

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

В. І. ГОНТАРЕНКО, Г. А. БЯЛІК

# АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА В ПРАКТИЦІ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



НУ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ЗАПОРІЖЖЯ • 2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**В. І. Гонтаренко, Г. А. Бялік**

**АВТОМАТИЗАЦІЯ  
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА  
В ПРАКТИЦІ ЛИВАРНОГО  
ВИРОБНИЦТВА**

**Навчальний посібник**

**Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2020**

УДК 621.74:681.5

Г65

*Рекомендовано до видання вченою радою  
Національного університету «Запорізька політехніка»  
(протокол № 5/20 від 10.06.2020 року)*

**Автори:**

*В. І. Гонтаренко* – кандидат технічних наук, професор кафедри машин і технології ливарного виробництва Національного університету «Запорізька політехніка», академік Міжнародної Академії комп'ютерних наук і систем (розділ 1).

*Г. А. Бялік* – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин і технології ливарного виробництва Національного університету «Запорізька політехніка» (розділ 2).

**Рецензенти:**

*Г. І. Слинко*, доктор технічних наук, професор, академік АІН України;

*П. Д. Андрієнко*, доктор технічних наук, професор;

*О. А. Мітяєв*, доктор технічних наук, професор.

**Гонтаренко В. І., Бялік Г. А.**

Г65

Автоматизація та мікропроцесорна техніка в практиці ливарного виробництва: навчальний посібник. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 217 с., іл. ISBN 978-617-529-296-9

Основним завданням навчального посібника є практичне ознайомлення студентів з основами автоматизації ливарного виробництва із застосуванням автоматичних та контрольованих вимірювальних приладів у конкретних металургійних процесах. У посібнику послідовно розглянуто основні елементи автоматичних систем, принципи автоматичного регулювання, контрольовані вимірювальні прилади, а також приклади використання автоматичних пристроїв у металургії ливарних сплавів.

Кожна лабораторна робота містить основні теоретичні відомості, мету роботи, методику та порядок виконання.

Навчальний посібник призначений для студентів ливарних спеціальностей закладів вищої освіти.

**УДК 621.74:681.5**

ISBN 978-617-529-296-9

© Гонтаренко В. І., Бялік Г. А., 2020

© Національний університет

«Запорізька політехніка», 2020

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b>Розділ 1. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА В ЛИВАРНЬОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....</b>	<b>9</b>
Лабораторна робота № 1.1. ПОВІРКА АВТОМАТИЧНИХ МОСТІВ .....	9
Лабораторна робота № 1.2. ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОПАР.....	13
Лабораторна робота № 1.3. АНАЛІЗ РОБОТИ ТА НАСТРОЮВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА РУ 4-16А.....	16
Лабораторна робота № 1.4. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА НАСТРОЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО РЕГУЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	29
Лабораторна робота № 1.5. ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ.....	40
Лабораторна робота № 1.6. ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ. РЕЛЕ ЧАСУ, УНІВЕРСАЛЬНІ ПЕРЕМИКАЧІ, КІНЦЕВІ ВИМИКАЧІ .....	54
Лабораторна робота № 1.7. ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ. РЕЛЕ ЗАХИСТУ .....	63
Лабораторна робота № 1.8. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗА ЧАСОМ КОМАНДНИМ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИМ ПРИЛАДОМ КЕП-12У .....	72
Лабораторна робота № 1.9. АНАЛІЗ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗМІШУВАЛЬНИМИ БІГУНАМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ.....	78
Лабораторна робота № 1.10. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРА ПО ДВОХ РІВНЯХ.....	85
Лабораторна робота № 1.11. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ СУМІШІ ПО ДВОХ РІВНЯХ .....	89
Лабораторна робота № 1.12. АНАЛІЗ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИБІВКОЮ З ТРЬОМА ШТОВХАЧАМИ .....	97
Лабораторна робота № 1.13. ПОВІРКА ЛОГОМЕТРА.....	102

Лабораторна робота № 1.14. ПОВІРКА АВТОМАТИЧНИХ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ .....	109
Лабораторна робота № 1.15. ПОВІРКА РАДІАЦІЙНИХ ПІРОМЕТРІВ .....	113
Лабораторна робота № 1.16. ДИСТАНЦІЙНА ПЕРЕДАЧА НА СЕЛЬСИНАХ .....	117
Лабораторна робота № 1.17. ДИСТАНЦІЙНА ПЕРЕДАЧА НА ФЕРОДИНАМІЧНИХ ДАТЧИКАХ .....	121
Лабораторна робота № 1.18. ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ .....	127
Лабораторна робота № 1.19. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ.....	138
Лабораторна робота № 1.20. АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ .....	151
Лабораторна робота № 1.21. ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА НАСТРОЮВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА.....	157
Лабораторна робота № 1.22. ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЛИВАРНИМИ АГРЕГАТАМИ .....	162
<b>Розділ 2. МЕТАЛУРГІЯ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ.....</b>	<b>168</b>
Лабораторна робота № 2.1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ.....	168
Лабораторна робота № 2.2. ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЯКІСНОЇ СТАЛІ СПЕЦІАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ ПЕРЕПЛАВЛЕННЯ.....	182
Лабораторна робота № 2.3. ПЛАВЛЕННЯ СТАЛІ В ІНДУКЦІЙНІЙ ЕЛЕКТРОПЕЧІ.....	195
Лабораторна робота № 2.4. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВУГЛЕЦЮ У ЛИТІЙ ДООТВЕКТОЇДНІЙ ВУГЛЕЦЕВІЙ СТАЛІ МЕТАЛОГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ .....	203
Лабораторна робота № 2.5. ПЛАВЛЕННЯ СИЛУМІНУ .....	206
ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ .....	215
Додаток А Хімічний склад феросплавів .....	216

## ВСТУП

Автоматизація металургійних процесів тісно пов'язана із сучасним металургійним і ливарним виробництвом. При викладанні цієї дисципліни основні її положення мають недостатній зв'язок із технологічними дисциплінами спеціальності «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів», зокрема такою дисципліною, як «Металургія ливарних сплавів та технологія». Посилити цей зв'язок можна внаслідок використання елементів автоматизації в лабораторних роботах із технологічних дисциплін, тобто адаптації останніх до курсів «Автоматизація ливарного виробництва», «Автоматизація виробничих процесів, мікропроцесорна техніка», «Теоретичні основи механізації та автоматизації процесів виробництва виливків».

У зв'язку з вищевикладеним доцільно об'єднати методичні вказівки до лабораторних робіт із цих окремих дисциплін у єдиний навчальний посібник.

Посібник до лабораторних робіт із дисциплін «Автоматизація ливарного виробництва», «Автоматизація виробничих процесів, мікропроцесорна техніка», «Теоретичні основи механізації та автоматизації процесів виробництва виливків» і «Металургія ливарних сплавів та технологія» складається з двох частин.

У першій частині зібрані лабораторні роботи з автоматизації металургійного та ливарного виробництва.

У другій частині зібрані лабораторні роботи з курсу «Металургія ливарних сплавів та технологія». Лабораторні роботи побудовані так, що в них використовуються автоматичні прилади, принцип дії яких вивчається в першій частині.

Обладнання та прилади, які використовуються в лабораторних роботах, виготовлені в умовах Національного університету «Запорізька політехніка», є енергозберігаючими й екологічно безпечними.

Стосовно ливарного виробництва розв'язання питань автоматизації виробничих процесів ускладнюється безліччю різних за властивостями вихідних матеріалів, що застосовуються в технологічних процесах, різноманітністю останніх, дуже великим асортиментом виливків, які відрізняються за сплавами,

розміром, складністю. В умовах ринкової економіки необхідною умовою рентабельності ливарного виробництва є зниження металоємкості та вартості виливків, наближення їх до готових деталей за точністю розмірів.

На сьогодні вирішується складне завдання – створення та впровадження в промисловість великих технічних систем у вигляді технологічних процесів, придатних для ефективної роботи автоматизованих машин на виробництві. У перспективі можливе створення автоматичних ливарних цехів та заводів.

Автоматизація будь-якого технологічного процесу починається з вимірювання значень основних параметрів цього процесу.

Відповідно до ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення» під вимірюванням розуміють визначення величини чого-небудь, міряючи спеціальними приладами, порівнюючи її з одиницею виміру.

Однак практично всі вимірювання мають відносні показники, пов'язані не тільки з похибкою приладів, а і з методикою визначення величини параметра.

**Абсолютною похибкою  $\Delta A$**  називається різниця між показниками приладу  $A_{np}$  та дійсним значенням вимірюваної величини  $A_d$ , отриманої за зразковим приладом:

$$\Delta A = A_{np} - A_d.$$

**Відносною похибкою  $b$**  називається відношення абсолютної похибки  $\Delta A$  до показників приладу  $A_{np}$ :

$$b = \frac{\Delta A}{A_{np}} 100\%.$$

**Поправка  $C$**  – різниця між дійсним значенням вимірюваної величини  $A_d$  і показанням приладу  $A_{np}$ , що повіряється. І ця різниця береться з протилежним знаком:

$$C = (A_d - A_{np}),$$

тобто  $C = -\Delta A$ .

**Приведена похибка  $\delta$**  – це величина абсолютної похибки, віднесена до діапазону вимірювання приладу (ширина шкали приладу):

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_{\max} - A_{\min}} 100\%.$$

**Клас точності** – найбільша допустима приведена похибка:

$$\gamma = \frac{\Delta A_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} 100\%.$$

Допустимі значення цих похибок встановлені ДСТУ для кожного типу приладів. Промисловість випускає прилади таких класів точності: 0,05; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

**Варіація приладу** – найбільша різниця показників приладу в одній і тій же точці при незмінних зовнішніх умовах вимірювання, віднесена до діапазону вимірювання (ширини шкали) приладу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A'_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} 100\%.$$

### Основні одиниці SI

Величина	Назва	Позначення	
		українське	міжнародне
Довжина	метр	м	m
Маса	кілограм	кг	kg
Час	секунда	с	s
Сила електричного струму	ампер	A	A
Сила світла	кандела	кд	cd
Кількість речовини	моль	моль	mol
Термодинамічна температура	кельвін	K	K

### Додаткові одиниці SI

Плоский кут	радіан	рад	rad
Тілесний кут	стерадіан	ср	sr

## Розділ 1. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

### Лабораторна робота № 1.1. ПОВІРКА АВТОМАТИЧНИХ МОСТІВ

#### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з конструкцією автоматичних мостів.
2. Опанувати метод повірки автоматичних мостів.

#### **Необхідні прилади та обладнання:**

- 1) автоматичний міст;
- 2) магазин опору.

Зрівноважені мости використовуються для вимірювання температури в комплекті з термометром опору. У зрівноважених мостах зміна опору термометра компенсується зміною опору одного з пліч моста, так що напруга в діагоналі залишається рівною нулю. В автоматичних мостах зрівнювання системи робиться реверсивним двигуном, керованим електронним підсилювачем.

Вимірювана схема таких мостів живиться постійною чи змінною напругою, але частіше застосовується змінна, оскільки схема підсилювача спрощується. Принципова схема автоматичного моста змінного струму показана на рис. 1.1.1.

Опори  $R_e$ ,  $R_d$ ,  $R_n$ ,  $R_l$ ,  $R_s$  та реохорд підбирають так, щоб при температурі початку шкали потенціали точок  $A$  і  $B$  були рівні між собою. Двигок реохорда за такої умови знаходиться в лівому крайньому положенні. При збільшенні температури вимірюваного середовища опір  $R_t$  збільшується, що призводить до порушення рівноваги моста. Сигнал небалансу моста посилюється підсилювачем і подається на керуючу обмотку реверсивного двигуна  $РД$ , який переміщує двигок реохорда до настання рівноваги. Одночасно рухається вказівна стрілка приладу.

Вимірювана схема Підсилювач напруги Підсилювач потужності

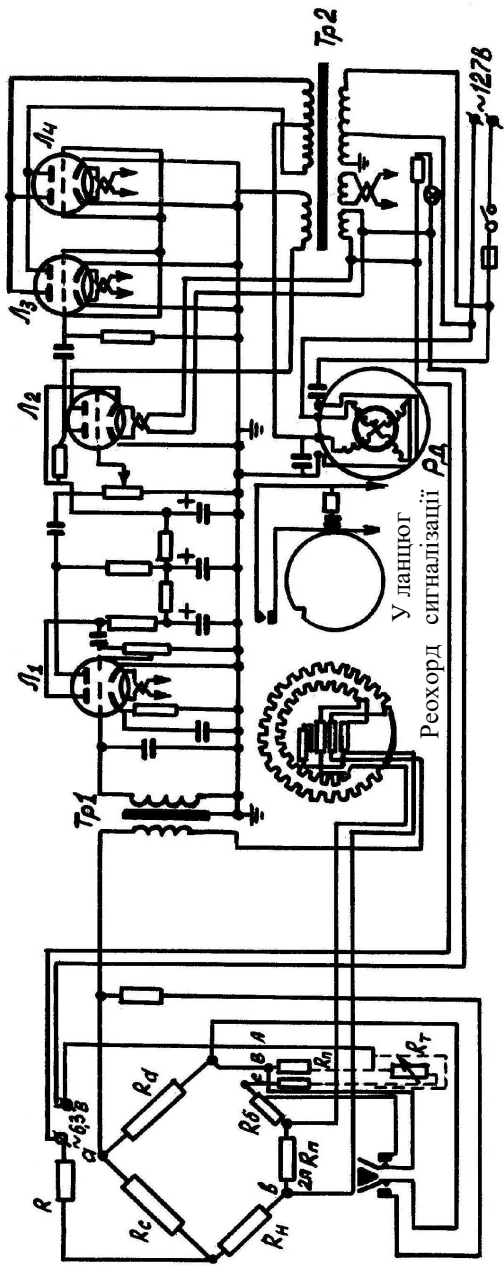


Рисунок 1.1.1 – Схема принципова автоматичного моста змінного струму

Величина напруги не впливає на точність вимірювання, але впливає на чутливість приладу. Подібно до логометрів, мости включаються за дво- або трипровідною схемою. Автоматичні мости мають включатися лише за трипровідною схемою.

### Порядок проведення роботи

1. Зібрати схему за рис. 1.1.1. До точок *A*, *B* і *C* підключити магазин опорів.
2. За табл. 1.1.1 встановити на магазині значення опору, що відповідає опору термометра за конкретної температури.
3. Зняти показники моста при прямому та зворотному ходах і записати в табл. 1.1.1.

Таблиця 1.1.1 – Таблиця одержаних даних і розрахунку показників

№ п/п	Температура, °С	Опір термометра опору, Ом	Показники моста, °С		Абсолютна похибка, °С	Відносна похибка, %
			прямий хід	зворотний хід		
1	0	100				
2	10	103,9				
3	20	107,9				
4	30	111,8				
5	40	115,7				
6	50	119,6				
7	60	123,5				
8	70	127,4				
9	80	131,2				
10	90	135,1				
11	100	138,9				
12	110	142,7				
13	120	146,5				

4. За даними вимірювань визначити клас точності моста та його варіацію.

5. Зробити висновки про можливість вимірювання температур цим приладом.

### **Література**

1. Кулаков М. В. Автоматические контрольно-измерительные приборы для химических производств [Текст] / М. В. Кулаков, С. И. Щелкин – М. : Машгиз, 1961. – 552 с.

2. Топерверх Н. И. Теплотехнические измерительные и регулирующие приборы [Текст] / Н. И. Топерверх, М. Я Шерман – М. : Металлургия, 1966. – 445 с.

3. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## Лабораторна робота № 1.2. ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОПАР

### Мета роботи:

1. Ознайомитися з принципом дії, конструкцією та роботою термопари.
2. Градувати невідомі термопари.
3. Навчитися виконувати практичні завдання.

### Необхідні прилади та обладнання:

- 1) зразкова термопара;
- 2) мілівольтметр групи;
- 3) трубчаста електропіч;
- 4) автотрансформатор або реостат;
- 5) три – чотири термопари з невідомим градуванням;
- 6) цифровий мілівольтметр;
- 7) термопарний перемикач на кілька положень.

### Загальні відомості

При з'єднанні двох нагрітих провідників із різних металів на їхніх кінцях з'являється термоелектрорушійна сила (термоЕРС), величина якої залежить від цілої низки умов.

Взагалі сумарна термоЕРС у замкнутому ланцюзі, складеному з провідників  $A$  і  $B$ , робочий спай якої нагрітий до температури  $t_1$ , а холодний – до  $t_0$  (рис. 1.2.1), визначається зі співвідношення:

$$E_{AB}(t_1; t_0) = e_{AB}(t_1) + e_{BA}(t_0), \quad (1.2.1)$$

де  $E_{AB}(t_1; t_0)$  – сумарна термоЕРС;

$e_{AB}(t_1)$ ;  $e_{BA}(t_0)$  – ЕРС у місцях з'єднання провідників.

Якщо  $e_{AB}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$ , то можна записати:

$$E_{AB}(t_1; t_0) = e_{AB}(t_1) - e_{AB}(t_0), \quad (1.2.2)$$

Сумарна термоЕРС у ланцюзі з двох різних провідників, місця з'єднань яких мають різну температуру, дорівнює різниці результативної термоЕРС (мВ).

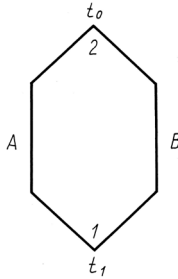


Рисунок 1.2.1 – З'єднання термопар

Так, для термопар з невідомою характеристикою може бути знайдена залежність ЕРС термопари від температури. Унаслідок малих величин ЕРС термопари (0,01-0,06 мВ на 1 °С) може бути виміряна мілівольтметром або потенціометром.

Термопари відрізняються матеріалами термоелектродів і, відповідно, межею вимірювання. Стандартами передбачено виготовлення таких термопар: хромель-копелева (ХК), хромель-алюмелева (ХА), платинородій-платинова (ПП-1), платинородій-платинородієва (ПР 30/6). Ці термопари мають стандартне градуювання.

Для нестандартних умов використовуються нестандартні термопари.

### Порядок виконання роботи

Зразкова термопара 1 підключається через магазин опору до мілівольтметра або компенсаційні проводи до потенціометра (рис. 1.2.2). Усі термопари розміщуються в печі на однаковій відстані від краю трубки (в зоні однакової температури).

Піч нагрівається за допомогою електричного струму з регулюванням подачі через реостат  $I_0$ .

Результати вимірювань заносяться до таблиці та будується графік. На осі абсцис відкладається значення термоЕРС термопари, що визначається за показниками мілівольтметра (в мілівольтах), а на осі ординат – дійсне значення температури в печі  $t$ , яке визначається зразковою термопарою.

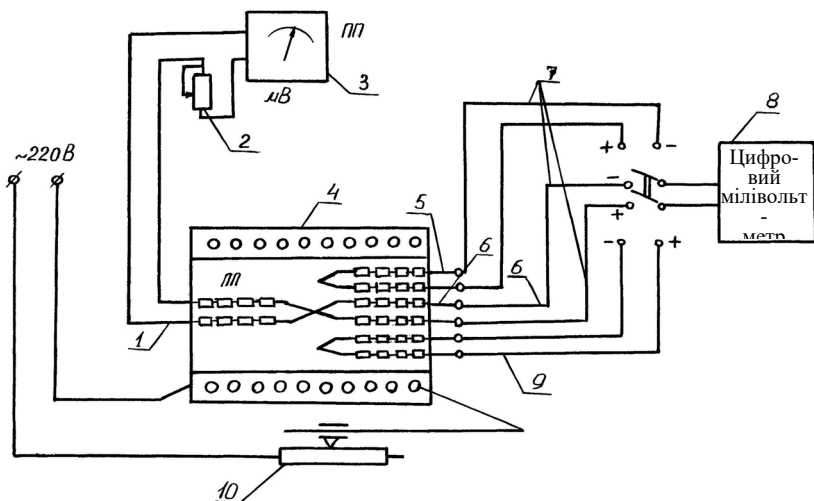


Рисунок 1.2.2 – Схема градуювання термопар

Якщо термопара підключається без компенсаційних проводів, необхідно робити поправку на температуру нагріву холодного спаю термопар.

1. Включити піч через реостат (або автотрансформатор *10*) в електромережу та визначити показники термоЕРС усіх термопар через кожні 50 °С до 500 °С.

2. За одержаними даними побудувати графік.
3. Визначити похибку вимірювань.
4. Узагальнити одержані дані та зробити висновки.

## Література

Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов; Под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

**Лабораторна робота № 1.3.**  
**АНАЛІЗ РОБОТИ ТА НАСТРОЮВАННЯ**  
**УНІВЕРСАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА РУ 4-16А**

**Мета роботи:**

1. Ознайомитися з роботою та настроюванням регулятора РУ 4-16А.
2. Дослідити якість регулювання пристрою за різними законами регулювання.

**Необхідне обладнання та пристрої:**

- 1) регулятор РУ 4-16А;
- 2) потенціометр;
- 3) термопари;
- 4) виконавчий механізм;
- 5) нагрівач.

**Загальні відомості**

**Призначення регулятора РУ 4-16А**

Автоматичні регулювальні пристрої РУ 4-16А призначені для регулювання теплових та інших виробничих процесів. Пристрої працюють у комплекті з автоматичними вимірювальними приладами, що мають реостатний задатчик і виконавчий механізм з вмонтованим реостатом зворотного зв'язку, покажчиком положення регулювального органа, пультом управління, що забезпечує автоматичне та ручне дистанційне керування, та магнітним пускачем.

Пристрої забезпечують пропорційне астатичне та ізодромне регулювання, а також регулювання з введенням сигналу першої похідної. Регулювальні пристрої призначені для роботи в стаціонарних умовах при температурі зовнішнього середовища від 0 до 50 °С і відносній вологості від 30 до 80 %.

## Принцип дії регулятора РУ 4-16А

Значення регульованого параметра заміряється первинним датчиком, встановленим на об'єкті та підключеним до вимірювального приладу.

До підсумовуючої схеми регулятора подається сигнал неузгодження з реостатним датчиком  $R_n$  вимірювального пристрою та сигнал зворотного зв'язку з реостатним датчиком  $R_n$  виконавчого механізму (рис. 1.3.1). Підсумовуючу схему збирають залежно від прийнятого закону регулювання. Якщо є неузгодження, схема формує сигнал управління відповідно до цього закону.

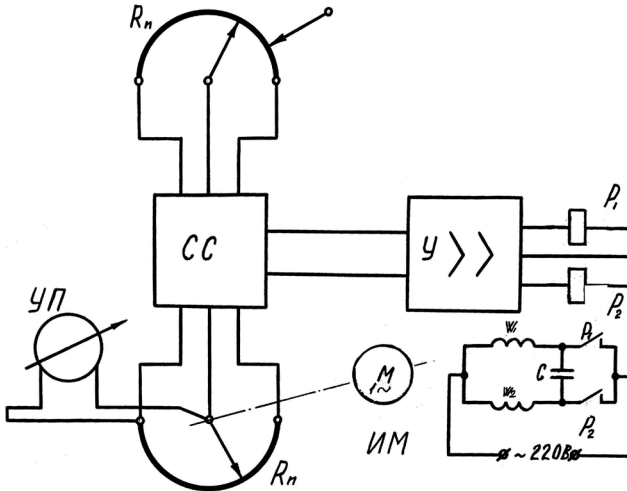


Рисунок 1.3.1 – Блок-схема регулятора РУ 4-16

Сигнал управління посилюється електронним підсилювачем, на виході якого спрацьовують реле  $P_1$  або  $P_2$  залежно від знака сигналу керування. На виході підсумовуючої схеми спрацьовують реле  $P_1$  або  $P_2$ , що приводить до включення двигуна вперед або назад (на відкриття або закриття регульовального органа) та забезпечує повернення параметра, який регулюється до заданого значення.

Показчиком положення регулювального органа є магнітоелектричний міліамперметр, підключений через додатковий опір на напругу, яка знижується движком із реостатного датчика зворотного зв'язку  $R_m$  виконавчого механізму. Міліамперметр має градування у відсотках від 0 до 100. Додатковий або шунтувальний опір підбирають так, щоб показники приладу відповідали величині відкриття регулювального органа.

Розберемо докладніше підсумовуючу схему регулятора.

Підсумовуюча схема (рис. 1.3.2) складається з вимірюваного моста  $R_{33}$  і  $R_{40}$  – при 100 % датчика (а);  $R_{39}$ ,  $R_{40}$ ,  $R_{ш}$ ,  $R_0$  – на випадок N % датчика (б), моста зворотного зв'язку  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_{30}$ ,  $R_{32}$ ; опорів регулювання статизму ( $R_6$ ,  $R_7$ ) з диференційної ( $R_1$ ,  $C_1$ ) та інтегральної ( $R_5$ ,  $C_2$ ) комірок, підключених у ланцюг моста зворотного зв'язку, які надають, відповідно, навпаки інтегральну та диференційну дію на регулювальний орган.

Відповідно до схеми (рис. 1.3.3, а) здійснюється астатичне регулювання, бо на вхід підсилювача подається сигнал, пропорційний відхиленню параметра (прямо із задатчика вимірювального пристрою) і тому величина регульованого впливу може бути пропорційна величині та тривалості відхилення. Рівноваги в системі можна досягти лише при регульованому параметрі, що дорівнює заданому. Реостат зворотного зв'язку виконавчого механізму  $R_{32}$  в процесі регулювання не бере участі.

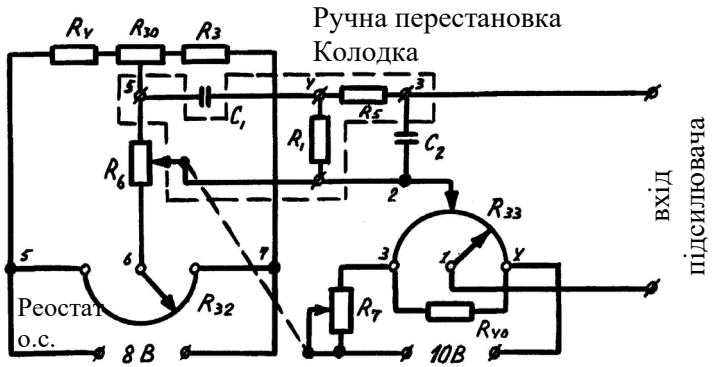
За схемою (рис. 1.3.3, б) здійснюється статичне регулювання. Реостат зворотної дії виконавчого механізму підключений до схеми моста з опорами  $R_4$ – $R_{30}$ – $R_3$ , причому повзун на опорі  $R_{30}$  розташовується у положенні, що відповідає положенню повзуна  $R_{32}$  при нормальному стані регулювального органа. Отже, по опорі  $R_B$ , підключеному в діагональ моста, струм не тече і напруга в ланцюзі зворотного зв'язку становитиме:

$$U_{33} = 0.$$

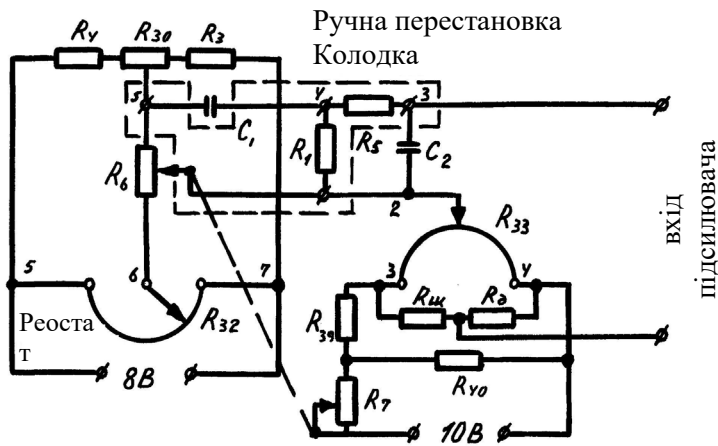
При відхиленні значення регульованого параметра від заданої напруги неузгодження  $U_p$  із реостатного датчика вимірювального приладу сигнал подається на вхід підсилювача і виконавчий механізм включається у відповідному напрямку. Переміщення повзуна  $R_{32}$  спричиняє порушення рівноваги моста

$R_{32}-R_{40}$  і появу в діагоналі напруги  $U_{33}$  з полярністю, яка зустрічна полярності  $U_p$ . На вхід підсилювача надходить різниця напруг  $U_p-U_{33}$ .

З рухом виконавчого механізму зростає напруга  $U_{33}$  і коли буде баланс  $U_{33} = U_p$ , рух виконавчого механізму закінчується. Рівновага системи при новому положенні регулювального органа досягається коли є напруга неузгодження та відхилення параметра від заданої величини.



а



б

Рисунок 1.3.2 – Підсумовуюча схема регулятора

Якщо зменшити величину  $R_7$  і збільшити силу струму, що протікає по задатчику  $R_{33}$ , то одному й тому ж переміщенню виконавчого механізму відповідатиме менше відхилення параметра від заданого значення. Такий же результат може бути отриманий при зменшенні величини  $U_{33}$  при тому ж положенні виконавчого механізму, що досягається переміщенням повзуна  $R_6$  угору. Так, при переміщенні повзунів  $R_6$  і  $R_7$  угору можна збільшити «чутливість» регулятора, а при переміщенні вниз – зменшити. «Чутливість» статичного або пропорційного регулятора визначається відносним відхиленням параметра (у відсотках до шкали вимірювального приладу), що викликає повне переміщення регулювального органа з одного крайнього положення до іншого. Ця величина характеризує також у яких межах зміни параметра регулювальні дії можуть залишатися пропорційними відхиленню, і називається у зв'язку з цим діапазоном пропорційності.

Діапазон пропорційності може бути визначений також діленням відносного значення параметра на відносне переміщення регулювального органа.

У регуляторі РУ 4-16А є ручка з написом «Діапазон» пропорційності, за допомогою якої переміщуються повзуни  $R_6$  і  $R_7$ .

Зменшення діапазону пропорційності зменшує величину залишкового відхилення, але робить процес регулювання менш стійким. Тому діапазон пропорційності встановлюють у кожному конкретному випадку, залежно від властивостей об'єкта регулювання.

За схемою (рис. 1.3.3, в) здійснюється регулювання, близьке до закону ізодромного регулювання.

При відхиленні значення параметра від заданого на вхід підсилювача з реостатного задатчика  $R_{33}$  через опір  $R_1$  надходить напруга неузгодження. Вмикається двигун виконавчого механізму і регулювальний орган починає переміщатися у відповідному напрямку. З'являється струм в діагоналі моста  $R_{30}$ – $R_{32}$  і конденсатор  $C_1$  починає заряджатися через опір  $R_1$  напругою, що знімається з опору  $R_6$ . Зарядний струм конденсатора  $C_1$  створює на опорі  $R_1$  падіння напруги  $U_{33}$ , що діє зустрічно напрузі  $U_p$ . Коли  $U_{33}$  стане рівним  $U_p$ , сигнал на вході підсилювача буде дорівнювати нулю, двигун виконавчого механізму і повзун  $R_{32}$  зупиняться. З

цього моменту сила зарядного струму конденсатора  $C_1$ , а отже, і напруга  $U_{33}$  починає зменшуватись. Повзун реостатного задатчика  $R_{33}$  починає повертатися до заданого положення і напруга  $U_p$  також буде зменшуватись.

У кращому разі зниження  $U_{33}$  і  $U_p$  протікатиме з однаковою швидкістю, тому постійно підтримуватиметься рівняння  $U_{33} = U_p$ . Якщо до моменту, коли регульований параметр дорівнюватиме заданій величині ( $U_p = 0$ ), конденсатор  $C_1$  повністю зарядиться і зарядний струм закінчиться ( $U_{33} = 0$ ), то процес регулювання на цьому завершиться і регулятор прийде в режим рівноваги.

Для забезпечення стійкого регулювання без коливань потрібно правильно підібрані параметри схеми – положення повзунів  $R_6$  і  $R_7$ , ємність конденсатора  $C_1$  і величину опору  $R_5$ , які визначають величину напруги та час заряду конденсатора.

На рис. 1.3.3, *г* показана підсумовуюча схема для статичного регулювання з попередженням по похідній. За такою схемою регульований вплив буде не просто пропорційним відхиленню параметра, а залежатиме також від похідної зміни напруги неузгодження  $U_p$ .

Дія по похідній буде виконуватися завдяки конденсатору  $C_2$ , який, заряджуючись, при підвищенні  $U_p$  буде збільшувати напругу на вході підсилювача, а, розряджаючись, при зменшенні  $U_p$  сприятиме швидкій зміні полярності та зростанню напруги полярності на вході підсилювача.

Підключення конденсатора  $C_2$  до аналогічних точок схеми (рис. 1.3.3, *в*) дасть змогу виконувати ізодромне регулювання також із додатковою дією по похідній.

Зміна часу ізодрому і попередження, а також перемикання на різні види регулювання виконується зміною опорів та перемичок на затискачах панелі, а саме:

а) пропорційне регулювання відбувається, якщо конденсатор  $C_1$  закорочений (встановлюється перемичка між затискачами 4 і 5), конденсатор  $C_2$  вимкнений (перемичка між затискачами 2 і 3 знята), опір  $R_5$  закорочено. Встановлена перемичка між затискачами 3 і 6;

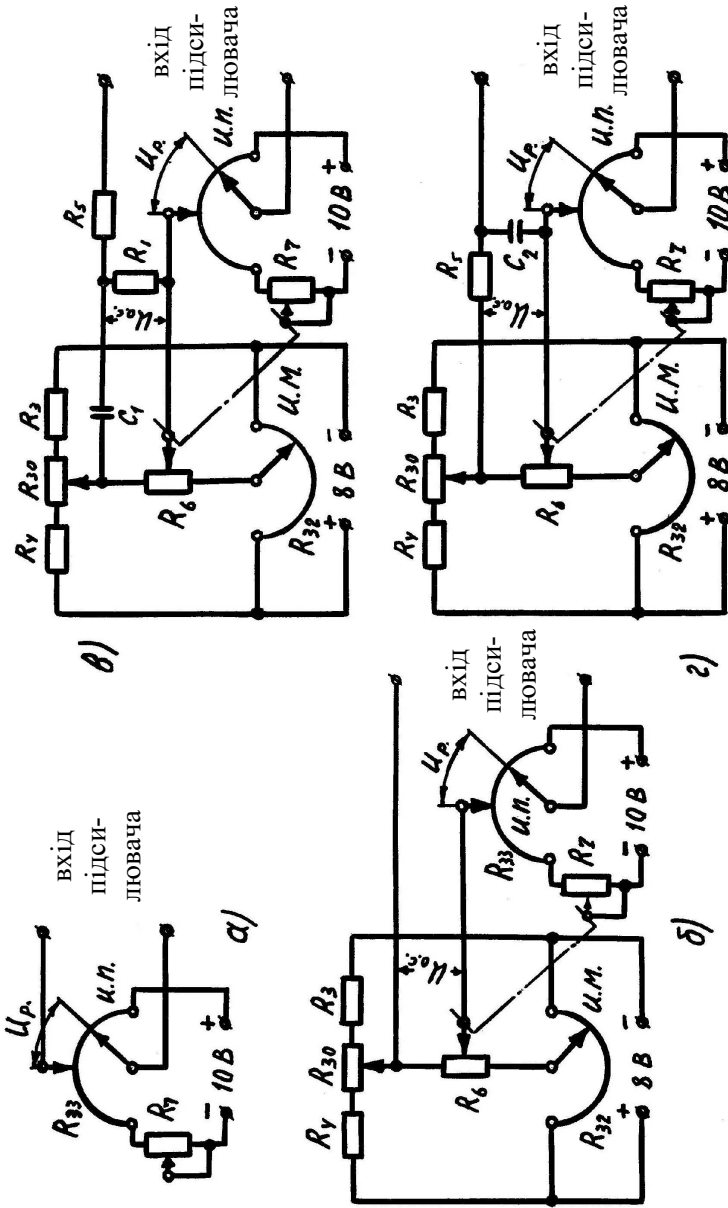


Рисунок 1.3.3 – Варіанти підсумовуючої схеми регулятора РУ 4-16 А

б) астатичне регулювання – встановлюється перемичка між затискачами 1 і 3, і вимикається конденсатор  $C_2$  (знімається перемичка між затискачами 2 і 3);

в) ізодромне регулювання – вмикається конденсатор  $C_1$  (знімається перемичка затискачів 4 і 5), вимикається конденсатор  $C_2$  (знімається перемичка між затискачами 2 і 3), підключається опір  $R_1$  (між затискачами 1 і 4) й опір  $R_5$  (між затискачами 3 і 6).

Час ізодрому  $T_i = 14 R_1$  (с) і змінюється значенням величини  $R_1$ .

Примітка: У разі підключення конденсатора  $C_2$  (ввімкнена перемичка між затискачами 2 і 3) і вимкнення опору  $R_5$  (ставиться перемичка між затискачами 3 і 6) час ізодрому дорівнюватиме  $T_i = 18 R_1$  (с).

Необхідний час ізодрому встановлюється за допомогою змінних опорів.

г) пропорційне регулювання з попереджуванням – конденсатор  $C_1$  закорочений (затискачами 4 і 5), конденсатор  $C_2$  ввімкнений (ставиться перемичка між затискачами 2 і 3), опір  $R_5$  увімкнено (між затискачами 3 і 6). Час попередження (стала часу похідної) дорівнює  $T_n = 4 R_5$  (с);

д) ізодромне регулювання з попередженням здійснюється при таких же з'єднаннях на колоді, що й у пункті в), але з підключенням конденсатора  $C_2$  (ставиться перемичка між затискачами 2 і 3). Час ізодрому дорівнює:  $T_i = 29.1 R_1$  (с), а час попередження:  $T_n = 1.92 R_5$  (с).

Сформований підсумовуючою схемою за тим чи іншим законом сигнал подається на вхід підсилювача, що керується командними реле роботою виконавчого механізму.

Залежно від знака напруги на вході підсилювача спрацьовує реле  $P_1$  і  $P_2$  вихідного фазочутливого каскаду (рис. 1.3.1).

Для стійкої праці реле за будь-яким із розглянутих вище законів регулювання потрібно, щоб швидкість переміщення регульовального органа була пропорційною величині напруги на вході підсилювача. Однак, у виконавчому механізмі, як було показано на блок-схемі (рис. 1.3.1), є конденсаторний двигун із нерегульованою швидкістю обертання (те ж рівною мірою належить до промислового устаткування, у якому привід регульовального органа здійснюється трифазним асинхронним

двигуном). Щоб середня швидкість переміщення регулювального органа все ж була пропорційною вхідному сигналу, тут застосована переривиста робота двигуна: упродовж деякого часу (робочий період) двигун ввімкнений, потім на деякий час (пауза) двигун вимикається. За такої умови чим більша напруга на вході підсилювача, тим довший робочий період і коротша пауза, а отже, вище середня швидкість.

### **Підготовка та пуск РУ**

Після закінчення монтажу регулювальної системи (до вмикання її на регулювання процесу) необхідно перевірити правильність електричних з'єднань та узгодженість роботи всіх елементів.

Для цього треба:

1. Оглянути схему і в разі потреби «продзвонити» її.
2. Встановити в положення «ручне» управління перемикач на пульті керування.
3. Увімкнути загальне джерело, подати живлення на пульт керування.
4. Домогтися правильного обертання вала виконавчого механізму за допомогою кнопок або зворотного ключа.
5. Відрегулювати положення кінцевих вмикачів у крайніх положеннях повзуна зворотного зв'язку. При натисканні кнопки «додати» обертання має бути в напрямку відкриття регулювального органа, інакше проводи, що йдуть від кнопок або зворотного ключа до обмотки двигуна, поміняти місцями.
6. Перевірити правильність показників «Покажчика положення». Правильне ввімкнення положення стрілки на позначці 100 % відповідає повному відкриттю регулювального органа.
7. На лицьовій панелі регулювального пристрою встановити необхідні величини опору ізодрому і попередження, забезпечивши надійний контакт. Затискачі конденсатора  $C_1$  закортити. Рукоятку «Нуль» встановити в положення, що відповідає симетрії спрацювання реле. Рукоятку «чутливість» встановити на поділці, що відповідає необхідній чутливості.

Рукоятку «статизм» поставити на 1–2 неоцифровані поділки, тобто 10–30 % статизму.

8. Сумістити показчики датчика при підключеному вимірювальному пристрої посередині шкали.

9. Перевести універсальний перемикач на автоматичне регулювання: «автомат». Після 2–3 хвилин прогріву виконавчий механізм має встановитись у середньому положенні. Якщо це не виходить (виконавчий механізм йде в одне з крайніх положень), необхідно поміняти місцями проводи, які йдуть до виконавчого механізму.

10. У разі автоколивань або «залипанні» реле повернути рукоятку «стабілізуєчий зв'язок» до ліквідації автоколивань. Після цього для перевірки правильності узгодження всіх напрямків необхідно перемістити вручну повзунок задатчика в пристрої. Виконавчий механізм має відпрацювати на закриття, якщо показники датчика більші, ніж задатчика, і навпаки. Якщо цього не відбувається, то необхідно ще раз поміняти місцями кінці, які йдуть на виконавчий механізм, і разом кінці від реостата зворотного зв'язку.

11. Далі виконавчий механізм з'єднується з регулювальним органом, враховуючи граничні положення кінцевих вимикачів і регулювального органа.

12. Вимикається перемичка на лицьовій панелі, яка закорочує конденсатор. Прилад готовий до роботи.

### **Підключення регулятора на регулювання процесу. Налаштування**

Відповідно до статичних та динамічних характеристик і параметрів об'єктів потрібно визначити налаштування регулятора.

Об'єкт регулювання характеризується:

1. Динамічною характеристикою (кривою розгону), за якою визначається:

- а) запізнення;
- б) стала часу і швидкість розгону;
- в) характер об'єкта (порядок і вид передаточної функції).

2. Статичною характеристикою є коефіцієнт самовимірювання. Настроюванню на процес регулювання підлягають:

- а) час ізодрому;
- б) час попередження;
- в) статизм (діапазон пропорційності).

Налагоджування варто проводити в процесі самого регулювання за його якістю, що зручніше в експлуатації. Настроювання регулятора по об'єкту, для якого невідомі характеристики й параметри, можна здійснювати лише в такий спосіб.

У разі такого налаштування необхідно:

1. Пережкнути на «ручне» управління, увімкнути напругу на пульт керування та вимірювальний пристрій. На вимірювальному пристрої встановлюють необхідне значення регульованого параметра. Кнопками або зворотним ключем виводять регульований параметр на задане значення.

2. Пережкнувши на автоматичне регулювання, досягти якісного регулювання через зміни таких налаштувань: астатизму – рукояткою «статизм» на лицьовій панелі РУ, часу ізодрому та часу попередження – підбором опорів відповідно  $R_1$  і  $R_5$ . Оцінювати якість регулювання можливо лише за деякий час після виходу щоразу на режим, коли змінюється будь-яке налагоджування, щоб уникнути помилкових висновків щодо якості регулювання внаслідок випадкових збурень (необхідно не менш 2–3 годин).

За цих обставин необхідно керуватися такими правилами:

1. Якщо дія регулятора призводить до незатухаючих коливань регульованого параметра зі значною амплітудою цих коливань, тоді рукоятку «статизм» треба повертати в бік збільшення на деякий кут, достатній для зникнення незатухаючих коливань навколо завдання та навпаки.

2. Для процесу з незначними та короткочасними змінами навантаження або живлення настроювання потребує менших значень статизму і більших значень часу ізодрому або, що те ж саме, потребує більшої участі пропорційної дії та менше – астатичної.

3. При процесах із глибокими і довгими збуреннями налаштування призведе до неминучої статичної помилки, бо в цьому разі регулятор буде майже суто пропорційним. Тому треба збільшити долю дії статичної частини через зменшення опору  $R_1$ , що веде до зникнення залишкової нерівномірності (статичної помилки) тим швидше, чим менший час ізодрому (час подвоєння). Однак, водночас підвищується схильність регулятора до автоколивань, амплітуда яких тим більша, чим менший час подвоєння. Тому при налагоджуванні регулятора на такого роду процеси, величина часу подвоєння вибирається максимально можливою, що забезпечує задовільну швидкість зникання залишкової нерівномірності (залишкового відхилення) регулювання.

4. Варто мати на увазі, що основною складовою при регулюванні всіх процесів має бути пропорційна компонента, тобто встановлена найменш можлива ступінь нерівномірності («статизм»), астатична компонента є допоміжною. Підвищення відносної участі цієї компоненти веде до зменшення стійкості регулювальної системи.

5. При переході на інші види регулювання керуватися рекомендаціями, наданими в пункті «Принцип дії регулятора РУ 4-16А».

Примітка: більш докладні рекомендації щодо настроювання регулятора на об'єкт надаються в додатковій інструкції, що додається до пристрою.

### **Порядок проведення роботи**

1. Ознайомитися з електричною схемою та конструкцією регулятора. У процесі знайомства вузли та елементи схеми порівняти з вузлами та елементами самого регулятора РУ 4-16А.

2. Відповідно до інструкції настроїти регулятор за різними законами регулювання. Оцінити якість регулювання.

3. У звіті з лабораторної роботи дати схему регулятора, опис його настроювання та висновки щодо оцінювання якості регулювання за різними законами регулювання.

## Література

1. Фейгин В. И. Электронные и полупроводниковые приборы в металлургии [Текст] / В. И. Фейгин – М. : Металлургия, 1959. – 222 с.

2. Свенчанский А. Д. Автоматическое регулирование электрических печей [Текст] / А. Д. Свенчанский, К. Д. Гуттерман – М. : Энергия, 1965. – 479 с.

3. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## **Лабораторна робота № 1.4.**

### **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА НАСТРОЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО РЕГУЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ**

#### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися зі схемою та конструкцією регулятора РУ 5-01М.
2. Освоїти налаштування регулятора.

#### **Необхідні прилади та обладнання:**

програмний регулятор РУ 5-01М.

#### **Призначення програмного регулятора РУ 5-01М**

Інколи при автоматичному регулюванні режимів технологічних процесів потрібно забезпечити не постійність регульованого параметра, а його зміну за часом за раніше введеною програмою. Такі завдання частіше всього трапляються при автоматичному регулюванні температури в різноманітних термічних печах періодичної дії для відпалу, нормалізації, загартування тощо, коли потрібно, наприклад, протягом визначеного відрізка часу плавно підвищувати температуру до заданого показника, забезпечуючи необхідну швидкість нагрівання, потім визначений час підтримувати задану температуру постійною і, нарешті, за заданою програмою впродовж визначеного часу поступово знижувати температуру.

Для автоматичного регулювання параметрів за заданою програмою використовують автоматичні регулювальні пристрої типу РУ 5-01, РУ 5-02 та ін.

Автоматичні регулювальні пристрої РУ 5-01М призначені для позиційного регулювання різноманітних параметрів за заданою програмою, які працюють у комплекті з автоматичними потенціометрами й мостами, що мають додатковий реостатний задатчик зі 100 %-вою зоною пропорційності. Автоматичні електронні програмні задавальні пристрої призначені для забезпечення пропорційного або ізодромного регулювання різноманітних параметрів за заданою програмою, а працюють у комплекті з ізодромними регулювальними пристроями,

наприклад, РУ 4-16А та автоматичними потенціометрами й мостами, що мають додатковий реостатний датчик зі 100 %-вою зоною пропорційності.

### Конструкція та робота регулятора

Програмний регулювальний пристрій РУ 5-01 забезпечує автоматичне регулювання параметрів за програмою, яку наносять тушшю або спеціальною фарбою на діаграмний папір у вигляді лінії завширшки 10 мм відповідно до заданого графіка ведення процесу. Ширина діаграмної стрічки 160 мм, довжина 10 м, що дає змогу регулювати процеси за часом циклу до 500 годин. Діаграмна стрічка з накресленою програмою міститься в приладі між фотоопором та освітлювальною лампою, які змонтовані на рухомій каретці відстежувальної системи (рис. 1.4.1). Фотоопір  $R_{ф.с.}$  є одним із пліч моста, складеного з опорів  $R_5, R_6, R_7, R_{ф.с.}$  та живленого змінним струмом від обмотки II трансформатора  $Tr_1$  через потенціометр  $R_3-R_9$ . Струм із діагоналі моста через конденсатор  $C_4$  та опори  $R_1$  і  $R_4$  подається на обидві сітки подвійного тріоду  $L_4$ , що керує живленням обмотки  $O_1$  реверсивного конденсаторного двигуна  $M_1$ . Якщо програмна смуга на діаграмній стрічці затемнює майже половину робочої площі фотоопору  $R_{ф.с.}$ , то міст керування (рівновага моста в такому положенні підлаштовується за допомогою змінного опору плеча  $R_5$ ) знаходиться в рівновазі і струм на сітки лампи  $L_4$  не надходить. Діаграмна стрічка невпинно із заданою швидкістю переміщується синхронним двигуном  $M_2$  і, коли положення програмної смуги щодо фотоопору зміниться, рівновага моста порушиться. Фаза напруги, що з'являється на діагоналі моста, залежить від збільшення чи зменшення освітлення фотоопору, тобто відповідно зменшився чи збільшився опір.

Залежно від фази напруги, лівий чи правий тріод лампи  $L_4$  відмикається у відповідні напівперіоди на діагоналі моста і струм починає протікати по обмотці  $O_1$ . Напруга на обмотці  $O_1$  або збігається за фазою, або протилежна напрузі мережі, що живить другу обмотку  $O_2$  двигуна  $M_1$  через конденсатор  $C_2$ .

Так, зменшення або збільшення освітлення фотоопору визначає напругу обертання двигуна  $M_1$ , що переміщує каретку з фотоголівкою відстежувальної системи.

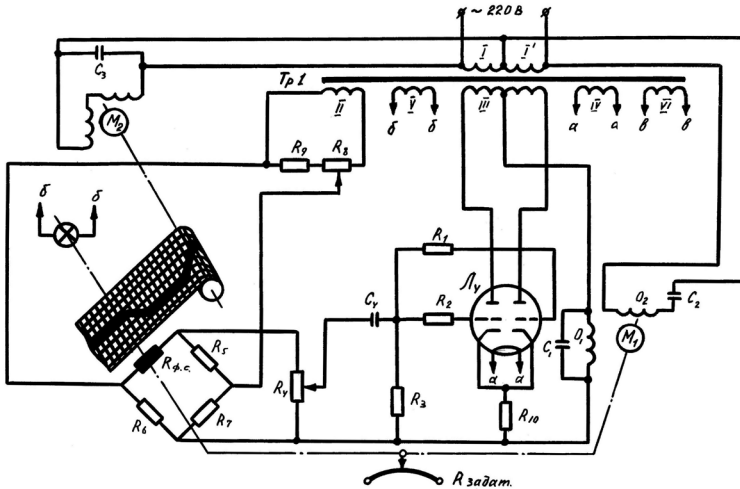


Рисунок 1.4.1 – Спрощена схема відстежувальної системи програмного регулятора РУ 5-01М

Каретка переміщується доки програмна смуга знову катулятиме приблизно половину фотоопору, тобто фотоголівка постійно «стежить» за програмною смугою і переміщується при зміні її положення.

З двигуном  $M_1$  і рухомою кареткою відстежувальної системи твердо зв'язаний движок реостатного задатчика  $R_{задат}$ , який також переміщується відповідно до накресленої програми та є датчиком для регулювальної частини пристрою.

Змінні опори  $R_4$  і  $R_8$  використовуються для регулювання чутливості відстежувальної системи, опір  $R_3$  є опором витoku обох сіток, а опір  $R_{10}$  забезпечує автоматичне зміщення.

На рис. 1.4.2 показана схема регулювальної частини пристрою РУ 5-01М. Реостатний задатчик  $R_{задат}$  відстежувальної системи ввімкнений у вимірювану мостову схему, два інших плеча якої становить реостатний датчик  $R_{вп}$  вимірювального пристрою зі 100 %-вою зоною пропорційності,

що вимірює значення регульованого параметра. Мостова схема живиться від окремої обмотки VI трансформатора відстежувальної системи (рис. 1.4.1). Потенціометричні опори  $R_0'$  і  $R_0''$  увімкнені в мостову схему для суміщення початку і кінця шкали програмного пристрою зі шкалою вимірювального приладу. Коли є неузгодження між показниками вимірювального приладу (положення повзуна  $R_{вп}$ ) та завданням (положення повзуна  $R_{зад}$ ), на вхід трансформатора надходить напруга, фаза якої залежить від знака неузгодження. З виходу трансформатора  $Tr_3$  сигнал надходить на обидві керуючі сітки подвійного триїду  $Л_5$  (БНП).

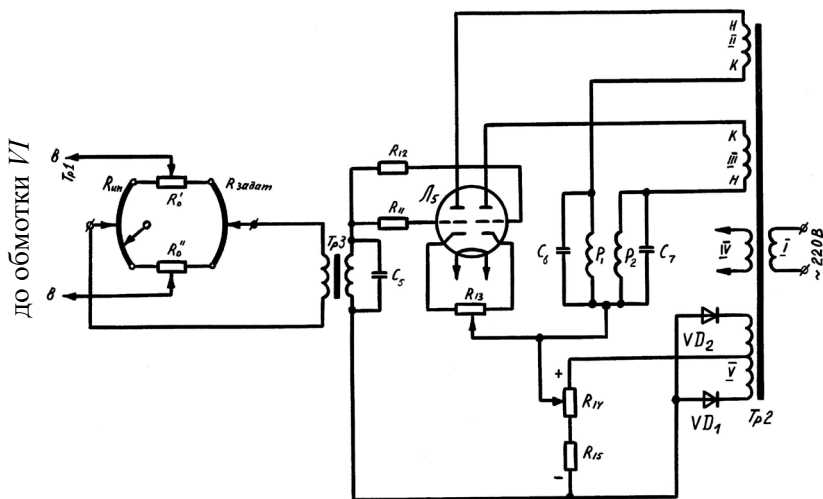


Рисунок 1.4.2 – Спрощена схема регульовальної частини програмного регулятора РУ 5-01М

За браком сигналу обидва триїди  $Л_5$  замкнуті постійним негативним зміщенням сіток, які знімають із потенціометра  $R_{14}$ ,  $R_{15}$ . Завдяки тому, що анодні ланцюги кожного триїда лампи  $Л_5$  живляться від протилежної напруги за фазою, при надходженні сигналу на обидві сітки відмикається той триїд, у якому збігаються фази сигналу та анодної напруги. Триїд, у якому фаза

сигналу виявляється протилежною фазі анодної напруги, залишається замкнутим.

Для забезпечення збігу фази сигналу з фазою анодної напруги та компенсації зсуву фази, що з'являється внаслідок наявності індуктивності вхідного трансформатора  $Tr_3$ , до вторинної обмотки вхідного трансформатора підключений конденсатор  $C_5$ , який створює резонанс напруги на частоті 50 Гц. При резонансі напруги індуктивний опір трансформатора зникає і зміщення фаз між вхідним і вихідним сигналом немає.

При відмиканні одного з тріодів спрацьовує реле  $P_1$  або  $P_2$ , контакти якого вмикають уперед або назад виконавчий механізм регульовального органа. Для симетрії в спрацюванні реле служить потенціометричний опір  $R_{13}$ .

Коли показники вимірювального приладу приходять у відповідність з установкою програмного задатчика, струм розбалансу зникає і реле знеструмлюється, виконавчий механізм вимикається.

Чутливість регулятора (або точніше ширина зони нечутливості) встановлюється движком потенціометра  $R_{14}$ , що регулює величину постійного негативного зміщення.

Так, програмний регульовальний пристрій РУ 5-01 забезпечує регулювання за заданою програмою та законом астатичного регулятора.

Якщо потрібно здійснювати програмне регулювання за будь-яким іншим законом, використовують лише програмний пристрій регулятора РУ 5-01 та його задатчик *R<sub>задат</sub>*, який вмикають до схеми відповідного регулятора, наприклад, РУ 4-16А, як показано на рис. 1.4.3. Для цього програмну фотовідстежувальну пластину пристрою РУ 5-01 випускають без регульовального блока і називають програмним задавальним пристроєм типу РУ 5-02.

### Підготовка приладу до пуску

Для приведення програмного пристрою (ПП) в дію необхідно:

1. Заправити ПП діаграмною стрічкою, для чого: висунути кронштейн, диском ручного задання відвести каретку в ліве крайнє положення, відтягнувши верхню рукоятку вправо,

вставити рулон із діаграмною стрічкою, затиснути гільзу діаграмної стрічки так, щоб виступ, який є на диску, увійшов у проріз на торці капронової гільзи. Взяти порожню гільзу, відмотати частину стрічки та встановити в проріз гільзи. Намотавши невелику кількість стрічки на гільзу, відвести нижню рукоятку вправо та вставити гільзу на місце.

2. Встановити потрібну швидкість просування діаграмної стрічки підбиранням на редукторі приладу відповідних шестерень за таблицею, нанесеною на пластині, що закриває редуктор. Через те що змінні шестерні зовнішні, то для їх перестановки достатньо викрутити гвинти, що фіксують шестерні на втулках редуктора.

3. Залити в редуктор синхронного і реверсивного двигунів по 5 см<sup>3</sup> оливи МПВ.

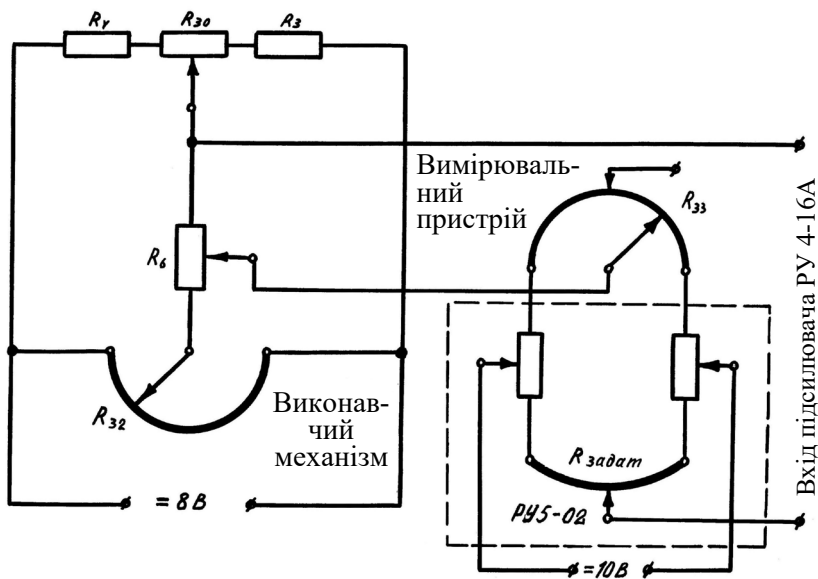


Рисунок 1.4.3 – Схема підключення задатчика програмного пристрою PY 5-02 і регулятора PY 4-16A

## Настроювання відстежувальної системи

Рекомендується періодично перевіряти настроювання відстежувальної системи за такою методикою:

1. Збалансований міст відстежувальної системи: швидкість каретки при повному освітленні ФС-КО та повному затемненні його мають бути рівними. Для перевірки цього положення тумблер ПП «прилад» поставити в положення «ввімкнено» (усі інші ланки системи регулювання треба знеструмити). Тумблер «ручне-автомат» поставити в положення «автомат». Між ФС-КО та лампочкою підсвічування помістити аркуш чорного паперу та зафіксувати швидкість руху каретки вправо. Потім при затемненні ФС-КО зафіксувати швидкість каретки вліво. Якщо швидкості різні, то при обертанні осі потенціометра  $R_4$  «міст» добитися однакової швидкості руху каретки в обох напрямках (рис. 1.4.4).

2. Перевірити узгодження поділок ПП з поділкою програмної стрічки, поставити тумблер «ручне-автомат» у положення «ручне». На діаграмну стрічку чорною тушшю нанести вертикальну програму, права грань якої має проходити по лінії, що означає 50 % графічної сітки діаграмної стрічки. Зарядити ПП стрічкою, диском ручного задання відвести каретку в праве крайнє положення, поставити тумблер «ручне-автомат» у положення «автомат», стрілка ПП рухатиметься вліво і зупинитиметься проти 50-ї поділки шкали. Необхідно вибирати таке положення осі потенціометра  $R_3$  «чутлив.», при якому кількість напівколивань каретки має бути не більше 3-4 (рис. 1.4.3).

Якщо стрілка ПП не встановилася проти 50-ї поділки шкали, то необхідно відпустити гвинти, що кріплять шкалу і зсунути її так, щоб 50-та поділка знаходилася проти стрілки, після чого закріпити шкалу гвинтами.

3. Перевірити походження початку шкали ПП зі спрацюванням кінцевого вимикача, для чого: вийняти електронну лампу  $L_4$  підсилювача відстежувальної системи та диском ручного задання встановити строку ПП на нульове позначення шкали (рис. 1.4.4). У такому положенні синхронний двигун СД-54 має бути увімкнений.



При зміщенні стрілки ПП на 1-1,5 мм вліво від нульового позначення кінцевий вимикач вимикає синхронний двигун і вмикає сигнальну лампочку (проти червоного світлофільтра) «програми».

Якщо кінцевий вимикач вимикає двигун СД-54, коли стрілка ПП розташовується праворуч від нуля або не вимикає його. Коли стрілка ПП розташовується ліворуч від нуля, необхідно відпустити гвинти, що кріплять каретку до тросика, зсунути каретку в той чи інший бік, закріпити її гвинтами, перемістити каретку в праве крайнє положення (до упору) – покажчик ПП має стояти проти сотої поділки шкали або праворуч від нього.

### **Настроювання програмного пристрою в системі регулювання**

При налаштуванні системи регулювання необхідно користуватися методиками настроювання, описами та монтажньо-експлуатаційними інструкціями на ланки, що входять до цієї системи.

Налагодження ПП у системі регулювання рекомендується виконувати в такій послідовності:

1. Подати напругу живлення на прилад, поставивши перемикач на «прилад» у положення «ввімкнено». Тумблер «ручне-автомат» поставити в положення «ручне».

2. При вимкненому вимірювальному приладі узгодити шкалу ПП зі шкалою вимірювального приладу в такий спосіб:

а) вручну стрілки ПП та вимірювального приладу встановити на нульові поділки шкали;

б) повільно повертати вісь підлаштовувального потенціометра «початок шкали» в той чи інший бік до моменту, коли обидва реле в регуляторі РУ 5-01М розімкнуть свої контакти. Якщо при обертанні осі потенціометра неможливо добитися одночасного знеструмлення обох реле, необхідно поміняти кінці проводів (3, 4), що йдуть до кінців реохорда вимірювального приладу;

в) аналогічним способом сумістити кінцеві точки шкал, обертаючи вісь підлаштовувального потенціометра «кінець шкали»;

г) остаточну перевірку узгодження шкал необхідно виконати почерговим встановленням стрілки ПП на 20, 50, 80 поділок шкали ПП з одночасним встановленням стрілки вимірювального приладу на позначення, які відповідають 20-, 50-, 80 % довжини шкали вимірювального приладу.

У кожному із цих положень (з допустимим відхиленням  $\pm 0,5\%$ ) обидва реле регулятора необхідно знеструмити.

3. Увімкнути вимірювальний прилад.

4. Перемикач системи регулювання «ручне-автомат» поставити в положення «автомат».

5. Диск ручного задання стрілку ПП встановити так, щоб обидва реле були знеструмлені, а виконавчий механізм вимкнений. Вал виконавчого механізму не має знаходитись у крайніх положеннях.

6. Перевірити правильність комутації виконавчого механізму з робочими контактами реле ПП, для чого:

а) зсунути стрілку ПП на 2 поділки від положення рівноваги вправо – одне реле увімкне виконавчий механізм, який перемістить регульовальний орган. Таке збурення системи регулювання збільшить значення регульованого параметра, тобто через деякий час (час запізнення об'єкта) стрілка вимірювального приладу також відхилиться вправо.

Якщо стрілка вимірювального приладу рухається вліво, необхідно змінити фазу напруги на обмотці виконавчого механізму:

б) ввести збурення системи зворотного знаку – зсунути стрілку ПП на 2 поділки від положення рівноваги вліво – стрілка вимірювального приладу відхилиться також вліво.

7. Збалансувати міст відстежувальної системи.

8. Ручним керуванням довести об'єкт регулювання до стану, при якому регульована величина досягає значення, близького заданому початковому за програмою.

9. Перемикач системи регулювання «ручне-автомат» поставити в положення «автомат».

### **Порядок проведення роботи**

1. Ознайомитися з електричною схемою регулятора.
2. Відповідно до інструкції налаштувати регулятор.
3. У звіті з лабораторної роботи дати схему регулятора та опис його налагодження.

## Література

1. Фейгин В. И. Электронные и полупроводниковые приборы в металлургии [Текст] / В. И. Фейгин – М.: Металлургия, 1959. – 222 с.

2. Свенчанский А. Д. Автоматическое регулирование электрических печей [Текст] / А. Д. Свенчанский, К. Д. Гуттерман – М.: Энергия, 1965. – 479 с.

3. Воробьев Е. И. Проектирование промышленных роботов [Текст]: учеб. пособие для машиностроит. техникумов / Е. И. Воробьев, Э. И. Шехвиц – М.: Машиностроение, 1993. – 144 с.

## **Лабораторна робота № 1.5. ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ**

### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з будовою та принципом дії логічних елементів.
2. Набути навичок читання та складання схем автоматики.

### **Необхідне обладнання:**

- 1) зібрані панелі логічних елементів;
- 2) джерела живлення постійного струму 1,5 В, 12 В;
- 3) вольтметр постійного струму зі шкалою 20 В (або тестер).

Логічними називаються елементи, що реалізують прості логічні операції з сигналами. Як правило, вони служать основою складніших логічних схем, які здійснюють задані складні логічні функції в пристроях і системах автоматики.

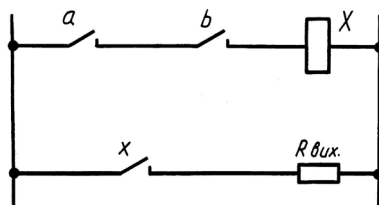
До простих логічних операцій належать: логічне множення, логічне додавання, логічне заперечення, заборона, імплікація, операція Вебба, операція Шеффера та ін.

За допомогою логічних елементів у пристроях і системах автоматики можуть бути вирішені такі задачі: сигналізація, блокування, захист, керування послідовністю технологічних операцій тощо.

У контактному логічному елементі одному стану відповідає замкнене положення контактів «Так», іншому – розімкнене положення «Ні». У безконтактному логічному елементі стану «Так» відповідає наявність струму на виході, а стану «Ні» – брак струму. Перший стан «Вихід є» умовно позначають через 1, другий – «Виходу немає» – через 0. Аналогічні позначення застосовуються і для входів логічного елемента (1 – сигнал поданий, 0 – сигналу немає). У роботі розглядаються такі логічні елементи: «І», «АБО», «НІ», «Пірс», «Шеффера», «Пам'ять».

## Логічний елемент «І»

Логічний елемент «І» реалізує логічну функцію «І», що називається також кон'юнкцією. Сигнал на виході з'являється лише в тому разі, коли одночасно є сигнали на всіх входах. Таку логічну операцію для трьох входів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  виконує, наприклад, релейна схема:



Логічний елемент «І» реалізує логічну функцію «І», символічне зображення якої має вигляд звичайного алгебраїчного добутку:

$$V = A B C.$$

Логічні елементи можуть бути побудовані на контактних реле, електронних лампах, напівпровідникових вентилях, транзисторах, магнітних елементах, пневматичних пристроях тощо.

Схема, представлена на рис. 1.5.1, складається з трьох діодних входів, двох транзисторів, увімкнених за схемою з загальним емітером, які працюють у «ключовому» режимі – ввімкнено, вимкнено.

Подача сигналів на схему відбувається за допомогою тумблерів ТВ пристрою входу. Опори  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  (по 910 Ом) пристрою входу імітують внутрішні опори попередніх елементів. Вхідні опори транзисторів  $R_4$  і  $R_5$  (по 4,7 кОм) служать для обмеження базового струму. Опори  $R_6$  і  $R_7$  (по 4,7 кОм) є навантаженням джерела, що подають напругу зміщення 1,5 В. Опори  $R_9$  і  $R_{10}$  (по 910 Ом) – колекторне навантаження транзистора. Вихідний сигнал знімається в точці  $V = A B C$ .

Якщо хоча б одного з вхідних сигналів бракує (діодний вхід увімкнений тумблером на землю), напруга на виході діодів (точка *m*) дорівнюватиме нулю. До бази транзистора  $VT_1$  у цьому разі додається позитивна напруга зміщення через опір  $R_6 = 4.7$  кОм, в результаті чого транзистор  $VT_1$  знаходиться в закритому стані. А транзистор  $VT_2$  буде відкритий, бо до його бази прикладений негативний потенціал  $-12$  мВ через опори  $R_9$  і  $R_5$ . У результаті напруга на виході транзистора (різниця потенціалів), а на виході елемента дорівнюватиме нулю.

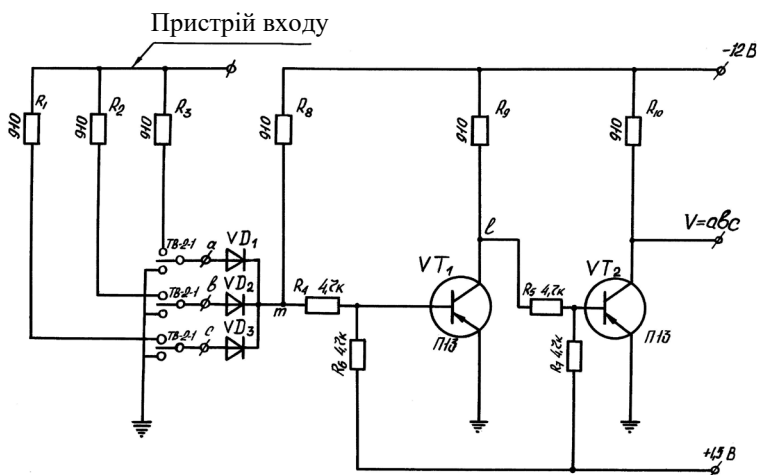


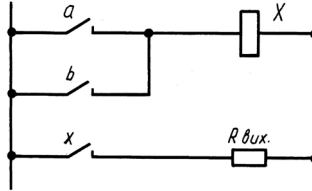
Рисунок 1.5.1 – Схема транзисторного логічного елемента «I»

При одночасній подачі на всі три діодних входи негативних сигналів ( $-12$  В), діоди замикаються і на базу транзистора  $VT_1$  подається негативний потенціал  $-12$  В через опори  $R_3$  і  $R_4$ . Транзистор  $VT_1$  відмикається і потенціал у точці  $l$  дорівнює нулю. До бази другого транзистора  $VT_2$  прикладається позитивна напруга зміщення  $1,5$  В через опір  $R_7$ . Транзистор  $VT_2$  замикається і на виході (точка  $V$  – земля) з'являється напруга (різниця потенціалів).

Так, при будь-якій комбінації вхідних сигналів (обов'язково мають бути подані всі) схема виконує логічну операцію «I».

## Логічний елемент «АБО»

Логічний елемент «АБО» загалом має  $n$ -входів і один вихід. Сигнал на виході з'являється в тому разі, коли є хоча б один із вхідних сигналів. Таку логічну операцію для трьох входів  $A$ ,  $B$ ,  $C$  виконує релейна схема:



Логічний елемент «АБО» реалізує логічну функцію «АБО», що називається також диз'юнкцією. Символічне зображення функції має вигляд звичайної алгебраїчної суми:

$$V = A+B+C$$

Схема, представлена на рис. 1.5.2, складається з трьох діодних входів, увімкнених за схемою з загальним емітером, які працюють у «ключовому» режимі – ввімкнено, вимкнено.

Вихідний сигнал знімається в точці  $V$ .

Якщо сигналів немає, на базу першого транзистора  $VT_1$  прикладається позитивна напруга зміщення через опір  $R_6 = 4.7$  кОм, в результаті чого транзистор  $VT_1$  знаходиться в закритому стані.

Транзистор  $VT_2$  буде відкритий, тому до його бази прикладений негативний потенціал  $-12$  В через опори  $R_8$  і  $R_5$ . Напруга на виході дорівнює нулю.

При подачі хоча б одного негативного сигналу з пристрою входу на базу транзистора  $VT_1$  через опір  $R_4$ , транзистор  $VT_1$  відмикається і потенціал у точці  $V$  дорівнюватиме нулю. Тоді до бази другого транзистора  $VT_2$  прикладається позитивна напруга зміщення  $1,5$  В через опір  $R_1$ . Транзистор  $VT_2$  замикається і на виході (точка  $V$  – земля) з'являється напруга (різниця потенціалів).

Так, при будь-якій комбінації вхідних сигналів схема виконує логічну операцію «АБО».

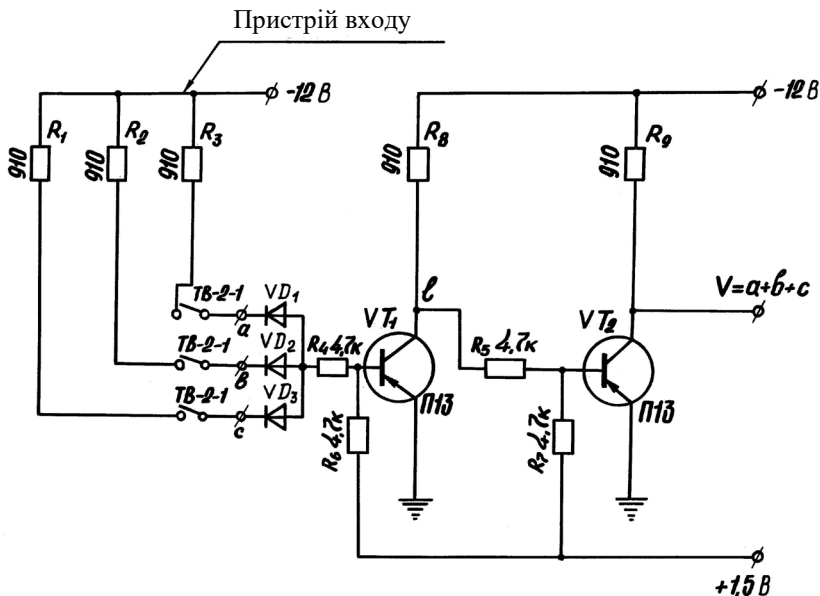
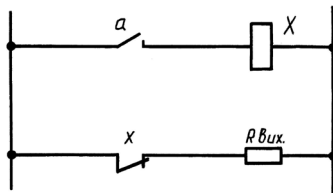


Рисунок 1.5.2 – Схема транзисторного логічного елемента «АБО»

### Логічний елемент «НІ»

Логічний елемент «НІ» має один вхід і один вихід. Сигнал на виході з'являється, коли бракує сигналу на вході. Таку логічну функцію виконує, наприклад, релейна схема:



Логічний елемент «НІ» реалізує логічну функцію «НІ», яка називається інверсією або запереченням, а сам логічний елемент інколи називають інвертором. Символічне зображення функції:

$$X = \bar{a}.$$

Схема, представлена на рис. 1.5.3, зібрана на одному транзисторі, що працює в «ключовому» режимі – ввімкнено, вимкнено.

Вихідний сигнал знімається в точці  $V = \bar{a}$ . Якщо вхідного сигналу немає, на базу транзистора подається позитивна напруга зміщення через опір  $R_3 = 4.7 \text{ кОм}$ , у результаті чого транзистор знаходиться в закритому стані і на виході (точка  $V$  – земля) з'являється напруга (різниця потенціалів).

При подачі негативного сигналу за допомогою тумблера ТВ-2-1 на базу транзистора, транзистор відмикається і напруга на виході дорівнює нулю.

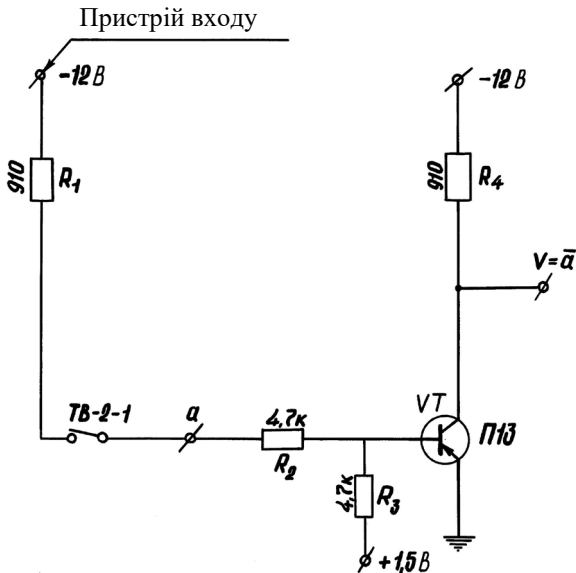


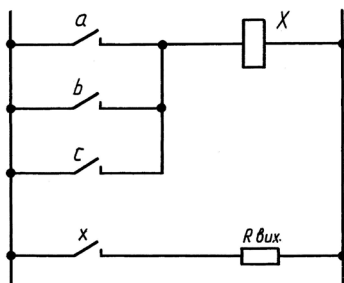
Рисунок 1.5.3 – Схема транзисторного логічного елемента «НІ»

Так, схема завжди виконує логічну операцію «НІ».

## Логічний елемент «Пірс»

За допомогою логічного елемента «Пірс», що також називається стрілкою Пірса, можуть бути побудовані всі основні елементарні та складні логічні функції («І», «АБО» тощо), тому елемент «Пірс» є уніфікованим елементом. Загалом елемент «Пірс» має  $n$ -входів і один вихід.

Елемент «Пірс» відрізняється від елемента «АБО», що розглядався вище, браком вхідного транзистора. Сигнал на виході елемента з'являється в тому разі, коли на всіх входах немає сигналів, тобто виконується операція «АБО-НІ». Таку операцію для трьох входів виконує, наприклад, релейна схема:



Символічне зображення функції:

$$X = \overline{a + b + c}.$$

Схема, представлена на рис. 1.5.4, складається з трьох діодних входів і одного транзистора, що працює в «ключовому» режимі – ввімкнено, вимкнено. Вихідний сигнал знімається в точці

$$V = \overline{A + B + C}.$$

Якщо вхідних сигналів немає, на базу транзистора подається позитивна напруга зміщення через опір  $R_4 = 4.7$  кОм, у результаті чого транзистор знаходиться в закритому стані і на виході (точка  $V$  – земля) є напруга (різниця потенціалів).

Транзистор  $VT_2$  буде відкритий, тому до його бази прикладено негативний потенціал  $-12\text{ В}$  через опори  $R_8$  і  $R_5$ . Напряга на виході дорівнює нулю.

При подачі хоча б одного сигналу з пристрою входу, на базу транзистора через опір  $R_4 = 4.7\text{ кОм}$  подається негативний потенціал  $-12\text{ В}$ . Транзистор вимикається і вихідний сигнал зникає.

При будь-якій комбінації вхідних сигналів схема виконує логічну операцію «АБО-НІ».

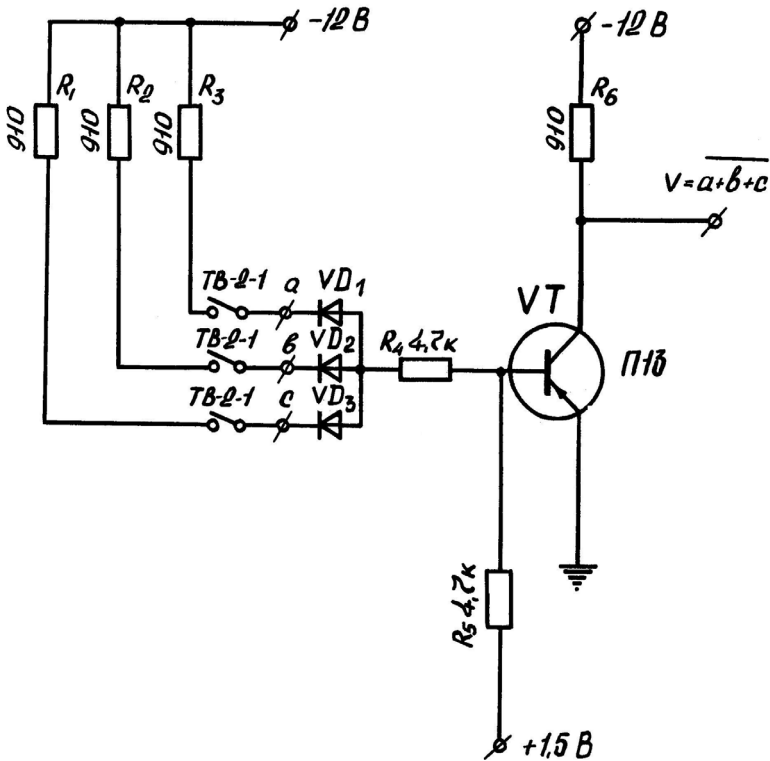
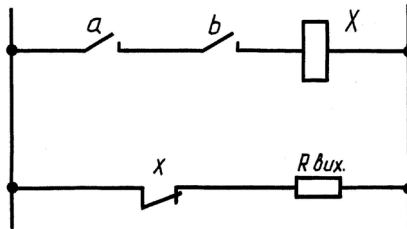


Рисунок 1.5.4 – Схема транзисторного логічного елемента «Пірс»

## Логічний елемент «Шеффера»

Логічний елемент «Шеффера» загалом має  $n$ -входів і один вихід. Сигнал на виході елемента зникає лише в тому разі, коли є сигнали на всіх входах одночасно, тобто виконується операція «І-НІ».

Таку логічну операцію для трьох входів виконує, наприклад, релейна схема:



Логічний елемент «Шеффера» реалізує логічну функцію. Символічне зображення такої функції:

$$X = \overline{a \cdot b \cdot c}.$$

Схема, представлена на рис. 1.5.5, складається з трьох діодних входів та одного транзистора, що працює в «ключовому» режимі – ввімкнено, вимкнено.

Вихідний сигнал знімається в точці  $V = \overline{ABC}$ .

Якщо хоча б одного з вхідних сигналів бракує (діодний вхід увімкнений тумблером на землю), напруга на виході діодів (точка  $m$ ) дорівнюватиме нулю. До бази транзистора через опір  $R_5 = 4.7$  кОм подається позитивна напруга зміщення, у результаті чого транзистор знаходиться в закритому стані. На виході (точка  $V$  – земля) є напруга.

При одночасній подачі на всі три входи негативних сигналів, діодний вхід замикається і на базу транзистора через опори  $R_7 = 910$  кОм і  $R_4 = 4.7$  кОм подається негативний потенціал  $-12$  В, транзистор відмикається і потенціал у точці  $V$  приймає значення нуля.

Так, при подачі всіх сигналів на вхід (у будь-якій комбінації) схема виконує логічну операцію функції «Шеффера».

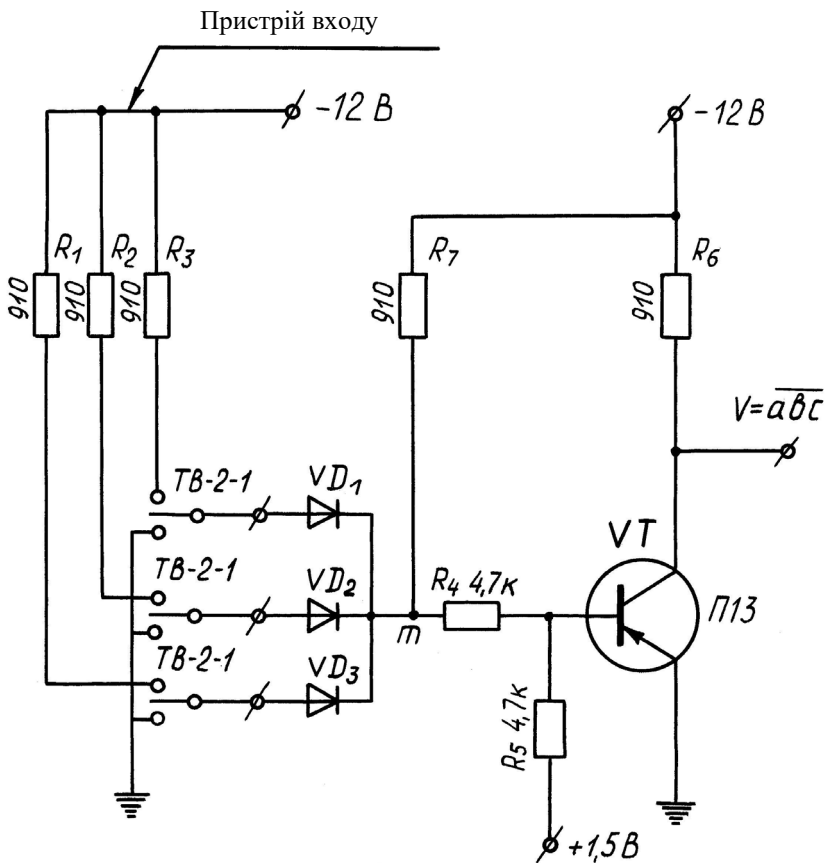
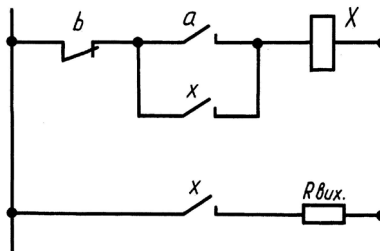


Рисунок 1.5.5 – Схема транзисторного логічного елемента «Шеффера»

## Логічний елемент «Пам'ять»

Елемент «Пам'ять» (також називається тригером) має два стани стійкої рівноваги, в кожному з яких він може перебувати протягом необхідного періоду часу довго. Перехід з одного стану в інший відбувається стрибкоподібно. При подачі на вхід тригера керувальної напруги на виході елемента з'являється сигнал, який залишається і після зняття сигналу управління. Вихідний сигнал тригера зникає лише після подачі сигналу скидання. У цьому стані тригер залишається до наступної подачі сигналу керування.

Таку операцію виконує, наприклад, релейна схема:



Символічне зображення функції «Пам'ять»:

$$V = (V + A) \cdot \bar{B}.$$

Схема, представлена на рис. 1.5.6, побудована на двох діодних транзисторах, які працюють у «ключовому» режимі – ввімкнено, вимкнено.

Вихідний сигнал знімається в точці  $V = (A + V) \cdot \bar{B}$ .

Для розуміння роботи схеми потрібно мати на увазі, що напівпровідникові тріоди замикаються при напрузі на базі, яка дорівнює нулю, і що в режимі насичення колекторного струму напруга на колекторі майже дорівнює нулю. Нехай у початковий момент один із тріодів, наприклад,  $VT_1$  закритий, його колекторний струм близький до нуля і напруга на його колекторі майже дорівнюватиме негативній напрузі на джерелі живлення

-12 В. Ця ж негативна напруга через опір  $R_5 = 4.7 \text{ кОм}$  буде прикладена до бази другого транзистора  $VT_2$ , який завдяки цьому буде повністю відкритий.

Через цей триод йтиме значний колекторний струм (струм насичення): завдяки падінню напруги на колекторному опорі  $R_{10} = 910 \text{ Ом}$  на базі першого транзистора буде близько до нуля. У цьому стані схема буде перебувати доти, доки зовнішній сигнал не перекине її в інший сталий стан.

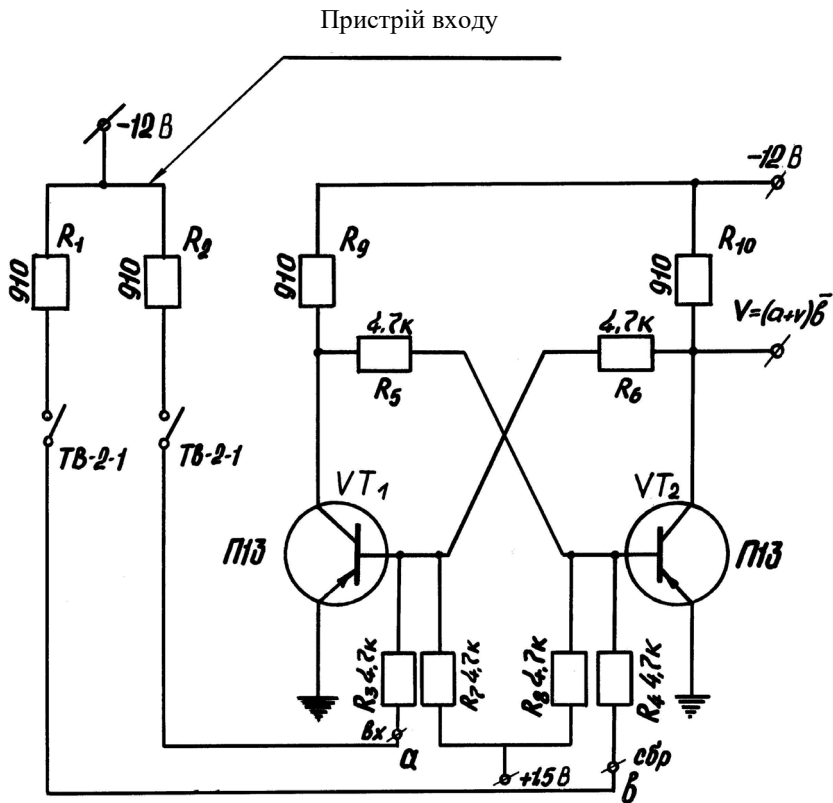


Рисунок 1.5.6 – Схема транзисторного логічного елемента «Пам'ять»

При подачі негативного потенціалу на базу першого транзистора  $VT_1$  останній відкривається, через нього протікає значний колекторний струм  $i$ , завдяки падінню напруги на опорі  $R_5 = 4.7$  кОм, напруга на базі транзистора  $VT_2$  буде близька до нуля. Під дією напруги зміщення 1,5 В, яка надходить на базу тріода  $VT_2$  через опір  $R_8 = 4.7$  кОм, тріод закривається. Величина колекторного струму майже дорівнює нулю. На виході схеми в точці ( $V$  – земля) з'явиться напруга, що дорівнює напрузі джерела живлення. Останні, що надходять через опір  $R_6$  на базу першого тріода, тримають його у відкритому стані навіть після того, як прибраний сигнал управління.

Так, на виході тріода сигналу або немає, або він з'являється.

### Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися з електричними схемами транзисторних елементів.

2. Зібрані панелі логічних елементів підключити до джерел живлення та перевірити їхню роботу за допомогою вольтметра.

3. У звіті навести схеми логічних елементів «НІ», «І», «АБО», «Піра», «Шеффера». Описати їхню будову та роботу.

### Література

1. Левитан В. Л. Автоматизация литейных процессов. Слаботочные электрические схемы управления с бесконтактными и контактными элементами [Текст] / В. Л. Левитан – Л. : Машгиз, 1963. – 96 с.

2. Свенчанский А. Д. Автоматическое регулирование электрических печей [Текст] / А. Д. Свенчанский, К. Д. Гуттерман – М. : Энергия, 1965. – 479 с.

3. Загаевский Тадеуш Промышленная электроника [Текст] / Т. Загаевский, С. Мальхазер, А. Квецинский – Перевод с польского. – М. : Энергия, 1976. – 640 с.

4. Ямповський Л. С. Елементи роботехнічних пристроїв і модулі ГВС [Текст]: підручник для студентів вузів / Л. С. Ямповський, М. М. Поліщук, М. М. Ткач – К. : Вища школа, 1992. – 432 с.

5. Погрібний В. О. Основи інформаційних процесів у роботизованому виробництві [Текст] : підручник для вузів / В. О. Погрібний, І. В. Роженківський, Ю. П. Юрченко – Львів : Світ, 1995. – 304 с.

6. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов; Под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

**Лабораторна робота № 1.6.**  
**ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ.**  
**РЕЛЕ ЧАСУ, УНІВЕРСАЛЬНІ ПЕРЕМИКАЧІ,**  
**КІНЦЕВІ ВИМИКАЧІ**

**Мета роботи:**

1. Ознайомитися з конструкцією та роботою реле часу, проміжних реле, універсальних перемикачів і кінцевих вимикачів.
2. Навчитися знімати характеристики приладів.

**Необхідне обладнання:**

- 1) панель з реле часу, проміжним реле, універсальним перемикачем і кінцевим вимикачем;
- 2) секундомір.

**Призначення та опис моторного реле часу Е-58**

Моторне реле часу Е-58 використовується в схемах автоматичного управління для створення витримок часу при контролі або керуванні робочими циклами технологічних процесів. Реле часу Е-58 – це електромеханічний пристрій з приводом від синхронного електродвигуна, в якому перемикання контактів відбувається після закінчення визначених раніше заданих проміжків часу з моменту вмикання реле.

**Технічні характеристики реле Е-58**

Номінальна напруга електродвигуна та електромагніта	220 В
Допустиме відхилення напруги від номінальної	0,9-4,4 В
Споживана потужність реле	25 Вт
Витримка часу	2-60 с
Точність витримки	0,25 с
Кількість контактів	4 пари
Кількість ланцюгів керування	3
Тривалий допустимий струм контактів	5 А
Комутаційна здатність контактів в ланцюгах змінного струму	700 Вт при 220 В
Зносостійкість (кількість спрацювань), не менше	100000
Час повернення, не більше	1,0 с

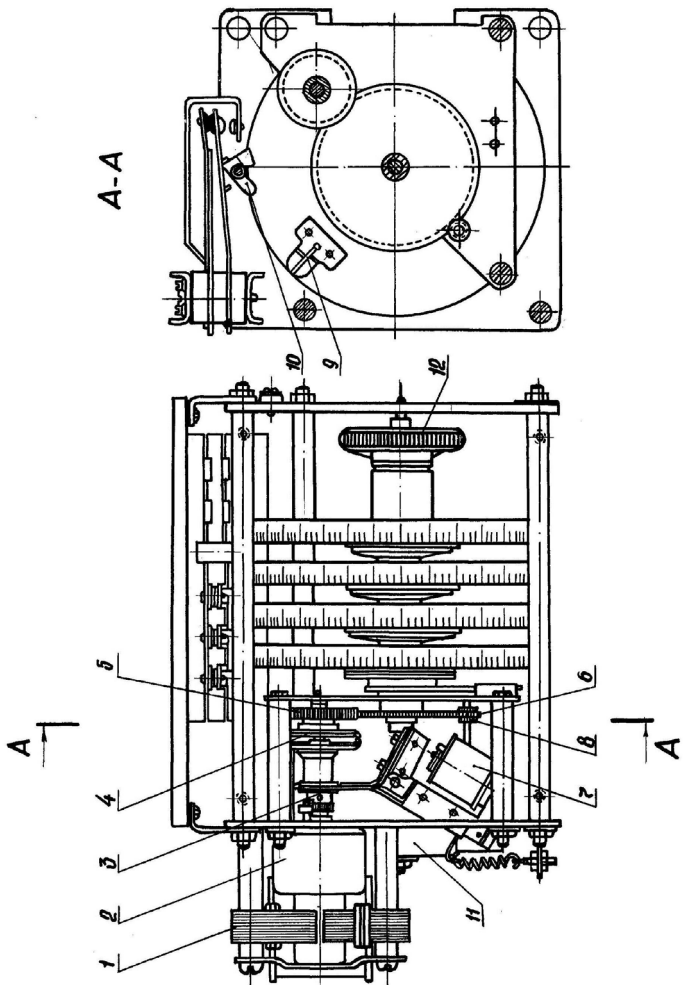
Приводом механізму реле служить синхронний двигун типу СД-2, який має вбудований знижувальний редуктор зі швидкістю обертання вихідного вала – 2 об/хв.

Конструкція реле показана на рис. 1.6.1. Обертання від двигуна 1, з редуктором 2 передається осі 3, на якій насаджені торцевий диск 4 і шестерня, що має торцеві зубці. Диск 4 вільно сидить на осі і може переміщатися вздовж осі, перебуваючи з нею в зачепленні, тому що втулка диску має квадратний перетин і вісь у місці посадки має квадратний перетин.

При подачі живлення електромагніт 7 важелем, закріпленим на якорі, переміщує вздовж осі 3 диск 4, вводить його в зачеплення з торцевими зубцями шестерні. У результаті цього обертання вала редуктора через шестерні 5 і 6 передається головній осі реле з насадженими на ній шкалами часу. На шкалах часу закріплені упори 9, які при обертанні блока шкал повертають пластмасові кулачки 10, стичні з контактними пластинами. Контактні пластини через кулачки миттєво перемикають контакти.

Після спрацювання всіх контактів відбувається розмикання нормально замкненого допоміжного контакту реле, послідовно ввімкненого в ланцюг живлення електродвигуна. На шкалі, відповідній цьому контакту, мусить бути встановлена витримка часу більше ніж витримка часу контакту реле з найбільшим встановленням.

Після вимкнення двигуна подальше обертання блока шкал припиняється. Повернення механізму реле в початкове положення відбувається після вимкнення живлення електромагніта зачеплення 7, якір якого виводить із зачеплення торцевий диск 4. Спиральна зворотна пружина 11, один кінець якої закріплений на головній осі реле, а другий нерухомий, розкручується і повертає блок шкал в початкове положення. Плавність повернення забезпечує відцентрове гальмо 8, вісь якого через зубчасту передачу зв'язана з головною віссю реле.



1 – двигун; 2 – редуктор; 3 – вісь; 4 – диск; 5 і 6 – шестерні; 7 – електромагніт;  
 8 – відцентрове гальмо; 9 – упори; 10 – кулачки; 11 – пружина; 12 – затискна гайка

Рисунок 1.6.1 – Схема реле часу Е-58

Встановлення часу витримки на шкалах реле відбувається при зняттю кожусі і вимкненому живленні. Перед встановленням часу витримки відпускають затискну гайку 12. Потім, повертаючи шкали так, щоб проти вказівника-стрілки, що відповідає цій шкалі, була встановлена відповідна поділлка, встановлюють час витримки на поділці шкали – 0,5 с. Інтервал між витримками може бути будь-яким, але не менше 1,5 с. Після встановлення часу витримки, положення шкал, відповідно до потрібних витримок часу, фіксуються затискною гайкою 12. Електрична схема реле наведена на приладі.

### Реле часу типу ЕВ-234

Реле часу типу ЕВ-234 застосовується в різноманітних схемах автоматики та захисту як елемент для здобуття регульовальної сповільненої передачі імпульсу від органа керування (рис. 1.6.2).

При замиканні ланцюга котушки 1 втягується якір електромагніта 3, чим пускається в хід загальмований часовий механізм і перемикаються контакти миттєвої дії – один нормально розімкнений (*Н.Р.*) і один нормально замкнений (*Н.З.*) із загальною точкою. Під дією тягової пружини 11 зубчастий сектор 10 починає повертатися й обертати зчеплену з ним шестерню 13, на валу якої закріплений важіль із рухомим контактом 22. Швидкість ходу часового механізму регулюється положенням вантажів на коромисла 21. Величина витримки часу визначається відстанню від початкового положення рухомого контакту 22 до нерухомих контактів 23, які для зміни встановлення часу можна переміщати за шкалою 24. Нерухомі контакти 23 мають упор, на якому після їх замикання зупиняється важіль з рухомим контактом.

Реле ЕВ-234 працює на змінному струмі напругою 220 В. Витримка часу – 0,5-9 с. Споживана потужність 75 Вт.

Електрична схема реле ЕВ-234 міститься на приладі.

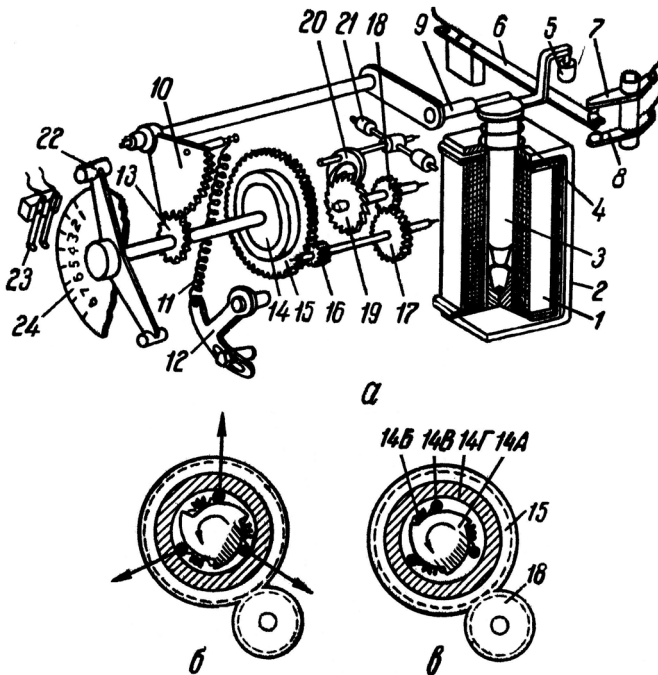


Рисунок 1.6.2 – Схема реле часу EB-234

### Реле проміжного типу МКУ-48

Реле МКУ-48 застосовують в схемах автоматичного керування та регулювання як проміжне реле. При подачі напруги на котушку реле відбувається перемикання контактів.

### Кінцеві вимикачі ВК-211, ВК-411

Кінцеві вимикачі в схемах управління служать у якості датчиків, що сигналізують про закінчення переміщення будь-якого органа машини або агрегату.

При дії на кінцевий вимикач всередині нього відбувається замикання або розмикання контактів. У вимикачі ВК-211 (рис. 1.6.3) перемикання контактів відбувається відразу після того, як сила дії на вході досягне якогось значення. У вимикачі

ВК-411 (рис. 1.6.4) переміщення рухомого контакту дорівнює швидкості зовнішньої дії на шток, що зазвичай приводить до обмеження комутаційної потужності.

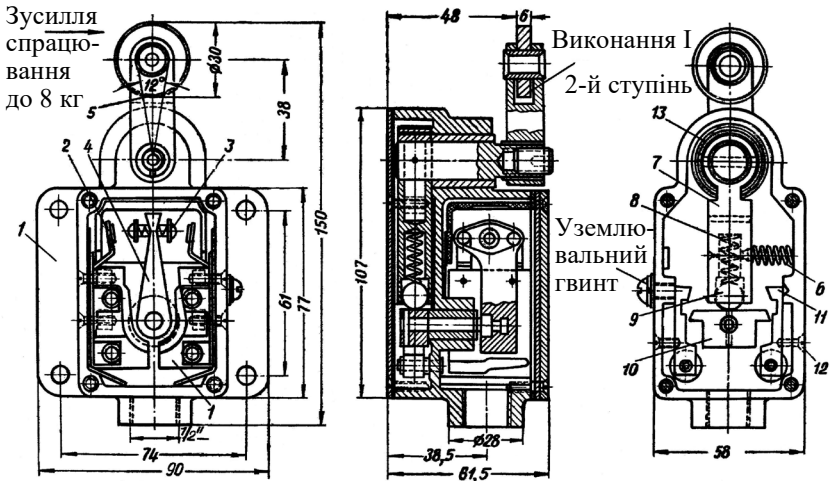


Рисунок 1.6.3 – Схема кінцевого вимикача ВК-211

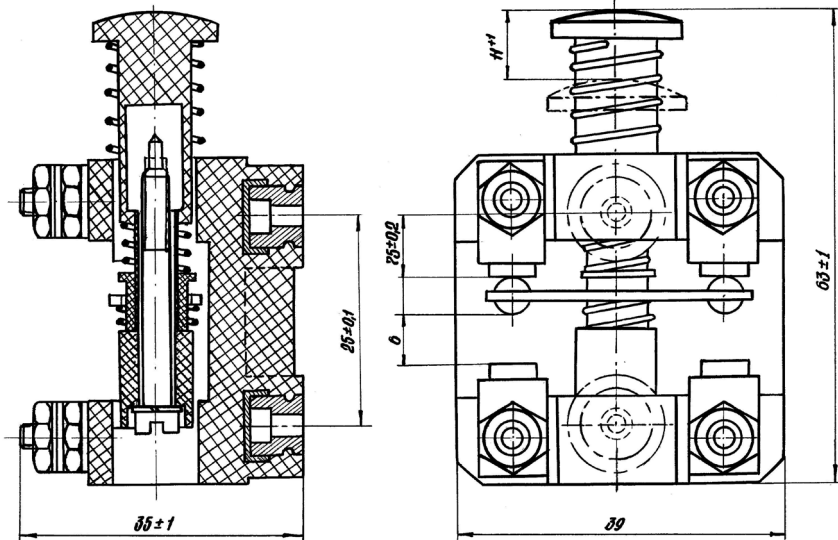


Рисунок 1.6.4 – Схема кінцевого вимикача ВК-411

## Універсальний перемикач

Служить для одночасного увімкнення декількох ланцюгів. На панелі показаний універсальний перемикач, вмикання якого робиться вручну, вимикання автоматичне при подачі напруги на котушку електромагніта.

### Порядок проведення роботи

1. Зібрати схему згідно з рис. 1.6.5.  
2. На реле РВ-1 задати час: для контакту РВ11 – 50 с, РВ12 – 10 с, РВ13 – 25 с, РВ14 – 45 с. Для реле РВ2 встановити час 7 с. Універсальним перемикачем запускити схему в роботу та за допомогою секундоміра визначити фактичний час спрацювання контакту в реле.

3. На підставі замірів фактичного часу спрацювання контактів реле побудувати циклограму.

4. Для реле РВ1 задати час: для контакту РВ11 – 60 с; для контакту РВ14 відповідно 10, 20, 30, 40, 50 с. Для РВ21 – 3 с. Увімкнути схему універсальним перемикачем та за допомогою секундоміра визначити фактичний час спрацювання контакту РВ14.

Побудувати діаграму в координатах: заданий час  $T_z$  – фактичний час  $T_\phi$ .

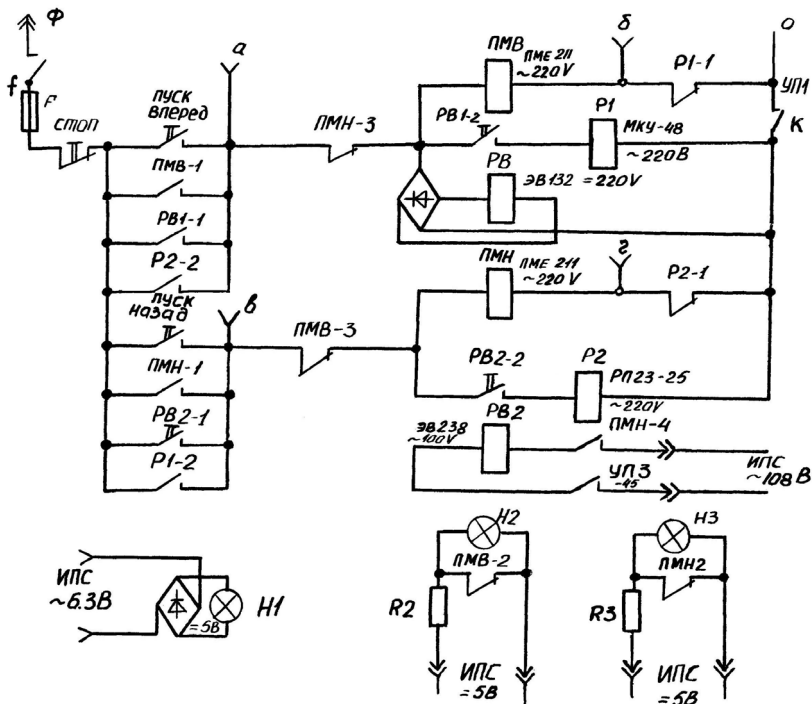
Максимальну погрішність реле визначити за формулою:

$$\Delta = [(T_z - T_\phi)/60] \cdot 100 \%$$

5. На реле РВ1 для контакту РВ11 задати час 60 с, для контакту РВ12 – 20 с. На реле РВ2 задати витримку 1–8 с. Схему увімкнути за допомогою універсального перемикача, а потім кінцевим вимикачем 2КВ увімкнути реле РВ2.

Виконати роботу відповідно до п. 4.

6. На основі одержаних результатів зробити висновки.



УП – універсальний перемикач;  
 ПМВ, ПМН – пускачі магнітні «вперед», «назад»;  
 РВ1, РВ2 – реле часу; Р1, Р2 – проміжні реле;  
 F – запобіжник; Н1...Н3 – сигнальні лампочки;  
 ИПС – джерело струму стабілізований;  
 а, б–в, г–ф, о – точки підключення електричних ланцюгів  
 Рисунок 1.6.5 – Схема електрична принципова

## Література

1. Справочные данные по электрооборудованию [Текст] : сб. трудов. – Т. 2. – М. : Машгиз, 1960. – 607 с.
2. Таев И. С. Электрические аппараты автоматики и управления [Текст] / И. С. Таев – М. : Высшая школа, 1975. – 224 с.

3. Спыну Г. А. Промышленные роботы: Конструирование и применение [Текст]: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Г. А. Спыну – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1991. – 310 с.

4. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст]: учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## **Лабораторна робота № 1.7. ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ. РЕЛЕ ЗАХИСТУ**

### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з конструкцією та роботою теплових реле і реле максимального струму.
2. Навчитися знімати характеристики приладів.

### **Необхідне обладнання:**

- 1) панель із тепловим реле та реле максимального струму;
- 2) регулятор напруги РНШ-62, ЛАТР;
- 3) секундомір.

### **Реле струму електромагнітної серії ЕТ-520**

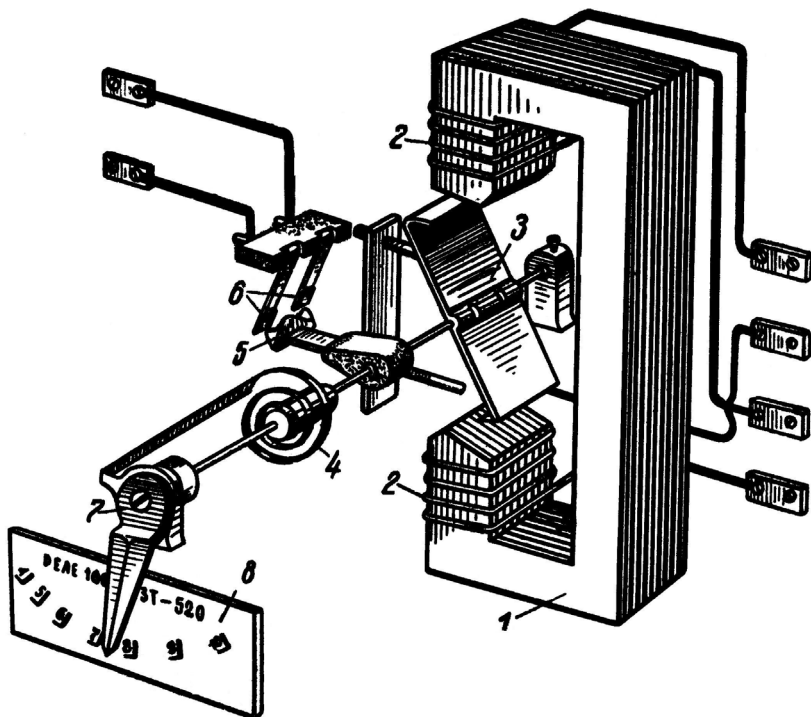
Реле максимального струму миттєвої дії серії ЕТ-520 застосовують в схемах захисту електричних установок (електричних машин, трансформаторів, ліній електропередач) від коротких замикань і перевантажень.

За конструкцією магнітної системи реле серії ЕТ-520 належать до групи електромагнітних реле з поворотним якорем (рис. 1.7.1). На полюсах нерухомого сердечника 1 розташовані дві обмотки 2, на осі 3 закріплений Z-образний сталевий якорь 4. Магнітний потік, створюваний струмом обмотки, пронизує якорь, який спрямовується в напрямку полюсів сердечника за годинниковою стрілкою. Цьому протидіє спіральна пружина 5, внутрішнім кінцем зв'язана з віссю якоря, а зовнішнім – з повідком 6 покажчика 9. На осі 3 закріплені також ізольовані від неї контактні срібні мостики 7, які хитаються навколо своєї осі.

При визначеному струмі спрацювання, що протікає в обмотках реле, електромагнітний обертальний момент стає більше протидіючого моменту спіральної пружини і якорь повертається за годинниковою стрілкою. За такої умови контактні мостики замикають нормально розімкнені або розмикають нормально замкнені нерухомі контакти 8. При зменшенні струму в котушках до відомої величини якорь під дією спіральної пружини повертається у початкове положення. Плавна

зміна струму спрацювання реле досягається відповідною зміною протидіючого зусилля пружини 5 за допомогою покажчика 9, зв'язаного з повідком 6.

Електрична схема реле показана на приладі.



1 – сердечник; 2 – обмотки; 3 – вісь; 4 – Z-образний сталевий ярма;  
5 – спіральна пружина; 6 – повідок; 7 – контактні срібні мостики;  
8 – контакти

Рисунок 1.7.1 – Схема реле струму типу ET-520

Таблиця 1.7.1 – Технічна характеристика реле струму

Тип	Межі приладу А	Послідовне з'єднання котушок			Паралельне з'єднання котушок			Виконання контактів
		струм спрацювання А	термічна стійкість		струм спрацювання А	термічна стійкість		
			тривалість А	за 1с А		тривалість А	за 1с А	
ЕТ 521/20	5-20	5-10	15	300	12-20	30	600	1 Н.Р.

Час спрацювання – 0,15 с при струмі рівному 1,2 величини струму спрацювання; 0,03 с при подвійному струмі спрацювання.

Розривна потужність контактів у ланцюзі постійного струму з індуктивним навантаженням (стала часу  $T = 5 \cdot 10^{-3}$  с) – 50 Вт, у ланцюзі змінного струму – 250 Вт при напрузі до 250 В і струмі не більше 2 А.

### Реле максимального струму ІТ-80

Реле ІТ-80 застосовують в схемах захисту електричних машин, трансформаторів та ліній електропередач від коротких замикань і перевантажень. Реле складається з індуктивного та електромагнітного елементів (рис. 1.7.2).

Індукційний елемент, що має залежну від струму витримку часу, складається з магнітної системи 1 із короткозамкненими витками 2, алюмінієвого диска 3, розташованого на рухомій рамі 4, та пружини 5, яка при струмах менших, ніж струм спрацювання, відтягує раму, перешкоджає зачепленню черв'яка 7 із сектором 8. Черв'як починає обертатися разом із диском при струмі, рівному 20-30 % струму спрацювання. Коли струм, що протікає в ланцюзі, досягає значення струму спрацювання реле, рама 4 повертається та запроваджує черв'як 7 у зачеплення із сектором, який піднімаючись, переміщує важіль 9, закріплений на якорі електромагніта і замикає контакти 12.

Індукційний елемент містить сталю скобу 11, регулювальний гвинт витримки часу 13, показчик часу спрацювання, пристрій для встановлення струму спрацювання 15, обмежувальний гвинт 17.

Електромагнітний елемент (відсічка) складається з магнітопроводу 1, якоря 10 і гвинта 16 для регулювання струму спрацювання відсічки. Реле має механічний показчик спрацювання. Схема внутрішніх з'єднань реле показана на приладі.

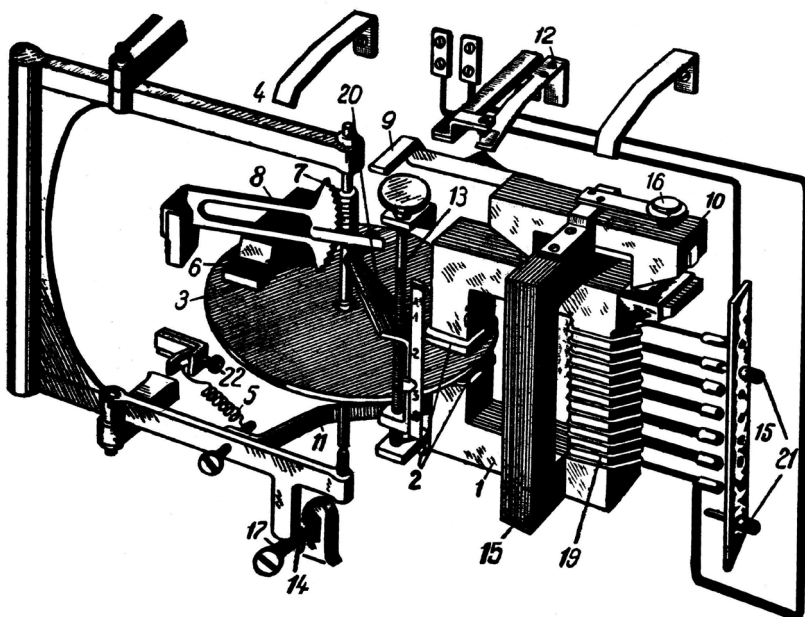


Рисунок 1.7.2 – Схема реле максимального струму типу ІТ-80

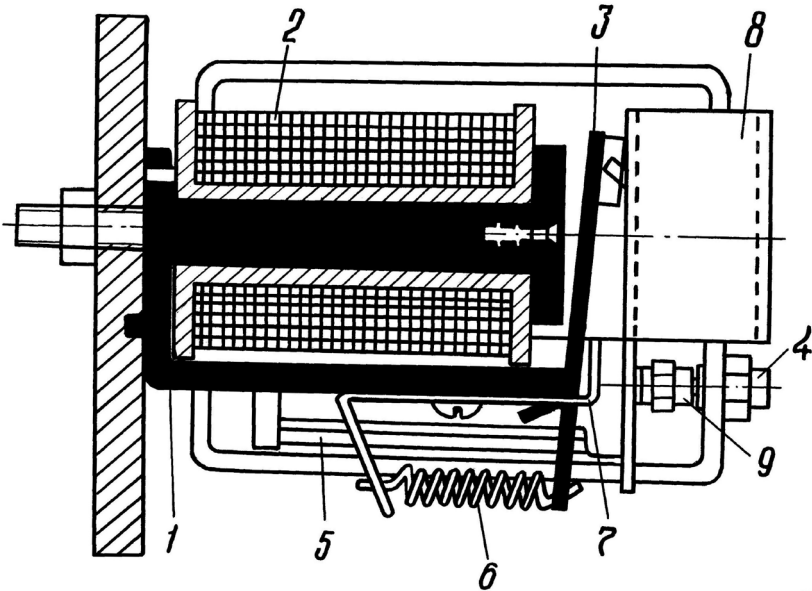
Таблиця 1.7.2 – Технічні дані реле серії ІТ-80

Найменування параметра	Величина
Споживана потужність при струмі спрацювання індукційного елемента, Вт	10
Термічна стійкість:	
- тривала, А	1,4
- за 1 с, А	40
- Кв не нижче:	0,8
а) комутуючий струм головними замикальними контактами реле, що працюють на замикання та розмикання постійного і змінного струму при напрузі до 200 В, А;	5
б) при оперативному змінному струмі та опорі напруги не більше 4 Ом при струмі 4 А контакти реле здатні дешунтувати струм до величини, А	50

### Реле сигнальні типів ЕС-21 (РУ-21) та ЕС-41

Реле ЕС-21 та ЕС-41 застосовують як показник дії в ланцюгах постійного струму схем захисту та автоматики.

На рис. 1.7.3 наведений пристрій сигнального реле типу ЕС-21. Реле складається з електромагніта 1, обмотки 2, якоря 3, регулювального гвинта 4, валика з рухомими контактами 5, пружини 6, обмежувача ходу якоря 7 і вказівного прапорця 8. Вказівний прапорець зведений і утримується зубом якоря в цьому положенні. При спрацюванні якір, притягуючись, звільняє вказівний прапорець, який під дією ваги повертається разом з валиком 5 і встановлюється проти зашкленого віконця в кожусі реле, вказуючи тим самим на спрацювання. Одночасно валик 5 замикає нерухомі контакти реле зі спільною точкою, вмикаючи тим самим ланцюг подачі сигналу. Струм спрацювання реле зазвичай не перевищує 1 А при нормальній напрузі до 200 В.



1 – електромагніт; 2 – обмотка; 3 – якір; 4 – регулювальний гвинт;  
 5 – вал; 6 – пружина; 7 – обмежувач ходу якоря;  
 8 – вказівний прапорець

Рисунок 1.7.3 – Схема сигнального реле типу ЕС-21

### Реле теплові біметалеві

Теплові біметалеві реле серії ТРА і ТРВ використовують як захист від перевантаження електричних установок змінного та постійного струму і розраховані на номінальну напругу до 380 В.

Реле серії ТРА служать для захисту силових ланцюгів електродвигунів малої та середньої потужності змінного та постійного струму, що характеризуються важкими умовами пуску (тривалий пусковий режим, велика кратність пускового струму).

Основною деталлю реле є біметалевий елемент – біметалева пластина, що вмикається послідовно з котушкою магнітного пускача. Поряд із біметалевою пластиною розташовується спіраль, ввімкнена послідовно зі споживачем. При підвищенні

струму понад номінального, спіраль нагрівається і нагріває біметалеву пластину. Пластина, згинаючись, розмикає контакти в ланцюзі живлення котушки магнітного пускача. Отже, проходить вимкнення споживача при виникненні перевантажень.

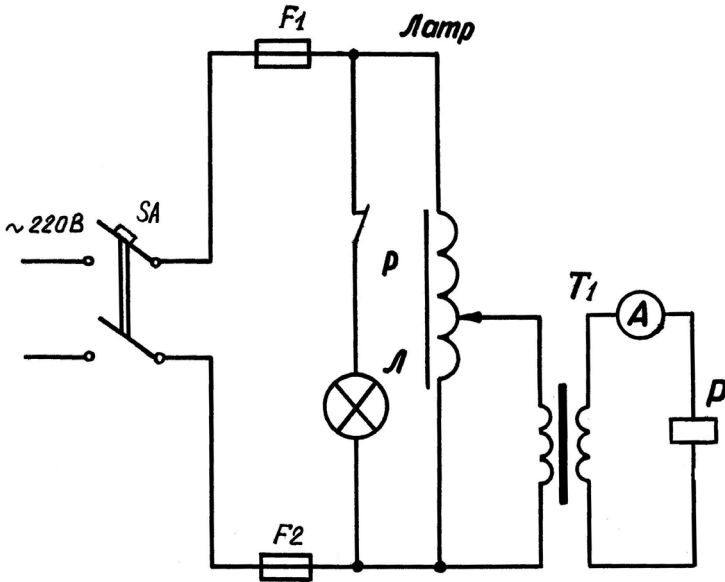


Рисунок 1.7.4 – Схема для знімання характеристик реле

### Порядок проведення роботи

1. Зібрати електричну схему відповідно до рис. 1.7.4.
2. У якості реле підключити реле типу ПТ-81Б/1. На реле встановити номінальний струм 4 А та час спрацювання 1 с. Амперметр підключити на вимірювання струму до величини 15 А. На реле за допомогою ЛАТРа подати струм різної величини від 5 до 15 А з інтервалом 1 А та секундоміром заміряти час спрацювання. Знижуючи величину струму, визначити відпускання. Заміри зробити при встановленні часу 1, 2, 3 і 4 с. Отримані дані занести до табл. 1.7.3.

3. За результатами вимірювань (табл. 1.7.3) побудувати характеристику реле в координатах: струм спрацювання – час спрацювання, струм спрацювання – струм відпускання.

Таблиця 1.7.3 – Результати вимірювань

№ п/п	Струм, поданий на реле	Час спрацювання при установці, с				Струм відпускання, А
		1	2	3	4	

4. У якості реле підключити реле ЕТ-521/20 (рис. 1.7.4). Амперметр підключити на вимірювання струму до 15 А. Задаючи струм спрацювання реле (з інтервалом 1 А), визначити фактичний струм спрацювання реле, струм відпускання, погрішність реле та відношення фактичного струму спрацювання до струму відпускання. Отримані результати занести до табл. 1.7.4.

Таблиця 1.7.4 – Результати вимірювань

Заданий струм, А	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Фактичний струм спрацювання $I_f$ , А										
Погрішність приладу $\Delta = [(I_3 - I_f) / I_3] \cdot 100 \%$										
Струм відпускання $I_0$ , А										
Відношення $I_f / I_0$										

5. У якості реле підключити реле ЕС-21-У і визначити струм спрацювання та відпускання.

6. На основі проведеної роботи зробити висновки.

## Література

1. Справочник по реле защиты и автоматики [Текст] / Л. И. Какуевичкий, А. Ю. Крупицкий, А. Д. Саков и др. ; под ред. М. Э. Хейфица – М. : Энергия, 1968. – 296 с.
2. Таев И. С. Электрические аппараты автоматики и управления [Текст] / И. С. Таев – М. : Высшая школа, 1975. – 224 с.
3. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для втузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

# **Лабораторна робота № 1.8.**

## **АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗА ЧАСОМ КОМАНДНИМ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИМ ПРИЛАДОМ КЕП-12У**

### **Мета роботи:**

1. Набути практичних навичок роботи з приладом КЕП-12У ввімкненням у ланцюг приладу стенда з електролампами.
2. Навчитися перевіряти правильність увімкнення та вимкнення окремих електричних ланцюгів за часом.

### **Необхідне обладнання:**

- 1) прилад КЕП-12У;
- 2) секундомір.

### **Призначення приладу КЕП-12У**

Прилади типу КЕП-12У призначені для регулювання послідовністю і тривалістю різноманітних операцій у технологічних та інших процесах за заданим графіком завдяки швидкодіючому вмиканню чи вимиканню електричних або пневматичних ланцюгів загальною кількістю до дванадцяти.

### **Технічна характеристика КЕП-12У**

1. Робоча напруга – 127 В змінного струму при 50 пер/с
2. Потужність електричних контактів при активному навантаженні – 500 Вт змінного струму при напрузі до 220 В і силі струму не більше 5 А
3. Споживана потужність – 40 Вт
4. Робочий тиск пневматичних золотників – 1,5 кгс/см<sup>2</sup>
5. Кількість робочих ланцюгів – 11
6. Межі зміни тривалості робочих циклів: від 3 хвилин до 18 годин. Загальна кількість робочих циклів (швидкість обертання вала) – 126
7. Точність часу циклу  $\pm 3,5\%$
8. Вага – 9,5 кг
9. Габаритні розміри – 312x270x127 мм

## Робота приладу КЕП-12У

При безпосередньому керуванні прилад КЕП-12У вмикається тумблером «Т», а контакти пуску «КП» мають бути попередньо замкнені (рис. 1.8.1). При цьому загоряється сигнальна лампочка «Л». Можливий також дистанційний пуск приладу за допомогою кнопки «К», що замикає ланцюг соленоїда «С», діючого на блок шляхових вимикачів. Останній замикає контакти пуску «КП». У цьому разі тумблер «Т» має бути попередньо ввімкненим.

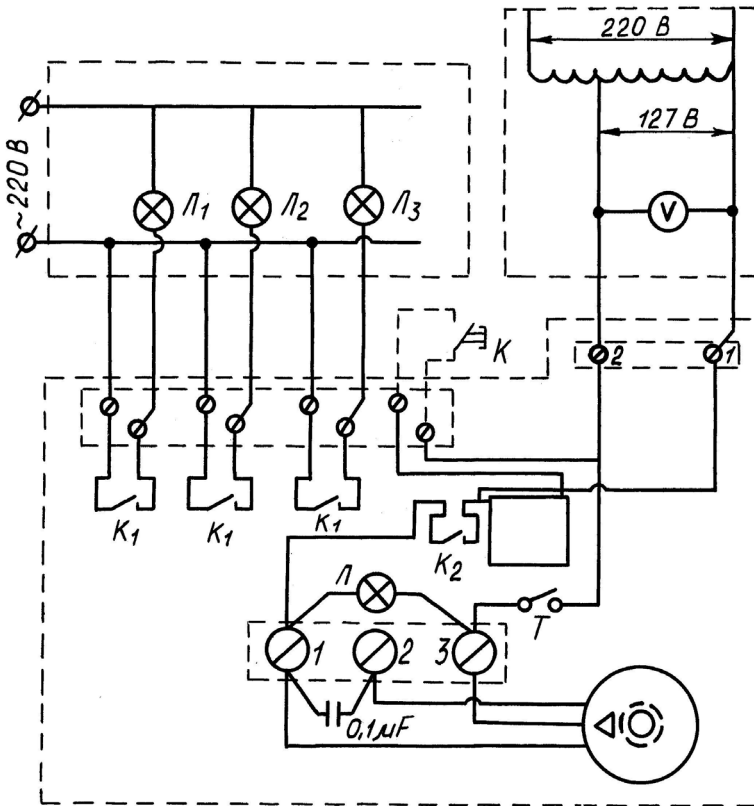


Рисунок 1.8.1 – Принципова електрична схема підключення КЕП-12У

Привод розподільного вала здійснюється синхронним двигуном «Д» через редуктор із постійним передаточним числом, храповий розподільний механізм і чотириступеневу коробку передач.

Кулачки, розміщені на розподільному валу, скидають і піднімають заціпки швидкодіючих шляхових вимикачів: лівий кулачок скидає заціпку, а правий піднімає її.

Шляхові вимикачі діють залежно від типу (пневматичний, електричний або комбінований) на електричні контакти чи поршні пневматичних золотників.

### Встановлення тривалості часу циклу

З табл. 1.8.1 вибирається час циклу, необхідний для заданого процесу. Нижній дзвінок встановлюється на поділці, вказану в першій графі зліва, а ковзна шестерня ставиться в одне з трьох положень згідно з графою таблиці (зліва направо), у якій міститься вибране значення циклу.

Таблиця 1.8.1 – Тривалість часу одного оберту барабана приладу (час одного циклу)

Поділка шкали нижнього дзвінка	Положення шестерні					
	II		III		IV	
	хв	с	хв	с	хв	с
1	2	3	4	5	6	7
2	2	51	17	51	111	27
3	2	55	18	15	113	55
4	2	59	18	39	116	22
5	3	3	19	3	118	57
6	3	7	19	29	121	37
7	3	11	19	57	124	31
8	3	16	20	25	127	24
9	3	21	20	55	130	37
10	3	26	21	26	133	49
11	3	31	21	59	137	15
12	3	36	22	34	140	53
13	3	42	23	10	144	38

Продовження табл. 1.8.1

Поділка шкали нижнього дзвінка	Положення шестерні					
	II		III		IV	
	хв	с	хв	с	хв	с
14	3	46	24	49	148	42
15	3	55	25	31	152	59
16	4	2	25	14	157	29
17	4	9	26	59	162	12
18	4	17	27	47	167	14
19	4	25	28	40	172	41
20	4	34	29	36	178	28
21	4	43	30	34	184	34
22	4	54	31	38	191	18
23	5	4	32	46	198	-
24	5	16	33	59	206	-
25	5	29	34	18	214	-
26	5	42	35	44	223	-
27	5	57	37	17	233	-
28	6	14	38	39	243	-
29	6	31	40	50	255	-
30	5	51	42	59	268	-
31	7	13	45	9	282	-
32	7	37	47	39	297	-
33	8	3	50	27	315	-
34	8	34	53	36	335	-
35	9	8	57	10	357	-
36	9	47	61	15	382	-
37	10	32	65	58	412	-
38	11	25	71	28	446	-
39	12	27	77	57	487	-
40	13	42	85	46	535	-
41	15	13	95	18	595	-
42	17	7	107	12	669	-
43	-	-	-	-	765	-
44	-	-	-	-	892	-
45	-	-	-	-	1071	-

## Приклад налагодження

За умовою необхідно встановити цикл 5 хвилин.

Вибираємо за табл. 1.8.1 найближче значення часу циклу – 5 хв 04 с. Знаходимо відповідну поділку нижнього дзвінка – 23 і встановлюємо його за стрілкою. Значення 5 хв 04 с знаходиться в графі 2. Отже, ковзна шестерня розподільного вала ставиться в друге положення.

### Налаштування часу спрацювання

Шкала верхнього дзвінка поділена на 100 поділок. Повний оберт цієї шкали відповідає часу одного циклу (оберту кулачкового вала).

Для встановлення тривалості будь-якої операції варто виконати такі дії:

1. Розрахувати, на якій поділці шкали має відбутися потрібна операція. Час одного циклу встановлено 5 хв:

1-а операція має відбутися через 0,5 хв;

2-а операція має відбутися через 2 хв;

3-я операція має відбутися через 4 хв від початку циклу, тобто з моменту пуску.

Потрібна поділка  $A$  визначається за формулою:

$$A = 100 \cdot T_1/T$$

де  $T$  – час циклу;

$T_1$  – час від початку циклу до закінчення необхідної операції.

Отже, при циклі 5 хв для:

1-ї операції –  $A_1 = 100 \cdot 0.5/5.04 = 10$  поділок;

2-ї операції –  $A_2 = 100 \cdot 2/5.04 = 40$  поділок;

3-ї операції –  $A_3 = 100 \cdot 4/5.04 = 79$  поділок.

2. Встановити шкалу верхнього дзвінка потрібною поділкою навпроти строки. Встановити кулачок, котрий розташовується проти контакту, призначеного для здійснення цієї операції, до

упору в шляховий вимикач. Для переміщення кулачка в пазі вала необхідно послабити гайку на 2-3 оберти, після чого він вивільняється і легко пересувається. Після встановлення кулачка в потрібне місце треба знову зняти гайку. Варто мати на увазі, що лівий кулачок звільняє защіпку шляхового вимикача і визиває вмикання електричного контакту, а правий кулачок повертає защіпку на місце і здійснює зворотню дію.

Завершивши налаштування всіх кулачків, необхідно розмістити ковзну шестерню у відповідне положення, попередньо поставивши шкалу верхнього дзвінка на поділку 0.

При роботі приладу з ковзною шестернею, встановленою в крайнє ліве положення, не дозволяється наладжувати всі 12 кулачків на одночасне вмикання.

Для налагодження приладу на безперервні повторні цикли варто зняти крайній правий кулачок із розподільного вала.

### **Порядок проведення роботи**

1. Підключити прилад згідно з рис. 1.8.1.
2. Встановити довільний цикл – не більше 15-20 хв.
3. Вибрати будь-які електричні ланцюги та налаштувати довільний час спрацювання ламп, вибраних ланцюгів для одного циклу.
4. Перевірити правильність спрацювання приладу секундоміром.
5. Підрахувати погрішність спрацювання приладу.
6. Дати оцінку приладу та зробити висновки.

### **Література**

1. Бурсов Г. Г. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні (На допомогу інженеру і техніку) [Текст] / Г. Г. Бурсов, М. І. Богаєнко – К. : Знання, 1973. – 47 с.
2. Черквасин А. Н. Основы автоматики [Текст] / А. Н. Черквасин, В. Н. Семин, К. Я. Стародуб – М. : Энергия, 1977.

## **Лабораторна робота № 1.9. АНАЛІЗ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗМІШУВАЛЬНИМИ БІГУНАМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ**

### **Мета роботи:**

Ознайомитися зі схемою автоматичного керування та засвоїти налаштування схеми.

### **Необхідне обладнання та прилади:**

лабораторні змішувальні бігуни періодичної дії.

Процес сумішоприготування займає важливе місце в ливарному виробництві і, значною мірою, визначає якість лиття. Іноді брак з вини неякісної формувальної суміші складає до 80 % від загального браку лиття. Для виробництва 1 т придатного литва використовують 10 т формувальної суміші. Тому у великих ливарних цехах ставлять велику кількість сумішопідготовчого обладнання. Так, наприклад, на ХТЗ у сталеплавильному цеху встановлено 20 змішувачів типу 112 і 115, на яких кожну зміну зайнято 10 осіб. За тризмінної роботи на змішувачах зайнято 30 людей.

У зв'язку з тим, що процес сумішоприготування повністю механізовано, є всі підстави для його автоматизації і, отже, можливість скорочення обслуговуючого персоналу при одночасному покращенні якості формувальної суміші. Є три різновиди систем сумішоприготування: системи постійного циклу, системи попередньої калькуляції та системи кінцевого стану. Останні забезпечують найбільш високу якість формувальної суміші, через те що в процесі сумішоприготування безперервно контролюється значення одного з основних параметрів суміші (вологість, сипучість тощо) і лише після того, як його значення набуде заданого, формувальна суміш видається в роботу.

Як ми знаємо, одним із параметрів суміші, що значною мірою визначає технологічні властивості (сиру міцність, газопроникність та ін.), є вологість формувальної суміші. Для контролю вологості формувальної суміші застосовуються різні методи, що мають свої переваги та недоліки.

Для лабораторного змішувача було розроблено спеціальний кондуктометричний датчик вологості простої конструкції, що уможливує з потрібною точністю проводити виміри вологості в самих бігунах. Суть кондуктометричного методу вимірювання вологості формувальної суміші полягає в зміні електропровідності суміші залежно від її вологості.

### **Вплив вологості на електроопір формувальної суміші**

Застосовуючи кондуктометричний метод виміру вологості формувальної суміші, встановили вплив вологості на електричний опір формувальної суміші.

У лабораторні бігуни засипали суху формувальну суміш із початковою вологістю приблизно 1%. Потім у змішувач послідовно невеликими дозами подавали воду. Після кожної дози проводили виміри електричного опору суміші приладом Ц-56 та відбирали пробу для контролю вологості стандартним методом.

У табл. 1.9.1 представлені результати вимірів.

Таблиця 1.9.1 – Вплив вологості формувальної суміші на електричний опір

Вологість W, %	0,74	1,56	2,08	2,66	3,42	4,18	4,31	5,97
Електричний опір, кОм	800	30	12,5	8,2	5,45	2,6	2,3	1,9

Узагальнюючи результати дослідів, установили вплив вологості формувальної суміші на її електропровідність (рис. 1.9.1). Отже, електроопір формувальної суміші при зміні вологості від 1 до 6 % змінюється від 800 Ом до 1,9 кОм.

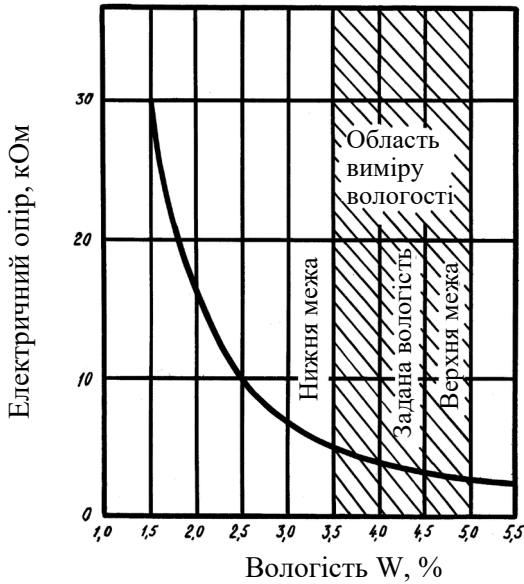


Рисунок 1.9.1 – Вплив вологості на електропровідність формувальної суміші

### Електрична схема керування процесом сумішопріготування

Система складається з таких вузлів:

- 1) бункера;
- 2) дозатора;
- 3) пневмоциліндрів;
- 4) електропневматичних та електрогідравлічних клапанів;
- 5) лабораторних бігунів;
- 6) електричної системи керування (рис. 1.9.2).

Електрична схема управління складається з таких елементів:

- 1) електронного моста МСР-1;
- 2) електронного сигналізатора рівня ЕСР-2;
- 3) електронного реле часу ЕРЧ-41;
- 4) командоелектричного приладу КЕП-12;
- 5) реле МКУ-48;
- 6) електромагнітів пневматичних та гідравлічних клапанів;
- 7) електровібратора.

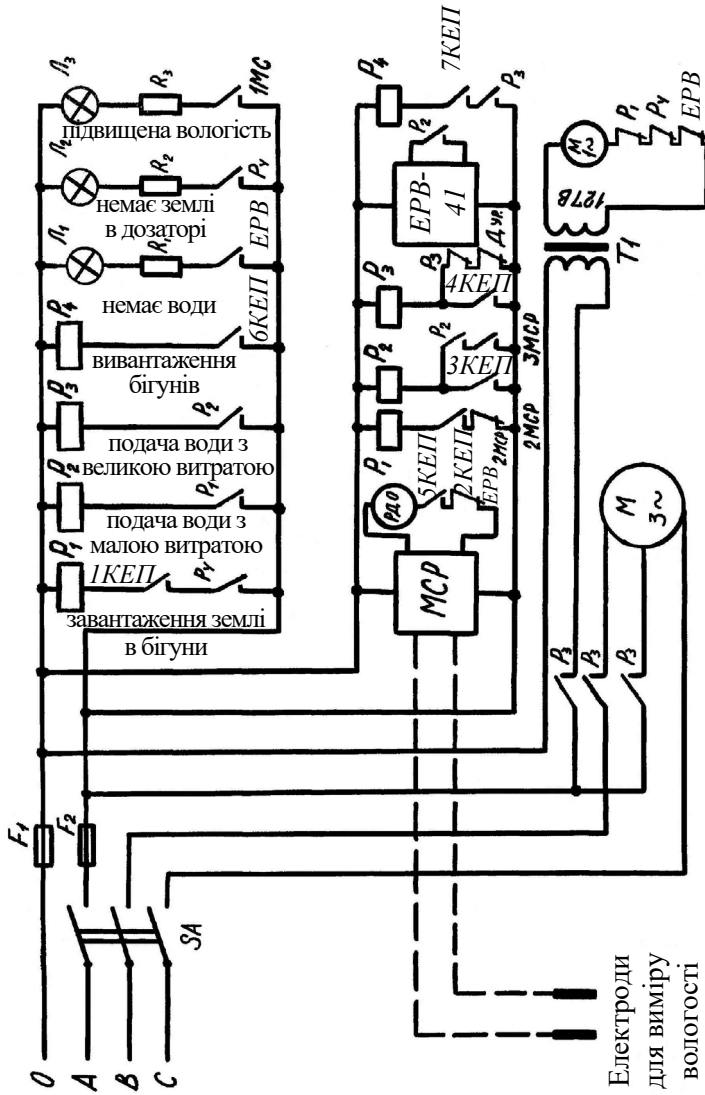


Рисунок 1.9.2 –Електрична схема управління змішувачем

Прилад МСР-1, який випускається вітчизняною промисловістю, застосовується для роботи в комплекті з мідними і платиновими термометрами опору та призначений для вимірювання опору до 300 Ом. Тим часом електричний опір суміші змінюється в межах від 0,7 кОм до 1 кОм. Тому використовувати прилад МСР-1 без перероблення для виміру вологості суміші було неможливо. Промисловість не випускає приладів із потрібними характеристиками. У зв'язку із цим провели розрахунки вимірюваної схеми і згідно з ними переробили схему спеціально для вимірювання вологості формувальної суміші.

Схема передбачає:

- 1) дозування горілої суміші за обсягом;
- 2) трипозиційне регулювання вологості за результатами вимірів вологості в бігунах;
- 3) керування операціями за часом здебільшого приладом КЕП-12.

При подачі живлення починає працювати двигун змішувача і вмикається прилад КЕП-12. Командоприлад вмикає контакт *ІКЕП* (рис. 1.9.3). Струм проходить через *ІКЕП*, контакт  $P_4$  і котушку  $C_1$ , яка втягне якор сердечника і перемкне пневмоклапан. Стиснуте повітря через пневмоклапан надходить у пневмоциліндр, поршень якого відкриє засув дозатора з горілою землею. Відбувається завантаження бігунів. Після закінчення 5 с контакт *ІКЕП* розімкнеться і поршень розімкне засувку дозатора. Через 1 с вмикається контакт *ЗКЕП*, реле  $P_2$  виявиться під напругою і своїм *Н.Р.* контактом подаватиме напругу на котушку електрогідроклапана  $C_3$ , який увімкне подачу води в бігуни з великою витратою. Оскільки реле  $P_2$  має самоблокування, то при вмиканні контакту *ЗКЕП* котушка реле  $P_2$  залишиться під напругою. Реле  $P_2$  одночасно подаватиме сигнал на ЕРВ-41, якщо немає води своїм *Н.З.* контактом вмикає реверсивний двигун електронного моста МСР.

Реле  $P_4$  також вмикає сигнальні лампи «немає води» і двигун КЕП-12 зупиняється. Якщо є вода та вологість суміші досягла 3 %, подача води з великою витратою зупиняється, тому що електронний міст подаватиме команду на вимкнення *Н.З.* контактів зі МСР, і реле РВ-41 вимкнеться. Одночасно з



вологість досягає заданого значення, то через 4 хв вмикається контакт *6КЕП*, який подає сигнал на котушку електропневматичного клапана *С<sub>4</sub>*. Відбувається вивантаження формувальної суміші. Через 30 с від початку вивантаження замикається контакт *7КЕП*. Якщо дозатор недовантажений до загального рівня, контакт реле *Р<sub>3</sub>* замкнений і напруга подається на реле *Р<sub>4</sub>*, яке вмикає сигнальну лампу «немає землі в дозаторі». *Н.3.* контакти цього реле розімкнуть ланцюг котушки *С<sub>1</sub>* і двигуна КЕП-12. Робота схеми припиниться.

У такий спосіб схема забезпечує видавання формувальної суміші із заданою вологістю та зупиняє змішувач, якщо бракує початкових складових суміші: горілої землі, глиняної суспензії, води. На пульт управління подаються відповідні сигнали.

Система без змін застосовується для керування промисловими змішувачами в ливарному цеху.

### **Порядок проведення роботи**

1. Ознайомитися з електричною схемою управління змішувачем.

2. Згідно з описом настроїти схему на задану вологість формувальної суміші. Відрегулювати чутливість сигналізатора рівня, час витримки реле часу РЧ-41 та налаштувати прилад КЕП-12 на заданий цикл роботи.

3. У звіті з лабораторної роботи дати схему автоматичного керування бігунами, її опис та опис налагодження схеми.

### **Література**

1. Поручиков Ю. П. Автоматизация смесеприготовления и раздачи формовочной смеси [Текст] / Ю. П. Поручиков, Г. Л. Хазан – Москва-Свердловск : Машгиз, 1962. – 176 с.

2. Средства и системы автоматизации литейного производства: Шихтовка, плавка, смесеприготовление, разливка [Текст] / К. С. Богдан и др. – М. : Машиностроение, 1981. – 272 с.

## Лабораторна робота № 1.10. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРА ПО ДВОХ РІВНЯХ

### Мета роботи:

Набути практичних навичок зі складання схем автоматичного регулювання.

### Необхідне обладнання:

діючий макет завантаження бункера по двох рівнях.

Автоматичне завантаження бункера сипучими матеріалами по одному рівню має великий недолік – малий «робочий» об'єм бункера. У результаті відбуваються часті ввімкнення та вимкнення виконавчих механізмів завантаження бункера, що знижує надійність усієї системи загалом.

Для збільшення «робочого» об'єму бункера зручніше регулювання заповнення проводити по двох рівнях.

Сипучий матеріал міститься у великому бункері 1 (рис. 1.10.1). Бункер закритий засувкою 2, яка може відчинятися тросом через систему блоків при подачі живлення на тяговий магніт 3. Зачинається засувка за допомогою пружини 4 при вимкненому тяговому магніті 3. Робочий бункер 5 має два датчики рівня 6 і 7, які освітлюються лампами 8 і 9. Витрата матеріалів із робочого бункера регулюється вручну засувкою 10.

Якщо робочий бункер 5 порожній, то світло від освітлювачів 8 і 9 потрапляє на фотодатчики 6 і 7. У результаті реле  $РП_1$  і  $РП_2$  здобувають живлення і вмикають контактами  $КРП_1$  і  $КРП_2$  тяговий магніт ТМ, який відчиняє засувку 2 (рис. 1.10.2). Пісок із бункера 1 буде надходити в робочий бункер. Коли пісок перекриє промінь освітлювача 9, фотодатчик  $ФС_2$  різко збільшить свій опір, що приведе до розмикання контактів  $КР_2$  реле  $Р_2$ . Це знеструмить котушки проміжного реле  $РП_2$  і розімкне контакти  $КРП_2$ . Однак, тяговий магніт не знеструмиться, тому що  $КТМ_1$  і  $КРП_1$  – замкнені.

Коли рівень піску підніметься настільки, що перекриє промінь від освітлювача 8, розімкнуться контакти  $КРП_1$  реле  $Р_1$ , знеструмиться котушка  $РП_1$  і розімкнуться контакти  $КРП_1$ .

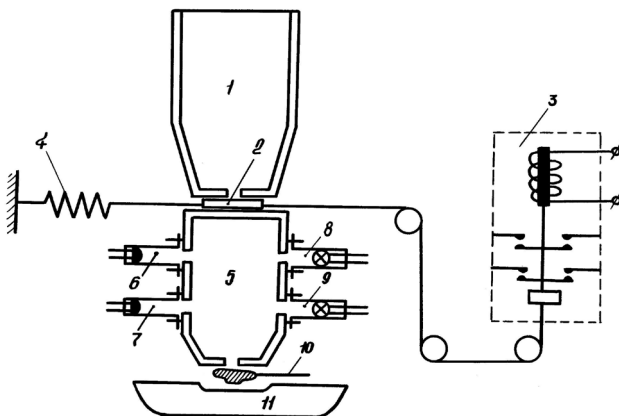
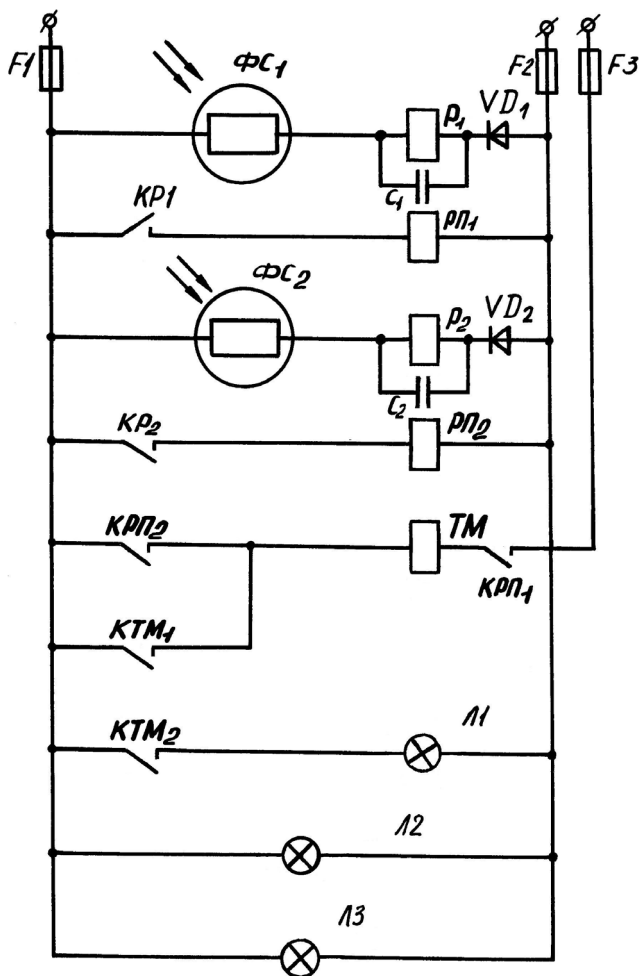


Рисунок 1.10.1 – Схема лабораторної установки

Тяговий магніт ТМ знеструмиться, пружина 4 закриє засувку і зупинить надходження піску з бункера 1 в робочий бункер 5. При опусканні рівня піску нижче верхнього рівня котушка  $PI_1$  здобуде живлення і замкне контакти  $KPI_1$ . Але тяговий магніт ще не буде працювати, бо ланцюг живлення котушки тягового магніту розімкнено (контакт  $KPI_2$  розімкнено). І лише після того, коли рівень піску знизиться так, що промінь світла від освітлювача 9 потрапить на датчик 7 ( $\Phi C_2$ ), замкнеться контакт  $KPI_2$  і тяговий магніт ТМ відкриє засувку 2. Почнеться знову заповнення бункера 5.

### Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися з електричною схемою. Дослідити взаємозв'язок між окремими елементами схеми. Зробити ескізи (рис. 1.10.1, 1.10.2).
2. Підключити всі елементи установки згідно з наведеною електричною схемою (рис. 1.10.2).
3. Підрахувати кількість вмикань тягового магніту на одиницю витрати піску з бункера.
4. Після закінчення роботи скласти звіт.



*F1...F3* – запобіжники плавкі; *ФС<sub>1</sub>* – фотодатчик верхнього рівня;  
*ФС<sub>2</sub>* – фотодатчик нижнього рівня; *РП<sub>1</sub>*, *РП<sub>2</sub>* – реле змінного струму,  
 МКУ-48; *P<sub>1</sub>*, *P<sub>2</sub>* – реле постійного струму; ТМ – тяговий магніт;  
*C<sub>1</sub>*, *C<sub>2</sub>* – конденсатори електричні; Л1 – лампочка сигнальна;  
 Л2, Л3 – лампочки освітлювальні; *VD<sub>1</sub>*, *VD<sub>2</sub>* – діоди н/п випрямляча  
 Рисунок 1.10.2 – Схема електрична принципова

## Література

1. Чунаев М. В. Основы конструирования автоматических устройств литейного производства [Текст] / М. В. Чунаев – М. : Машгиз, 1960. – 460 с.
2. Кишнев В. В. Технические средства автоматики [Текст] / В. В. Кишнев, В. О. Иванов, Г. М. Тохтабаев – М. : Metallургия, 1981. – 305 с.
3. Средства и системы автоматизации литейного производства: Шихтовка, плавка, смесеприготовление, разливка [Текст] / К. С. Богдан и др. – М. : Машиностроение, 1981. – 272 с.
4. Авдокушин В. П. Автоматизация литейных процессов [Текст] : учеб. пособ. / В. П. Авдокушин – К. : КПИ, 1982. – 107 с.
5. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## Лабораторна робота № 1.11. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ СУМІШІ ПО ДВОХ РІВНЯХ

### **Мета роботи:**

Ознайомитися з електричною схемою розподілу формувальної суміші за видатковими бункерами.

### **Необхідне обладнання та прилади:**

діюча панель оптимального розподілу формувальної суміші за видатковими бункерами.

Електрична схема оптимальної системи розподілу суміші призначена для автоматичного управління плужковими скидачами, що ставляться над видатковими бункерами ливарного конвеєра. У такий спосіб здійснюється автоматичний розподіл формувальної суміші між формувальними машинами. Існує ряд схем автоматичного розподілу формувальної суміші за видатковими бункерами. Однією з кращих схем є схема автоматичного розподілу суміші по двох рівнях. Можливі два варіанти схеми: контактний (на електромагнітних реле), інакше називається релейний варіант, і безконтактний (виконаний на логічних елементах).

Електрична схема оптимального розподілу суміші зібрана на уніфікованих електромагнітних реле типу МКУ-48. Схема складається з трьох частин (рис. 1.11.1):

1. Блока введення інформації про наявність формувальної суміші в бункерах, до якого входять контакти датчиків нижнього рівня  $D_1^H - D_6^H$ , контакти датчиків верхнього рівня  $D_1^B - D_6^B$ , котушки проміжних реле  $ПП_1 - ПП_7$ .

2. Блока обробки інформації, що має у своєму складі проміжні реле  $P_1 - P_7$  і реле  $ПП_1 - ПП_6$  блока введення інформації, які вмикаються контактами.

3. Виконавчого блока, що містить котушки соленоїдів електропневматичних клапанів  $C_1 - C_6$  проміжних реле  $P_1 - P_7$  блока обробки інформації, які вмикаються контактами.

Усі датчики рівня, за винятком датчика нижнього рівня шостого бункера, мають по одній парі нормально замкнених і нормально розімкнених контактів. Датчик нижнього рівня шостого бункера має одну пару нормально замкнених контактів і дві пари нормально розімкнених контактів, одна з яких увімкнена в ланцюг реле *РП*<sub>6</sub>, а друга – у *РП*<sub>7</sub>. Реле *РП*<sub>7</sub> відрізняється від реле *РП*<sub>1</sub> – *РП*<sub>6</sub> більшим часом спрацювання, тобто при одночасній подачі струму на котушки реле *РП*<sub>6</sub> і *РП*<sub>7</sub> спочатку спрацює реле *РП*<sub>6</sub>, а потім реле *РП*<sub>7</sub>.

Особливістю системи роздачі суміші є те, що при заповненні будь-якого з бункерів, плужок шостого бункера завжди опущений. Це необхідно для того, щоб при завантаженні будь-якого з бункерів не було потреби надмірно притискати плужок до стрічки транспортера, бо це спричиняє ще більше навантаження на тяговий електродвигун і зношування стрічки транспортера. У цьому разі плужок під власною вагою опускається на стрічку транспортера, що забезпечує скидання до 95-96 % суміші у свій бункер, а невелика кількість суміші (до 4-5 %), що пройшла під плужком, внаслідок деформації стрічки скидається останнім плужком (шостим). Тому при аналізі роботи схеми будемо мати на увазі, що відбувається заповнення того бункера, плужок якого опущений. Подачу невеликої кількості суміші в останній бункер можна не брати до уваги.

Електрична схема передбачає такий розподіл суміші:

1. Спочатку, коли всі бункери порожні, відбувається завантаження бункерів по нижньому рівню, що скорочує час введення всіх формувальних машин у роботу.

2. Після заповнення всіх бункерів вище нижнього рівня (є мінімальний робочий запас суміші) система здійснює послідовне заповнення суміші до верхніх країв, що при подачі суміші з надлишком створює запас формувальної суміші у видаткових бункерах. Якщо з будь-якої причини подача суміші зупиниться, формувальні машини із запасом суміші зможуть продовжувати роботу.

3. При заповненні бункерів по верхньому рівню система спостерігає, щоб у всіх бункерах був мінімальний запас суміші (вище нижнього рівня). Якщо в будь-якому з видаткових бункерів рівень суміші опускається нижче нижнього рівня, система зразу ж перейде до заповнення цього бункера і лише після створення мінімального робочого запасу в ньому здійснює повне заповнення всіх бункерів.

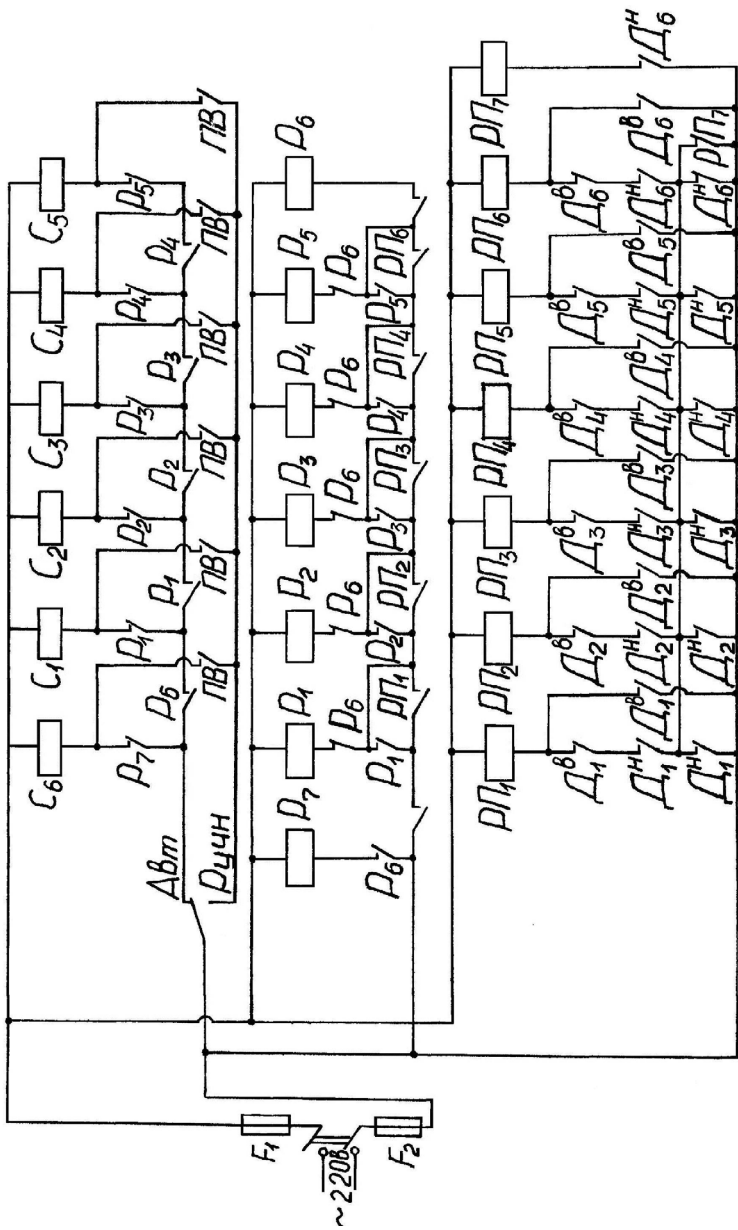


Рисунок 1.11.1 – Схема електрична оптимального розподілу формувальної суміші по двох рівнях

Коротко розглянемо приклади роботи схеми.

У перший момент, коли всі бункери порожні, електричний струм через перемикач  $П$  і нормально замкнені контакти  $P_7, P_6, P_1$  надходить на котушки  $C_6$  і  $C_1$  електропневматичних клапанів і відповідні плужки опускаються на стрічку транспортера. Починається завантаження першого бункера. Після його заповнення вище нижнього рівня суміш діє на датчик нижнього рівня і його контакти займають протилежне положення ( $Н.Р.$  – замикаються, а  $Н.З.$  – відмикаються). Електричний струм через  $Н.З.$  контакти датчиків нижнього рівня наступних бункерів, контакт  $РП_7$  і  $Н.Р.$  (тепер замкнений контакт  $D_1^H$ ) надходить на котушку реле  $РП_1$ , вмикаючи його. Реле  $РП_1$  замикає свій контакт у блоці обробки інформації і подає живлення на котушку реле  $P_1$ . При спрацюванні реле  $P_1$  замикає свій контакт  $P_1$  в блоці обробки інформації, переходячи на самоблокування, і перемикає контакти у виконавчому блоці:  $Н.З. P_1$  в ланцюзі котушки  $C_1$  розмикається, а  $Н.Р. P_1$  замикається. У результаті  $C_1$  знеструмлюється (перший плужок підіймається), а  $C_2$  потрапляє під напругу. Оскільки електричний струм надходить через контакти  $P_6, P_1, P_2$ , другий плужок опускається, завантажуючи другий бункер. Аналогічно здійснюється завантаження всіх бункерів по нижньому рівню.

Після заповнення останнього (шостого) бункера по нижньому рівню перемикаються контакти датчика  $D_6^H$ . Електричний струм через  $Н.З.$  контакт  $РП_7$  і  $Н.Р.$  (які тепер замкнені), контакти  $D_6^H$  надходить на котушку реле  $РП_6$  та  $РП_7$  (час спрацювання реле  $РП_7$  більше, ніж  $РП_6$ ), змушуючи їх перемкнути свої контакти. Реле  $РП_6$ , замикаючи свій контакт, подає живлення на котушку реле  $РП_6$ . Реле  $РП_6$  розмикає свої  $Н.З.$  контакти в ланцюзі котушок  $P_1 - P_5$ , замикає  $Н.Р.$  контакт у ланцюзі котушки  $P_7$ , у результаті чого на дуже короткий час котушки всіх електропневматичних клапанів  $C_1 - C_6$  знеструмлюються (плужки підіймаються). Після деякого часу (частки секунди) реле  $P_7$  розмикає свій  $Н.З.$  контакт і знеструмлює котушки реле  $РП_1 - РП_6$ , які розмикають свої

контакти в блоці обробки інформації, і реле  $P_6$  перестав працювати. Схема переходить у початкове положення, опускаються плужки першого і шостого бункерів, але заповнення вже йде до верхнього рівня.

Як зазначалося раніше, схема управління підтримує мінімальний запас суміші в бункерах і при зниженні її рівня нижче мінімального переходить до заповнення відповідного бункера. Наприклад, розглянемо таку ситуацію: відбувається заповнення бункерів по верхньому рівню, перший бункер заповнено, почалося заповнення другого бункера до верхнього рівня; в цей час у четвертому бункері суміш опустилася нижче нижнього рівня. У такому разі, схема управління має припинити заповнення другого бункера та почати заповнення четвертого.

У цьому разі котушка реле  $РП_4$  перебуває під напругою і контакти реле замкнені. При опусканні суміші в четвертому бункері нижче нижнього рівня контакти датчика  $D_4^H$  займуть початкове положення (показано на схемі) і електричний струм через  $H.3$  контакт  $D_4^H$ , замкнені  $H.P.$  контакти датчиків  $D_2^H$ ,  $D_3^H$  (другий і третій бункери заповнені вище нижнього рівня) надійде на котушки реле  $РП_2$  та  $РП_3$ , які перемкнувши свої контакти в блоці обробки інформації, подадуть живлення на котушки реле  $P_2$  та  $P_3$ . Останні так само, зробивши відповідні перемикання у виконавчому блоці, знеструмлять  $C_2$  і подадуть живлення на  $C_4$ , тобто припиниться заповнення другого бункера (плужок піднімається) і почнеться заповнення четвертого бункера (плужок опускається). Після заповнення четвертого бункера вище нижнього рівня система знову перейде до заповнення по верхніх рівнях.

Розглянемо ще один приклад: відбувається заповнення четвертого бункера до верхнього рівня, а в другому бункері в цей час суміш опустилася нижче нижнього рівня. У цьому разі, як зазначалося раніше, система має перейти на заповнення другого бункера.

Якщо проходить заповнення четвертого бункера до верхнього рівня, то попередньо повністю були заповнені перший, другий, третій бункери, а, отже, реле  $РП_1$ ,  $РП_2$ ,  $РП_3$ , замкнувши

свої контакти, ввімкнули відповідно  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  (останні, замкнувши свої  $H.P.$  контакти, стали на самоблокування). Як тільки в другому бункері суміш опустилася нижче нижнього рівня, контакти датчика  $D_2^H$  займуть початкове положення (показано на схемі) і реле  $PP_2$  перестане працювати, але реле  $P_2$  не вимкнеться, тому що замкнений його блокуючий контакт. Через  $H.З.$  контакт  $D_2^H$  і замкнені  $H.P.$  контакти  $D_4^H$ ,  $D_5^H$ ,  $D_6^H$  (суміш у бункерах вище нижнього рівня) електричний струм надійде на котушки  $PP_4$ ,  $PP_5$ ,  $PP_6$ , реле спрацьовують, замикаючи свої контакти в блоці обробки інформації. Так, у ланцюзі живлення реле  $P_6$  будуть замкнені всі контакти проміжних реле блока введення інформації, за винятком  $PP_2$ , але реле  $P_6$  спрацьовує, оскільки електричний струм на його котушку надходитиме через замкнені контакти  $PP_1$ ,  $P_2$ , (в обхід  $PP_2$ ),  $PP_3$ ,  $PP_4$ ,  $PP_5$ ,  $PP_6$ . При вмиканні реле  $P_6$  розімкне свої  $H.З.$  контакти, що подають живлення на котушку реле  $P_1 - P_6$ . Реле припинять роботу і розімкнуть свої блок-контакти (а точніше  $P_2$ , що подає струм в обхід  $PP_2$ ), і реле  $P_6$  знеструмиться, перевіривши свої контакти в початкове положення. Котушка  $C_4$  електропневматичного клапана шостого бункера перестане отримувати живлення і четвертий плужок підніметься. Водночас реле  $PP_1$  буде ввімкнено, електричний струм через його контакти надійде на котушку  $P_1$ , яка подаватиме напругу на  $C_2$  та другий плужок бункера і починається заповнення другого. Аналогічно схема переключасться на заповнення інших бункерів.

Електрична схема оптимального розподілу суміші виконана на спеціальному щиті у вигляді мнемосхеми. Котушки соленоїдів виконавчих механізмів імітуються електричними лампами. При вмиканні того чи іншого соленоїда загоряється відповідна лампа (бункер заповнюється сумішшю). Датчики контрольованих рівнів імітуються тумблерами, розташованими у верхніх та нижніх частинах бункерів. Нижнє положення перемикача тумблера відповідає розташуванню суміші нижче контрольованого рівня. Проміжні реле і датчики рівня, що встановлені на щиті мнемосхеми, позначені відповідно до електричної схеми.

## Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися з електричною схемою оптимального розподілу суміші за структурою мнемосхеми.

2. Мнемосхему підключити до мережі 220 В.

3. Після ознайомлення з електричною схемою скласти опис її роботи. У процесі складання опису послідовність роботи елементів схеми (проміжних реле) перевіряти за мнемосхемою.

Складаючи опис, висвітлити питання:

3.1. Який початковий стан системи при повністю порожніх бункерах?

3.2. Як переключаються проміжні реле при послідовному розподілі суміші по нижніх рівнях?

3.3. Чому при такому розподілі подача суміші в бункери з рівнем суміші вище нижнього рівня не відбувається?

3.4. Як система переходить до послідовного розподілу суміші по верхніх рівнях? Як переключаються реле за таким розподілом?

3.5. Чому при розподілі суміші по верхніх рівнях подача суміші в заповнені бункери не відбувається?

3.6. Як при зниженні рівня суміші в якому-небудь бункері нижче нижнього рівня система переключається на подачу суміші в цей бункер?

4. Перевірити складений опис за мнемосхемою. При складанні опису роботи електричної схеми позначення контактів, реле, соленоїдів і датчиків варто вказувати відповідно до електричної схеми.

## Література

1. Шитиков В. С. Совершенствование систем автоматического распределения формовочной земли [Текст]: науч. журн. Литейное производство – 1962 – № 5. – С. 10 –12.

2. Средства и системы автоматизации литейного производства: Шихтовка, плавка, смесеприготовление, разливка [Текст] / К. С. Богдан и др. – М. : Машиностроение, 1981. – 272 с.

3. Петраков Ю. В. Автоматизация технологических процессов у машинобудуванні засобами мікропроцесорної техніки [Текст]:

навч. посібник / Ю. В. Петраков, П. П. Мельничук – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 194 с.

4. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

**Лабораторна робота № 1.12.**  
**АНАЛІЗ СХЕМИ**  
**АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИБІВКОЮ**  
**З ТРЬОМА ШТОВХАЧАМИ**

**Мета роботи:**

Ознайомитися з конструкцією, роботою системи управління вибивкою та зі схемою, складеною з логічних елементів.

**Необхідне обладнання:**

панель зі мнемосхемою автоматичного керування вибивкою форм на ливарному конвеєрі.

Операція вибивки форм на ливарному конвеєрі зазвичай зводиться до виштовхування форм із конвеєра на решітку, вибивки на самій решітці і потім передачі порожніх опок із решітки на транспортні засоби, що подають опоки на формувальні машини. На вибивній решітці відбувається розподіл землі та виливків: горіла земля просипається через решітку і стрічковим транспортером подається в сумішоприготувальне відділення, а виливки з решітки потрапляють на епронконвеєр. При попарному розміщенні формувальних машин на ливарному конвеєрі подача порожніх опок до машин здійснюється ливарним конвеєром. У цьому разі необхідно забезпечити повернення опок на возики ливарного конвеєра. При автоматичній вибивці така передача здійснюється системою трьох штовхачів (рис. 1.12.1).

Переміщувана конвеєром форма натискає на кінцевий вимикач *1 кв*, який подає сигнал виштовхування залитої форми на приймальний стіл штовхачем *1* та виштовхування вибитої пари опок із проміжного столу на ливарний конвеєр штовхачем *2*. Наприкінці ходу штовхач *1* натискає на кінцевий вимикач *2 кв* і з електросхеми управління надходить сигнал повернення штока цього штовхача. Аналогічно кінцевий вимикач *3 кв* натискається штовхачем *2*. Коли штоки штовхачів повертаються в початкове положення, вони натискають на кінцеві вимикачі *4 кв* і *6 кв*. При поверненні штоків обох вимикачів (*1* і *2*) у початкове положення вмикається штовхач *3*, здійснює перештовхування форми і вибитих опок у поперечному напрямку на вибивну решітку та проміжний стіл.

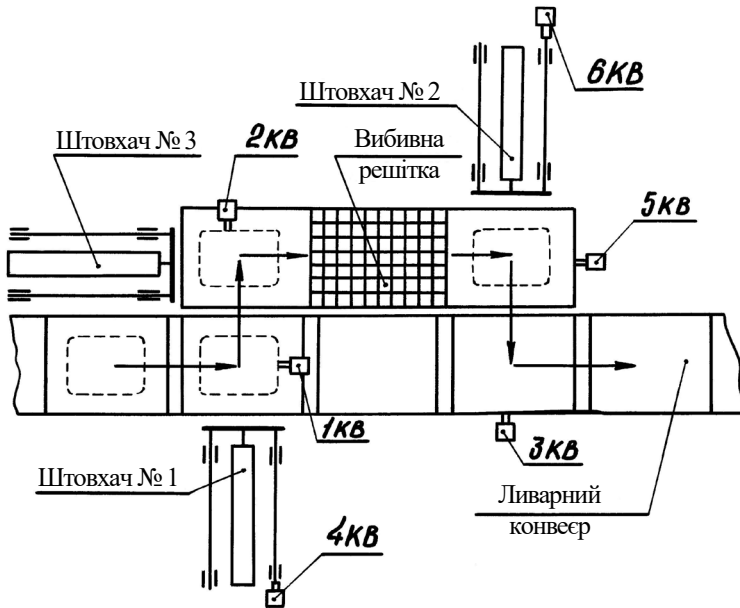


Рисунок 1.12.1 – Схема вибивки за системою трьох штовхачів

Наприкінці ходу штовхач 3 впливає на кінцевий вимикач 5 кв і повертається в початкове положення. При підході наступної форми цикл повторюється.

На діючій панелі встановлений блок управління вибивкою, зібраний на логічних елементах КБЦМА (вічка Пірса), підсилювачах ВКМ і мнемосхемах системи трьох штовхачів.

Сигнальні лампи імітують роботу штовхачів, кнопкові вимикачі та тумблери – кінцевих вимикачів системи. Загоряння лампи відповідає ходу штовхача вперед. Усі елементи мнемосхеми позначені згідно з логічною та функціональною схемами (рис. 1.12.2, 1.12.3).

Логічна схема, зображена на рис. 1.12.2, представлена у вигляді сполучення підсумовуючих блоків, які керують процесом вибивки. Блоки  $СБ_1$ ,  $СБ_2$ ,  $СБ_3$ ,  $СБ_4$  складаються з двох вічок Пірса, а блок  $I$  – з одного вічка Пірса, що отримує сигнали керування від 4 кв, 6 кв і  $СБ_4$ .

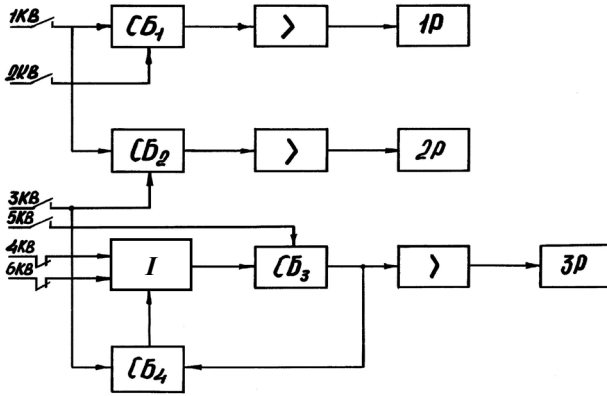


Рисунок 1.12.2 – Логічна схема управління системою трьох штовхачів

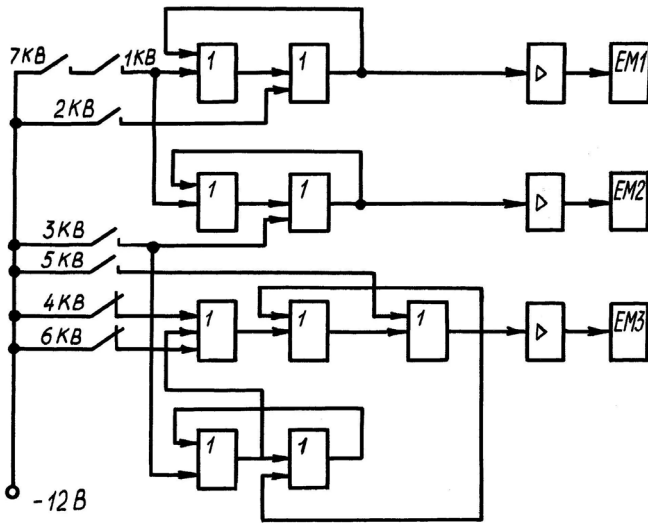


Рисунок 1.12.3 – Функціональна схема управління системою трьох штовхачів

На рис. 1.12.4 та 1.12.5 подано схеми логічного елемента КБЦМА та підсилювача ВКМ.

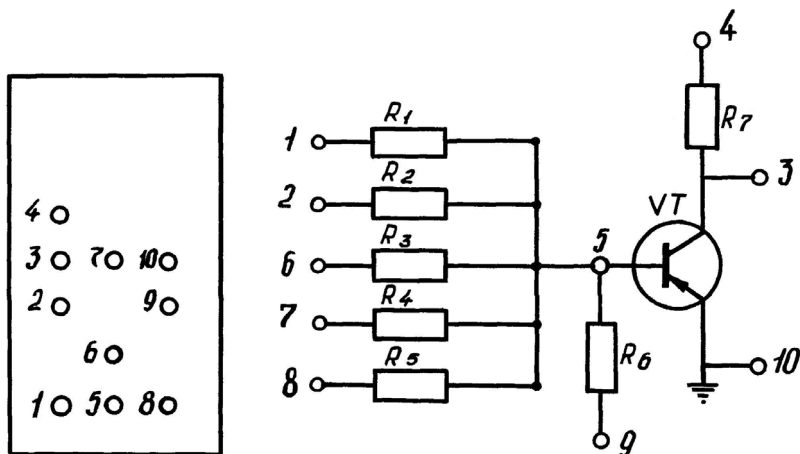


Рисунок 1.12.4 – Схема логічного елемента «Пірс» (КБЦМА)

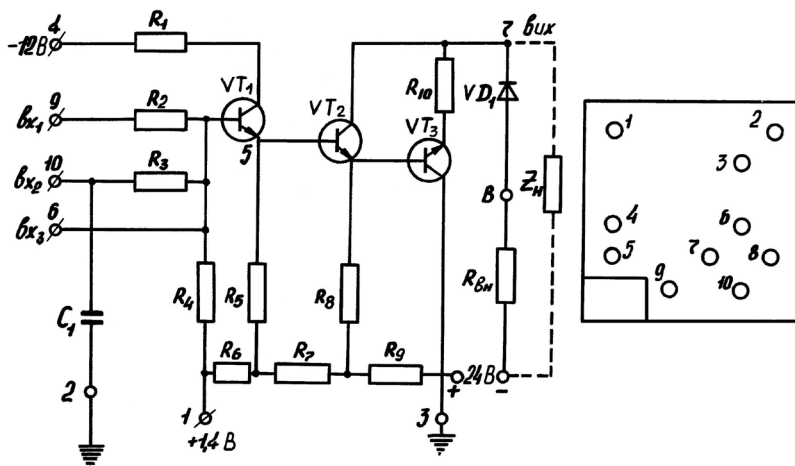


Рисунок 1.12.5 – Схема підсилювача ВКМ (КБЦМА)

## Порядок проведення роботи

1. Після ознайомлення з інструкцією мнемосхеми підключити її живлення в такій послідовності: 1,5 В, 12 В і 22 В і перевірити роботу. При підключенні увагу варто приділяти відповідності полярності вилок і розеток. Вимкнення відбувається у зворотному порядку.

2. На основі роботи мнемосхеми (рис. 1.12.1) скласти докладний опис роботи логічної та функціональної схем управління системи трьох штовхачів.

## Література

1. Орлов Г. М. Автоматизированные установки для выбивки литейных форм [Текст] / Г. М. Орлов – М. : Машиностроение, 1961. – 131 с.

2. Жаров Н. Т. Автоматизация некоторых литейных процессов [Текст] / Н. Т. Жаров – М. : Машиностроение, 1964. – 280 с.

3. Артынов А. П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами [Текст] / А. П. Артынов, В. В. Скалецкий – М. : Наука, 1981. – 280 с.

4. Самсонов В. С. Автоматизированные системы управления [Текст] : учеб. для энерг. спец. техникумов / В. С. Самсонов. – 2-е изд., перераб., доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 237 с.

5. Воробьев Е. И. Проектирование промышленных роботов [Текст] : учеб. пособие для машиностроит. техникумов / Е. И. Воробьев, Э. И. Шехвиц – М. : Машиностроение, 1993. – 144 с.

6. Петраков Ю. В. Автоматизация технологических процессов у машинобудуванні засобами мікропроцесорної техніки [Текст] : навч. посібник / Ю. В. Петраков, П. П. Мельничук – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 194 с.

## Лабораторна робота № 1.13. ПОВІРКА ЛОГОМЕТРА

### Мета роботи:

Ознайомитися з конструкцією та методом повірки логометрів.

### Необхідні прилади:

- 1) логометр ЛПр-53;
- 2) магазин опорів, 3 шт;
- 3) випрямляч;
- 4) автотрансформатор ЛАТР;

Принцип дії логометрів ґрунтується на вимірі співвідношення струмів, що протікають у рамках приладу, у ланцюг одного з яких увімкнений термометр опору.

Логометр є магнітно-електричним приладом. Найбільшого поширення набули логометри з вимірюваною системою, що складається з двох жорстко закріплених рамок під кутом  $22^\circ$ , до яких кріпиться вказівна стрілка. Магнітні полюси логометра виготовлені з магнітним зазором, причому найменше магнітне поле знаходиться біля середини полюсів (рис. 1.13.1).

При обертанні системи рамка, по якій тече більший струм, потрапляє в зону слабкішого магнітного поля, у зв'язку з чим момент, який діє на неї, зменшується. Навпаки, інша рамка переміщається в сильніше магнітне поле й обертальний момент збільшується. Переміщення рамок буде проходити до того часу, поки їхні обертальні моменти не стануть рівні між собою.

Величини обертальних моментів рамок дорівнюють:

$$M_1 = \frac{2r_1 n_1 l_1 B_1 i_1}{981 \cdot 10}, \quad (1.13.1)$$

$$M_2 = \frac{2r_2 n_2 l_2 B_2 i_2}{981 \cdot 10}, \quad (1.13.2)$$

де  $B_1$  та  $B_2$  – магнітна індукція в зоні розміщення рамок 1 та 2;

$r_1, r_2$  – радіуси рамок, см;

$l_1, l_2$  – довжина рамок, см;

$n_1, n_2$  – кількість витків рамок.  
У момент рівноваги  $M_1 = M_2$  або:

$$C_1 B_1 i_1 = C_2 B_2 i_2, \quad (1.13.3)$$

де

$$C_1 = \frac{2r_1 n_1 l_1}{981 \cdot 10} = C_2 = \frac{2r_2 n_2 l_2}{981 \cdot 10}. \quad (1.13.4)$$

Через те, що зазор полюсів змінний, то:

$$\frac{B_2}{B_1} = f(\varphi), \quad (1.13.5)$$

де  $\varphi$  – кут повороту рамок у радіанах, або:

$$\frac{i_2}{i_1} = f(\varphi). \quad (1.13.6)$$

Якщо замість струмів у рівняння (1.13.4) підставити напругу та опір, отримаємо:

$$\frac{U / R_1 + R_2}{U / R_2 + R_1} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 + R_2} = C \frac{B_2}{B_1}, \quad (1.13.7)$$

де  $R_1$  – опір термометра опору;  
 $R_2 + R_1$  – опір відповідно до рамок 1 і 2.

Величини  $R_1, R_2, R$  є постійними.

$$\varphi = f(R_e) = f(t_c^0). \quad (1.13.8)$$

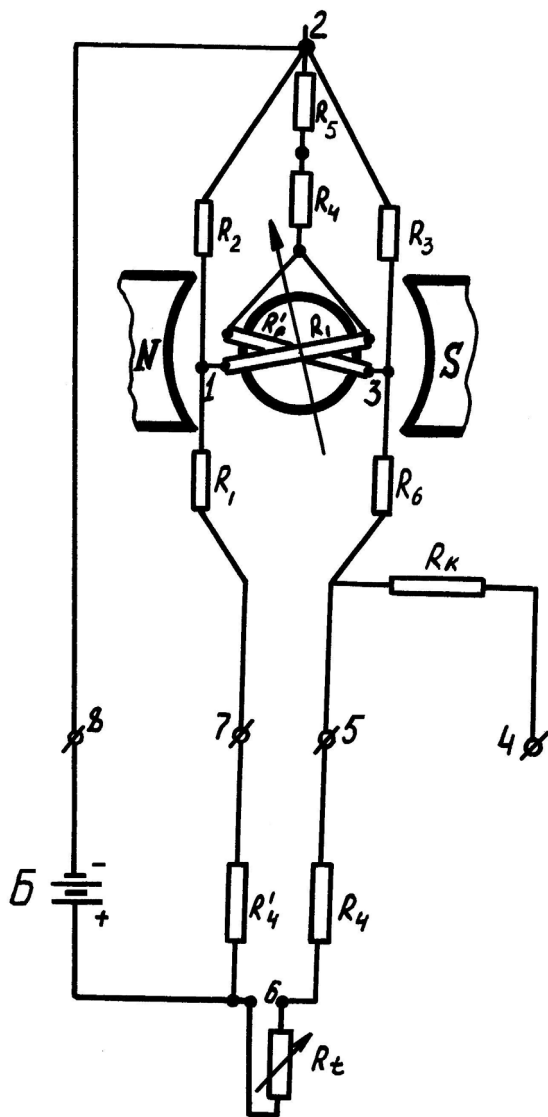


Рисунок 1.13.1 – Принципова електрична схема логометра

У логометрі є дві спіральні пружини, що служать для підведення струму до рамок і повернення стрілки на нуль при вимкненні напруги живлення. Через те що відхилення стрілки логометра пропорційно відхиленню струмів у рамках, зміна величини напруги живлення в межах 20 % від нормального не впливає на його показники. При меншій напрузі відбувається тертя в осях рамок, при більшій – нагрівання та зміна їх опору.

Для збільшення чутливості логометра рамки з'єднуються за мостовою схемою. Опори  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  (як правило  $R_2 = R_3$ ) утворюють три плеча моста. У четверте плече вмикається опір  $R_6$ , термометр опору  $R_t$  і з'єднувальний провід. Другий з'єднувальний провід увімкнений у суміжне плече з опором  $R_1$ . Така схема з'єднання називається трипровідною (рис. 1.13.2). Вона дає змогу усувати вплив температури довкілля на показники логометра.

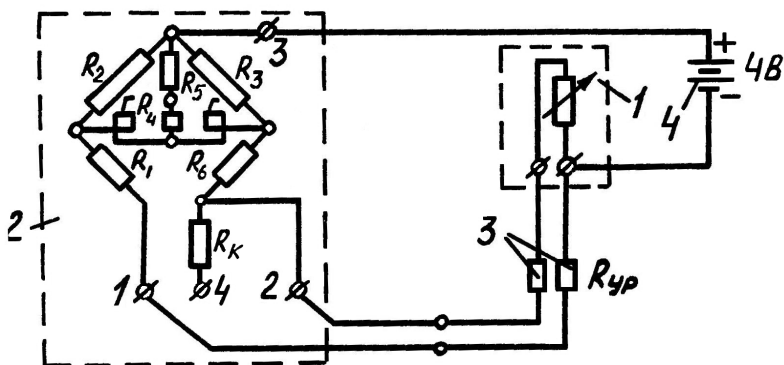


Рисунок 1.13.2 – Трипровідна схема з'єднання логометра з термометром опору

У двопровідній схемі (рис. 1.13.3) обидва з'єднувальних проводи знаходяться в одному плечі і зміна їх опору під впливом температури довкілля сприймається логометром як зміна температури середовища, де вимірюється температура. Двопровідна схема застосовується дуже рідко для економії проводів, якщо коливання навколишнього середовища невеликі.

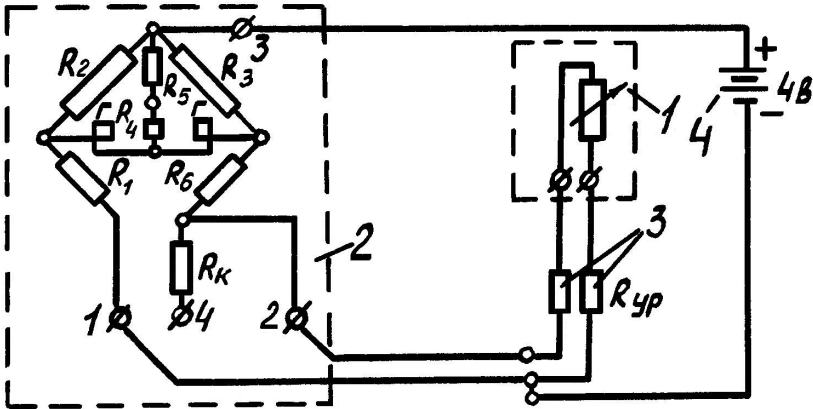


Рисунок 1.13.3 – Двопровідна схема з'єднання логометра з термометром опору

### Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему підключення логометра до джерела живлення і магазину опору згідно з рис. 1.13.4. Замість термометра опору підключити магазин опору *I*. Опір з'єднувальних проводів імітується магазинами *II* і *III*. Встановити напругу джерела живлення 4 В.

2. Перевірити живлення приладу вмиканням перемикача *III*. Стрілка приладу має стати проти червоної лінії на шкалі логометра.

3. За допомогою магазинів опору *II*, *III* встановити опір проводів, вказаний на шкалі приладу.

4. Згідно з табл. 1.13.1 на магазині опору встановити значення опору, що відповідає опору термометра при температурі 0, 50, 100 °С (тип термометра опору, у комплекті з яким працює логометр, вказаний на шкалі останнього). Показники логометра записати в табл. 1.13.1.

5. Виконати повірку логометра при прямому та зворотному ходах, тобто при збільшенні і зменшенні температури.

6. За даними вимірювань виявити клас точності приладу та його варіацію.

7. Зробити висновки щодо можливості вимірювання температури логометром.

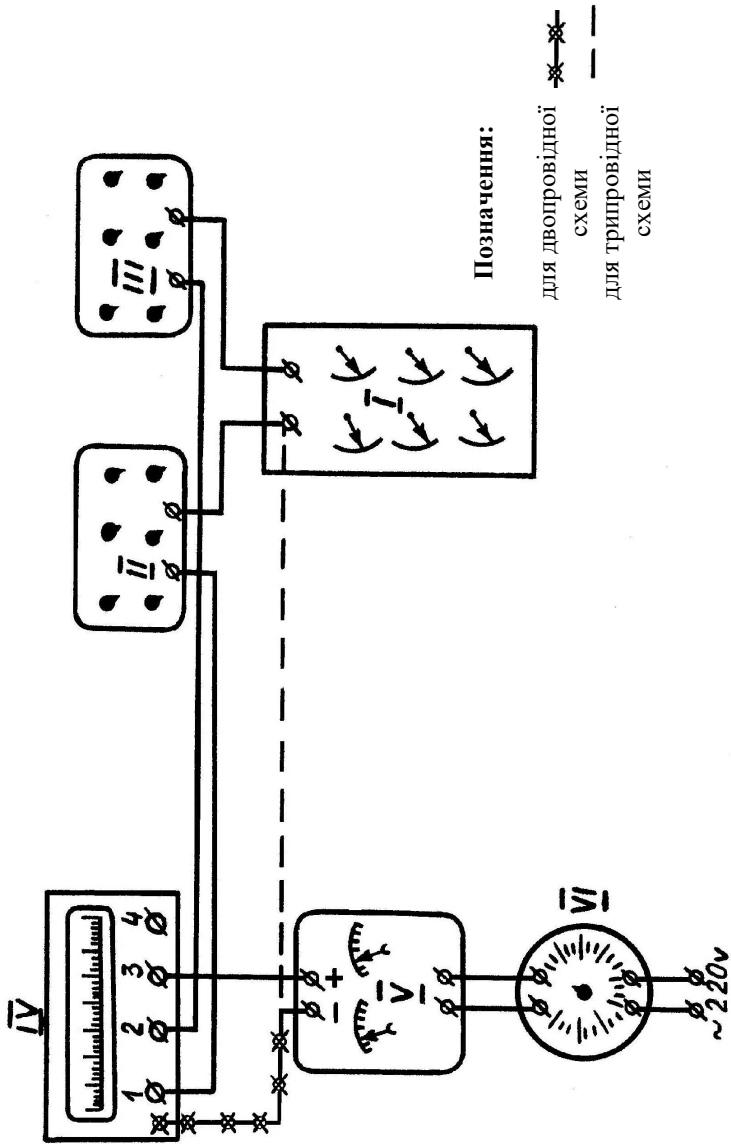


Рисунок 1.13.4 – Схема підключення логометра

8. Пункти 1-7 зробити для двопровідної схеми підключення логометра.

9. Результати вимірювань занести до табл. 1.13.1.

Таблиця 1.13.1 – Експериментальні дані

№ п/п	Істинна температура, °С	Опір термометра, Ом	Показники логометра		Абсолютна похибка, °С		Відносна похибка, %	
			прямий хід, °С	зворотний хід, °С	прямий хід, °С	зворотний хід, °С	прямий хід, °С	зворотний хід, °С
1	0	46,5						
2	50	55,1						
3	100	64,0						
4	200	82,4						
5	300	98,3						
6	400	114,7						
7	500	130,6						

## Література

1. Андреев А. А. Автоматические показывающие, самопишущие и регулирующие устройства [Текст] / А. А. Андреев – Л. : Машиностроение, 1973, – 287 с.

2. Наладка приборов и устройств технологического контроля [Текст] / Под ред. А. С. Клюева. – М. : Энергия, 1976. – 416 с.

3. Климовицкий М. Д. Приборы автоматического контроля в металлургии [Текст]: справочник / М. Д. Климовицкий, В. И. Шишковский – М. : Металлургия, 1979. – 296 с.

4. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## Лабораторна робота № 1.14. ПОВІРКА АВТОМАТИЧНИХ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ

### Мета роботи:

Ознайомитися з конструкцією та методом повірки потенціометрів.

### Необхідні прилади та обладнання:

- 1) автоматичний потенціометр;
- 2) переносний потенціометр.

Для вимірювання електрорушійної сили (ЕРС) термопар використовують мілівольтметри та потенціометри.

Суть потенціометричного методу вимірювання зводиться до компенсації (врівноваженні) вимірюваної термоЕРС термопари відомою різницею потенціалів допоміжного джерела живлення ( $B$ ), що дорівнює за величиною та протилежно за знаком (рис. 1.14.1).

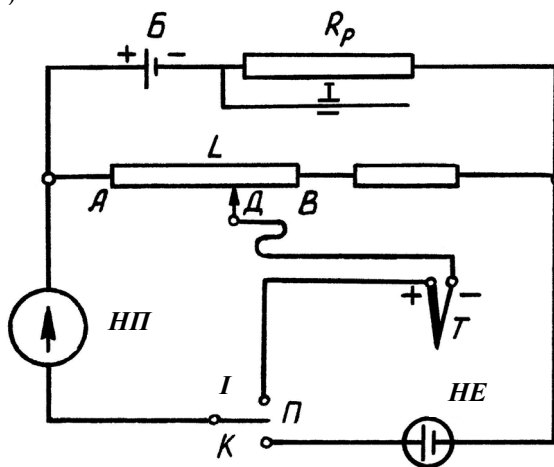


Рисунок 1.14.1 – Принципова електрична схема потенціометра

Як видно з рисунка, термоЕРС урівноважується напругою, що знімається із частини витрат:

$$Et = U. \quad (1.14.1)$$

У цей момент струм, який протікає через нуль-прилад, дорівнює нулю.

$$Et = \frac{X}{L}U, \quad (1.14.2)$$

де  $U$  – напруга джерела живлення;

$X$  – положення движка реохорда;

$L$  – повна довжина реохорда.

Отже, величина термоЕРС визначається положенням движка реохорда. Величина  $U$  має підтримуватися постійною. Для цього ЕРС джерела  $B$  періодично зв'язують з ЕРС так званого нормального елемента, що розвиває протягом тривалого часу суворо постійну ЕРС (1,018 В). В автоматичних потенціометрах для цієї мети використовується блок «ДСЖ» (джерело стабілізуючого живлення). Коли  $E_{AB} \neq E_H$ , змінюють опір  $R_P$  у ланцюзі джерела живлення.

В автоматичних потенціометрах, де замість сухого елемента встановлений блок «ДСЖ», установка робочого струму не потрібна.

Балансування схеми, тобто переміщення движка реохорда, виконується доти, доки стрілка нуль-приладу  $НП$  не стане на нуль.

В автоматичних потенціометрах замість нуль-приладу встановлений електронний підсилювач (керує реверсивним двигуном РД-09), котрий переміщує двигун реохорда та каретку самописа.

Точність потенціометрів визначається точністю врівноваження системи, яка залежить від величини опору одного витка реохорда. Переносні потенціометри мають клас точності 0,05-0,2, автоматичні – 0,2-0,5. Оскільки в момент рівноваги в ланцюзі термопар не має струму, то опір зовнішнього ланцюга не впливає на точність потенціометрів.

Автоматичні потенціометри повіряють за допомогою переносних потенціометрів, які подають на вхід автоматичного потенціометра ЕРС за значенням, що дорівнює ЕРС термопар при заданій температурі.

## Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему за рис. 1.14.2. Перед початком роботи підготувати *ПП*. Для цього коректором *Кор* встановити механічний нуль приладу. Потім перевести ключ у положення *К* (контроль) і, обертаючи рукоятку пристрою робочого струму, домогтися точного встановлення стрілки гальванометра на нуль.

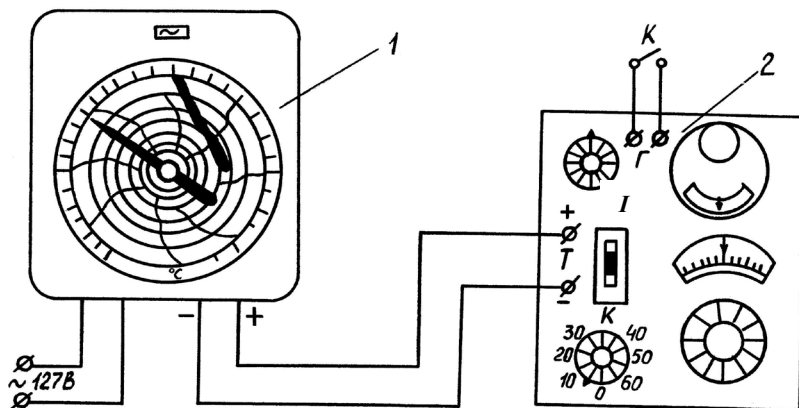


Рисунок 1.14.2 – Схема установки для перевірки автоматичних потенціометрів

2. На переносному потенціометрі встановити значення ЕРС термопар, що відповідає заданій температурі (за градуювальною таблицею тієї термопар, в комплекті з якою працює цей автоматичний потенціометр).

3. Перевести ключ переносного потенціометра в положення «*I*». Показники автоматичного потенціометра записати в табл. 1.14.1.

4. Визначити клас точності потенціометра та його варіацію.

5. Зробити висновок про можливість використання автоматичного потенціометра для вимірювання температури та його перевагу перед іншими приладами.

Таблиця 1.14.1 – Експериментальні дані

№ п/п	Істинна температура, °С	ТермоЕРС термопар, мВ	Показники потенціометра, °С		Абсолютна похибка, °С		Відносна похибка, °С	
			прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід

### Література

1. Андреев А. А. Автоматические показывающие, самопишущие и регулирующие устройства [Текст] / А. А. Андреев – Л. : Машиностроение, 1973, – 287 с.
2. Наладка приборов и устройств технологического контроля [Текст] / Под ред. А. С. Ключева. – М. : Энергия, 1976. – 416 с.
3. Климовицкий М. Д. Приборы автоматического контроля в металлургии [Текст]: справочник / М. Д. Климовицкий, В. И. Шишковский – М. : Металлургия, 1979. – 296 с.
4. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## Лабораторна робота № 1.15. ПОВІРКА РАДІАЦІЙНИХ ПІРОМЕТРІВ

### Мета роботи:

Ознайомитися з конструкцією та методом повірки радіаційних пірометрів.

### Необхідні прилади та обладнання:

- 1) установка УРП-Д;
- 2) зразковий пірометр ТЕРА-50;
- 3) пірометр ТЕРА-50, який підлягає повірці;
- 4) переносний потенціометр ПП.

Принцип дії радіаційних пірометрів ґрунтується на законі Стефана-Больцмана, згідно з яким сумарна потужність випромінювання тіл пропорційна їх температурі четвертого степеня:

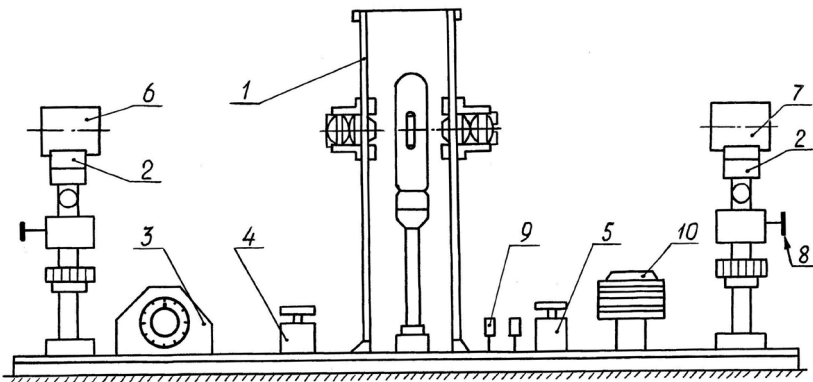
$$E_c = \sigma_0 \cdot T^4, \text{ Дж} / \text{с} \cdot \text{м}^2 \quad \text{або} \quad E_c = \sigma_0 \cdot (T_1^4 - T_2^4).$$

Градування пірометрів виконується за моделлю чорного тіла і встановлюється на заводі.

Періодична повірка радіаційних пірометрів проводиться порівнянням показників із показниками зразкового телескопа. Оптичні властивості вимірювача при цьому не мають значення, тому що його радіаційна температура однакова для обох пірометрів. Для повірки телескопів пірометрів найчастіше застосовують пристрій УРП-Д (установка для повірки радіаційних пірометрів диференційна), загальний вид якої наведено на рис. 1.15.1.

На загальній основі установки змонтовані: блок випромінювання 1, кріплення телескопів 6, 7 і пірометрів 2, автотрансформатор ЛАТР-1 (РНО-250) 3, вимикач живлення 4, перемикач вимірювань термоЕРС телескопів 5, затискачі 9 для підключення зразкового телескопа та телескопа, який повіряється, знижувальний трансформатор двигуна вентилятора 10, гвинти установлювальні 8.

Блок випромінювача розташований у центрі основи установки та складається з проєкційної лампи, двох конденсаторів, вентилятора і кожуха. Блок випромінювача закріплений на фланці з віссю і може повертатися на  $180^\circ$ .



1 – блок випромінювання; 2 – пірометр; 3 – автотрансформатор ЛАТР-1 (РНО-250); 4 – вимикач живлення; 5 – перемикач вимірювань термоЕРС телескопів; 6 і 7 – телескопи; 8 – гвинт установлювальний;

9 – затискач; 10 – знижувальний трансформатор двигуна вентилятора

Рисунок 1.15.1 – Установка УРП-Д  
для повірки радіаційних пірометрів

Проекційна лампа вставлена в патрон, який може переміщатися за двома взаємно перпендикулярними напрямками. На кожусі блока випромінювача закріплено два фланці. У них встановлені два конденсатори, що можуть переміщатися вздовж оптичної осі установки. Кола, нанесені на конденсаторах, потрібні для правильного візування телескопів пірометрів на блок випромінювання.

Тримачі телескопів розташовані з обох боків основи установки і мають пристрої, що дають змогу переміщати телескопи в трьох взаємно перпендикулярних площинах.

## Експлуатація установки

1. Телескоп, який підлягає повірці, та зразковий телескоп закріпити в тримачі.

2. Дотримуючись полярності, підключити виводи телескопів до затискачів установки.

3. На затискачі «127 В» подати напругу живлення 220 В.

4. Поставити вимикач 4 в положення «ввімкнено» і встановити движок трансформатора на 40-50 В, щоб отримати досить яскраве зображення нитки лампи.

5. Поставити перед об'єктивами пірометрів екрани з білого паперу та отримати чітке зображення нитки, переміщуючи конденсатори вздовж оптичної осі. Правильне розташування зображення нитки щодо телескопів досягається обертанням гвинтів утримувачів телескопів.

6. Спостерігаючи через окуляр телескопа й обертаючи гвинти нахилу та повороту тримачів, домогтися, щоб кружок конденсатора симетрично охоплював поле зору телескопа.

7. Завершивши налаштування, закріпити всі стопорні гвинти та почати повірку пірометрів.

## Порядок проведення роботи

1. Встановити на автотрансформаторі напругу 20 В. Перемикач 5 встановити в положення  $E_0$  (зразковий телескоп). Виміряти показники зразкового телескопа потенціометром. Дані замірів записати в табл. 15.1.

2. Поставити перемикач 5 в положення  $E_{II}$  (телескоп, який підлягає повірці). Заміряти показники телескопа та записати в табл. 15.1.

3. Пункти 1 і 2 проробити при напругах 40 В, 60 В тощо при збільшенні та зниженні напруги.

4. Визначити клас точності та варіацію пірометра.

5. Побудувати залежність  $T(^{\circ}\text{C}) = f(U)$ .

Таблиця 1.15.1 – Результати вимірювань

№ п/п	Напряга живлення, В	Показники зразкового потенціометра, мВ		Показники потенціометра, що повіряється, мВ		Абсолютна похибка, мВ		Відносна похибка, %	
		прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід

### Література

1. Наладка приборов и устройств технологического контроля [Текст] / Под ред. А. С. Клюева. – М. : Энергия, 1976. – 416 с.
2. Климовицкий М. Д. Приборы автоматического контроля в металлургии [Текст]: справочник / М. Д. Климовицкий, В. И. Шишковский – М. : Металлургия, 1979. – 296 с.
3. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## **Лабораторна робота № 1.16. ДИСТАНЦІЙНА ПЕРЕДАЧА НА СЕЛЬСИНАХ**

### **Мета роботи:**

Дослідити сельсинну передачу вимірюваної інформації на відстані.

### **Необхідні прилади та обладнання:**

- 1) сельсин-датчик;
- 2) сельсин-приймач;
- 3) вольтметр;
- 4) автотрансформатор.

У конструкційному відношенні сельсини це машини змінного струму. Первинним ланцюгом сельсина є однофазна обмотка збудження, яка завжди розміщується на статорі. На роторі укладається вторинний ланцюг, що складається з трьох обмоток, з'єднаних у зірку і зсунутих один відносно одного під кутом  $120^\circ$ . Можливе і зворотнє розташування обмоток.

Якщо підключити однофазну обмотку збудження до джерела живлення змінного струму, то виникає пульсуючий із частотою джерела магнітний потік, який пронизує обмотки вторинного ланцюга.

Величина ЕРС, приведена в тій чи іншій обмотці, залежить від кутового положення цієї обмотки збудження. Коли магнітна вісь обмотки збігатиметься з напрямом потоку збудження, величина наведеної ЕРС буде максимальною, якщо ж вісь перпендикулярна напрямку дії потоку, то її величина дорівнюватиме нулю. При одному повному оберті сельсина в кожній обмотці вторинного ланцюга величина ЕРС змінюється на  $360^\circ$ .

Існують два види схем з'єднання сельсинів: індикаторна і трансформаторна схеми. Вони відрізняються одна від одної вмиканням первинних обмоток.

**Індикаторна схема дистанційної сельсинної передачі (рис. 1.16.1).** При з'єднанні обмоток збудження послідовно отримується індикаторна схема сельсинної передачі. В обмотках роторів датчика і приймача збудження надає ЕРС, величина якої залежить від їхнього взаємного розташування. Якщо ротор

приймача розташований відносно потоку збудження так само, як і ротор датчика, величини ЕРС у відповідних обмотках рівні за величиною.

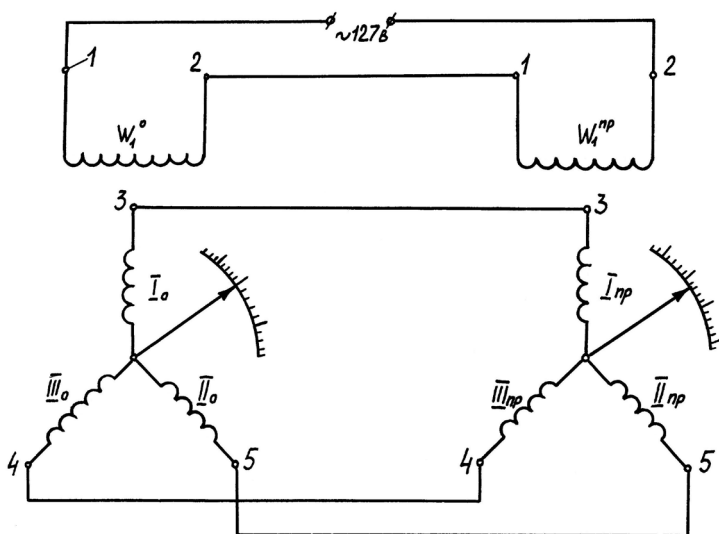


Рисунок 1.16.1 – Принципова електрична схема індикаторної сільсинної передачі

У результаті зустрічного вмикання обмоток підсумковий струм у них дорівнює нулю. Коли є разове неузгодження, виникають струми, що створюють обертальний момент, під дією якого ротор приймача повертається на той самий кут, як і ротор датчика.

**Трансформаторна схема дистанційної сільсинної передачі (рис. 1.16.2).** Якщо обмотка збудження приймача вимкнена від джерела живлення, то струми в роторах будуть визначатися тільки положенням ротора датчика. Ці струми створюватимуть магнітний потік, який надає ЕРС в обмотці збудження приймача. Величина її визначається різницею кутів датчика та приймача.

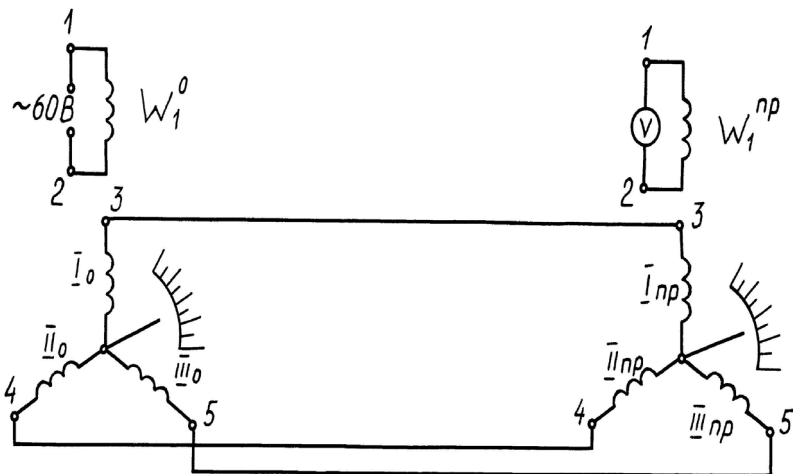


Рисунок 1.16.2 – Принципова електрична схема трансформаторної сельсинної передачі

### Порядок виконання роботи

1. Скласти схему за рис. 16.1. Обмотки збудження датчика та приймача вмикаються послідовно для зменшення зсуву фаз між ними. Величина живлення дорівнює 127 В.

2. Повертаючи стрілку датчика на певний кут, визначити положення стрілки приймача. Дані вимірювання занести до табл. 1.16.1.

Примітка:

а) стрілку датчика потрібно утримувати рукою на потрібній поділці;

б) при визначенні похибки варто враховувати початкове неузгодження при  $\alpha = 0$ .

3. Зробити висновки щодо точності дистанційної сельсинної передачі.

Таблиця 1.16.1 – Експериментальні показники

№ п/п	Поділка шкали датчика, %	Поділка шкали приймача, %		Абсолютна похибка, %		Відносна приведена похибка, %	
		прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід
1	0						
2	10						
3	20						
...	...						
11	100						

### Література

1. Кишнев В. В. Технические средства автоматики [Текст] / В. В. Кишнев, В. О. Иванов, Г. М. Тохтабаев – М. : Metallurgy, 1981. – 305 с.
2. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## Лабораторна робота № 1.17. ДИСТАНЦІЙНА ПЕРЕДАЧА НА ФЕРОДИНАМІЧНИХ ДАТЧИКАХ

### Мета роботи:

Ознайомитися з принципом дії компенсаційних передач.

### Необхідні прилади та обладнання:

- 1) система дистанційної передачі;
- 2) автотрансформатор;
- 3) вольтметр;
- 4) магазин опору.

При автоматизації виробничих процесів, особливо при комплексній автоматизації, виникає необхідність зосередити показники датчиків, розташованих на агрегатах, на одному оперативному щиті. Для цього служать системи дистанційної передачі показників.

Найбільш сучасною системою дистанційної передачі є компенсаційна система, побудована на феродинамічних датчиках (рис. 1.17.1). Основою такої передачі є феродинамічний датчик, котрий складається з магнітопроводу  $l$  з обмоткою збудження 2. Обмотка розташована на плунжері 7, за допомогою якого можна змінити повітряну щілину  $\delta$ . У магнітопроводі розташована рамка 4, кінематично зв'язана з вимірюваною величиною  $X$  так, що кут повороту рамки дорівнює:

$$\alpha_p = f(X). \quad (1.17.1)$$

Обмотка збудження створює магнітний потік  $\Phi$ , який залежить від кута зустрічі рамки з потоком:

$$E_p = k \cdot U_p \cdot \sin \alpha_p, \quad (1.17.2)$$

де  $U_p$  – напруга живлення обмотки збудження, В;  
 $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Промисловість випускає феродинамічні датчики, призначені для живлення змінним струмом 12 або 60 В.

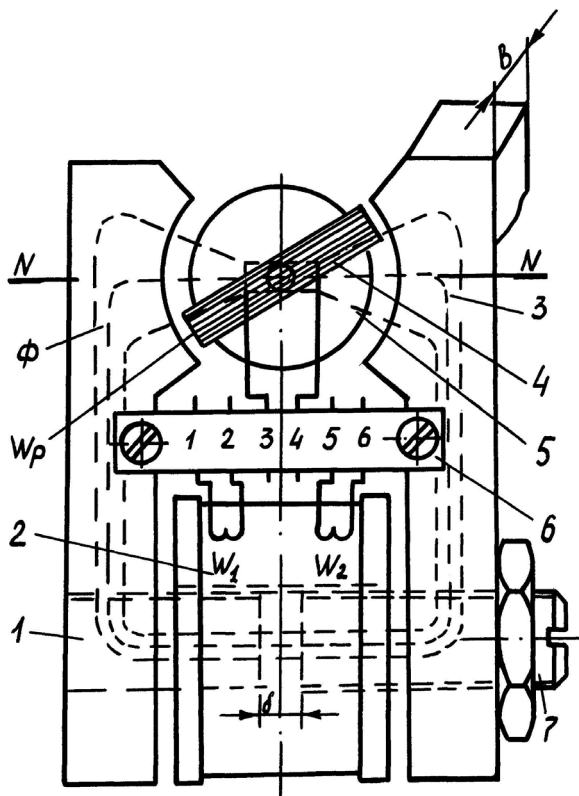


Рисунок 1.17.1 – Схематичне зображення феродинамічного датчика

Щоб характеристика датчика була лінійною, кут повороту рамки обмежують величиною  $\pm 20^\circ$  від нейтралі. За такої умови:

$$\sin \alpha_p = \alpha_p; \quad (1.17.3)$$

$$E_p = k \cdot U_p \cdot \sin \alpha_p. \quad (1.17.4)$$

Характеристика датчика наведена на рис. 1.17.2.

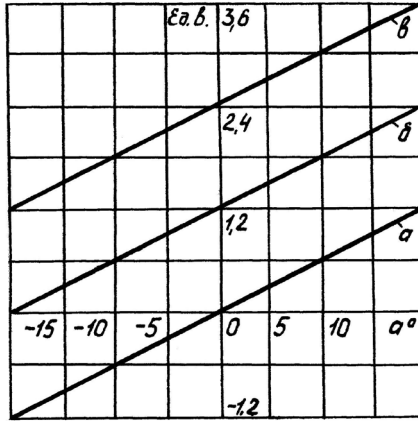


Рисунок 1.17.2 – Характеристика феродинамічного датчика

З рисунка видно, що в нейтральному положенні ЕРС рамки дорівнює нулю.

Часто виникає потреба змістити нульове значення характеристики. Для цього на плунжері розміщують так звану обмотку зміщення, яка послідовно ввімкнена з рамкою. ЕРС, що приводиться в обмотці зміщення, не залежить від кута повороту рамки, а обмотки збудження дають характеристику 2 (Б) залежно від кількості витків обмотки зміщення.

Система дистанційної передачі вимірюваної інформації на феродинамічних датчиках представлена на рис. 1.17.3. У первинний прилад вставляється датчик  $D\Phi I$ , рамка якого кінематично пов'язана з вимірюваною величиною  $X_i$ :

$$\alpha_1 = k_1 \cdot X_i. \quad (1.17.5)$$

Тому вихідна напруга рамки цього датчика дорівнює:

$$E_1 = k_2 \cdot U_n \cdot \alpha_1 = k_1 \cdot k_2 \cdot U_n \cdot X_i. \quad (1.17.6)$$

У вторинному приладі є компенсаційний феродинамічний датчик  $D\Phi II$ , рамка якого кінематично пов'язана з вказівною стрілкою:

$$\alpha_2 = k_3 \cdot \alpha_{ук} \quad (1.17.7)$$

Кут повороту вказівника дорівнює  $270^\circ$ , кут повороту рамки –  $40^\circ$ . Тому:

$$k_3 = \frac{40}{270}. \quad (1.17.8)$$

Обмотки збудження датчиків увімкнені послідовно, що зменшує зрушення фаз між напругами  $E_1$  і  $E_2$ . Вихідна напруга компенсаційного датчика пропорційна куту повороту його рамки:

$$E_2 = k_i \cdot U_n \cdot \alpha_2, \quad (1.17.9)$$

оскільки характеристики датчиків однакові:

$$k_2 = k_i. \quad (1.17.10)$$

Вихідні напруги датчиків увімкнені зустрічно, а їхня різниця надходить на вхід підсилювача.

$$\Delta E = E_1 - E_2. \quad (1.17.11)$$

Якщо  $E_1 \neq E_2$ , то  $E \neq 0$ . Ця різниця ЕРС збільшується підсилювачем, котрий керує реверсивним двигуном  $D$ , на валу якого міститься рамка датчика  $D\Phi II$  та вказівна стрілка. При обертанні двигуна  $D$  рамка датчика повертається доти, аж поки  $E_2$  дорівнюватиме  $E_1$ .

За такої умови  $E = 0$ , двигун  $D$  зупиняється. Отже, у положенні рівноваги ( $E_1 = E_2$ ):

$$k_1 \cdot k_2 \cdot U_n \cdot X_i = k_i \cdot U_n \cdot \alpha_2, \quad (1.17.12)$$

де

$$\alpha_2 = k_1 \cdot X_i. \quad (1.17.13)$$

Кути повороту рамок датчика однакові, тому шкала вторинного приладу градується в одиницях вимірюваної величини.

Точність передачі не залежить від величини живлення та опору лінії, бо в момент рівноваги бракує струму в обмотках. Але ці величини впливають на величину чутливості.

### Порядок проведення роботи

1. Скласти схему за рис. 1.17.3. Встановити живлення обмоток збудження 24 В.

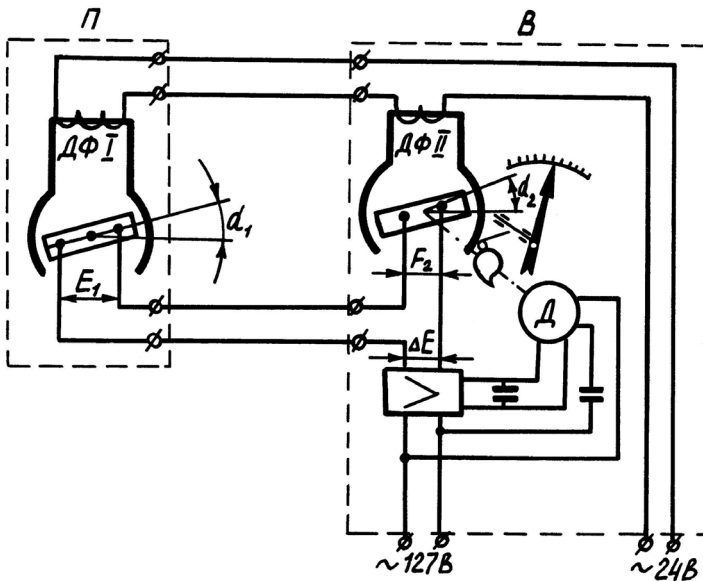


Рисунок 1.17.3 – Схема дистанційної передачі на феродинамічних датчиках

2. Змінюючи положення рамки датчика  $ДФ I$  за шкалою від 0 до 100 % через 10 %, визначити показники вторинного приладу. Дані занести до табл. 1.17.1.

Таблиця 1.17.1 – Експериментальні дані

№ п/п	Повороти рамки датчика	Показники вторинного приладу		Абсолютна похибка, %		Відносна похибка, %	
		прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід	прямий хід	зворотний хід
1	0						
2	10						
3	20						
...	...						
11	100						

3. Визначити похибку передачі.

4. Пункт 2 зробити для напруги 20, 16, 12 В. Визначити чутливість для 3-4 точок шкали. Чутливість системи визначається так: повільно повертають рамку датчика  $ДФІ$  до того моменту, поки не почне переміщатися рамка датчика  $ДФІІ$ . Величина переміщення  $ДФІ$ , що викликає помітне переміщення рамки  $ДФІІ$ , буде чутливою.

### Література

1. Кишнев В. В. Технические средства автоматики [Текст] / В. В. Кишнев, В. О. Иванов, Г. М. Тохтабаев – М. : Металлургия, 1981. – 305 с.
2. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для втузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## Лабораторна робота № 1.18. ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ

### Мета роботи:

1. Дослідити будову і принцип дії термометрів опору та особливості вимірювання ними температури.
2. Набути практичних навичок за методикою градування, визначення метрологічних характеристик та застосування термометрів опору.

### Загальні відомості

Вимірювання температури термометрами опору ґрунтується на властивостях матеріалів змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Для виробництва термометрів опору використовуються чисті метали та напівпровідники. Термометри опору з металів мають найбільше поширення. Вони виготовляються з тонкого ( $\varnothing 0,05\dots 0,1$  мм) платинового, мідного або нікелевого дроту, що намотується біфілярно на каркас із термостійкого ізоляційного матеріалу – слюди, фарфору тощо. Такий пристрій називається елементом термометра опору (ТО).

Залежність електричного опору термометрів від температури описується рівняннями:

- для платинових та нікелевих ТО в діапазоні  $0\dots 630$  °С

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2); \quad (1.18.1)$$

- для мідних ТО

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (1.18.2)$$

де  $R_0$ ,  $R_t$  – електричний опір при температурах  $0$  °С та  $t$  °С відповідно, Ом;

$A$ ,  $B$ ,  $\alpha$  – коефіцієнти, що залежать від виду, чистоти матеріалу та технології виготовлення дроту;

$t$  – вимірювана температура, °С.

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$  визначають вимірюванням опору термометрів при температурах кипіння води, сірки (або твердіння цинку) та кисню, температурного коефіцієнта  $\alpha$  при температурах  $0$  і  $100$  °С.

Для захисту від механічних пошкоджень та агресивної дії середовища, де вимірюється температура, чутливий елемент  $5$  розміщується в захисній арматурі – гільзі  $4$ , оснащеної голівкою  $2$ , де знаходиться монтажна колодка  $1$  із затискачами для підключення з'єднувальних проводів, та штуцером  $3$  для закріплення ТО на об'єкті вимірювання (рис. 1.18.1).

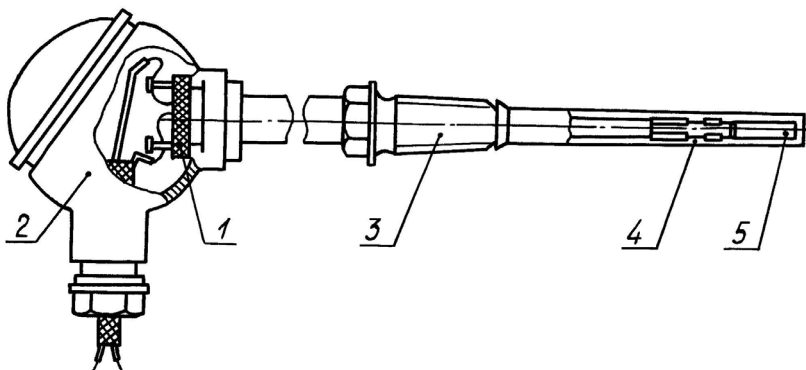


Рисунок 1.18.1 – Термометр опору

Частина гільзи, в якій розташовується чутливий елемент, називається активною частиною термометра опору.

При вимірюванні температури термометрами опору треба враховувати, що внаслідок відносно великих розмірів активної частини фактично можливе визначення лише середньої температури середовища в зоні, що прилягає до активної частини термометра, а значна теплоємність вимірюваного елемента призводить до великої інерційності.

Серійні термометри опору з металів мають позначення ТОП (термометр опору платиновий) або ТОМ (термометр опору мідний).

Для створення вимірюваних систем зі стандартних пристроїв серійні ТО виготовляються зі стандартним градуванням (Гр.), величиною електричного струму та призначені для вимірювання температури в різних інтервалах (табл. 1.18.1).

Таблиця 1.18.1 – Технічні характеристики металевих термометрів опору

Тип	Клас точності	Межі температур, °С	Градування	Номінальний опір при 0°С, Ом
ТОП (платиновий)	I, II	0...650	Гр. 20	10
		-200...0	Гр. 21	46
		-200...0	Гр. 22	100
ТОМ (мідний)	II, III	-50...180	Гр. 23	53
			Гр. 24	100

Напівпровідникові термометри опору (терморезистори) мають чутливі елементи, виготовлені з германію (ТОГ) або із суміші різних напівпровідникових речовин (ММТ – мідно-марганцеві, КМТ – кобальто-марганцеві). Форма чутливих елементів може бути різною: циліндричною, шайбовою, кульковою (бусинковою). Для захисту від можливих механічних пошкоджень і дії середовища чутливий елемент покривається емаллю (ММТ-1, КМТ-1) і розміщується в захисному металевому (ММТ-4, КМТ-4) або скляному балоні (рис. 1.18.2).

Межі температур, що дають змогу вимірювати напівпровідникові термометри опору (НТО), складають 15...90 К (германієві ТО) та 100...300 °С (ММТ, КМТ).

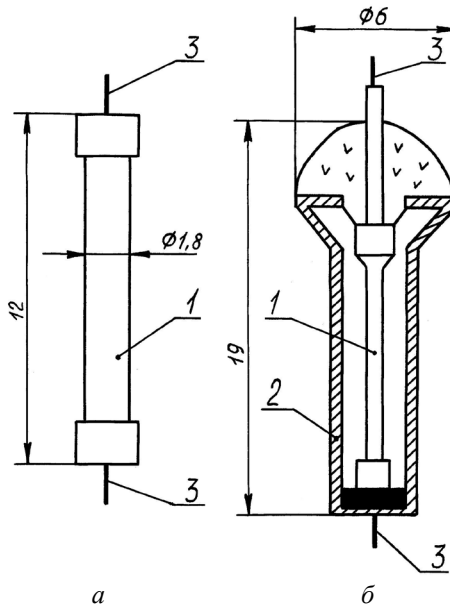
Для серійних НТО залежність опору від температури в інтервалі 100 °С описується рівнянням:

$$R_t = A t^B e^{B/T}, \quad (1.18.3)$$

де  $R_t$  – опір НТО при температурі  $T$ , Ом;

$T$  – температура, К;

$A$ ,  $B$  – постійні коефіцієнти, залежні від виду матеріалу чутливого елемента та його будови.



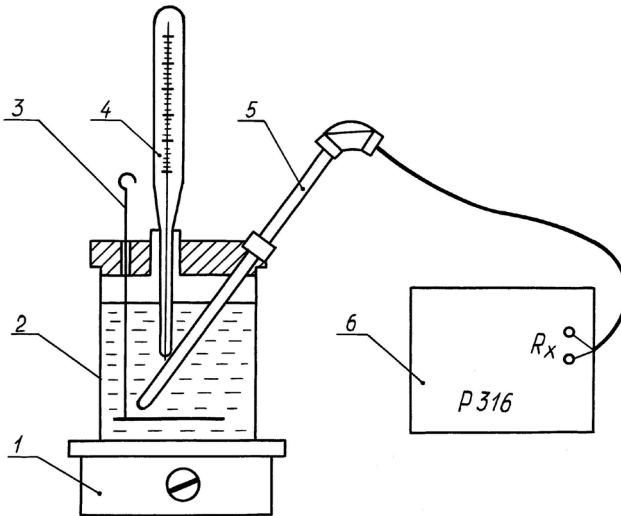
$a$  – тип ММТ-1 та КМТ-1;  $b$  – тип ММТ-4 та КМТ-4  
 1 – чутливий елемент; 2 – захисний кожух; 3 – виводи  
 Рисунок 1.18.2 – Напівпровідникові термометри опору  
 (терморезистори)

Завдяки малим розмірам та теплоємності НТО мають незначну інерційність, чим вигідно відрізняються від металевих ТО. Однак серійні терморезистори, навіть одного типу, мають різні значення номінального опору та температурного коефіцієнта, що не дає одержувати єдину градуювальну шкалу. Тому вимірювані системи потребують індивідуального градуювання за низкою експериментальних точок у заданому інтервалі температур через кожні 10 °С.

## Лабораторне обладнання

### Лабораторна установка

**Призначення та будова.** Обладнання для градування термометрів опору складається з бачка 2 з робочою рідиною (водою або мінеральною оливою) і нагрівального пристрою 1. Термометр опору 5 для градування занурюється до робочої рідини так, щоб його активна частина була повністю покрита рідиною і була приблизно посередині її об'єму (рис. 1.18.3).



1 – нагрівальний пристрій; 2 – бачок із робочою рідиною; 3 – мішалка;  
4 – ртутний термометр; 5 – термометр опору; 6 – вимірювальний прилад  
Рисунок 1.18.3 – Лабораторна установка  
для градування термометрів опору

До клемних затискачів ТО підключається вимірювальний прилад 6 (електричний міст). Для визначення температури робочої рідини використовується ртутний термометр 4, вимірюваний балон якого має знаходитись у безпосередній

близькості до середини активної частини ТО. Задля забезпечення рівномірного нагрівання (охолодження) усього об'єму робочої рідини під час вимірювань вона перемішується мішалкою 3.

Щоб визначити динамічні характеристики використовують також термостат, до робочої ємності якого заливається вода.

### Міст постійного струму Р 316

**Призначення та будова.** Міст постійного струму Р 316 призначений для вимірювання електричного опору постійного струму в діапазоні  $10^{-5} \dots 10^6$  Ом. Основна похибка вимірювання не перевищує  $\pm 0,2\%$ .

Живлення моста здійснюється від мережі змінного струму напругою 220/127 В через колодку 4 (рис. 1.18.4). Передбачена також можливість живлення моста від джерела постійного струму (батареї), що підключається до клемних затискачів 2 (НБ). Прилад має вмонтований гальванометр 8. Можливе підключення зовнішнього гальванометра до клем 6 (Г).

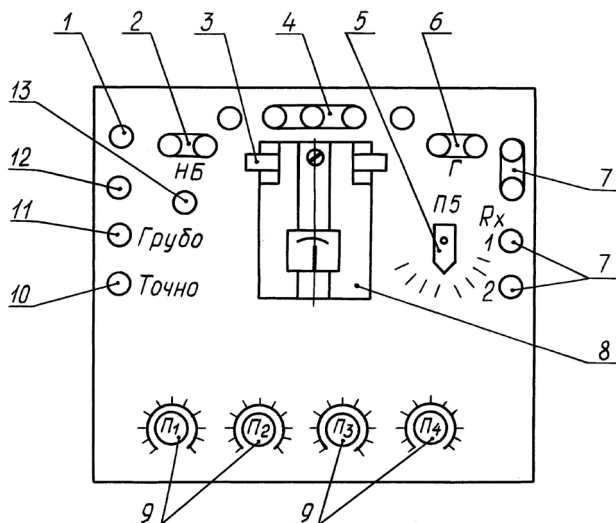


Рисунок 1.18.4 – Панель керування моста Р 316

З лівого боку панелі керування приладу розташовані чотири кнопкові перемикачі: для регулювання чутливості гальванометра – «Грубо» *П1* і «Точно» *П0*, вмикання гальванометра *П2* і зміни напрямку струму у вимірюваній діагоналі моста *П3*. Вимірюваний опір підключається до клем *R<sub>x</sub>*, розташованих із правого боку панелі. Межі вимірювання опору встановлюються перемикачем відношення плечей *П5*, а врівноваження мостової схеми здійснюється чотирма декадними перемикачами *П9* магазину опорів, ввімкнених у плечі порівняння моста.

### Правила роботи з мостом

1. Перед початком вимірювання встановити всі кнопки моста в положення «Вимкнено».

2. Підключити міст до електричної мережі напругою 220 В, після чого тумблер *П3* перевести в положення «Увімкнути», на панелі моста загоряється індикаторна лампочка (рис. 1.18.4).

3. Коректором *З* на індикаторі встановити його стрілку на нульову позначку.

4. Підключити до затискачів *R<sub>x</sub>* термометр опору.

5. Перемикач *П5* встановити в положення, відповідне множнику  $10^{-2}$  для роботи з металевим ТО, або множнику 10 під час роботи з НТО.

6. Замкнути затискачі «3» і «4» перемичкою.

7. Натиснути кнопки «Увімкнений індикатор» і «Грубо». Якщо спостерігається різке відкидання стрілки гальванометра, необхідно ручкою *П5* змінити множник (відхил стрілки індикатора не мусить виходити за межі шкали).

8. Натиснути кнопку «Грубо» і ручками декадних перемикачів *П1*, *П2*, *П3* врівноважувати схему, поки відхил стрілки індикатора не перевищуватиме 0,5...0,8 мм від нульової позначки.

9. Натиснути кнопку «Точно» й остаточно врівноважити схему перемикачами *П3* і *П4*.

10. Результат виміру розрахується за формулою:

$$R = A \cdot M, \text{ Ом}$$

де *A* – число, виставлене на перемикачах *П1*, *П2*, *П3* і *П4*;  
*M* – множник, виставлений на перемикачі *П5*.

## **Виконання роботи**

### **Завдання 1. Градування термометрів опору**

У лабораторній роботі прийнято методика градування ТО паралельним вимірюванням температури зразковим термометром та електричного опору ТО. Чутливі елементи двох термометрів мають бути в одній зоні. Для усунення впливу динамічних характеристик тиристорів температура в зоні вимірювання має бути під час замірів постійною, а результати необхідно занотувати після закінчення перехідних процесів у термометрах.

### **Порядок виконання роботи**

1. Одержати у викладача термометри опору для градування.

2. Зняти кришку бачка і, змонтованими на ній затискачами, закріпити ТО та ртутний термометр так, щоб вимірюваний балон ртутного термометра торкався середини активної частини ТО.

3. Переконатися, що рівень робочої рідини в бачку є достатнім, аби повністю покрити активну частину ТО.

4. Накрити бачок кришкою із закріпленими термометрами.

5. Підготувати до роботи вимірюваний міст згідно з вказівками пункту «Лабораторне обладнання».

6. Підключити ТО до вимірюваного моста.

7. Встановити бачок на нагрівальному пристрої, перемішати робочу рідину й заміряти початковий опір ТО, встановити за ртутним термометром температуру робочої рідини.

8. Увімкнути нагрівальний пристрій і з підвищенням температури робочої рідини виміряти опір ТО через кожні 10-20 °С в інтервалі не менш 100 °С. Перед кожним вимірюванням вимкнути нагрівач та перемішати робочу рідину для усереднення її температури.

9. Зняти бачок з нагрівального пристрою та повторити заміри при охолодженні робочої рідини за тими ж показниками ртутного термометра, що і при нагріванні.

10. Результати вимірювань занести до табл. 1.18.2.

Таблиця 1.18.2 – Градування термометрів опору

Номер досліджу	Показники ртутного термометра, °C	Тип термометра опору	Електричний опір, Ом		
			при нагріванні	при охолодженні	середнє значення

### Обробка результатів градування ТО

1. За одержаними даними розрахувати середні значення опору термометрів і записати в табл. 1.18.2.

2. Використовуючи дані табл. 1.18.2, побудувати графіки в координатах «температура – опір».

3. Визначити середню чутливість термометрів опору в інтервалі температур, отриману під час градування.

4. Використовуючи рівняння (1.18.1) – (1.18.3), розрахувати теоретичні (паспортні) значення температур у контрольних точках і записати в табл. 1.18.3. За розрахунками прийняти:

$$A = 3.96847 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1};$$

$$B = - 5.847 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2};$$

$$\alpha = 4.26 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Таблиця 1.18.3 – Визначення похибок вимірів

Тип ТО	R <sub>0</sub>	Температура		Похибки	
		виміряна	розрахована	абсолютна	відносна

5. Порівняти метрологічні характеристики термометрів опору.

## **Завдання 2. Визначення динамічних характеристик ТО**

Основний показник динамічних властивостей ТО – інерційність. Якщо термометр опору з початковою температурою  $T_0$  занурити в середовище з температурою  $T_1$ , його температура буде змінюватися відповідно до експоненціальної залежності:

$$T = T_0 + (T_1 - T_0)(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1.18.4)$$

де  $\tau$  – стала часу ТО.

У паспортних даних ТО теплову інерційність визначають як час, потрібний для того, щоб опір термометра, перенесеного із середовища з температурою танучого льоду у воду з температурою 20...60 °С, змінився на 90 % від різниці встановлених значень опорів, відповідних початковій та кінцевій температурам. Термометри з великою інерційністю мають інерційність не більше 10 хв, із середньою інерційністю – не більше 3 хв та з малою – не більше 20 с.

### **Порядок виконання роботи**

1. Підготувати бачок, до якого помістити лід із додаванням води і занурити в нього ТО.
2. Залити воду в робочу місткість термостата, встановити регулятор на температурі в інтервалі 20...60 °С та увімкнути термостат.
3. Підключити ТО до вимірювального приладу.
4. Витримати ТО в бачку з льодом до встановлення усталеного значення опору.
5. Швидко перенести ТО з бачка із льодом у воду в термостаті. Саме тоді зафіксувати час початку експерименту.
6. Через кожні 10...30 с, залежно від типу ТО та очікуваного значення інерційності, виміряти опір ТО і занести до табл. 1.18.4.

Таблиця 1.18.4 – Установлення динамічної характеристики термометрів опору

Тип ТО	$R_0$ , Ом	Час, с	$R_t$ , Ом
--------	------------	--------	------------

7. За результатами градуювання ТО (завдання 1) визначити значення опору  $R_{уст}$ , що відповідає температурі, підтримуваній в термостаті. Після того як випробовуваний електричний опір термометра дорівнюватиме 90 %  $R_{уст}$ , дослідження закінчити.

8. Визначити інерційність та класифікацію ТО.

9. Побудувати криву розгону ТО за даними табл. 1.18.4 і розрахувати сталу часу ТО за формулою (1.18.4).

10. Використовуючи одержані дані, оцінити практичні можливості вимірювання температури в об'єктах із нестабільним температурним режимом.

## **Лабораторна робота № 1.19. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ**

### **Мета роботи:**

1. Дослідити принцип дії та характеристики позиційних регуляторів.
2. Опанувати складання систем дво- та трипозиційного регулювання на базі регуляторів, вмонтованих в автоматичні потенціометри.
3. Навчитися оцінювати експлуатаційні параметри систем регулювання.
4. Набути навичок визначення властивостей об'єкта регулювання.

### **Загальні відомості**

Системою автоматичного регулювання називають сукупність автоматичного регулятора і регульованого об'єкта (машини, установки), у якому без участі людини здійснюється керування одним або декількома фізичними параметрами (регульованими параметрами), що визначають хід технологічного процесу, який протікає в об'єкті регулювання.

### **Об'єкт регулювання**

Об'єкт регулювання характеризується:

- величиною акумульованої в ньому енергії або речовини, яка називається ємністю об'єкта;
- навантаженням – кількістю енергії або речовини, що витрачається на протікання технологічного процесу в об'єкті. Навантаження оцінюється також величиною припливу та витратою енергії або речовини;
- величиною регульованого параметра;
- коефіцієнтом ємності – кількістю енергії або речовини, яка необхідна для зміни регульованого параметра на одиницю вимірювання.

Коефіцієнт ємності характеризує швидкість зміни регульованого параметра при порушенні рівноваги в об'єкті між припливом та витратою енергії або речовини і визначається таким співвідношенням:

$$K_c = \frac{\Delta C}{\Delta X}, \quad (1.19.1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт ємності;  
 $\Delta C$  – зміна ємності об'єкта;  
 $\Delta X$  – зміна регульованого параметра.

Величину, обернену коефіцієнту ємності, називають чутливістю об'єкта до збурення.

При подачі енергії або речовини до об'єкта спочатку відбувається їхнє накопичення, що супроводжується зміною регульованого параметра до заданого значення. Проміжок часу, протягом якого регульований параметр змінюється від нуля до заданого значення при миттєвій зміні припливу на 100 % та браку витрат, називається часом розгону об'єкта. Час розгону характеризує інерційність об'єкта регулювання.

Графік зміни регульованого параметра, одержаний під час виконання зазначених умов, називається кривою розгону (рис. 1.19.1).

Якщо при зміні навантаження об'єкт регулювання без участі регулятора приходять до нового стану рівноваги, то такий об'єкт здатний самовирівнюватися.

Здатність об'єкта до самовирівнювання характеризується ступенем самовирівнювання:

$$\rho_1 = \frac{d \cdot g}{d \cdot X_0}, \quad (1.19.2)$$

де  $g$  – відносна різниця між припливом та витратою енергії чи речовини;

$X_0$  – відносне відхилення регульованої величини.

$$X_0 = \frac{X}{X_n}, \quad (1.19.3)$$

де  $X_n$  – номінальне значення регульованої величини;

$X$  – поточне значення регульованої величини.

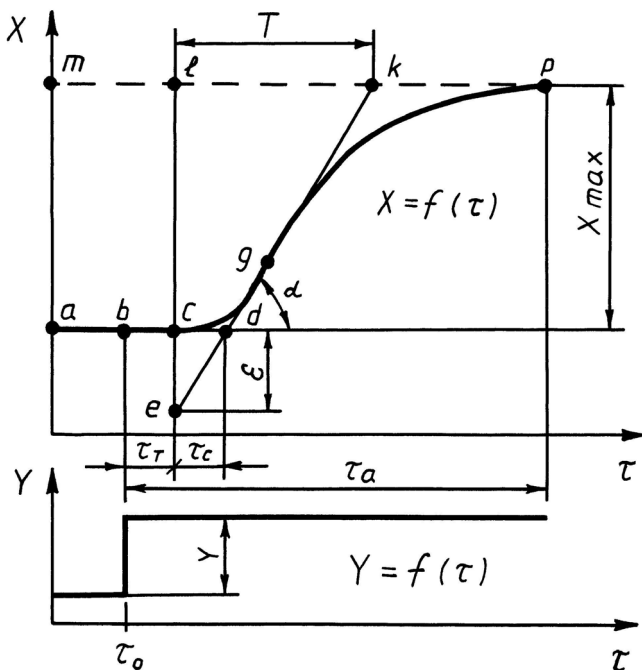


Рисунок 1.19.1 – Крива розгону об’єкта із самовирівнюванням

За кривою розгону визначаються:

1. Час розгону  $\tau_a$  як тривалість перехідного процесу від моменту подачі регульованого впливу до досягнення регульованим параметром нового усталеного значення.

2. Стала часу об’єкта  $T$  як величина проекції відрізка дотичної, проведеної від будь-якої точки кривої розгону до перетину її з лінією усталеного значення регульованого параметра на пряму, паралельну осі часу.

Час розгону  $\tau_a$  та стала розгону об’єкта  $T$  пов’язані між собою співвідношенням:

$$\tau_a = \eta \cdot T, \quad (1.19.4)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт навантаження об’єкта, що дорівнює відношенню навантаження об’єкта при розглядуваному режимі до максимального навантаження.

Стала часу об'єкта  $T$  пов'язана із чутливістю  $\delta$  та ступенем самовирівнювання  $\rho$  співвідношенням:

$$T = \frac{1}{\delta\rho}. \quad (1.19.5)$$

Щоб визначити сталу часу за кривою розгону, проводять горизонтальну лінію  $MP$  через нове усталене значення регульованої величини, потім – дотичну  $eg$  до перетину її з лінією  $mp$  в точці  $k$  і вертикаль від точки  $c$  до точки  $e$  (рис. 1.19.1). Відрізок  $ek$  відповідає сталій часу  $T$  (в масштабі часу).

3. Запізнювання об'єкта, тобто відставання в часі вимірювання регульованого параметра стосовно зміни навантаження.

За кривою розгону визначається час повного запізнювання  $\tau_{\Pi}$ , транспортного запізнювання  $\tau_T$  та ємнісного запізнювання  $\tau_{\epsilon}$ .

Транспортне (передаточне) запізнювання – це час, протягом якого регульована величина не змінюється, незважаючи на проведений регульований вплив (відрізок  $bc$  на рис. 1.19.1). Ємнісне запізнення обумовлює сповільнення (затримання) у відповідній зміні регульованого параметра при зміні подачі або споживання внаслідок опорів (теплових, гідравлічних тощо) під час проходження потоку енергії або речовини в об'єкті.

Для визначення часу ємнісного запізнювання проводять лінію  $ac$  початкового значення регульованого параметра, визначають точку  $g$  максимальної швидкості його зміни (точка перегинання кривої), проводять дотичну через точку  $o$  до перетину її з лінією  $ac$ ; одержаний відрізок  $cd$  і є час ємнісного запізнювання  $\tau_{\epsilon}$ .

Час повного запізнювання:

$$\tau_{\Pi} = \tau_T + \tau_{\epsilon}. \quad (1.19.6)$$

4. Ступінь самовирівнювання визначають із відношення:

$$\rho = \frac{Y}{Y_{\max}}. \quad (1.19.7)$$

За ступенем самовимірювання  $\rho_c$  знаходять коефіцієнт підсилення:  $k = 1/\rho$ , який показує наскільки змінюється регульована величина від зміни положення регулювального органа.

5. Швидкість розгону  $\mathcal{E}$  (максимальна швидкість зміни регульованої величини  $X$  у процесі самовимірювання) визначають як величину відрізка  $ec$ , одержаного від перетину вертикалі, проведеної через точку  $c$ , з дотичною до точки  $e$  та лінії, паралельною  $ad$ , проведеної через точку  $e$ .

6. Швидкість зміни регульованої величини  $X$  як тангенс кута нахилу дотичної  $d$ .

При експериментальному визначенні характеристик об'єкта регулювання криву розгону знімають не менше трьох разів за різними збудженнями. Одержані дані дають змогу зробити висновки про динамічні властивості об'єкта регулювання, на основі яких вибирається регулятор.

### Позиційне регулювання

Позиційними або релейними називають регулятори, у яких регульовальний орган може займати обмежену кількість фіксованих положень (позицій).

За кількістю фіксованих положень регульовального органа позиційні регулятори поділяються на дво- та багатопозиційні. У двопозиційних регуляторах при відхиленні регульованого параметра від заданого значення регульовальний орган займає одне з двох фіксованих положень (наприклад, увімкнення та вимкнення електричного нагрівального елемента при регулюванні температури печі). У багатопозиційних регуляторах регульовальний орган може займати декілька фіксованих положень залежно від величини відхилення регульованого параметра.

Позиційні регулятори забезпечують підтримку регульованого параметра в деяких межах. За такої умови спостерігаються безперервні коливання регульованого параметра.

Закон регулювання релейного двопозиційного  $Pn$ -регулятора виражається співвідношенням:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \text{sign}(\mu - \Delta) \quad \text{при} \quad d\mu / d\tau > 0, \quad (1.19.8)$$

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \text{sign}(\mu + \Delta) \quad \text{при} \quad d\mu / d\tau < 0,$$

де  $\varphi$  – регульований вплив або положення регулювального органа;

$\mu$  – відхилення регульованого параметра від заданого значення або неузгодження;

$\Delta$  – нечутливість регулятора.

Якщо двом значенням припливу  $N_1$  та  $N_2$  відповідають усталені значення регульованого параметра  $X_1$  та  $X_2$  за умови, що величини  $N_1$  та  $N_2$  підбрані так, щоб задане значення параметра  $X_3$  знаходилося в інтервалі  $X_1$  та  $X_2$ , то основні параметри такого процесу регулювання можуть бути визначені за приблизною формулою:

$$\Delta X \approx X_3 \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \cdot \frac{\tau_{II}}{T}, \quad (1.19.9)$$

де  $\Delta X$  – відхилення регульованого параметра від заданого значення. Коливання параметра відповідає  $2\Delta X$  (зона нечутливості).

Коливання регульованого параметра зменшується при зменшенні різниці припливів ( $N_1 - N_2$ ), часу запізнювання  $\tau_{II}$  та збільшенні сталої часу  $T$ .

Зменшення величини ( $N_1 - N_2$ ) означає наближення потужності потоку енергії, що підводиться, до номінального значення, яке забезпечує в установленому режимі таку рівновагу в об'єкті, при якій регульований параметр дорівнює заданому значенню  $X_3$ .

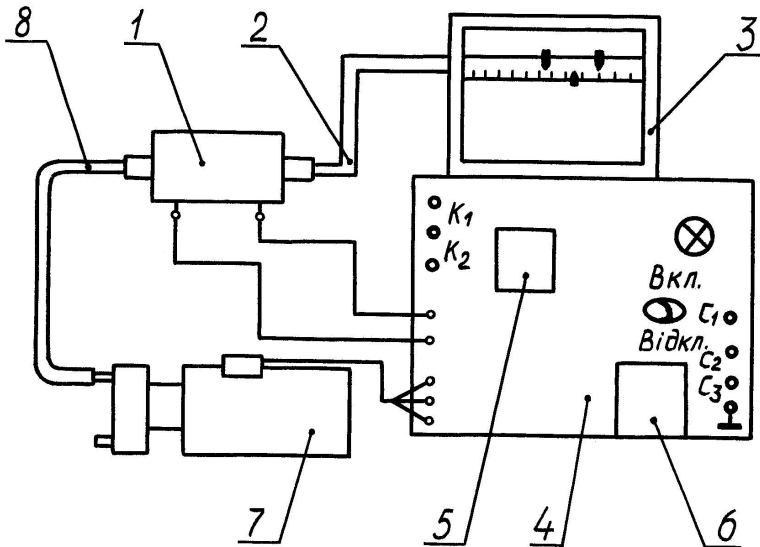
У тому разі, коли не потрібно високої точності регулювання, використовується режим «увімкнено-вимкнено», при якому  $N_2 = 0$ , а  $N_1$  дорівнює максимальному припливу.

Для скорочення часу розгону необхідно підтримувати більший приплив енергії чи речовини, що значно відрізняється від номінального. Тому двопозиційні регулятори не дають одержати точну підтримку заданого значення регульованого параметра. За інших рівних умов об'єкти регулювання великої ємності та з високою схильністю до самовирівнювання характеризуються меншим коливанням регульованого параметра.

У трипозиційних регуляторах, коли регульовальний орган може займати три положення, передбачена можливість використання більших припливів  $N_1$  для швидкого виведення об'єкта на заданий режим (перша позиція) і наступного переходу на номінальний приплив  $N_{НОМ}$  (друга позиція), що лежить в інтервалі  $N_2 < N_{НОМ} < N_1$ , і підтримується значення регульованого параметра близько до  $X_3$ . Третя позиція, наприклад, вимкнена. Завдяки цьому трипозиційні регулятори здатні забезпечувати якісніше регулювання, ніж двопозиційні.

### **Опис лабораторної установки**

Об'єктом регулювання лабораторної установки є електрична трубчаста піч 1 (рис. 1.19.2). Регульованим параметром є температура, що вимірюється хромель-алюмелевим термоелектричним термометром 2 та автоматичним потенціометром 3, змонтованим позиційним обладнанням. Для складання системи автоматичного регулятора використовується стенд 4 з розташованими на ньому клемними затискачами, реле 5 та магнітним пускачем 6. Стенд комплектується набором монтажних дротів. Для подачі в піч охолодженого повітря використовується повітродувка 7. Повітря подається в робочу зону печі через трубку 8.



1 – піч; 2 – термометр; 3 – потенціометр; 4 – стенд; 5 – реле; 6 – пускач;  
7 – повітродувка; 8 – трубка

Рисунок 1.19.2 – Лабораторна установка

### Визначення динамічних характеристик об'єкта регулювання

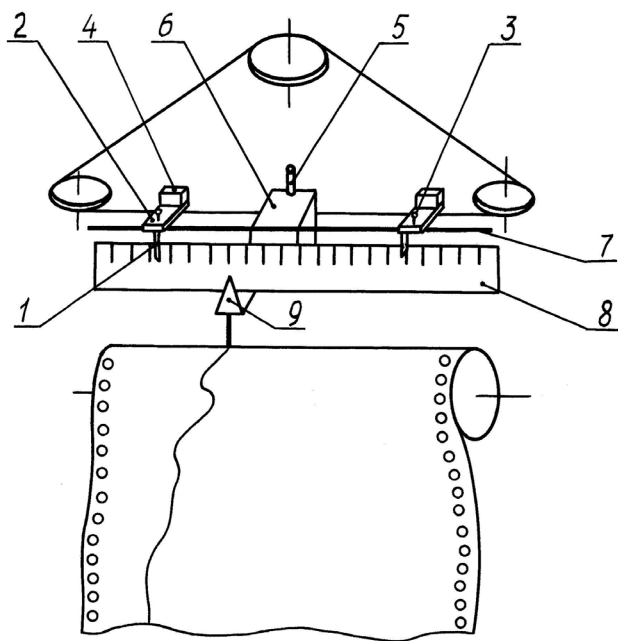
Запис кривої розгону здійснюється самописним автоматичним потенціометром. Для одержання ступінчастої зміни припливу електронагрівальна піч підключається до мережі через автотрансформатор, який змінюватиме напругу живлення від 0 до 250 В.

### Позиційний регулювальний пристрій

Автоматичний потенціометр має вмонтований позиційний регулювальний пристрій (рис. 1.19.3).

Регулювальний пристрій розташовується у верхній частині кронштейна і складається з двох скоб 2 з мікровимикачами 4 та покажчиком задання 1. Скоби з мікровимикачами можуть переміщуватися вздовж шкали 8 по напрямних 7.

Положення скоб фіксується стопорними гвинтами 3. Значення заданої температури вказується на шкалі покажчиком відповідного позиційного пристрою.



- 1 – покажчик задання; 2 – скоба; 3 – стопорний гвинт;  
 4 – мікрореле; 5 – упор; 6 – каретка; 7 – напрямний; 8 – шкала;  
 9 – покажчик температури

Рисунок 1.19.3 – Регулювальний пристрій

При вимірюванні температури каретка 6 з покажчиком температури 9 переміщуються вздовж шкали. При збігу покажчиків позиційного пристрою та поточного значення температури упор 5, вставлений на каретці, натискає через важіль на мікрореле, перемикаючи його контакти. Одержаний сигнал використовується для керування нагрівником печі.

## Двопозиційне регулювання

Для двопозиційного регулювання використовують один позиційний пристрій – лівий.

Електрична схема двопозиційного регулятора показана на рис. 1.19.4. Якщо поточне значення температури в регульованому об'єкті менше заданого, то показчик температури потенціометра розташовується зліва від позиційного пристрою, контакти мікровимикача  $K1$  замкнені, обмотка проміжного реле  $KL$  знаходиться під струмом, реле спрацьовує і своїми робочими контактами замикає коло живлення нагрівника печі. У міру підвищення температури печі каретка з показчиком температури переміщується вздовж шкали  $I$ . Коли задане та поточне значення температури збігатимуться, під дією упору на каретці спрацьовує мікровимикач позиційного пристрою.

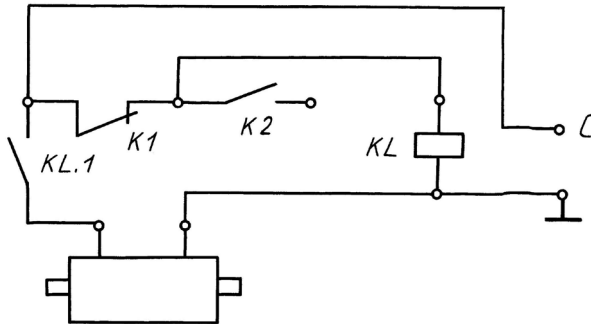


Рисунок 1.19.4 – