

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу «Автоматизація ливарного виробництва»,
для студентів спеціальності
131 Прикладна механіка

Харків 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу «Автоматизація ливарного виробництва»,
для студентів спеціальності
131 Прикладна механіка

Затверджено
редакційно-методичною
радою університету,
протокол № 1 від 13.02.2025

Харків 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Автоматизація ливарного виробництва», для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка / Укл. Дьомін Д. О., Пензєв П. С. – Харків, НТУ «ХПІ», 2025. – 42 с.

Укладачі: Д. О. Дьомін
П. С. Пензєв

Рецензент проф. Акімов О.В.

Кафедра ливарного виробництва

Лабораторна робота №1

ПОВІРКА АВТОМАТИЧНИХ МОСТІВ

Мета роботи.

1. Ознайомитися з принципом дії та пристроєм електричних термометрів опору та вторинних приладів (врівноважених та неуврівноважених мостів.)
2. Здійснити перевірку електронного мосту типу МС1-0.5.

1.1. Опис роботи

Одним із методів вимірювання температури є метод, заснований на застосуванні термометра опору, що працює в комплекті з автоматичним урівноваженим мостом.

1.2. Термометри опору

Вимірювання температури термометрами опору ґрунтується на визначенні електричного опору провідника зі зміною температури. Знаючи залежність опору від температури, можна змінити визначити температуру середовища, в яку поміщений термометр опору. У разі підвищення температури опір чистих металів зростає, а напівпровідників (термісторів) знижується.

Термометри опору (з чистих металів) дуже прості за конструкцією. Тонку металеву дріт біфілярно обмотують на пластмасовий або керамічний каркас, зверху закривають захисним металевим кожухом. Для вимірювання температур від -50 до $+180$ °С як матеріал зазвичай застосовують мідний дріт від 0,05 до 0,1 мм (термометри опору тип ТСМ). Для виміру нижчих температур (до -200 °С) чи вищих (до $+650$ °С) застосовують платинові термометри, наприклад типу ТСП.

Залежність опору металу від температури у невеликому інтервалі температур можна приблизно виразити рівнянням

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t), \quad (1)$$

де R_t – опір металевого провідника за температури t ;

R_0 – опір металевого провідника за температури $t_0 = 0^\circ\text{C}$,

t – інтервал зміни температури,

α – температурний коефіцієнт електричного опору для платини $\alpha = 0,0039$ $1/^\circ\text{C}$, для міді $\alpha = 0,00426$ $1/^\circ\text{C}$.

Діапазони температур для платинових термометрів опору ПММ наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Діапазони температур термометрів опору

Тип термометра опору	Діапазон температур при тривалому застосуванні	
	від	до
ТСП	0	650
	-200	650
	-200	650
ТСМ	-50	180
	-50	180

1.3. Врівноважені та неуврівноважені мости

Як вторинні прилади в комплекті з термометрами опору зазвичай застосовують автоматичні електронні врівноважені мости та логометри.

В основу роботи врівноваженого моста покладено принцип вимірювання електричних опорів методом врівноваження або нульовим методом.

Принципова схема врівноваженого моста наведено на рис. 1. Термометр опору R_t включається в одне з плечей моста з'єднувальними проводами з опором R . Інші плечі мосту складаються з постійних опорів R_1 , R_2 і комбінованого змінного опору реохорда R_p , виконаного теж з манганіну. До однієї діагоналі моста підведено живлення постійного чи змінного струму, до іншої діагональ включається нуль-гальванометр.

При рівновазі моста задовольняється рівність

$$R_p R_2 = (R_t + 2R_1) R_1. \quad (2)$$

Звідки

$$\frac{R_p R_2}{R_1} - 2R_1 = R_t. \quad (3)$$

У цьому випадку різниця потенціалів між точками d і b стане рівною нулю, струм не протікатиме через нуль-гальванометр і його стрілка встановиться на нульовій позначці.

При зміні температури величина електричного опору термометра опору зміниться і розбалансиється міст. Щоб відновити рівновагу, необхідно при постійних опорах R_1 , R_2 відповідно змінити величину опору реохорду R_p шляхом переміщення двигуна. Таким чином, якщо відкалібрувати опір R_p , то за становищем його движка при рівновазі моста можна однозначно судити про величину опору R_t і, отже, про температуру, що вимірюється.

Неуврівноважений вимірювальний міст (рис. 2) через невисоку точність показань застосовується лише для технічних вимірів. У три плечі його включені постійні резистори R_1 , R_2 , R_3 , а четверте, залежно від положення перемикача, - термометр опору R_t з сполучними проводами R_n (положення U) або

контрольний резистор R_K (положення К). До діагоналі моста підключається джерело постійного струму Б і реостат R для встановлення робочого струму, а до діагоналі cd – мілівольтметр зі шкалою, градуйованою С.

Опір R_1 , R_2 , R_3 підібрані так, щоб міст знаходився в рівновазі при температурі, позначеної на початку шкали міліамперметра, тобто при крайньому лівому положенні вказівної стрілки електричний струм через нього не проходить. При зміні температури термометра опору порушується рівновага моста, через мілівольтметр пройде струм і відхилиться стріла. Величина відхилення стрілки буде пропорційна силі струму, що протікає через мілівольтметр.

При постійній різниці потенціалів в точках a і b , яка підтримується реостатом R, відхилення стрілки залежатиме від опору термометра R_t , який в свою чергу залежить від температури середовища.

Контроль сталості різниці потенціалів у точках a і здійснюється шляхом періодичного включення резистора R_K в плече моста ab замість термометра опору. При нормальному значенні струму стрілка вимірювального приладу встановиться на контрольному поділку, позначеному червоною лінією на шкалі. Якщо напруга джерела струму знизити, стрілка приладу не дійде до контрольної позначки і вимагатиме збільшення напруги за допомогою реостата.

У виробничих умовах термометр опору може бути на значному віддаленні від вторинного приладу. При коливаннях температури приміщення, в якому прокладаються з'єднувальні дроти, величина їх опору змінюватиметься. Як впливає з рівняння (3), це призведе до додаткової похибки у показаннях приладу. Для зменшення зазначеної похибки застосовується трипроводна схема з'єднань термометра опору з вторинним приладом, у якому точка a (рис. 3) переноситься безпосередньо до термометра опору.

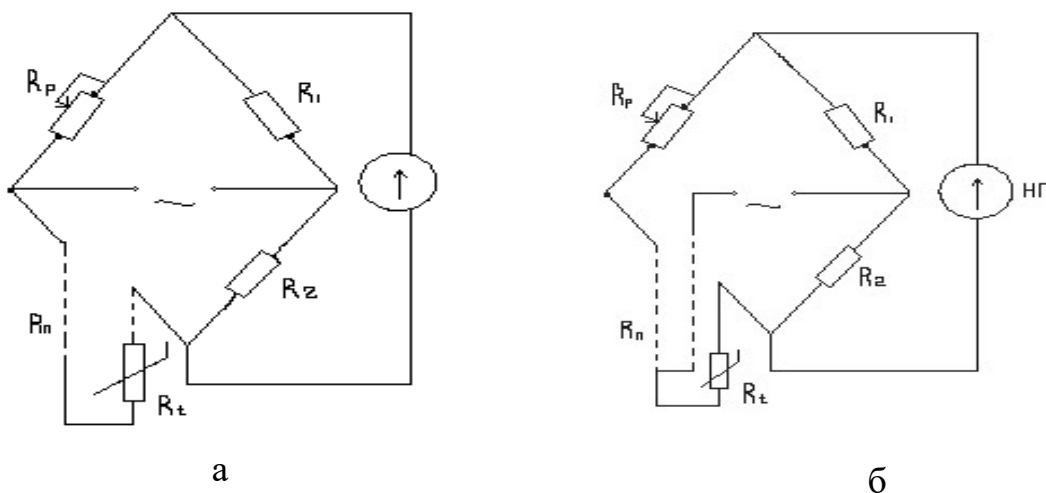


Рис. 1. Схема принципова врівноваженого мосту:
а – двопровідна система; б – трипроводна система.

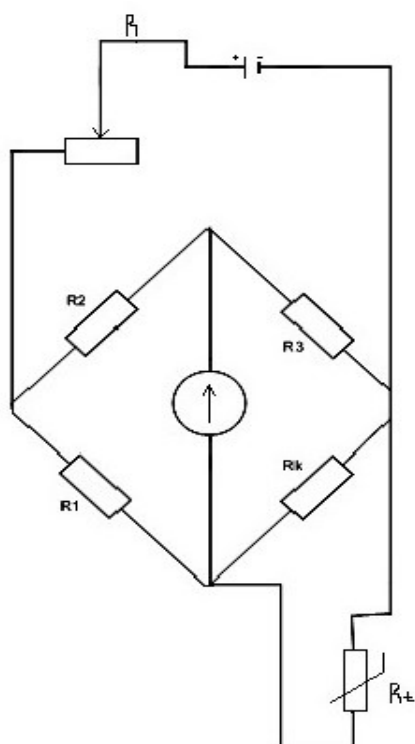


Рис. 2. Схема принципова неврівноваженого моста

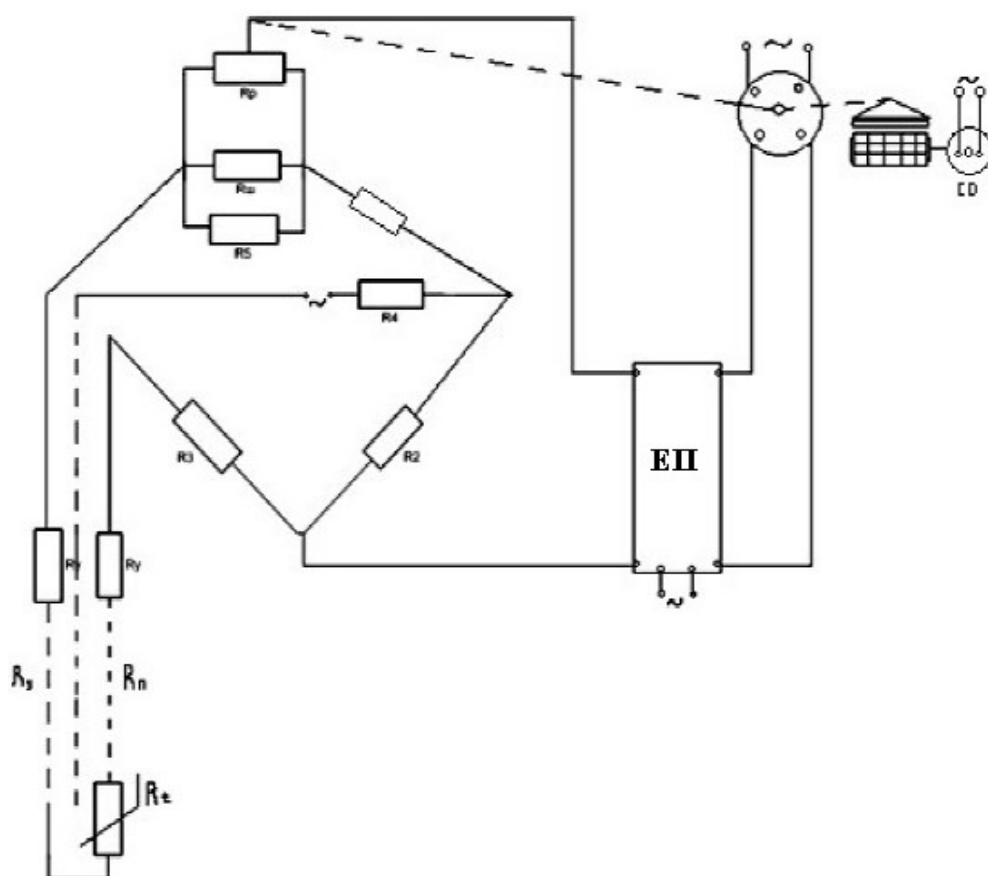


Рис. 3. Схема принципова для електронного мосту

При такому з'єднанні опір одного дроту R_t додається до плеча вимірювального моста, що включав термометр опору, а опір іншого дроту R_s додається до іншого плеча моста зі змінним опором R_p .

