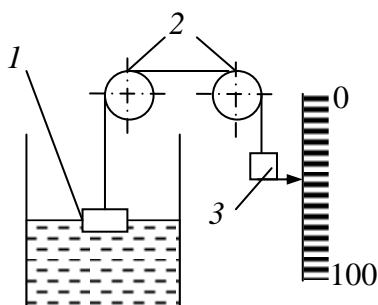


Рис. 6.2. Поплавковий рівнемір

Принцип постійного занурення поплавка широко використовують для вимірювання рівня в широкому і вузькому діапазонах зміни рівня.

Схему поплавкового вимірювача, використаного в лабораторній установці для сигналізації рівня у вузькому діапазоні, наведено на рис. 6.3. Прилад оснащено додатковим рівнемірним склом й електричним сигналізатором граничних значень.

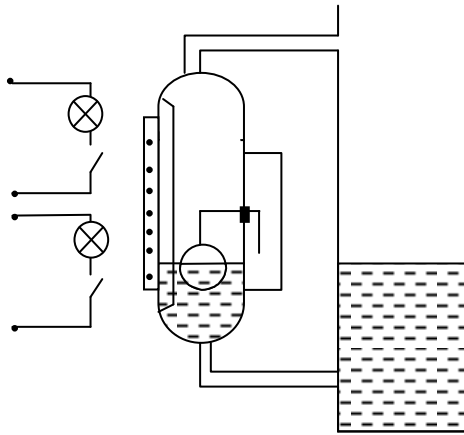


Рис. 6.3. Поплавковий сигналізатор рівня (датчик-реле)

Буйкові рівнеміри (рис. 6.4) використовують для вимірювання рівня як у широкому діапазоні, так і у вузькому. У цих вимірювачів зрівноважувальна сила розтягування пружини зі зміною рівня компенсується частковим зануренням буйка в рідину.

На рис. 6.4, *а* показано умову рівноваги буйка 2:  $S_6 l \rho_6 g = Lz$ , де  $S_6$  – площа поперечного перерізу буйка;  $\rho_6$  – питома вага матеріалу буйка;  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $z$  – жорсткість пружини  $L$ .

Для рис. 6.4, *б* умова рівноваги буде такою:  $S_6 l \rho_6 g - (H-x) S_6 \rho_p g = (L-x)z$ , де  $\rho_p$  – густина рідини;  $H$  – вимірюваний рівень. Розв'язуючи разом ці рівняння, знайдемо, що деформація пружини чи зміна положення поплавка визначають зміну рівня:

$$H = kx,$$

де  $k = 1 + z / (S_6 \rho_p g)$ .

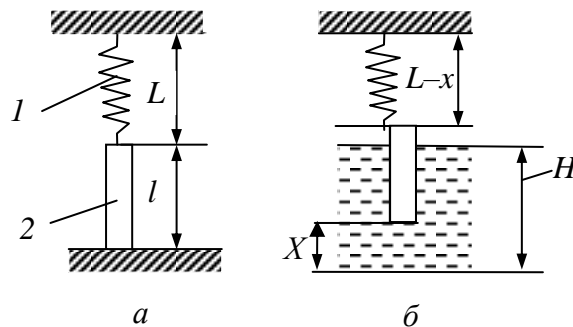


Рис. 6.4. Розрахункова схема буйкового рівнеміра за нульової (*а*) і ненульової (*б*) виштовхувальної сили

У промислових буйкових рівнемірах УБ-П замість пружини використано пневмосиловий перетворювач, що дозволяє розширити діапазон вимірювання рівня до 16 м.

На відміну від буйкових рівнемірів, які працюють за принципом *компенсації зміщення*\* з усіма їх недоліками, обумовленими виникненням значних реактивних сил, УБ-П реалізують принцип *компенсації сили*. Тому реактивні сили в них настільки малі (через мізерність зміщення), що ними нехтують. Спрощену схему рівнеміра УБ-П показано на рис. 6.5.

Вага буйка компенсується пружиною коректора 5. Але під час занурення частини буйка 1 в контрольовану рідину вихідний сигнал формуватиметься підйомною (архімедовою) силою, пропорційною вимірюваному рівневі  $H$ :  $N_A = \rho_p S_6 H g$ .

Дія підйомної сили  $N_A$  приведе до виникнення на важелі 2 моменту  $M_{вх} = a N_A = a \rho_p S_6 H g$ , пропорційного висоті рівня  $H$ . Це приведе до зміщення важеля 2 і зміни величини зазору  $\delta$  між заслінкою 6 і соплом 7, а також до відповідної зміни вихідного сигналу  $P_{вих}$ . У сильфоні зворотного зв'язку 4 сформується сила зворотного зв'язку  $N_{3,3} = F_{еф} P_{вих}$ , (де  $F_{еф}$  – ефективна площа сильфона 4), момент якої  $M_{3,3} = b N_{3,3}$  буде спрямований проти моменту  $M_{вх}$ .

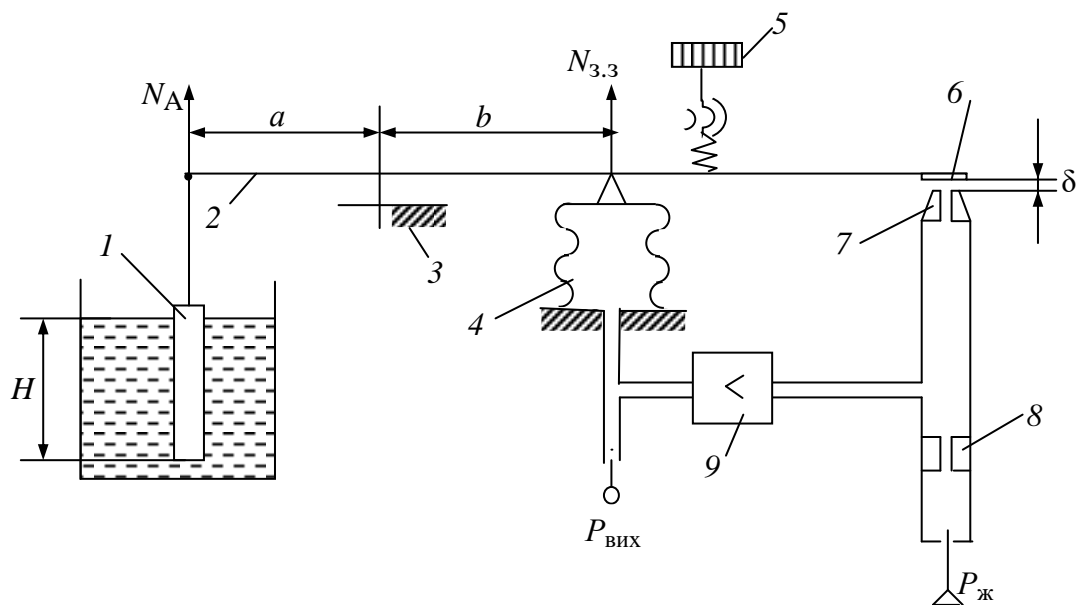


Рис. 6.5. Буйковий рівнемір із пневматичним вихідним сигналом: 1 – буйок; 2 – важіль; 3 – гнучка опора; 4 – сильфон зворотного зв'язку; 5 – коректор нуля; 6, 7, 8 – сопло, заслінка і постійний пневмодросель механопневматичного перетворювача типу «сопло – заслінка»; 9 – пневмопідсилювач

Рух важеля 2 припиниться, коли згадані моменти зрівняються, і система досягне нового стану рівноваги:  $M_{вх} = M_{3,3}$ . Звідси  $a \rho_p S_6 H g = b F_{еф} P_{вих}$ , а отже,  $P_{вих} = k H$ , де  $k = a \rho_p S_6 g / (b F_{еф})$ .

\* У буйкових рівнемірах за допомогою відповідного перетворювача зміщення буйка перетворюється у пневматичний або електричний сигнал.

**Гідростатичні рівнеміри.** У цих приладах вимірювання рівня рідини з постійною густиною зводиться до вимірювання гідростатичного тиску, створюваного стовпом рідини.

Із гідростатичних рівнемірів найбільшого розповсюдження набули пневмометричні рівнеміри та рівнеміри безпосереднього вимірювання гідростатичного тиску стовпа рідини, наприклад, за допомогою дифманометра.

Пневмометричне вимірювання рівня рідин ґрунтоване на ідеї гідравлічного затвора, який дозволяє встановлювати граничний тиск у пневматичній системі. Для вимірювання рівня (рис. 6.6) використовують повітря чи інертний газ, який під тиском  $P_B$  продувається через пневмометричну трубку 1, занурену в рідину:

$$P_B > P_x + \rho_p g H,$$

де  $P_x$  – тиск над рідиною в резервуарі;  $H$  – висота рівня рідини.

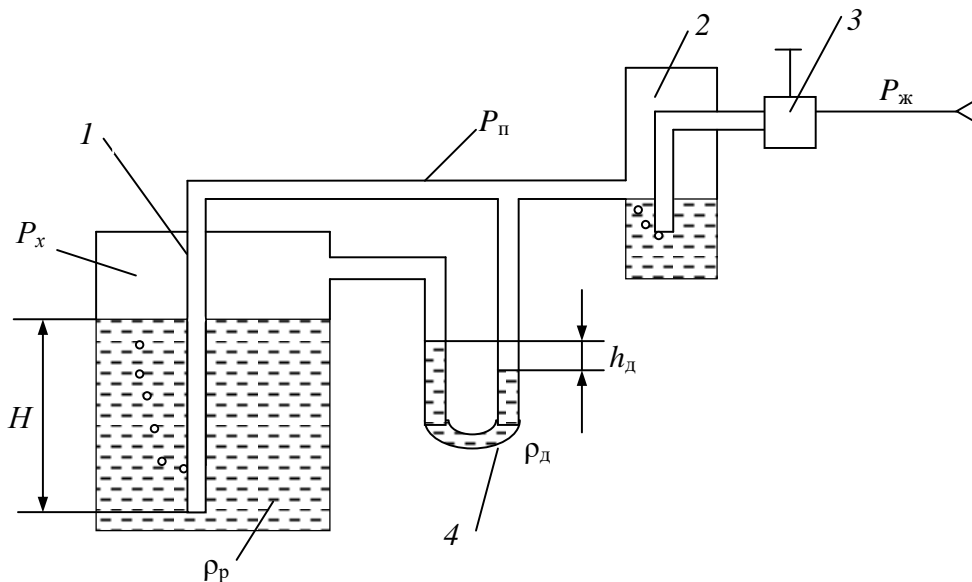


Рис. 6.6. Пневмометричний вимірювач

Повітря (інертний газ) безперервно продувається крізь шар рідини  $H$ . Кількість цього повітря регулюють редуктором 3 і контролюють за інтенсивністю барботажу ( $\approx 60$  бульбашок на хвилину) у контрольній посудині 2. Рівень рідини визначають за ustalеним тиском  $P_п$  у системі:  $P_п - P_x = \rho_p g H$ , звідки

$$H = (P_п - P_x) / (\rho_p g).$$

Тиск  $P_п - P_x$  визначають за висотою  $h_d$  стовпчика рідини в дифманометрі 4:

$$P_п - P_x = \rho_d g h_d,$$

де  $\rho_d$  – густина робочої рідини в дифманометрі 4;  $P_x$  – тиск парогазового середовища над поверхнею контрольованої рідини (у відкритих резервуарах його немає).

У результаті вимірюваний рівень визначають за залежністю

$$H = kh_d,$$

де  $k = \rho_d/\rho_p$ .

Іншим різновидом гідростатичних рівнемірів є рівнеміри, основу яких складають дифманометри будь-якої системи, що вимірюють тиск стовпа рідини в резервуарі. Дифманометрами можна вимірювати рівень у відкритих (6.7, а) і закритих (6.7, б) резервуарах (в останніх рідина може перебувати як під дією тиску парів  $P_x$ , так і під дією розрідження). Застосовуючи дифманометри для вимірювання рівня, необхідно використовувати зрівнювальні посудини  $I$ , заповнені до визначеного рівня тією ж рідиною, що й в резервуарі.

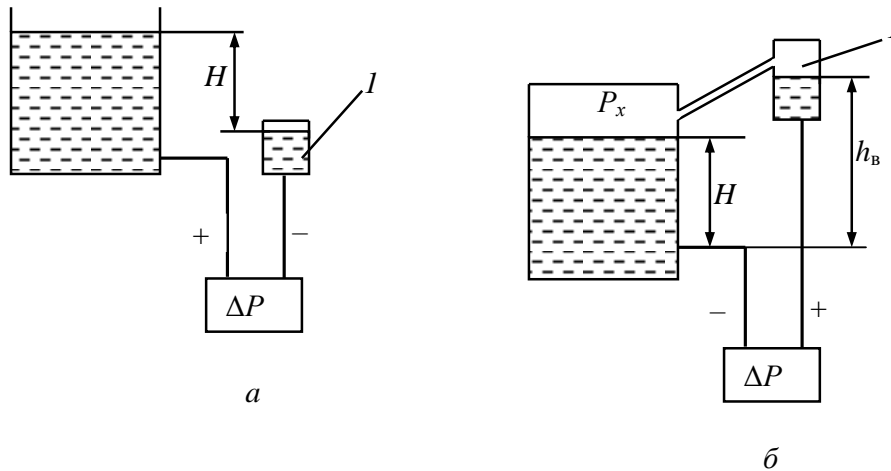


Рис. 6.7. Схема вимірювання рівня дифманометром у відкритих (а) і закритих (б) резервуарах

Вимірюваний рівень  $H$  у відкритому резервуарі при постійній густині рідини визначатиметься перепадом тиску на дифманометрі  $\Delta P$ :

$$H = k\Delta P, \quad (6.1)$$

де  $k = 1/(\rho_p g)$ .

Для вимірювання рівня в закритих резервуарах рівняння (6.1) набуде вигляду

$$H = h_b - k\Delta p.$$

**Електричні вимірювачі рівня.** В основу роботи електричних рівнемірів покладено залежність деяких електричних величин від властивостей вимірюваного середовища: ємності конденсатора, електропровідності, індуктивності тощо. На цих принципах створюють переважно сигналізатори рівня, рідше – вимірювачі рівня у вузькому діапазоні вимірювання. Пояснюється це залежністю електричних величин від цілого ряду невимірюваних факторів.

Вимірювання рівня ємнісним методом базується на змінюваності ємності зануреного в рідину конденсатора внаслідок перерозподілу діелектричних проникностей рідини і газового середовища над нею. Для плоского конденсатора (рис. 6.8), зануреного в рідину, ємність  $C = C_H + C_{L-H}$ , де  $C_H$ ,  $C_{L-H}$  – ємність відповідно зануреної і незануреної частин конденсатора.

Складові останнього виразу визначають так:

$$C_H = \varepsilon_p H b / a; \quad C_{L-H} = \varepsilon_r (L - H) b / a,$$

де  $\varepsilon_p$ ,  $\varepsilon_r$  – діелектрична проникність відповідно рідини і газу;  $L$ ,  $b$ ,  $a$  – відповідно висота, ширина пластин конденсатора та відстань між ними.

Тоді сумарна ємність

$$C = C_0 + kH,$$

де  $C_0 = \varepsilon_r L b / a$ ;  $k = b(\varepsilon_p - \varepsilon_r) / a$ .

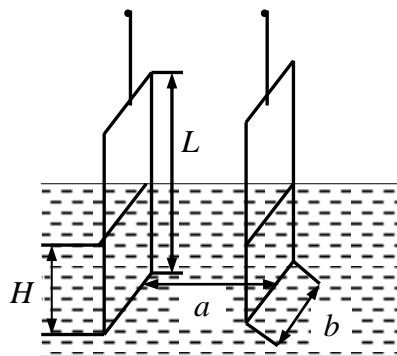


Рис. 6.8. Ємнісний вимірювач рівня

Аналогічними залежностями можна виразити ємність циліндричного конденсатора через глибину його занурення.

У приладах вітчизняного виробництва використано різноманітні схеми вимірювачів і сигналізаторів рівня ємнісного типу.

Розглянемо роботу сигналізаторів рівня ЕСР-2А, широко розповсюджених у хімічній промисловості і призначених для сигналізації та позиційного регулювання рівня (рис. 6.9).



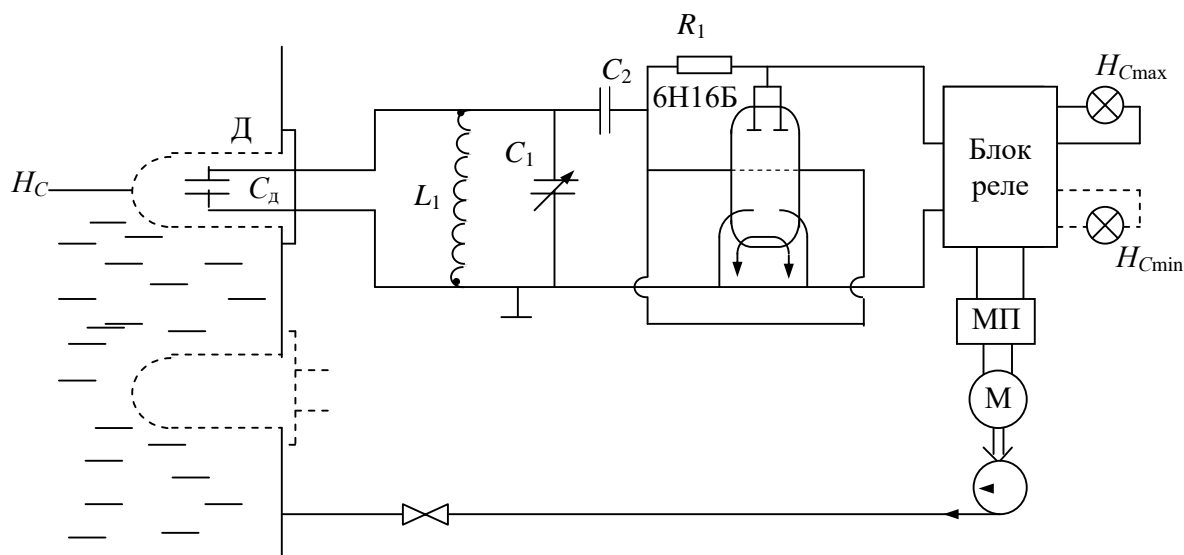


Рис. 6.9. Схема сигналізатора рівня ЕСР-2А:  $H_C$  – точка спрацьовування сигналізатора; Д – датчик;  $C_2$  – розділювальний конденсатор; МП – магнітний пускач; М – електропривід насоса

Принципова схема електронного блока являє собою генератор високої частоти, зібраний на лампі 6Н16Б і поєднаний електрично з ємнісним датчиком Д. Схему генератора настроюють підстроювальним конденсатором  $C_1$  таким чином, що зі зміною ємності датчика  $C_d$ , обумовленою зміною вимірюваного рівня, відбувається зрив високочастотних коливань, у результаті чого зростає вихідний струм в анодному колі лампи.

Навантаженням анодного кола є вихідне реле, що спрацьовує внаслідок зміни частоти коливань генератора чи – що те ж саме – рівня рідини. До контактів блока реле можна підключити пристрої сигналізації (звукової, світлової) чи пристрої керування (двигуни, соленоїдні пристрої тощо). Для забезпечення сигналізації (керування) у точках  $H_{Cmax}$  і  $H_{Cmin}$  застосовують два датчики і два генератори.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для вивчення рівнемірів (рис. 6.10) включає в себе скляний резервуар 2 з мірною шкалою; промисловий поплавковий датчик-реле РП-40 з водомірним склом і електричним реле 1; пневмометричний вимірювач зі скляною трубкою 3, блок живлення стиснутим повітрям 5 і вторинний прилад – дифманометр 4 типу ДТ-5; електронний сигналізатор рівня 6 типу ЕСР-2А; гідростатичний вимірювач рівня, що складається з дифманометра ДМПК-100 10, бачка постійного рівня 11 і вторинного приладу ПВ10.1Е 7; зливний резервуар 15; шестеренний насос із двигуном 16; універсальний перемикач 9; панель дистанційного керування 8; зливний вентиль 14.

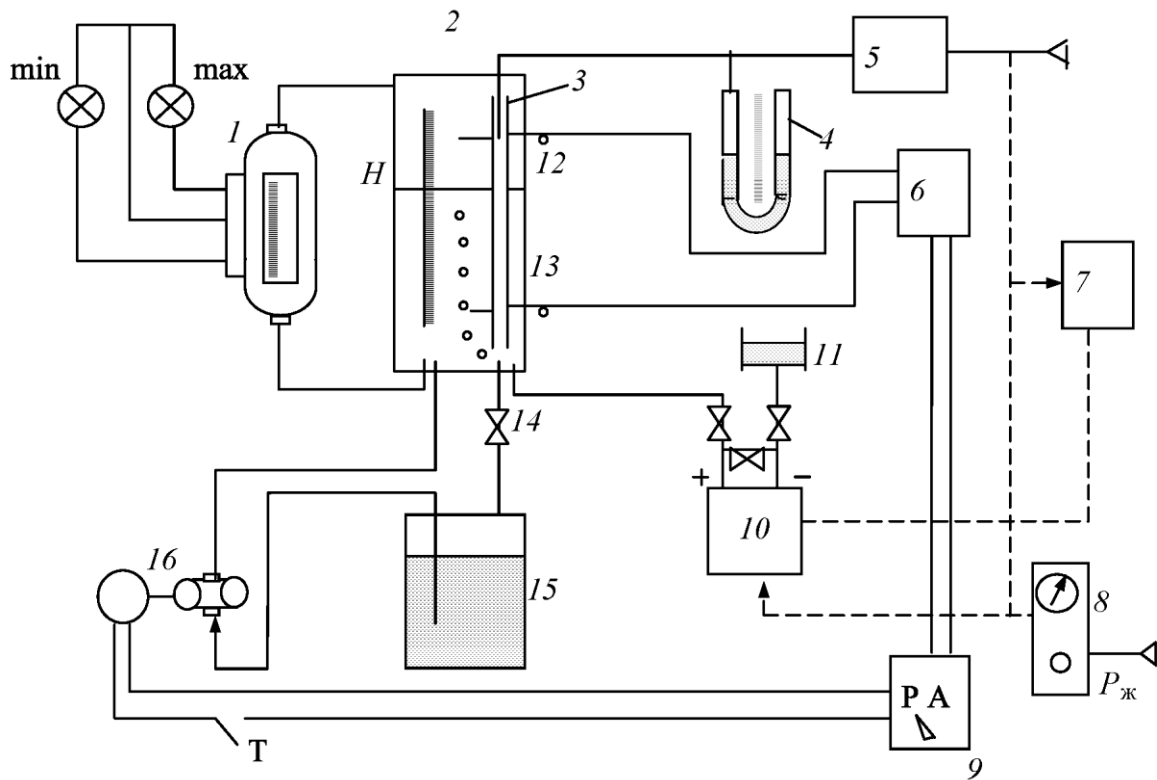


Рис. 6.10. Схема установки вимірювання рівня

Змонтовані на установці рівнеміри вимірюють рівень рідини у діапазонах, які необхідно визначити експериментально.

Робоча рідина з резервуара 15 насосом 16 закачується в резервуар 2 при закритому вентилі 14, а зливається через зливний патрубок в резервуар 15 при відключеному насосі і відкритому вентилі 14.

Поплавковий датчик-реле РП-40 оснащений сигнальним пристроєм, водомірним склом і шкалою, поділки якої відповідають поділкам шкали, встановленій на резервуарі 2.

Електроди ЕСР-2А 12 і 13 встановлено в резервуарі на різних позначках рівня, при досягненні яких рідиною спалахують сигнальні лампочки на електронному блоці 6. Сигналізатор ЕСР-2А працює як в режимі «просто» сигналізації, так і в режимі автоматичного регулювання рівня. Якщо перемикач 9 знаходиться в положенні «А», то вихідний сигнал сигналізатора автоматично вмикає і вимикає двигун шестеренного насоса після того, як рівень рідини досягне граничних значень. Якщо перемикач 9 перевернути в положення «Р», то режимом заповнення резервуара 2 можна керувати вручну. У схемі передбачено додаткове включення насоса тумблером Т, встановленим на похилій панелі стенда.

Гідростатичні рівнеміри (пневмометричний і дифманометричний) заживлені стисненим повітрям від панелі дистанційного керування 8. Тиск живлення становить 0,126...0,14 МПа (1,26...1,4 кгс/см<sup>2</sup>). Витрата повітря

через пневмометричну трубку 3 регулюється дроселем 5 на панелі живлення. Вихідний сигнал пневмометричного рівнеміра надходить на вторинний прилад – U-подібний дифманометр 4.

Для вимірювання рівня гідростатичним рівнеміром другого типу використовують дифманометр 10 з пневматичним виходом –  $P_{\text{вих}} = 0,02 \dots 0,1$  МПа ( $0,2 \dots 1$  кгс/см<sup>2</sup>).

Мінусова камера дифманометра 10 сполучена з бачком 11 постійного рівня, а додатна кріпиться до днища резервуара 2. Пневматичний вихідний сигнал дифманометра 10 вимірюється вторинним приладом 7, шкалу якого слід відградувати в одиницях рівня.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою.
2. Подати напругу живлення на стенд тумблером Т на похилій панелі.
3. Закрити вентиль 14 на зливному патрубку.
4. Подати живлення стисненого повітря на прилади 5, 7, 10.
5. Поставити ручку перемикача 9 в положення «Р».
6. Записати показання приладів 4 і 7.
7. Подати напругу живлення на двигун насоса тумблером Т.
8. Коли рідина досягне в резервуарі 2 рівня 10 % від усього діапазону (за мірною лінійкою), потрібно знеструмити насос тумблером Т.
9. Витримати час до встановлення рівня в резервуарі 2 на певній позначці.
10. Записати показання приладів 4 та 7.
11. Повторити операції пп. 7, 8, 9, 10, задаючи прирости рівня через кожні 10 % шкали мірної лінійки.
12. За мірною лінійкою відзначити точки спрацьовування сигнальних пристроїв рівнемірів 1 і 6.
13. За результатами експериментів побудувати градувальні характеристики приладів 4 і 7.
14. Вимкнути насос і відкрити зливний вентиль 14. Задаючи 10-відсоткову зміну рівня в резервуарі 2, побудувати градувальні характеристики приладів 4 і 7 за зменшення рівня.
15. Вимкнути насос і знеструмити стенд.

Оформлення звіту

Звіт має містити схеми рівнемірів, схему установки і градувальні характеристики перевірених рівнемірів.

## Лабораторна робота № 8

### ЧАСОВО-ІМПУЛЬСНІ ЦИФРОВІ ПРИЛАДИ (ПОДВІЙНОГО ІНТЕГРУВАННЯ)

**Мета роботи** – вивчити метод подвійного інтегрування, що реалізує метод компенсації похибки за знаком, і познайомитися з роботою цифрового приладу подвійного інтегрування А-565, а також універсального цифрового вимірювача електричних величин *UNI-T B838*.

#### Теоретичні відомості

Прилади подвійного інтегрування, що реалізують метод компенсації похибки за знаком, дозволяють автоматично усунути вплив адитивної складової похибки вимірювання.

Суть методу компенсації похибки за знаком полягає в наступному. Якщо на вхід якого-небудь вимірювального перетворювача подати сигнал вимірювальної інформації  $X$ , то, пройшовши через перетворювач, він перетвориться в сигнал  $Y = f(X)$  з деякою похибкою  $\Delta Y$ .

Якщо ж цей сигнал  $X$  спочатку скласти з деяким сигналом  $X_{зсв}$ , що перевищує максимально можливе значення вхідного сигналу  $X_{max}$ , а потім відняти його від цього сигналу, то після подачі по черзі цих нових сигналів на вхід вимірювального перетворювача на його виході теж будемо мати два нових вихідних сигнали  $Y_1 = f(X_{зсв} + X)$  і  $Y_2 = f(X_{зсв} - X)$  з деякою похибкою  $\Delta Y$ . Ця похибка буде мати однаковий знак в обох випадках, тому що вхідні сигнали  $(X_{зсв} + X)$  і  $(X_{зсв} - X)$  також будуть одного знака. Якщо функція перетворення  $Y = f(X)$  лінійна, то отримані сигнали  $Y_1$  і  $Y_2$  будуть мати такий вигляд:

$$Y_1 = kX_{зсв} + kX + \Delta Y,$$

$$Y_2 = kX_{зсв} - kX + \Delta Y.$$

Віднімаючи з першого вихідного сигналу другий та розділивши отриману різницю на два, отримаємо:

$$Y_{вих} = (Y_1 - Y_2) / 2 = (kX_{зсв} + kX + \Delta Y - kX_{зсв} + kX - \Delta Y) / 2 = kX.$$

Таким чином, на виході пристрою буде сигнал, який не містить похибки  $\Delta Y$ :

$$Y_{вих} = kX.$$

Структурна схема такого пристрою може бути представлена у вигляді:

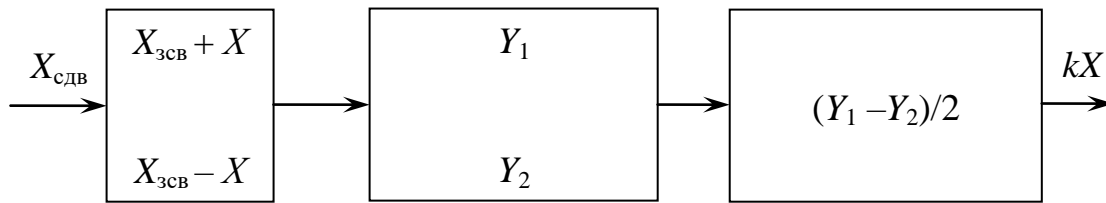


Рис. 1. Структурна схема приладу подвійного інтегрування

Практично цей метод можна реалізувати так.

Якщо на вхід інтегратора, що містить інтегровальний конденсатор, подати вхідний сигнал, який спочатку включає різницю між зсувною напругою  $U_{зсв}$  і вхідною напругою  $U_x$ , а потім суму цих напруг, то інтегратор зарядиться за деякий постійний проміжок часу  $\Delta T$  спочатку до напруги  $(U_{зсв} - U_x)k + \Delta U$ , а потім за такий же проміжок часу  $\Delta T$  – до напруги  $(U_{зсв} + U_x)k + \Delta U$ . Похибка  $\Delta U$  має один знак, оскільки вхідний сигнал в обох випадках одного знаку.

Подача на вхід інтегратора опорної напруги  $U_{оп}$  протилежного знаку спричинює розрядження інтегратора щораз після його зарядки до певного стану. А визначаючи за допомогою імпульсів каліброваної тривалості проміжки часу, за які інтегратор розрядиться до нульового стану, можна перетворити  $(U_{зсв} - U_x)k + \Delta U$  та  $(U_{зсв} + U_x)k + \Delta U$  у числа імпульсів  $N_{зсв} - N_x + \Delta N$  і  $N_{зсв} + N_x + \Delta N$ . Порахувавши отримане число імпульсів на реверсивному лічильнику спочатку у від’ємний бік, а відтак – у додатній, одержують на виході лічильника у чистому виді сигнал  $2N_x$ , що містить число імпульсів  $N_x$ , яке залежить від вхідного сигналу  $U_x$ .

Розділивши далі цей сигнал  $2N_x$  на 2, одержують  $N_x$ , що відображає вхідний сигнал  $U_x$  без адитивної складової похибки.

Функціональну блок-схему пристрою можна представити в такому виді (рис. 2.). За командою блоку керування  $T_{кер1}$  по черзі подає вхідну напругу  $U_x$  на плюсовий і мінусовий входи суматора, на третій вхід суматора подається напруга зсуву  $U_{зсв}$ . Складаючись спочатку із від’ємним, а потім із додатнім значеннями вхідного сигналу, ця напруга на виході суматора перетворюється в сигнал, що містить спочатку негативне значення вхідного сигналу, а потім позитивне. Але оскільки зсувна напруга  $U_{зсв}$  вибирається переважаючою максимальне значення вхідного сигналу, то похибка перетво-

рення  $\Delta U$  в обох випадках буде одного знака. Надходячи далі по черзі на інтегратор, вони заряджають його до сумарної напруги  $U_c = k(U_{зсв} - U_x) + k\Delta U$  і  $U_c = k(U_{зсв} + U_x) + k\Delta U$ .

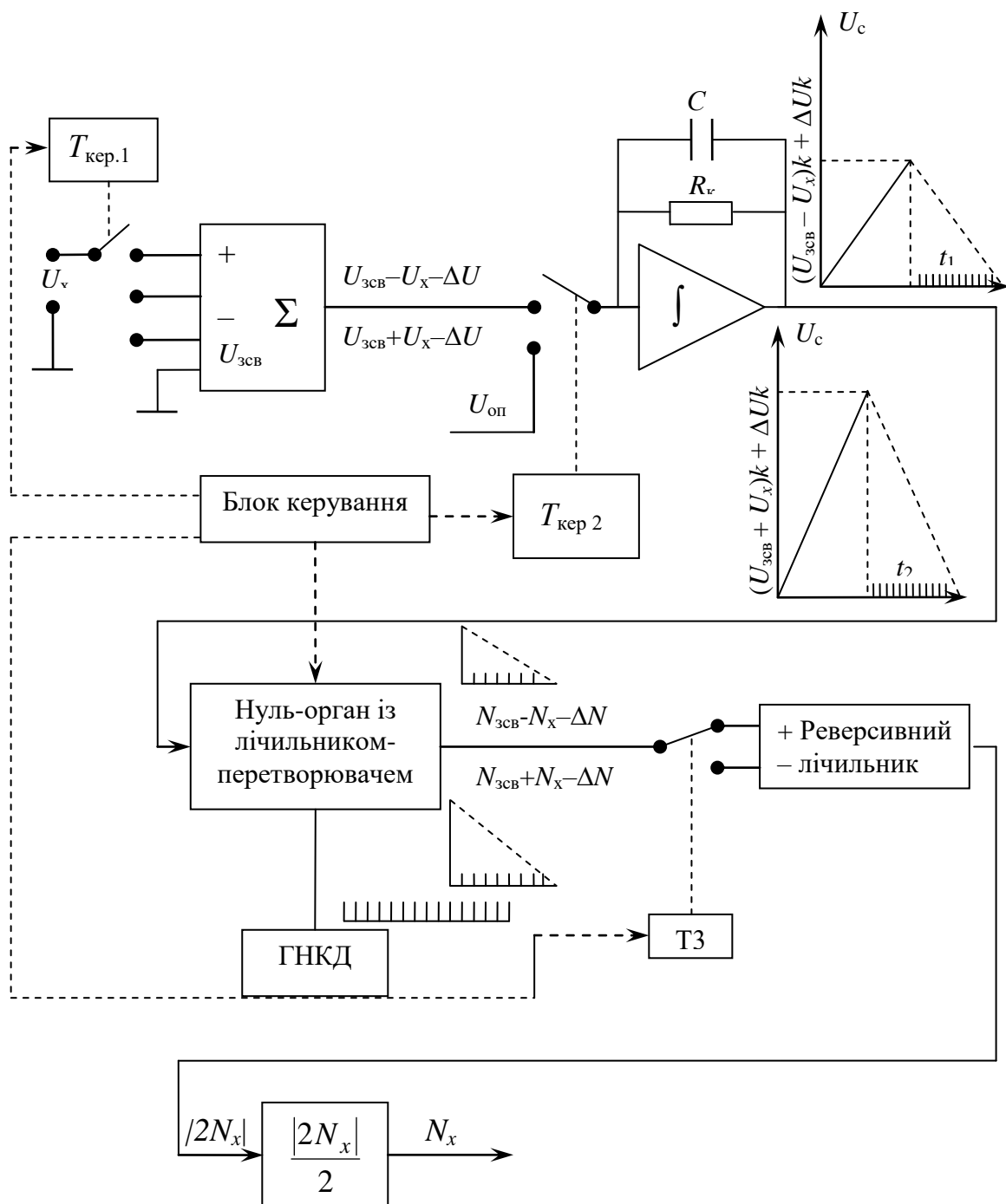


Рис. 2. Спрощена функціональна схема приладу подвійного інтегрування

За командою того ж блоку керування розряджаючи інтегратор за допомогою тригера керування  $T_{кер.2}$  до нульового стану та підключаючи щораз опорну напругу протилежного знака  $U_{оп}$ , вхідні сигнали на інтеграторі перетворюються у відрізки

часу  $t_1$  і  $t_2$ , які залежать від позитивного і негативного значень вхідного сигналу  $U_x$ . За допомогою спеціальної схеми, що містить нуль-індикатор обнуління інтегратора (нуль-орган) і лічильник-перетворювач, ці два проміжки часу  $t_1$  і  $t_2$  перетворюються в дві послідовності імпульсів  $N_{зсв} - N_x + \Delta N$  і  $N_{зсв} + N_x + \Delta N$ , що містять корисний сигнал  $N_x$  з позитивним і негативним знаками і сигнал похибки  $\Delta N$  одного знаку. Стабільність проходження імпульсів забезпечується генератором імпульсів каліброваної тривалості (ГІКТ).

Находячи далі на позитивний і негативний входи реверсивного лічильника (РЛ), ці імпульси перетворюються в послідовність імпульсів  $2N_x$ , яка містить подвійний корисний сигнал. Поділивши далі на два ці послідовності імпульсів, одержують вимірюваний сигнал  $N_x$ , позбавлений адитивної складової  $\Delta N$ .

### Будова та принцип дії приладу

В основу роботи приладу покладено принцип часо-імпульсного перетворення вхідних сигналів із застосуванням методу двоконтактного інтегрування.

Для збільшення заводозахищеності приладу здійснюється інтегрування із застосуванням східчастої вагової функції, а також усереднення десяти послідовних вимірів.

У прилади, що працюють у комплекті з термоелектричними перетворювачами, уведена схема лінеаризації, виконана в цифровій частині.

Корекція адитивної складової похибки приладів здійснюється автоматично.

Функціональна схема приладу наведена на рис. 3. Часова діаграма напруг, що пояснює роботу приладу, зображена на рис. 4.

У вихідному стані ключі  $S2$ ,  $S6$  замкнуті, інші – розімкнуті. Інтегратор переводиться в початковий стан, а лічильники – у вихідний стан. Перший такт тривалістю  $30\text{ ms}$  розбитий на три рівні часові інтервали. На початку цього такту ключ  $S6$  розмикається, а ключ  $S3$  замикається, підключаючи на вхід інтегратора посилену підсилювачем ППТ вимірювану напругу (негативної полярності)  $U_{вх}^-$  і напругу дрейфу, приведену до входу ППТ.

До другого каскаду ППТ підключена напруга зсуву  $U_{зсв}$  позитивної полярності такої величини, щоб за будь-якої полярності вимірюваної напруги на виході підсилювача ППТ була напруга однієї полярності.

За час першого такту напруга на виході інтегратора досягає величини  $U_{вих1}$ .

Зміна сталої часу інтегрування виробляється замиканням ключа  $S4$  через  $10\text{ ms}$  після початку першого такту і його розмикання через  $20\text{ ms}$  (від початку такту). Ключі  $S3$  і  $S4$  підключають до конденсатора інтегратора зарядні резистори однакового номінального значення, що забезпечує в два рази зміну стала часу інтегрування, а отже, крутизни вихідної напруги інтегратора.

В другому такті ключ  $S3$  розмикається, а  $S1$ ,  $S5$  замикаються. На вхід інтегратора подається напруга  $U_0$  джерела опорної напруги з полярністю, протилежною полярності вхідної напруги інтегратора в першому такті.

Напруга на виході інтегратора падає від величини  $U_{\text{вих1}}$  до нуля й у цей момент спрацьовує нуль-орган.

На час  $T_{x1}$  підсумовувальний вхід реверсивного лічильника РЛ через блок керування БК з'єднується з генератором імпульсів ГІ. За цей час на реверсивний лічильник надійде число імпульсів

$$N_1 = f_0 \cdot T_{x1}, \quad (2.1)$$

де  $N_1$  – число імпульсів, що надходять на підсумовувальний вхід реверсивного лічильника за час  $T_{x1}$ ;  $f_0$  – частота проходження імпульсів генератора імпульсів.

У третьому такті розмикається ключ  $S5$  і замикається  $S6$ . Відбувається установка інтегратора в початковий стан. Комутація зазначених ключів здійснюється сигналом нуль-органа.

За час четвертого такту відбувається підстроювання схеми під фазу мережі живлення.

П'ятий такт починається в момент переходу через нуль напруги мережі живлення. Ключ  $S6$  розмикається, а  $S1$ ,  $S3$  замикаються. На вхід інтегратора надходить та ж напруга, що й у першому такті, але протилежній полярності ( $U_{\text{вх}}^+$ ) плюс посилена ППТ напруга дрейфу.

Аналогічно першому такту п'ятий такт розбитий на три тимчасові інтервали по  $10\text{ ms}$  кожний. Через  $10\text{ ms}$  після початку п'ятого такту замикається ключ  $S4$ , змінюючи сталу часу інтегрування, а через  $20\text{ ms}$  знову розмикається.

Напруга на виході інтегратора за час п'ятого такту досягає величини  $U_{\text{вих2}}$ .

У шостому такті ключ  $S3$  розмикається, а  $S5$  замикається. Напруга на виході інтегратора падає від величини  $U_{\text{вих2}}$  до нуля, коли спрацьовує нуль-орган.



На час  $T_{x2}$  блок керування підключає до генератора тактових імпульсів віднімальний вхід реверсивного лічильника. За цей час на реверсивний лічильник надійде число імпульсів

$$N_2 = f_0 \cdot T_{x2}. \quad (2.2)$$

Тригери  $T1$  і  $T2$  спільно зі схемами збігу  $I1$ ,  $I2$  та схемою збирання ЧИ дозволяють одержати різницю  $N_x$  між числами імпульсів  $N_2$  і  $N_1$ , яка пропорційна вимірюваній напрузі  $U_x$ .

Число імпульсів  $N_x$  через схему лінеаризації СЛ надходить на лічильник імпульсів ІІІ.

На початку сьомого такту ключ  $S1$  розмикається, а  $S2$  замикається.

Аналогічно третьому тактові, відбувається переведення інтегратора в початковий стан. Для забезпечення усереднення десяти послідовних вимірювань кожен десятий імпульс цього ж такту формує команду на перепис інформації в регістр пам'яті РП, яка через дешифратор ДШ надходить на індикаторне табло ІНД.

На початку восьмого такту схема повертається у вихідний стан. Крім того, у цьому ж такті відбувається підстроювання схеми під фазу мережі живлення (як у четвертому такті).

Перший такт починається в момент переходу напруги мережі живлення через нульове значення.

Пристрій сигналізації (регулювання) приладів містить два незалежні канали, які дозволяють здійснювати трипозиційне регулювання. Спрацьовування кожного з каналів дублюється світловою індикацією.

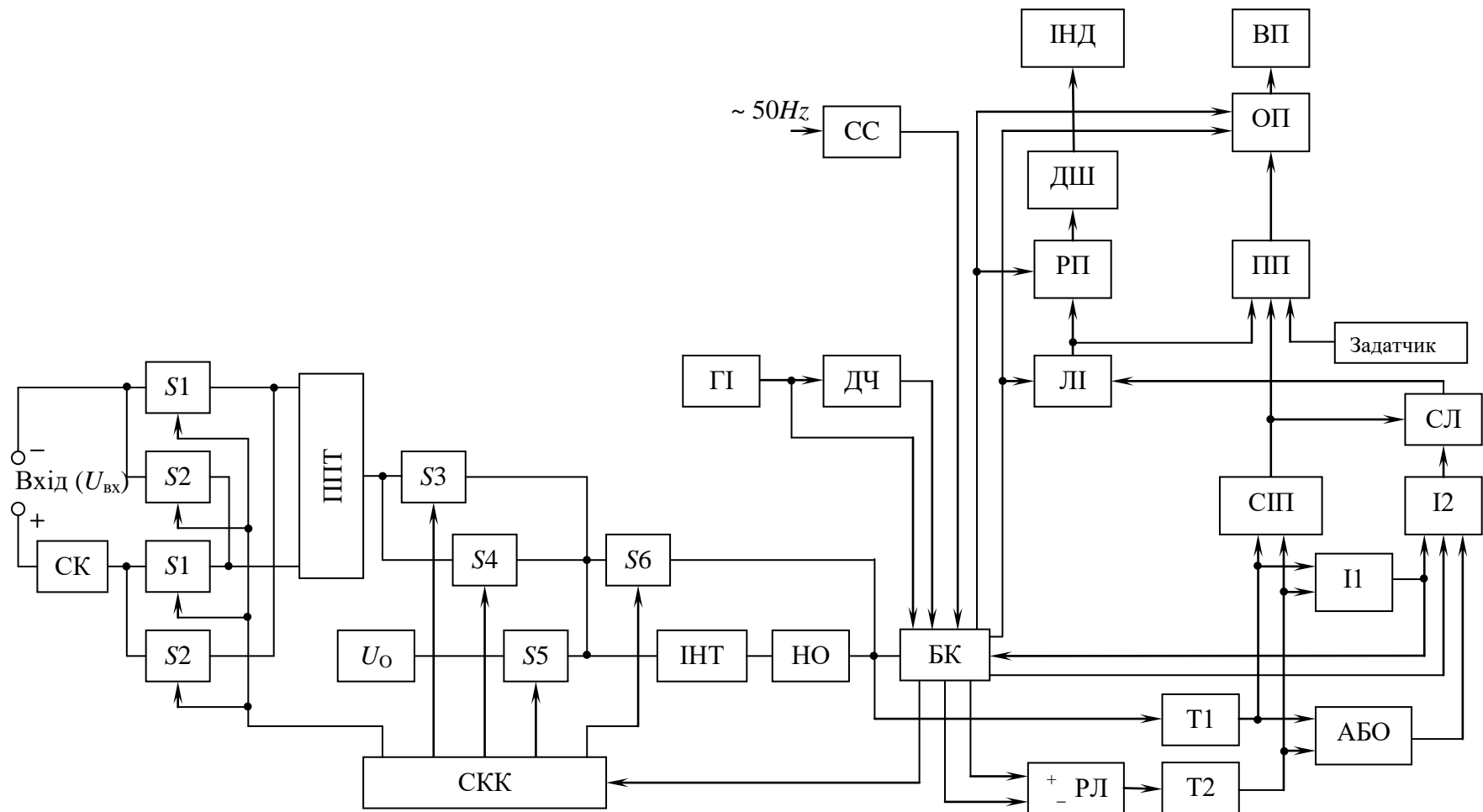


Рис. 3. Функціональна схема приладу: подвійного інтегрування.  $S1 \dots S6$  – ключі; СК – схема компенсації; ППТ – підсилювач постійного струму;  $U_0$  – джерело опорної напруги; СКК – схема керування ключами; ІНТ – інтегратор; НО – нуль-орган; БК – блок керування; ГІ – генератор імпульсів; ДЧ – дільник частоти; СС – схема синхронізації; РЛ – реверсивний лічильник; Т1, Т2 – тригери; АБО – схема збирання «АБО»; І1, І2 – схема збігу «І»; СП – Схема індикації полярності; СЛ – схема цифрової лінеаризації; ЛІ – лічильник імпульсів; РП – регістр пам'яті; ДШ – дешифратор; ІНД – індикаторне табло; ПП – пристрій порівняння; ОП – оперативна пам'ять; ВП – виконавчий пристрій.

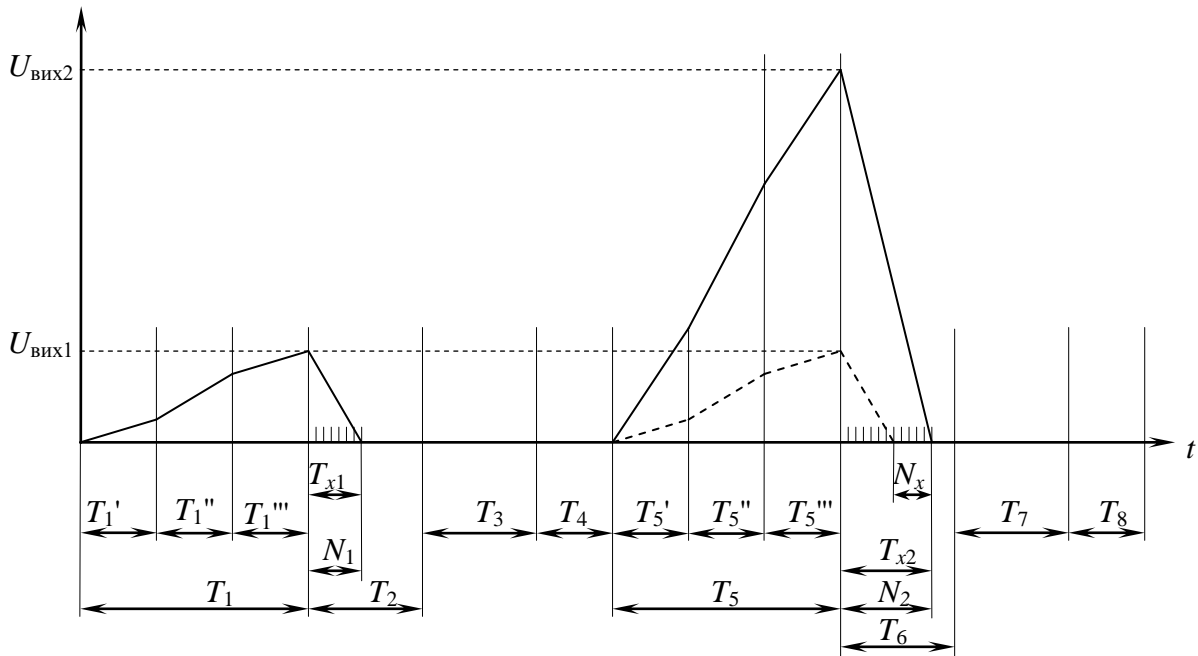


Рис. 4. Часова діаграма напруги

### Порядок виконання роботи

1. Увімкнути стенд.
2. За допомогою перемикача Т (рис. 5) підключити до джерела ЕРС (БРН) перший перевірюваний прилад (А-565).

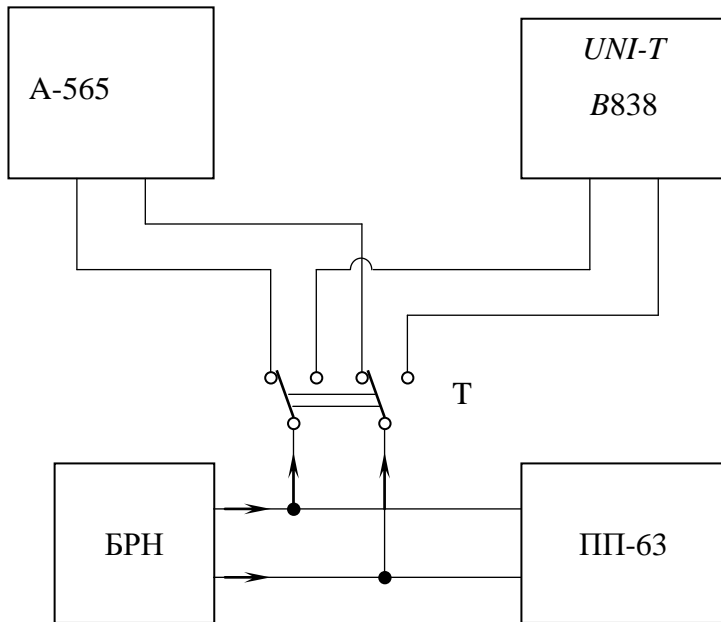


Рис. 5. Схема лабораторної установки

3. Увімкнути прилад А-565.
4. Подати на вхід перевірюваного приладу ЕРС так, щоб його індикатор точно показував задану температуру (100 °С, 150 °С, 200 С,..).

5. Увімкнути лабораторний потенціометр ПП-63 і настроїти його робочий струм у режимі “Контроль”.
6. Перевести тумблер роду роботи потенціометра ПП-63 у режим “Вимірювання”.
7. Виміряти потенціометром ПП-63 ЕРС, яка надходить на вхід перевірюваного приладу А-565 при заданій температурі на його виході.
8. Порівняти виміряну ЕРС з табличним значенням (для НСХ перетворення  $L$ ) при тій же вихідній температурі з урахуванням поправки на відхилення температури холодного спаю від температури градування. Температуру холодного спаю визначають шляхом закорочування входу перевірюваного приладу. Наближене її значення можна визначити за показаннями термометра.
9. Визначити абсолютну, відносну і зведену похибки перевірюваного приладу та варіацію його показань.
10. Оцінити точність отриманих результатів вимірювань з огляду на клас точності перевірюваного приладу.
11. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці.
12. Побудувати графічні залежності отриманих і припустимих похибок вимірювань від заданої температури.
13. Аналогічні досліди проробити з наступним перевірюваним приладом.

Таблиця

Задана температура, °С	Термо-ЕРС за градувальною таблицею при температурі холодного спаю $t_0 = 0$ °С	Поправка на реальну температуру $t_0'$ холодного спаю $\Delta e(t_0')$	Виміряне значення				Похибки вимірювань				Варіація вимірювань				
			Прямий хід		Зворотний хід		Абсолютна, мВ		Відносна, %			Зведена, %			
			ЕРС для реальної температури холодного спаю $E_{AB}(t, t_0)$	Термо-ЕРС з урахуванням поправки $E(t, t_0) = E(t, t_0) + \Delta e(t_0')$	ЕРС для реальної температури холодного спаю $E_{AB}(t, t_0)$	Термо-ЕРС з урахуванням поправки $E(t, t_0) = E(t, t_0) + \Delta e(t_0')$	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід		Прямий хід	Зворотний хід		

## **Оформлення звіту**

Звіт про виконану лабораторну роботу має містити схему лабораторної установки, структурну схему й опис приладу, що реалізує метод подвійного інтегрування, протокол і результати досліджень, а також висновки щодо можливості експлуатації перевірених приладів.

## Список використаної та рекомендованої літератури

1. **Датчики** [Текст]: Справочник / Сост.: З. Ю. Готра, Л. Я. Ильницкий, Е. С. Полищук и др.; Под ред. З. Ю. Готры, О. И. Чайковского. – Львов: Каменяр, 1995. – 312 с.: ил. – Библиогр.: в конце глав. – ISBN 5-7745-0233-3.
2. **ДСТУ ГОСТ 8.586(1–5):2009** (ИСО 5167-(1:4):2003). Межгосударственный стандарт [Текст]: Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. – Чинний від 01.04.2010. – К.: Держстандарт України, 2010.
3. **Калениченко А. Ф.** Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике [Текст] : учеб.-практ. пособ. / А. Ф. Калениченко, Н. В. Уваров, В. В. Дойников ; под ред. А. Ф. Калениченко. – М.: «Инфра-Инженерия», 2008. – 576 с.: ил. – Библиогр.: с. 551–553. – 2000 экз. – ISBN 978-5-9729-0017-6.
4. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : Навч. посіб. для курс. проектування. – К.: НТУУ «КПІ», 2002. – 268 с. : іл. – Бібліогр.: с. 241.
5. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 436 с. : іл. – Біблігр.: с. 427-428. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-247-6.
6. **Лукінюк М. В.** Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.: У 2 кн. Книга 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Хімічна технологія та інженерія». – К.: ІВЦ “Видавництво «По-літехніка”», 2012. – 336 с. : іл. – Бібліогр.: с. 328–330. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-530-9.
7. **Поліщук Є. С.** Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник. – Львів: Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. – 360 с.
8. **Промислові засоби автоматизації:** Навч. посібник: У 2 ч. Ч. 1. Вимірювальні пристрої / Бабіченко А.К., Тошинський В.І., Михайлов В.С., Подустов М.О., Пугановський О.В.; За заг. ред. А.К. Бабіченка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003 р. – 470 с.
9. **Промислові засоби автоматизації:** Навч. посібник: У 2 ч. Ч. 2. Регулювальні і виконавчі пристрої / Бабіченко А.К., Хотинський В.І., Михайлов В.С., Молчанов В.І., Подустов М.О., Пугановський О.В., Вельма В.І.; За заг. ред. А.К. Бабіченка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003 р. – 658 с.
10. **Храмов А. В.** Первинні вимірювальні перетворювачі вимірювальних приладів і автоматичних систем [Текст]: Навчальний посібник. – К.: «Вища школа», 1998. – 527 с.

## ЗМІСТ

<b>Лабораторна робота 1.</b> Перетворювачі сигналів і системи передачі вимірювальної інформації.....	3
<b>Лабораторна робота 2.</b> Вимірювальні перетворювачі тиску типу «САФІР».....	21
<b>Лабораторна робота 3.</b> Концентратоміри.....	48
<b>Лабораторна робота 4.</b> Термокондуктометричний газоаналізатор.....	59
<b>Лабораторна робота 5.</b> Вимірювання витрати .....	68
<b>Лабораторна робота 6.</b> Перевірка диференціальних манометрів.....	77
<b>Лабораторна робота 7.</b> Вимірювання рівня.....	91
<b>Лабораторна робота 8.</b> Часово-імпульсні цифрові прилади (подвійного інтегрування) .....	100
Список використаної та рекомендованої літератури .....	111

ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ  
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для студентів напрямку підготовки  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладачі: Лукінюк Михайло Васильович, старш. викл.

Сташкевич Павло Миколайович, старш. викл.

Відповідальний  
редактор

А. І. Жученко, докт. техн. наук, проф.

Рецензент

В. М. Ковалевський, канд. техн. наук, доц.

*У авторській редакції*