Внаслідок цього вдвічі зменшується опір проводів, що входять разом із термометром у вимірювальне плече моста, і тому частково знижується можлива похибка вимірювань. Умову рівноваги моста при трипроводній схемі підключення термометра опору запишеться так:

$$R_1(R_t + R_s) = R_2(R_p + R_s) \quad (4)$$

Звідки

$$R_t = \frac{R_2}{R_1}(R_p + R_s) - R_s \quad (5)$$

При рівності опорів плечей R_1 і R_2 (симетричний міст) та однаковому опорі обох з'єднувальних проводів трипроводної системи повністю виключається вплив останніх завдяки включенню їх у суміжні плечі мосту. Справді, у такому разі вираз (5) набуде вигляду

$$R_t = R_p + R_s - R_s = R_p \quad (6)$$

Як видно з рівнянь (3) та (5), зміна напруги джерела живлення не відбивається на результатах виміру, що є великою перевагою врівноваженого моста. Однак зі зниженням напруги джерела живлення чутливість моста знижується, тому що при тій же зміні опорів термометра до нульового гальванометра підводиться менше напруги небалансу.

У разі зміни температури середовища, в якому знаходиться термометр опору R_t , зміниться величина його електричного опорів. При цьому вимірювальний міст, що складається з постійних опорів R_1 , R_2 , R_3 , і змінних R_p і R_t , розбалансується, і в діагоналі моста між точками b і d напруга небалансу U_{bd} . Після цього сигнал небалансу подається на вхід електронного підсилювача ЕП, де посилюється за напругою та потужністю, потім надходить на реверсивний двигун РД і надають руху його ротору. Повертаючись у той чи інший бік залежно від знаку небалансу, ротор реверсивного двигуна механічно переміщає пов'язані з ним двигун реохорда d , показчик і перо (друкарський механізм – у разі багатоточкового моста) за шкалою приладу доти, доки вимірювальний міст не прийде в стан рівноваги. Напруга на вході електронного підсилювача ЕП в цьому випадку дорівнюватиме нулю, електродвигун РД зупиниться, а прилад покаже вимірювану температуру.

Точність показання приладу залежить від ретельності припасування опорів проводів R_n , що з'єднують термометр опору з автоматичним рівноважним мостом. Для припасування опорів сполучних проводів до градувального значення служить два додаткові опори величиною по 2,5 Ом кожен. При градуюванні приладів опір кожного дроту, що йде від термометра до приладу, прийнято $2,5 \pm 0,01$ Ом.

Якщо опір кожного дроту буде менше 2,5 Ом, то в сполучну лінію послідовно включається додатковий опір, що доповнює опір кожного дроту до 2,5 Ом.

1.4. Призначення та технічні дані електронного автоматичного мосту типу МС1-05

Електронний автоматичний міст типу МС1-05 призначений для вимірювання та запису температури. Прилад працює у комплекті з електричними термометрами опору. Він може проводити вимірювання та запис двох величин. Основна похибка показань приладу вбирається у 0,5% області вимірювань [Ом]. Запис показань приладу провадиться на діаграмній стрічці шириною 160 мм. Основна похибка запису вбирається у 0,1% від області виміру [Ом].

Живлення приладу здійснюється змінним струмом напругою 220В із частотою 50Гц. Живлення вимірювальної системи приладу здійснюється від силового трансформатора електронного підсилювача змінною напругою 6,3В. Конструкція приладу забезпечує можливість отримання таких швидкостей просування діаграмної стрічки: 20, 40, 60, 120, 360 мм/год. Прилад МС1-05 призначений для роботи за температури навколишнього повітря від 0 до 50 °С і відносної вологості 80%.

1.5. Опис установки та методика проведення роботи

При перевірці автоматичного врівноваженого моста МС1 до нього підключається зразковий магазин опорів МСР-63 з діапазоном зміни опору через 0,01 Ом, імітуючий термометр опору.

Відповідно до схеми (рис. 3) один затискач магазину опорів з'єднують з клемою 1, а інший – за допомогою двох проводів з клемами 2 та 3.

Визначення основної наведеної похибки та варіації показань моста МС1 проводяться шляхом порівняння його показань, [Ом], за допомогою градуйованої таблиці, з показниками зразкового магазину опорів. Останні приймаються за дійсне значення вимірюваної величини. Показання моста МС1 і зразкового магазину опорів порівнюють на всіх оцифрованих відмітках шкали моста спочатку при прямому, а потім зворотному ході покажчика. Отримані дані заносять у таблицю і з них розраховують значення абсолютних і наведених похибок приладу.

Абсолютну похибку визначають за формулами:

$$a' = R_{2p} - R', \quad a'' = R_{2p} - R'', \quad (1.8)$$

де

a', a'' – абсолютна похибка відповідно при прямому та зворотному ході показчика мосту, Ом;

R_{2p} – табличне значення опору, що відповідають даній відмітці шкали, Ом;

R', R'' – показання контрольного магазину відповідно при прямому та зворотному ході показчика мосту, Ом.

Наведена похибка визначається за такою формулою:

$$b_{np} = \frac{a}{R_k - R_m} \cdot 100\%, \quad (1.9)$$

де

R_m – табличне значення опору, що відповідає початку шкали, Ом;

R_k – табличне значення опору, що відповідає кінцю шкали, Ом.

Абсолютна варіація:

$$\Delta V = R' - R'' . \quad (1.10)$$

Відносна варіація

$$V = \frac{\Delta V}{R_k - R_m} \cdot 100\% . \quad (1.11)$$

R' та R'' беруть для однієї й тієї самої відмітки шкали.

Прилад вважається придатним до роботи, якщо основна похибка показань на всіх відмітках шкали не перевищує $\pm 0,5\%$.

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомиться з принципом дії термометра опору, врівноваженого та неврівноваженого мостів.

2. Ознайомиться принципом дії та конструкцією автоматичного моста МС1-05.

3. Виконати перевірку автоматичного рівноважного моста МС1-05. До перевірки прилад повинен бути включений щонайменше 30 хв.

4. Поступово збільшуючи опори зразкового магазину опорів, послідовно підводити показчик моста до всіх оцифрованих позначок шкали зліва (прямий хід). Занести показання моста, що повіряється, [Ом], і показання зразкового

магазину опорів в таблицю. Поступово зменшуючи опір зразкового магазину опорів, послідовно підводити покажчик моста до всіх оцифрованих позначок шкали праворуч (зворотний хід). Занести дані до протоколу, розрахувати абсолютні та наведені похибки при прямому та зворотному ході, а також варіації показань мосту.

5. Скласти звіт про виконану роботу.

3. Зміст звіту

1. Короткий опис вимірювальної схеми електронного врівноваженого моста типу МС1.
2. Протокол з результатами розрахунку похибки та варіації приладу.
3. Висновок про результат перевірки приладу.

Контрольні питання

1. Які існують типи та градування термометрів опору?
2. Пристрій термометра опору.
3. У чому полягає суть нульового методу виміру?
4. Як здійснюється вимірювання температури за допомогою неврівноваженого моста?
5. Які існують схеми включення термометра опору до ланцюга моста?
6. Які похибки визначаються під час перевірки приладу?

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Belikov O. A., Kashirtsev L. P. Privody liteynykh mashin / pod red. Balandina G. F. Mashinostroyeniye, 1971. 311 s. 108 / 5 000

Лабораторна робота №2

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕНЬ КОЕФІЦІЄНТІВ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ЇХНИМИ КРИВИМИ РОЗГОНУ

Мета роботи

За експериментально знятим кривим розгону визначити графічним методом постійні коефіцієнти диференціальних рівнянь, що описують динамічні властивості чутливих елементів (датчиків), скласти відповідні диференціальні рівняння.

1. Загальні відомості

Під час дослідження систем автоматичного регулювання (САР) необхідно знати динамічні властивості всіх її елементів. Аналітичні методи визначення динамічних властивостей елементів САР складні, вимагають високої кваліфікації та набули обмеженого поширення.

Методи експериментального визначення динамічних властивостей елементів САР нині є надійнішими і доступними для експлуатаційних працівників промислових підприємств. Диференціальні рівняння елементів САР можна отримати за імпульсними характеристиками або кривими розгону.

Кривий розгону називається характеристика зміни вихідної величини елемента САР у часі при стрибкоподібній зміні вхідної (рис. 1).

Значення необхідних параметрів отримують обробкою кривих розгону. Для цього через довільну точку A експоненціальної кривої проводиться дотична до перетину з прямою $X = x_{вих.ст}$ (точка C). Далі з точки A проводиться перпендикуляр на пряму $x_{вих} = x_{вих.уст}$ (точка B) та продовжується він до перетину з віссю часу.

З $\triangle ABC$ видно, що

$$|BC| = \frac{|BA|}{\operatorname{tg} \alpha},$$

$$\text{але } |BA| = |BD| - |AD| = k_1 x_{\text{вх}} - k_1 x_{\text{вх}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = k_1 x_{\text{вх}} e^{-\frac{t}{T}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} - \frac{k_1 x_{\text{вх}} e^{-\frac{t}{T}}}{T}$$

Тоді

$$|BC| = \frac{k_1 x_{ex} e^{\frac{t}{T}}}{\frac{k_1 x_{ex} e^{\frac{t}{T}}}{T}} = T,$$

тобто для довільної точки експоненти $|BC| = T$.

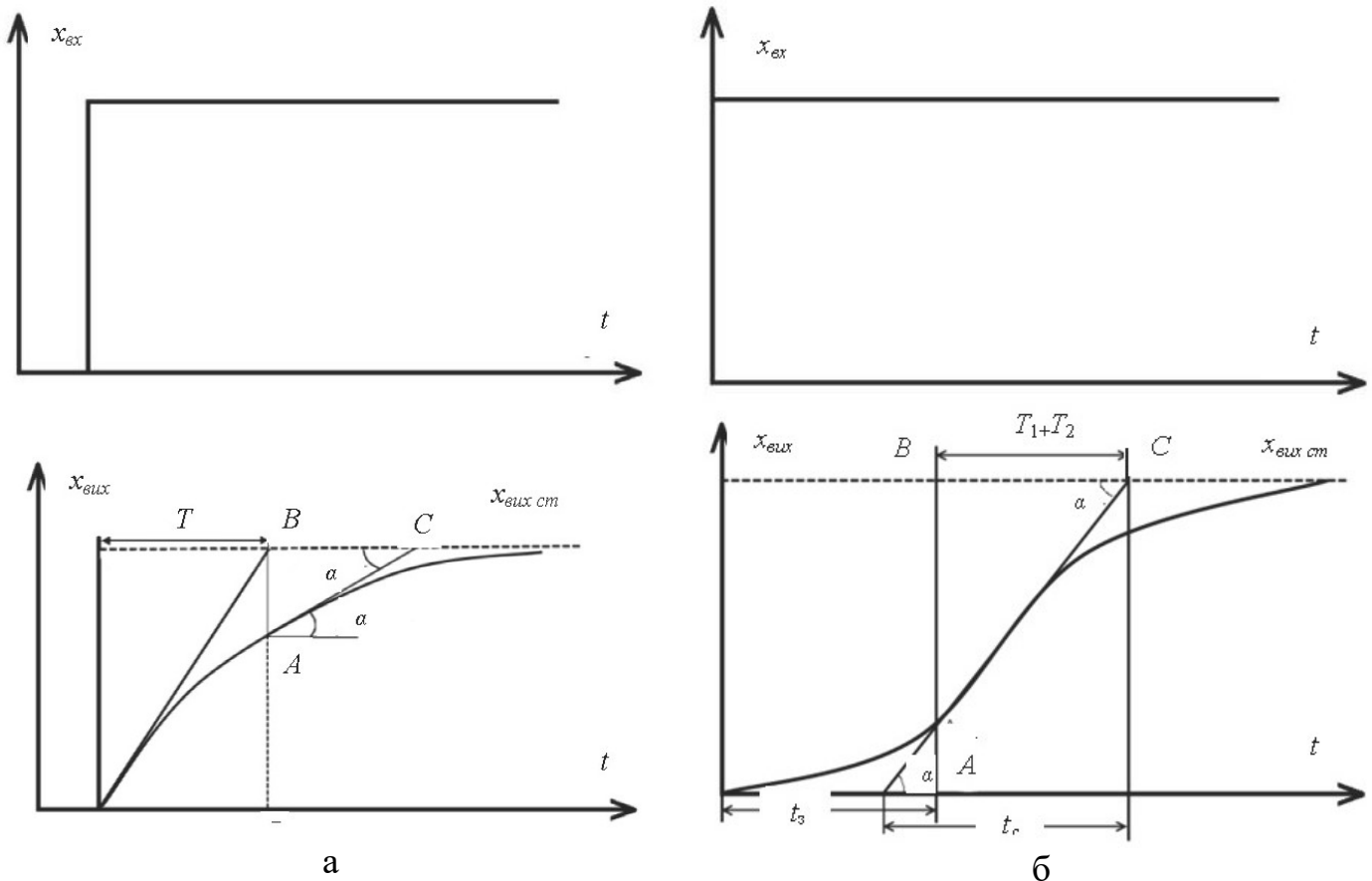


Рис. 1. Крива розгону та її обробка для статичної ланки:

а – першого порядку, б – другого порядку

x_{ex} – вхідна величина елемента САР, x_{vux} – вихідна величина елемента САР,
 $x_{vux,cm}$ – стає значення вихідної величини елемента САР

T називається постійною часу ланки і чисельно дорівнює проекції дотичної в будь-якій точці експоненти безпосередньо $x_{vux} = x_{vux,cm}$, що відраховується від точки перетину дотичної до прямої $x_{vux,cm}$ до основи перпендикуляру, опущеного з цієї точки на пряму $x_{vux,cm}$.

T виражається в секундах та показує, через який час вихідна величина досягла б свого встановленого значення при стрибкоподібному обуренні на вході, якби швидкість зміни вихідної величини була постійною і рівної швидкості в початковий момент зміни.

Для визначення графічним методом постійних часу T_1 та T_2 необхідно по кривій знайти точку перегину, тобто точку, в якій похідна dx_{vux}/dt має

максимальне значення. В середній, частині кривої, де $x_{вих}$ змінюється найшвидше, береться декілька координат: $x(t_i)=X_i$, $i = 1, 2, 3 \dots$ зазвичай не більше 6: $\Delta X_i = X_i - X_{i-1}$, $i = 1, 2, \dots, i-1$.

Далі знаходять максимальну величину ΔX_i , та відповідне їй значення часу $t_k = t_i - 0,5\Delta t$ та, нарешті, ординату точки перегину X_k .

Через точку перегину проводять дотичну до кривої $x_{вих}$ та пряму, паралельну осі ординат та визначають T_1 та T_2 .

Існує кілька методів апроксимації кривої розгону диференціальним рівнянням. Наприклад, динамічні властивості деяких датчиків можна з достатньою точністю описати неоднорідними лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами 1-го чи 2-го порядку виду:

$$T \frac{dx_{вих}}{dt} + x_{вих} = k_1 x_{вх}, \quad (1)$$

$$T_1 T_2 \frac{d^2 x_{вих}}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dx_{вих}}{dt} + x_{вих} = k_2 x_{вх}, \quad (1)$$

де $x_{вих}$ – функція зміни вихідної величини ланки (датчика) в часі;

$x_{вх}$ – функція зміни вхідної величини ланки (датчика) в часі;

k_1 , k_2 – коефіцієнти передачі ланок;

T_1 , T_2 – сталі часу ланок.

Рішення диференціального рівняння, отримане для ступінчастого вхідного збурення, називається перехідною функцією ланки. Зокрема, перехідна функція ланки, що описується диференціальним рівнянням (1), має вигляд

$$x_{вих} = k_1 x_{вх} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (3)$$

відповідно рівнянням (2) має вигляд

$$x_{вих} = k_2 x_{вх} \left(1 + \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (4)$$

Якщо відомі величини коефіцієнтів передачі та постійні часу, то, підставляючи у виразі значення часу, можна побудувати криві розгону.

В таблиці 2 представлено рівняння кривих розгону для різних ланок САР.

Формалізація САР здійснюється представленням її окремими ланками, кожна з яких може бути описана певним рівнянням, що пов'язує вхідні та вихідні змінні (сигнали). Класифікація основних типів ланок САР представлена на рис. 2.

Таблиця 2.

Рівняння кривих розгону для різних ланок САР

Ланка	Диференціальне рівняння	Рівняння кривої розгону
Нульового порядку	—	$x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$
Першого порядку Статична	$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$	$x_{\text{вих}} = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$
Астатична	$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} = kx_{\text{вх}}$	$x_{\text{вих}} = k \int_0^t x_{\text{вх}} dt$ Якщо $x_{\text{вх}} = 1$, то $x_{\text{вих}} = kt$
Другого порядку Коливальна	$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + 2\eta T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$	$\eta < 1$ $x_{\text{вих}} = k \left(1 - e^{-h_k t} \cos \omega_k t - e^{-h_k t} \frac{h_k}{\omega_k} \sin \omega_k t \right)$ h_k та ω_k – дійсна та мніма частина спряжених комплексних коренів $r_{1,2} = h_k \pm j\omega_k$ характеристичного рівняння $T^2 r^2 + 2\eta T r + 1 = 0$
Двуємкосна	$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + 2\eta T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$	$\eta > 1$ $x_{\text{вих}} = k + k \left(1 + \frac{-\eta - \sqrt{1-\eta^2}}{2\sqrt{1-\eta^2}} e^{\frac{-\eta + \sqrt{1-\eta^2}}{T} t} \right) -$ $-k \left(-\frac{-\eta + \sqrt{1-\eta^2}}{2\sqrt{1-\eta^2}} e^{\frac{-\eta - \sqrt{1-\eta^2}}{T} t} \right)$
Консервативна	$T^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$	$x_{\text{вих}} = k \left(1 - \cos \frac{t}{T} \right)$
Диференціююча	$x_{\text{вих}} = k \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}$ $x_{\text{вих}} = k \left(\tau \frac{dx_{\text{вх}}}{dt} + x_{\text{вх}} \right)$ $x_{\text{вих}} = k \left(\tau^2 \frac{d^2 x_{\text{вх}}}{dt^2} + 2\zeta \tau \frac{dx_{\text{вх}}}{dt} + x_{\text{вх}} \right)$	
Першого порядку		$x_{\text{вих}} = k ([1] + \tau h(t))$ [1] – одиничний стрибок у вигляді ступені, $h(t)$ – імпульсна функція
Другого порядку		$x_{\text{вих}} = k \left([1] + 2\zeta \tau h(t) + \tau^2 \frac{dh(t)}{dt} \right)$

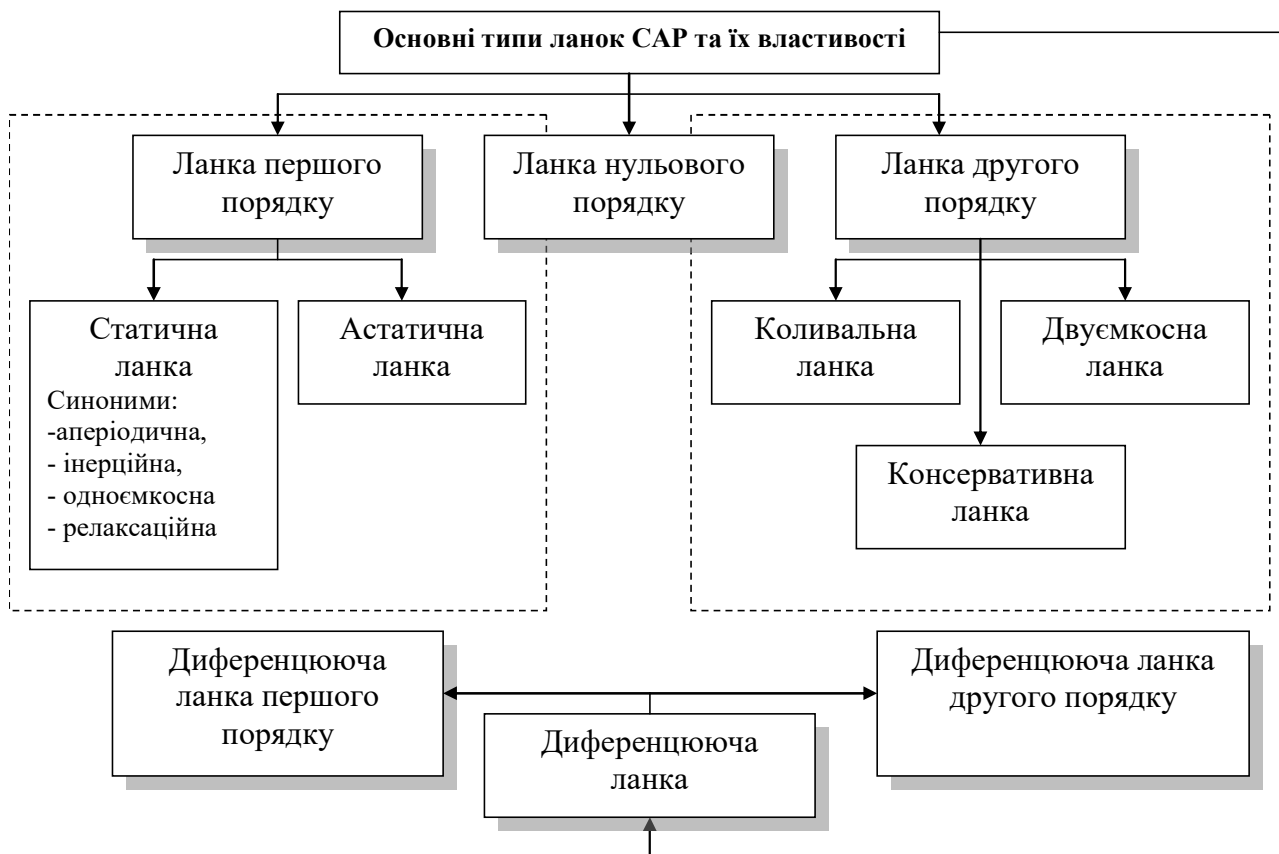


Рис. 2. Класифікація основних типів ланок САР

2. Порядок виконання роботи

1. Опустити термобалон манометричного термометра в ємність з холодною водою і чекати доти, поки його температура не буде дорівнювати температурі води.

2. Швидко перемістити термобалон з ємності з холодною водою в ємність з гарячою водою і з цього моменту записувати показання через рівні проміжки часу. Експеримент зі зняття кривої розгону вважається закінченим, коли показання приладу не змінюватимуться у часі.

3. Включити електронний міст ЕМП-120 і аналогічним чином зняти криву розгону для термометра опору ТСМ-Х.

4. Налаштувати термобалон, для чого виконати дії, описані у п. 1.

5. Швидко вийняти термобалон з ємності, протерти його ганчіркою і помістити в нагріту піч, роблячи відлік показань приладу через рівні проміжки часу.

6. Використовуючи методику, наведену в п. 4 і 5, зняти криву розгону для термометра опору повітряного середовища.

7. За отриманими даними побудувати криві розгону для 4-х випадків:

- а) термобалон у водному середовищі;
- б) термометр опору у водному середовищі;
- в) термобалон у повітряному середовищі;
- г) термометр опору у повітряному середовищі.

8. Зробити обробку кривих розгону: визначити коефіцієнти передачі, постійні часу і записати диференціальні рівняння, що описують динамічні властивості ланок з підстановкою отриманих коефіцієнтів.

9. Провести аналіз впливу вимірюваного середовища на постійні часи ланок.

3. Оформлення звіту

Звіт повинен містити:

- 1. Основні питання та короткий опис ходу роботи.
- 2. Таблицю значень.
- 3. Чотири розгінні характеристики з графічними побудовами.
- 4. Диференціальні рівняння чутливих елементів із цифровими значеннями коефіцієнтів.
- 5. Висновки.

Контрольні питання

- 1. Що називається перехідною функцією ланки САР, кривою розгону?
- 2. Що називається коефіцієнтом передачі ланки?
- 3. Який вид мають передатні функції аперіодичних ланок 1 і 2-го порядків?
- 4. Як за кривою розгону аперіодичної ланки 1-го порядку визначити постійну часу?
- 5. Як знайти точку перегину по кривій розгону аперіодичної ланки 2-го порядку?
- 6. Яка методика визначення постійних часу за кривою розгону аперіодичного ланки 2-го порядку?

Література

- 1. Папушин Ю. Л., Білецький В.С. Основи автоматизації гірничого виробництва. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. — 168 с.
- 2. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
- 3. Belikov O. A., Kashirtsev L. P. Privody litynykh mashin / pod red. Balandina G. F. Mashinostroyeniye, 1971. 311 s. 108 / 5 000

Лабораторна робота №3

АНАЛІЗ РОБОТИ ТА НАСТРОЮВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ВИТРАТИ РІДИНИ

Мета роботи

1. Вивчити структуру системи автоматичного регулювання витрати рідини.
2. Зібрати систему автоматичного регулювання витрати рідини.

1. Опис системи регулювання

У принципову схему системи автоматичного регулювання витрати рідини, зображену на рис. 1, входять:

1. нормальна діафрагма типу ДН-64;
2. диференціальний манометр типу ДС-У;
3. пневматичний регулятор системи СТАРТ типу ПРЗ-2І разом із вторинним приладом типу ПВ10. ГЕ;
4. пневматичний виконавчий механізм разом із регулюючим органом типу 25ч30нж;
5. трубопровід діаметром 50 мм;
6. байпасна панель дистанційного керування типу МБПДУ-А.

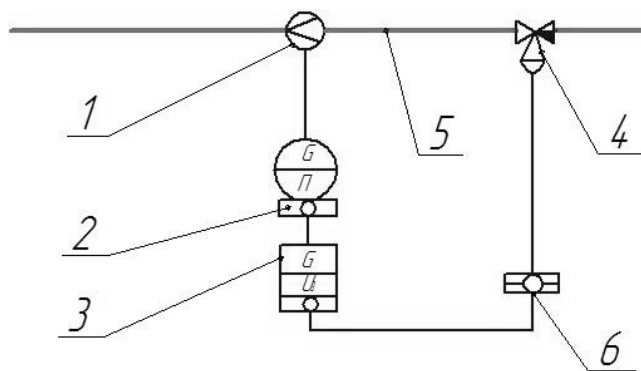


Рис. 1. Система регулювання

Система регулювання працює в такий спосіб. Кожному значенню витрати рідини через звужуючий пристрій 1 відповідає цілком певний перепад тисків, який вимірюється диференціальним манометром 2 з пневматичним виходом. Стиснене повітря з виходу дифманометра 2, тиск якого залежить від витрати рідини, надходить у регулятор 3, де відбувається порівняння заданого значення витрати з дійсним.

Залежно від величини неузгодженості регулятор виробляє керуючий сигнал у вигляді стиснутого повітря і подає на виконавчий пневматичний

механізм 4, який при правильному знаку дії регулятора прагне відновити рівність між заданим і дійсним значенням витрати рідини.

Для вимірювання витрати речовини найбільшого поширення набули звужувальні пристрої: нормальна діафрагма (рис. 2 а), нормальне сопло Вентурі (рис. 2 б) та нормальна труба Вентурі (рис. 2 в). При виборі дросельного органу керуються допустимою величиною залишкової втрати тиску. Найбільшу втрату тиску має діафрагма, найменшу – труба Вентурі. Дросельні органи нормалізовані. Для розрахунку використовуються правила 28-64.

Ідея дросельних витратомірів, заснована на методі змінного перепаду тисків, полягає в наступному: при проходженні рідини через пристрій, що звужує, її швидкість збільшується. Потенційна енергія потоку перетворюється на кінетичну і, отже, тиск рідини перед пристроєм, що звужує, виявляється більше, ніж у місці звуження струменя.

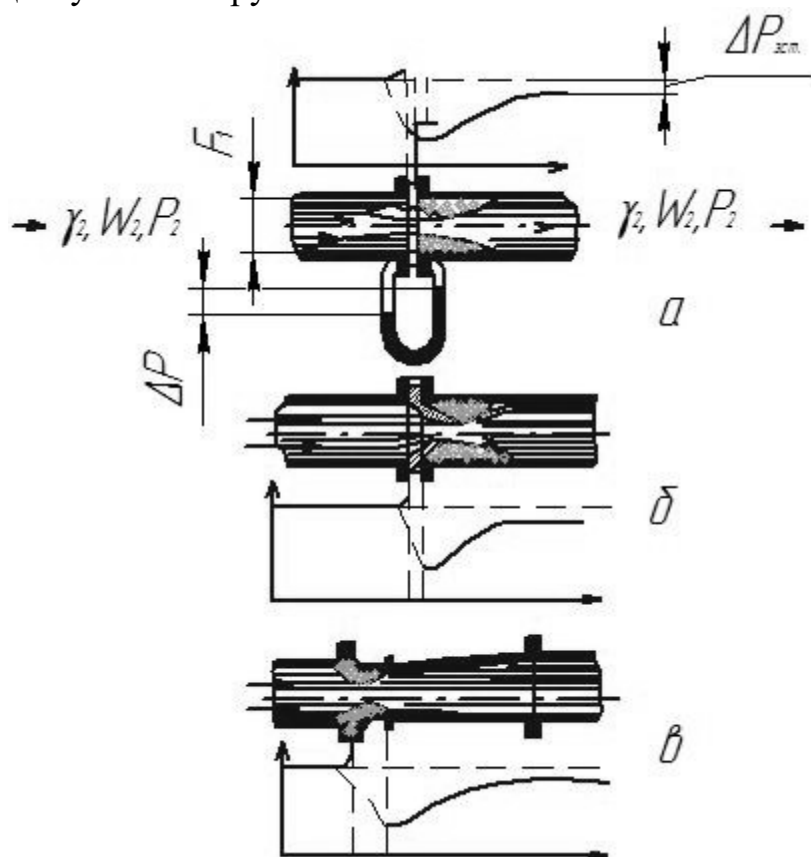


Рис. 2. Схема до звужувального пристрою: а – нормальна діафрагма, б – нормальне сопло Вентурі, в – нормальна труба Вентурі

Для знаходження залежності витрати рідини від величини перепаду тисків на пристрої, що звужує, використовуються два вихідних рівняння:

– рівняння нерозривності струменя:

$$F_1 W_1 = F_2 W_2 \quad (1)$$

– рівняння збереження енергії Бернуллі для ідеальної рідини:

$$\frac{P'_1}{\rho_1} + \frac{W_1^2}{2} = \frac{P'_2}{\rho_1} + \frac{W_2^2}{2}, \quad (2)$$

де

$W_{1,2}$ – швидкість потоку рідини,

$F_{1,2}$ – площа потоку,

ρ_1 – щільність рідини

$P'_{1,2}$ – тиск рідини у трубопроводі до звуження потоку та у його найвужчому місці (рис. 2 а) .

З рівнянь (1) та (2) випливає:

$$P'_1 - P'_2 = \frac{\rho_1}{2} (W_2^2 - W_1^2). \quad (3)$$

Якщо позначити через F_0 площа прохідного перерізу отвору звужувального пристрою, то можна визначити коефіцієнт звуження струменя (μ та m відповідно, відносно до лівої та правої частини звужувального пристрою):

$$\mu = \frac{F_2}{F_0}, \quad m = \frac{F_0}{F_1}, \quad (4)$$

З урахуванням позначень (4) з рівняння (1) випливає:

$$W_1 = \mu W_2 \frac{F_0}{F_1} = \mu m W_2. \quad (5)$$

З урахуванням рівняння (5) вираз (3) приймає вигляд:

$$W_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \mu^2 m^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho_1} (P'_1 - P'_2)}. \quad (6)$$

Якщо зважити на нерівномірність розподілу потоку, а також те, що вимірюється перепад не максимальний, а у торців діафрагми, то

$$W'_2 = \xi W_2, \quad (7)$$

де

ξ – поправочний коефіцієнт;

W'_2 – середня швидкість рідини у перерізі.

Витрата рідини дорівнює:

$$G = F_2 W_2' \rho_1 = \frac{\mu_\xi}{\sqrt{1 - \mu^2 m^2}} F_0 \sqrt{2 \rho_1 \Delta P}. \quad (8)$$

Якщо позначити $\alpha = \frac{\mu_\xi}{\sqrt{1 - \mu^2 m^2}}$, то може бути записано рівняння:

$$G = \alpha F_0 \sqrt{2 \rho_1 \Delta P}. \quad (9)$$

де α – коефіцієнт витрати.

Отже, залежність витрати від перепаду тиску нелінійна (квадратична).

Коефіцієнт витрати α знаходиться дослідним шляхом, при значеннях числа Рейнольдса вище граничного залишається незмінним. Граничне значення числа Рейнольдса визначається конструкцією звужувального пристрою, а значення числа Рейнольдса потоку обчислюється за формулою

$$Re = \frac{G}{D\eta}, \quad (10)$$

де

D – внутрішній діаметр трубопроводу;

η – динамічна в'язкість речовини.

Таким чином, при $Re > Re_{гр}$ точність вимірювань не залежить від в'язкості вимірюваної речовини і, отже, від її температури.

Перепад тисків на звужувальному пристрої вимірюється диференціальними манометрами найрізноманітніших конструкцій (U-образні, кільцеві, мембранні, сильфонні тощо). У роботі використовується дифманометр типу ДС-У, зображений на рис. 3.

До вимірювального
приладу

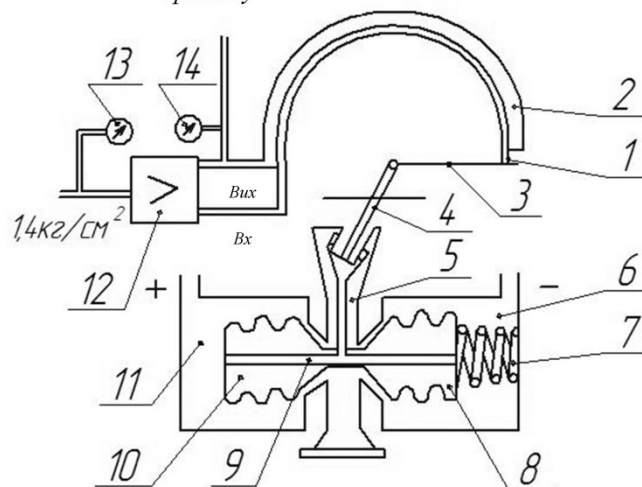


Рис. 3. Дифманометр типу ДС-У

Вимірювальні сильфони 8 і 10 з'єднані між собою за допомогою штока 9, прикріпленого до денця. Внутрішні порожнини сильфонів заповнені спеціальною рідиною і герметично ущільнені. У ліву порожнину подається більший тиск, під впливом якого лівий сильфон стискається, рідина перетікає правий сильфон. При цьому переміщується шток 9 і через важіль 5 закручує трубку торсійну 4, вільний кінець якої повертає заслінку 3 пропорційно перепаду тисків в камерах дифманометра. При збільшенні перепаду тисків заслінка 3 наближається до пневматичного сопла 1, з якого безперервно виходить повітря. Зменшення зазору між соплом і заслінкою призводить до підвищення тиску в лінії сопла. Воно посилюється за потужністю за допомогою підсилювача 12 і подається в трубку Бурдона, що охоплює канал сопла, і вихід дифманометра, що підключається до вторинного приладу. Трубка Бурдона виконує роль жорсткого зворотного зв'язку, що забезпечує переміщення сопла на ту ж саму величину, що і заслінки.

Переміщується сопло внаслідок збільшення чи зменшення тиску у трубці Бурдона. Воно лінійно змінюється залежно від величини переміщення заслінки, забезпечуючи лінійну залежність між перепадом тисків на дифманометрі та вихідним тиском стисненого повітря. З виходу датчика витрати (діафрагми у комплекті з дифманометром) стиснене повітря подається на пневматичний регулятор системи СТАРТ типу ПР3.21.

Регулятор ПР3.21 за допомогою роз'єму приєднується до вторинного приладу типу ПВ10.1Е системи СТАРТ, який призначений для безперервного запису та показання величини регульованого параметра, вказівки заданого значення та тиску на виконавчому механізмі.

У прилад ПВ10.1Е вбудована станція управління, що забезпечує можливість ведення процесу вручну та плавного переходу на автоматичне регулювання. Станція управління включає задатчик і перемикач, що складається з логічного пристрою і кнопочового пульта, що керує ним.

Вимірювальна частина приладу (рис. 4) ґрунтується на компенсаційному принципі. Зусилля, що виникає на приймальному елементі 1 від вхідного тиску $P_{вх}$, врівноважується дією силового елемента 5 зворотного зв'язку. Зміна $P_{вх}$ викликає зміну зазору між заслінкою, що сидить на важелі 3 приймального елемента, і соплом 2. Це призводить до зміни тиску в лінії сопла, а, отже, в силовому елементі 5. При цьому переміщується чашкова мембрана силового елемента і важіль 4, що упирається в неї, який пов'язаний з важелем заслінки 3 за допомогою пружини, забезпечуючи лінійне переміщення стрілки приладу 6.

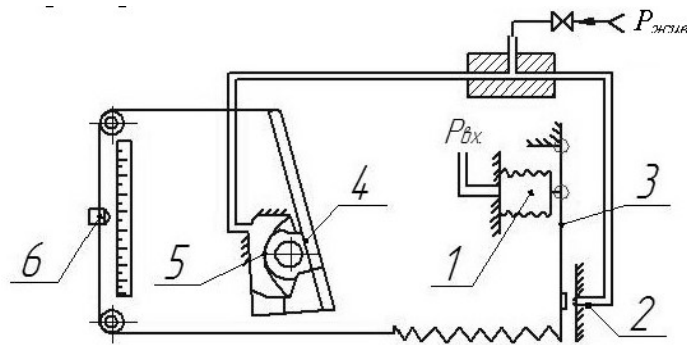


Рис. 4. Вимірювальна частина приладу

Вузол задатчика (рис. 5) призначений для встановлення завдання при автоматичному регулюванні та зміни положення регулюючого органу при ручному керуванні. Він складається з елементів безперервної техніки: задатчика П-1134, підсилювача потужності П-1100 і постійного пневмоопору ПД.

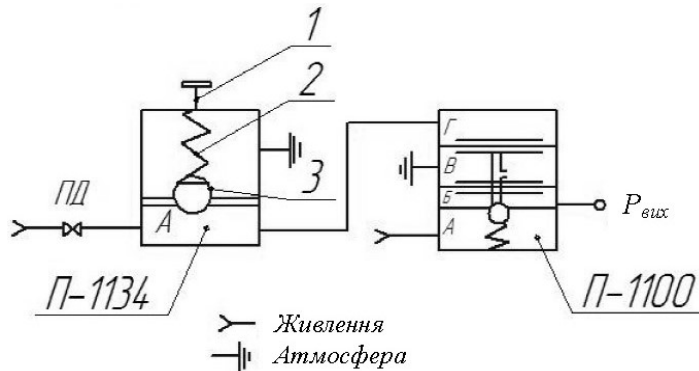


Рис. 5. Узел задатчика

Живляче повітря проходить через дросель ПД в камеру А задатчика під кульку 3, що підтискується пружиною 2 за допомогою гвинта 1. Тиск в камері А визначається стиском пружини 2, оскільки надлишок повітря стравлюється в атмосферу. Тиск із задатчика надходить у глуху камеру Г підсилювача потужності. Блок мембран віджимає кульку вниз і відкриває доступ стиснутого повітря з лінії живлення на вихід. При рівності тиску на виході та вході підсилювача потужності мембранний блок повертається у вихідне положення та кулька закриває доступ повітря з лінії живлення. При зниженні заданого тиску нижче тиску на виході блоку шток мембранного блоку відходить від кульки і через внутрішній канал скидає надлишок повітря в атмосферу. Рівність тисків на вході та виході підсилювача потужності забезпечується рівністю ефективних площ мембран камер Г та Б, з'єднаних з рухомим штоком.

Вторинний прилад ПВ10.1Е має п'ять кнопок, три з яких з'єднані з вимикаючим реле. Ліворуч три кнопки відповідають: Р – ручному управлінню, А – автоматичному управлінню, АП – автоматичному програмному управлінню.

Дві перші кнопки керують включенням регулятора, який працює у двох положеннях А та АП. У всіх проміжних положеннях та при ручному керуванні регулятор повинен бути вимкнений.

Порядок роботи перемикача під час переходу з ручного управління на автоматичне.

1. Ручне управління Р: виконавчий механізм управляється безпосередньо ручним задатчиком вторинного приладу, що живиться через МБПДУ при встановленні перемикача МБПДУ в положення «автоматичне». Натиснуто дві кнопки: кнопка з індексом Р та «ВІДКЛ».

2. Проміжне положення під час переходу з ручного на автоматичне регулювання.

До ввімкнення регулятора натиснути кнопку А, що призведе до повернення кнопки Р у вихідне положення. Потім при вимкненому регуляторі потрібно, стежачи за шкалою завдання та змінною, встановити тиск завдання рівним змінній.

3. Автоматичне регулювання А.

Крім кнопки А, слід увімкнути регулятор, натиснувши кнопку «ВКЛ».

4. Перехід з автоматичного регулювання на ручне здійснюється в такий спосіб. Вимикається регулятор, але кнопка А залишається включеною. При цьому і регулятор і задатчик відключені від виконавчого механізму. За шкалою завдання ручним задатчиком встановлюють тиск, що дорівнює тиску на шкалі клапана, після чого натискають кнопку Р. Діапазон тисків, що подаються на приймальні сильфони, становить $0,02 \div 0,1$ МН/м².

Тиск живлення регулятора ПР3.21 дорівнює $0,14$ МН/м².

Регулятор ПР3.21 кріпиться до вторинного приладу та призначений для отримання безперервного регулюючого впливу на виконавчий механізм з метою підтримки заданого значення регульованої величини.

Принципова схема регулятора ПР3.21 зображено на рис. 6.

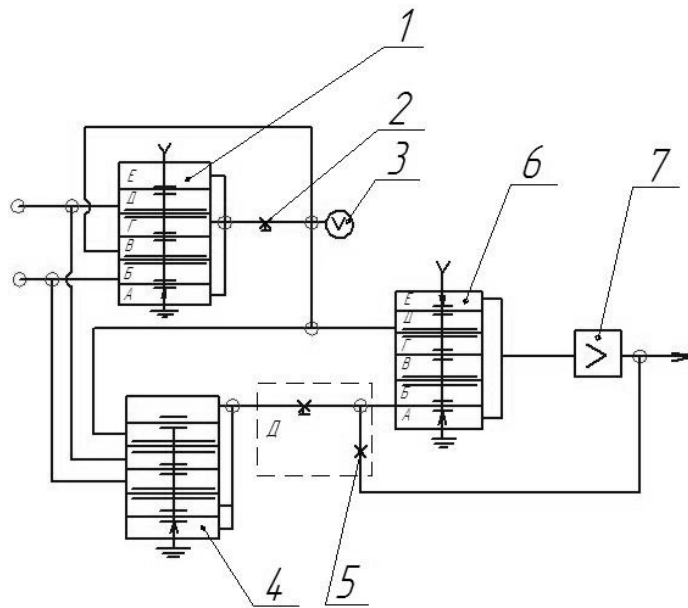


Рис. 6. Схема принципова регулятора ПР3.21

Регулятор реалізує ПІ-закон регулювання. Пропорційна частина регулятора складається з елемента порівняння 4 і суматора 5, інтегральна частина – з елемента порівняння 1, дроселя 2 і ємності 3. Крім того, в регулятор входить елемент порівняння 6, підсилювач потужності 7 і вимикаюче реле (на схемі не показано).

Регульована величина у вигляді тиску P_p підводиться в камери Д елемента 1 і Г елемента 4, тиск від задатчика P_z – до камер Б елемента 1 і В елемента 4. Пропорційна частина регулятора змінюється шляхом впливу на негативний зворотний зв'язок за допомогою дроселя Д. Коефіцієнт посилення регулятора змінюється від 0,03 до 20. Астатична складова змінюється шляхом впливу на позитивний зворотний зв'язок, ступінь впливу якого регулюється дроселем 2 часу ізодрому. Постійна час інтегрування змінюється від 3 с. до 100 хв.

Живлення регулятора ПР3-21 здійснюється через байпасну панель типу МБПДУ. Вона дозволяє подавати живлення до регулятора або управляти виконавчим механізмом вручну.

Панель МБПДУ складається з регулятора тиску повітря РДВ-5, манометра та крана-перемикача. Кран-перемикач можна встановити в трьох положеннях: автоматичне, ручне, середнє. Положення "автоматичне" відповідає управлінню виконавчим механізмом від регулятора, "ручне" – ручному дистанційному управлінню за допомогою редуктора, "середнє" – перекриття повітря в лінії до виконавчого механізму.

2. Порядок виконання роботи

Зборка системи наведена на рис. 7.

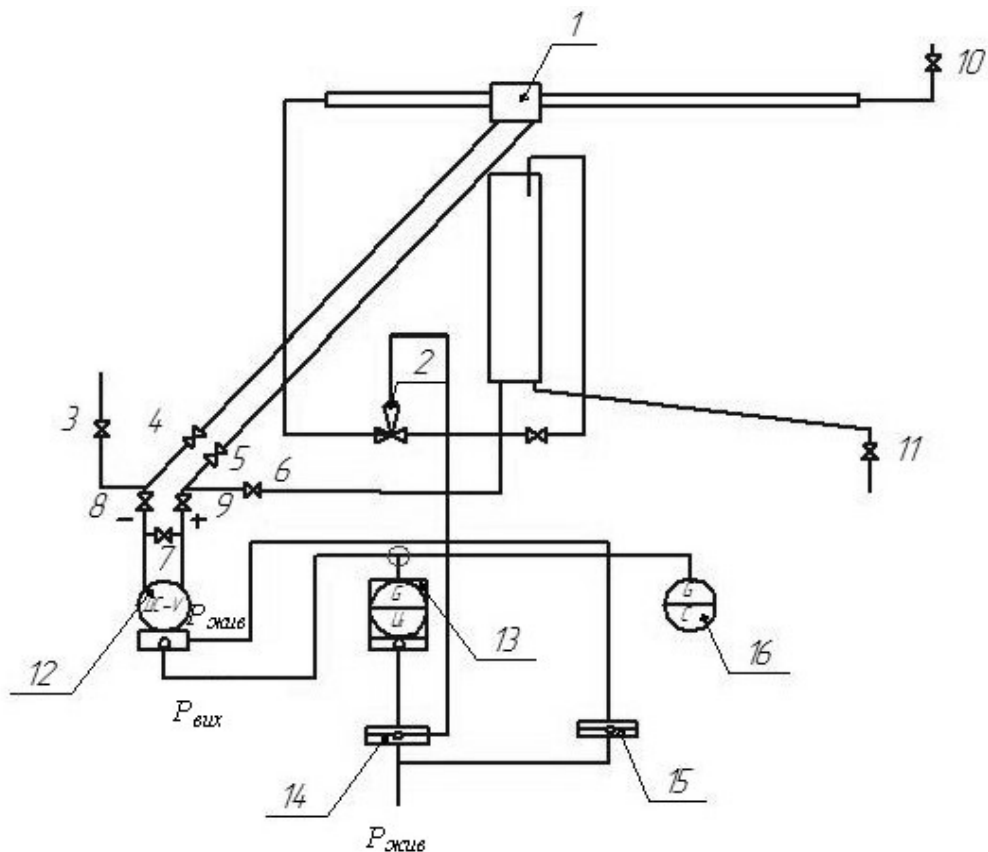


Рис. 7. Зборка системи

1) Підключити диференціальний манометр типу ДС-У до діафрагми. Для цього необхідно перекрити вентилі 3 і 6, що з'єднують його з циліндричною ємністю, і відкривши зрівняльний вентиль 7 відкрити вентилі 4 і 5, що з'єднують його з діафрагмою. Після цього закрити зрівняльний вентиль 7 і відкрити вентилі 10 та 11.

2) Перевірити роботу системи вимірювання витрати. За допомогою МБПДУ 15 подати живлення на дифманометр 12. Перемикач байпасної панелі 14 встановити в положення «ручне» і за допомогою редуктора подати повітря від 0,02 до 0,1 МН/м² на виконавчий механізм 2. Це має спричинити переміщення стрілки вторинного приладу 13 типу ПВ10.1Е.

3) Визначити коефіцієнт витрати діафрагми. Встановити максимально можливу витрату рідини в межах шкали вторинного приладу за допомогою панелі управління 14. Визначити за шкалою вторинного приладу величину перепаду тиску на діафрагмі, знаючи, що лінійна шкала, 0% відповідає 0,0198 МН/м², а 100% – 0,98 МН/м². За допомогою мірної ємності та секундоміра визначається дійсне значення витрати рідини.

Як мірну ємність можна використовувати циліндричну ємність, встановлену на лінії після регулюючого органу, попередньо закривши зливальний кран.

Знаючи діаметр звужувального пристрою, визначити з формули (9) значення коефіцієнта витрати.

Знаючи коефіцієнт витрати діафрагми α , підрахувати витрату для 5 точок шкали приладу та побудувати залежність витрати рідини від показань вторинного приладу.

4) Виконати ручне керування витратою рідини за допомогою станції керування на ПВ10. Для цього встановити перемикач МБПДУ 14 в положення «ручне». Редуктором встановити тиск $0,14 \text{ МН/м}^2$ та перевести перемикач МБПДУ в положення «автоматичне». При цьому буде подано тиск на ПР3.21 у комплекті з ПВ10.1Е. Натиснути кнопку Р станції керування і за допомогою задатчика зробити ручне керування витратою рідини,

5) Зробити перехід з ручного управління на автоматичне та назад. Методику описано вище.

6) Налаштувати САР, щоб вона забезпечувала задану якість регулювання. Показники якості регулювання задаються викладачем. Налаштування виконуються в наступному порядку: повністю закривається ізодромний клапан ($T_y = \infty$), а коефіцієнт підсилення регулятора встановлюється мінімальним. Плавна збільшуючи коефіцієнт посилення регулятора, домагаються максимальної швидкодії системи за допустимої величини перерегулювання. Потім, поступово відкриваючи клапан ізодрому, зменшують час інтегрування, не допускаючи значної коливальності. Слід пам'ятати, що

$$K_p = \frac{100\%}{\text{ДД}\%}, \quad (11)$$

де

K_p – коефіцієнт підсилення регулятора;

ДД% – діапазон дроселювання, вказаний на шкалі регулятора.

3. Оформлення звіту

Звіт повинен містити:

1. Основні питання та короткий опис ходу роботи.
2. Таблицю експериментальних даних.
3. Залежність витрати рідини від показань вторинного приладу.
4. Наведення швидкодії системи.
5. Висновки.

Контрольні питання

1. З яких елементів складається принципова схема системи автоматичного регулювання витрати рідини.

2. На основі чого регулятор виробляє керуючий сигнал та що представляє собою цей сигнал.
3. Які пристрої використовуються для вимірювання витрати речовини.
4. На якому методі заснована ідея дросельних витратомірів.
5. Чим вимірюється перепад тисків на звужувальному пристрої.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin, D. A. Mathematical description typification in the problems of synthesis of optimal controller of foundry technological parameters [Text] / D. A. Demin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – Vol. 1, Issue 4 (67). – P. 43–56. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21203

Лабораторна робота №4

ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ У ПЕЧІ З ПРОГРАМНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПРТЕ

Мета роботи

1. Ознайомитись із пристроєм та принципом дії програмного регулятора температури.
2. Викреслити профіль кулачка пристрою, користуючись записом на діаграмній стрічці кривої регулювання

1.1. Опис роботи системи

Об'єкт регулювання та автоматичний регулятор утворюють систему автоматичного регулювання. Залежно від характеру необхідного закону зміни регульованої величини розрізняють системи автоматичної стабілізації (підтримує постійне значення регульованої величини), системи програмного регулювання (змінюють регульовану величину за заздалегідь заданим законом) і слідкуючі системи, коли регульована величина змінюється відповідно до іншої).

Електронний програмний регулятор температури (ПРТЕ) призначений для контролю та автоматичного регулювання температури за заданою програмою. Це двопозиційний регулятор. Він працює в комплекті з мідними термометрами опору гр.23. Максимальний цикл регулювання 24 год. Програма визначається змінним профільованим лекалом.

Зона нечутливості регулятора 0,5% від верхньої межі виміру (без урахування впливу інерційності датчика). Похибка регулювання приладу $\pm 2,5\%$ верхньої межі регулювання.

Схема регулятора складається з наступних вузлів:

- вимірювальна частина трикаскадного підсилювача низької частоти;
- фазочутливий каскад з вихідним реле;
- випрямляч зі стабілізатором напруги та синхронного двигуна з механізмом завдання програми.

Вимірювальна частина схеми регулятора складається з двох мостів: вимірювального 1 та регулюючого 2 (рис. 1).

Вимірювальний міст утворений опорами R_1, R_2, R_3, R_t . У діагональ його включений мікроамперметр, який показує температуру, що вимірюється.

R_k – термоопір, який служить для компенсації зміни опору рамки мікроамперметра при прогріванні регулятора. Регулюючий міст складається із опорів R_4, R_5, R_6, R_t . В одне із плечей обох мостів входить термометр опору R_t , який є датчиком температури. Живлення моста здійснюється змінною напругою від обмотки силового трансформатора.

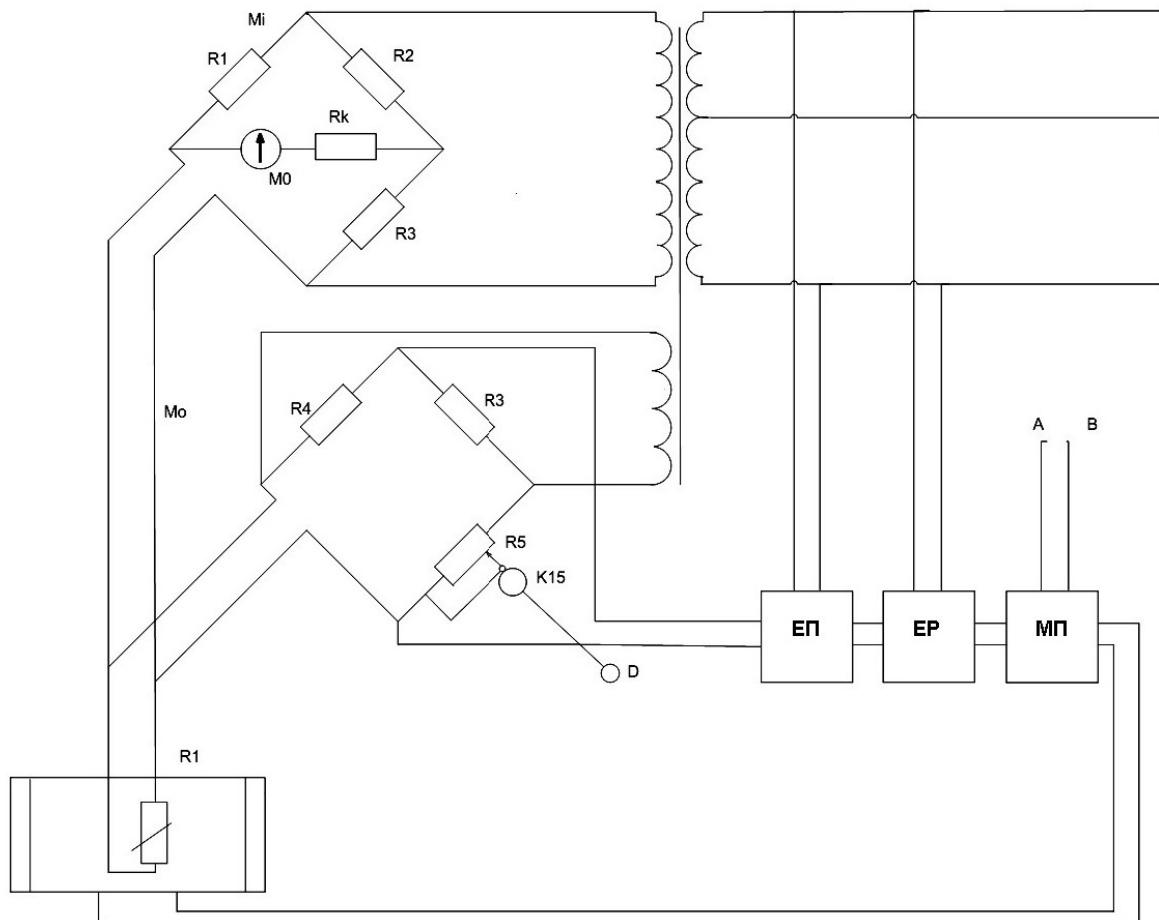


Рис. 1. Вимірювальна частина схеми регулятора: ЕП – електронний підсилювач, ЕР – електромагнітне реле, МП – магнітний пускач

Вимірювальний міст збалансований за температури датчика 0°C ($R_t = 53 \text{ Ом}$). Повний розбаланс моста настає за температури датчика 100°C . При цьому через мікроамперметр протікає струм 100 мікроампер і стрілка приладу відхиляється на всю шкалу. Програмне завдання температури здійснюється реостатним задатчиком R_5 , двигун якого кінематично пов'язаний з роликком, що переміщається по копіру К. Профіль копіру відповідає певній програмі, наприклад підйому температури, ізотермічної витримки та охолодження (причому, кожному режиму відповідає певний час). Копір укріплений на осі механізму, що приводиться в рух від синхронного двигуна Д. На осі механізму укріплений також циферблат, що вказує час, що минув від початку робочого циклу.

Робота регулятора відбувається за наведеною нижче схемою.

Зміна опору датчика R_t або задатчика R_5 викликає розбаланс моста, напруга розбалансу посилюється в підсилювачі і надходить на електромагнітне реле, яке спрацьовує та своїми контактами замикає ланцюг виконавчого механізму, який у свою чергу включає або вимикає ланцюг (відповідно при зменшенні або збільшенні температури регульованого об'єкта).

Нижче для прикладу розглянуто програмне регулювання температури.

Нехай задана певна програма (рис. 2): нагрівання – 3 год., ізотермічна витримка – 5 год., охолодження – 3 год. Температура піднімається від 25 до 85 °С, отже, за 3 години підйом температури становить 60 °С, тобто 20 ° за 1 год.

Для кожної програми виготовляється свій копір певного профілю. Копір розділений на три зони профілю: зона підйому температури (при обертанні копіра проти годинникової стрілки відстань від центру до крайки копіра збільшується), зону ізотермічної витримки (дуга кола з постійним радіусом), зону охолодження (при обертанні копіра проти годинникової стрілки відстань центру зменшується).

1.2. Побудова профілю копіру

Приклад побудови профілю кулачка зображено на рис. 2.

Задану програму приладу виражають у вигляді кривої на діаграмі координат: по осі абсцис – час (або кутові градуси), по осі ординат – температура.

На рис. 2 ордината початкової точки О відповідає температурі 20 °С тобто початковій температурі робочого середовища, а ордината точок зламу кривої АБВГДЕЖЗИКЛ відповідно показує необхідну температуру робочого середовища. Підйому на 1мм осі ординат відповідає підвищення температури на 2 °С. Абсциси точок на діаграмі характеризують час підвищення температури, тривалість витримки та охолодження. Для побудови профілю копіра всі характерні точки кривої діаграми переносять на вертикальну лінію МП, що проходить через вісь ролика та вісь копіра (r ролика дорівнює 6мм), мінімальний радіус копіра 28 мм за масштабу 1:1.

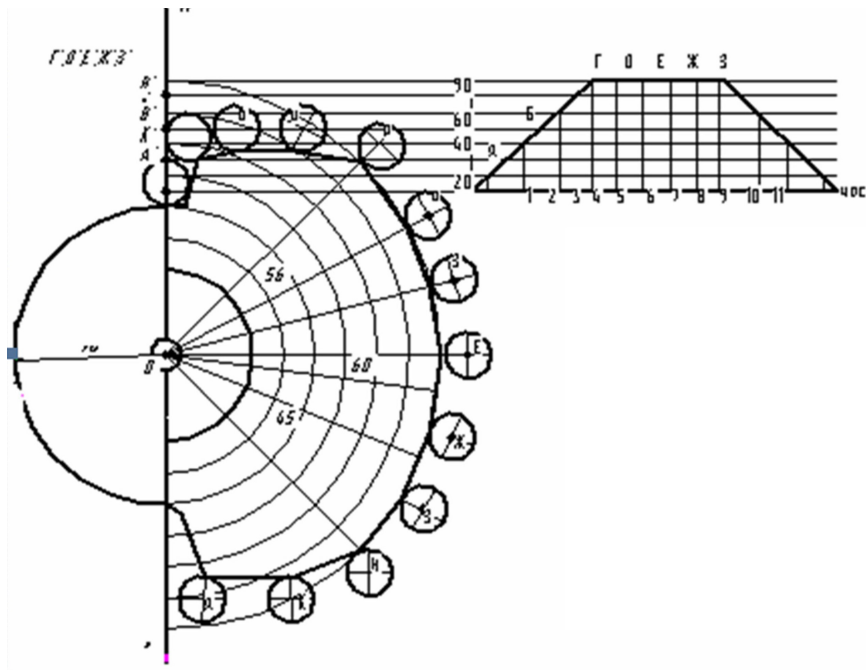


Рис. 2. Приклад побудови профілю копіру

Тривалість аналізованого циклу близько 2 годин, що відповідає куту в 30° . Від прямої ОМ за напрямом руху годинникової стрілки відкладають кути, що відповідають абсцисам точок А, Б, В, Г ..., маючи на увазі, що поворот копіра на 15° відповідає часу 1 год. Після цього радіусами ОА', ОБ', ОВ' і т.д. проводять дуги з точок А', Б', В' і т.д. до перетину з відповідними променями сектора і отримують точки а, б, в і т. д. Вважаючи копір нерухомим, розташовують центри ролика по траєкторії його руху відносно копіра, для чого радіусом ролика $r = 6$ мм проводять кола або дуги з центрами а, б, і т.д. У ділянках, звернених у бік копіра, вони є дотичними до профільної кривої копіра, тому ці точки можуть бути поєднані та формують шуканий профіль.

1.3. Опис експериментальної установки

Об'єкт регулювання 1 (рис. 3) являє собою циліндричну піч з нагрівальним елементом 2 (спіраллю).

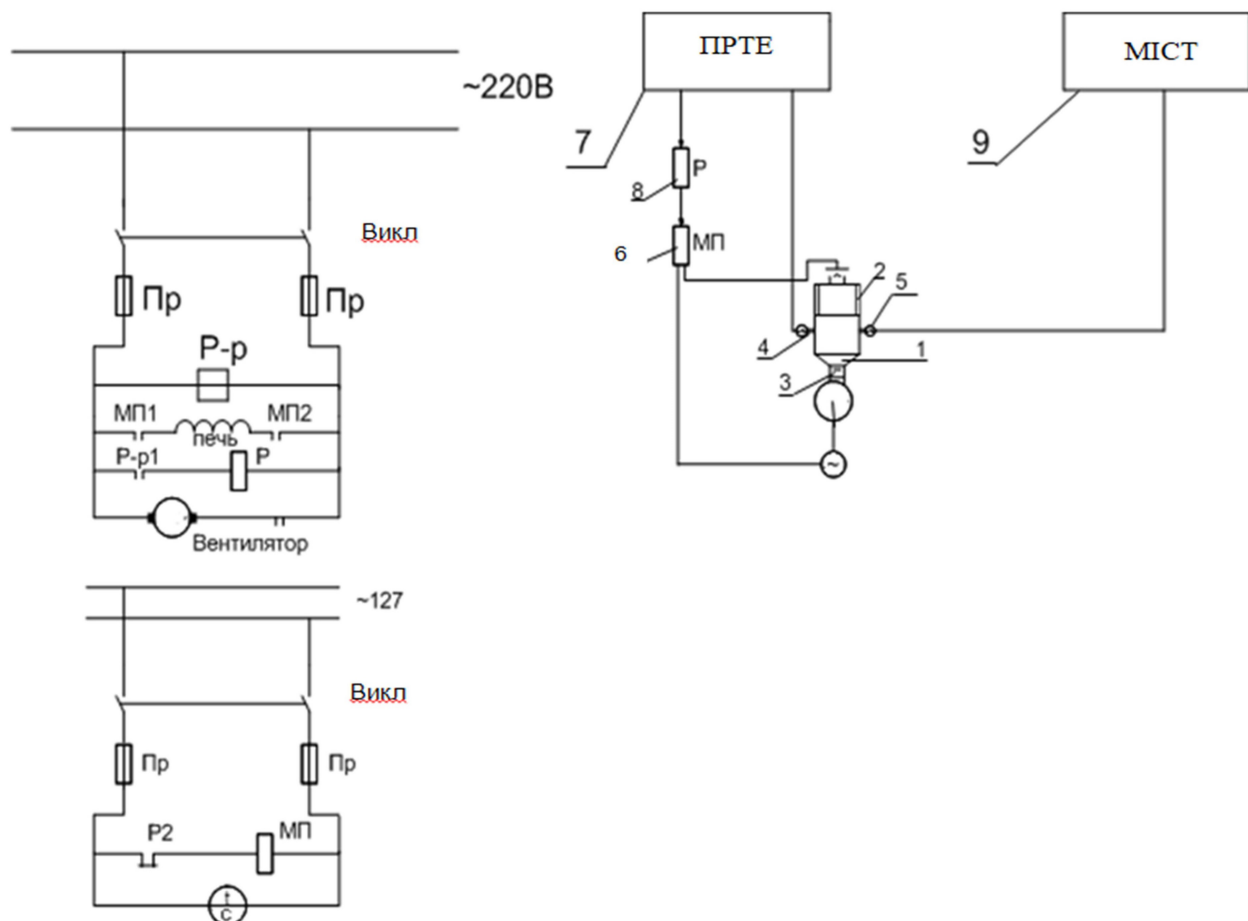


Рис. 3. Об'єкт регулювання

Піч має поворотну заслінку 3, за допомогою якої може змінюватися інтенсивність продування повітря вентилятором. Температура печі вимірюється з допомогою датчиків 4, 5, якими служать термометри опору, встановлені у внутрішньому каналі печі. Регулюється температура нагрівальним елементом печі, що підключається до мережі за допомогою магнітного пускача 6. Останній отримує сигнал управління від регулятора 7, що працює в комплекті з термометром опору 4 через проміжне реле 8. Електронний автоматичний міст 9 з термометром підключення до нього термометром опору 5 служить для запису процесів регулювання температури.

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись із пристроєм та принципом дії програмного регулятора температури ПРТЕ.
2. Зібрати схему та отримати графік залежності температури від часу на круговій діаграмі (програму).
3. Перебудувати отриману програму в прямокутних координатах.
4. Побудувати профіль копіру.

3. Зміст звіту

1. Схема та короткий опис системи автоматичного регулювання температури печі.
2. Послідовність зняття експериментальної кривої та її графічне зображення.
3. Графічне зображення одержаного профілю кулачка.

Контрольні питання

1. Яке регулювання називається програмним.
2. Що таке двопозиційне регулювання.
3. У чому полягає принцип дії регулятора ПРТЕ.
4. Як побудувати профіль копії для певної програми.
5. Яку приклади можливого практичного застосування регулятора ПРТЕ?

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin, D. A. (2012). Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 52–58.
3. Demin, D. A. Mathematical description typification in the problems of synthesis of optimal controller of foundry technological parameters [Text] / D. A. Demin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2014. – Vol. 1, Issue 4 (67). – P. 43–56. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21203

Лабораторна робота №5

ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

Мета роботи

1. Ознайомитись логічними елементами, що використовуються в системах керування ливарним обладнанням.

2. Зібрати на основі заданих формул включення систему керування на логічних елементах та релейно-контакту схему керування обладнанням для видалення скрапу з ливарних форм

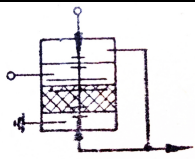
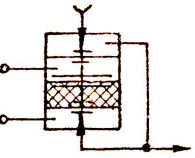
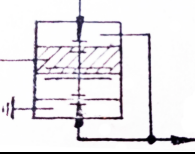
1. Загальна інформація про логічні елементи

Логічний елемент – це пристрій, призначений для обробки інформації. Сигнали на вході можуть приймати два значення «1» та «0», сигнали на виході також можуть приймати два значення «1» та «0». Фізично логічні елементи можуть бути виконані механічними, електромеханічними, електронними, гідравлічними, пневматичними, оптичними.

Основними логічними елементами в системах керування ливарним обладнанням є логічні елементи «І», «АБО», «НЕ». На основі цих елементів можуть бути реалізовані інші елементи, що забезпечують виконання логічних операцій: «Штрих Шефера», «Стрілка Пірса», «Еквіваленція», «Імплікація», «Обернена імплікація», «Виключна диз'юнкція».

Логічний елемент «І» має два входи та один вихід, логічний елемент «АБО» має два входи та один вихід, логічний елемент «НЕ» має один вхід та один вихід (табл. 1).

Таблиця 1. Пневматичні логічні елементи

Логічний елемент	Технічна реалізація	Функція
I		$f=a \cdot b$
АБО		$f=a+b$
НЕ		$f=\bar{a}$

1.2 Опис установки та формули включення

Установка (рис. 1) працює в такий спосіб. При пересуванні пульсуючим конвеєром візки на один крок залита форма 1 потрапляє в позицію видалення скрапа, натискаючи при цьому кінцевий вимикач ВК 1. Магнітна система 2 за допомогою пневмоциліндра 3 опускається на поверхню залитої форми, відключаючи кінцевий вимикач ВК 2 і включаючи через деякий проміжок часу ВК 3. Після чого включається електромагніт 2, який захоплює з поверхні форми метал і знову повертається у вихідне положення, відключивши кінцевий вимикач ВК 3 і включивши ВК 2. Далі за допомогою пневмоциліндра 4 візок 5, на якій встановлені пневмоциліндр 3 і електромагніт 2, переміщається в крайнє праве положення, відключивши при цьому ВК 4 і включивши через деякий проміжок часу ВК 5. У цій позиції електромагніт відключається і скрап, що притягнувся, скидається в короб 6, після чого візок повертається у вихідне положення відключивши ВК 5 та включивши ВК 4. Надалі при подачі нової форми описаний процес повторюється.

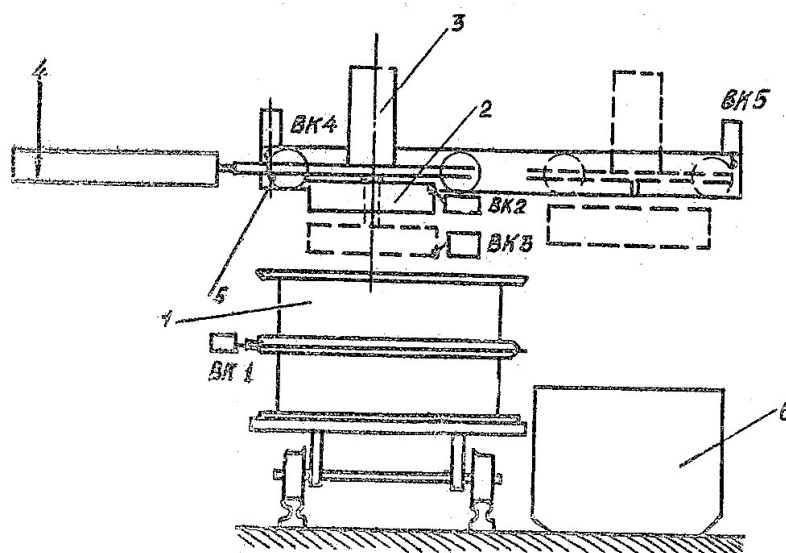


Рис. 1. Установка для видалення скрапу: 1 – залита форм, 2 - електромагніт, захоплюючий скрап, 3 – пневмоциліндр переміщення електромагніту, 4 – пневмоциліндр переміщення візка, 5 – візок, 6 – короб для збирання скрапу.

Умови роботи записуються спочатку у вигляді таблиці впливів, за якою після відповідного її перетворення на таблицю включень, визначаються необхідне число елементів пам'яті та послідовність їх роботи. Таблиця впливів являє собою графік, що показує залежності між послідовностями вхідних та вихідних сигналів. Вона складається з рядків, що відповідають входам та виходам пристрою та стовпців, відповідних тактам (незмінним станам) роботи пристрою. У таблиці суцільною лінією відзначається стан сигналу в тактах, що

відповідає прийнятому за одиницю (включений стан вхідного елемента). Якщо значення вихідного сигналу в якомусь із тактів байдуже, це відзначається пунктиром. Крім того, у таблиці впливів після рядків, відповідних вхідним елементам наводиться рядок, в якому записуються вирівняні чисельно повні стани вхідних елементів.

Для підрахунку повного стану кожному з вхідних елементів присвоюється відповідна вага, причому першому елементу вага дорівнює 1, другому – 2, третьому – 4, а кожному з наступних подвоєного значення попереднього. При підрахунку повного стану сумуються ваги вхідних елементів, що у включеному стані.

Таблиця включень, в якій наведено усі дані, необхідні для побудови формул включень, що описують роботи установки, наведено на рис. 2.

Елемент		Вага	Такти										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ВК1	X1	1											
ВК2	X2	2											
ВК3	X3	4											
ВК4	X4	8											
ВК5	X5	16											
ЕП1	X6	32											
ЕП2	X7	64											
ПОВНИЙ СТАН			10	11	9	45	41	43	35	115	67	75	74
ПЦ3	Y1												
ПЦ4	Y2												
ЕМ2	Y3												

На рис. 2 прийняті такі позначення:

- ВК1...ВК5 – вимикачі кінцеві,
- ЕП1, ЕП2 – елементи пам'яті,
- ПЦ3, ПЦ4 – пневмоциліндри (відповідають позиціям 3 та 4 відповідно на рис. 1),
- ЕМ2 – електромагніт (відповідає позиції 2 на рис. 1)

Формули включення, що синтезовані на основі наведеної процедури, які описують послідовність технологічних операцій, мають вигляд:

$$f(x_6) = (x_3 + x_6) \cdot \overline{x_5},$$

$$f(x_7) = (x_5 + x_7) \cdot x_1,$$

$$f(y_1) = x_1 \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_6} \cdot \overline{x_7} \cdot x_4,$$

$$f(y_2) = x_2 \cdot \overline{x_5} \cdot x_6,$$

$$f(y_3) = (x_3 + y_3) \cdot \overline{x_5}.$$

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись установкою для видалення скрапу з ливарних форм.
2. Підібрати логічні елементи.
3. Зібрати систему керування на логічних елементах та релейно-контактну схему.

3. Зміст звіту

1. Схема та короткий опис принципу роботи установки для видалення скрапу з ливарних форм.
2. Наведення та опис системи керування на логічних елементах.
3. Наведення та опис релейно-контактної схеми.

Контрольні питання

1. Які бувають логічні елементи.
2. Що таке чорний ящик системи керування.
3. Які основні операції виконують логічні елементи «І», «АБО», «НЕ».
4. Як працює установка для видалення скрапу з ливарних форм.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу «Автоматизація ливарного виробництва»,
для студентів спеціальності
131 Прикладна механіка

Укладачі: ДЬОМІН Дмитро Олександрович
ПЕНЗЄВ Павло Сергійович

Відповідальний за випуск О. В. Акімов
Роботу до видання рекомендує О. І. Пономаренко

За авторською редакцією

План 2025р., поз. 276

Підп. до друку 2025 р. Гарнітура Times New Roman
Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
Електронна версія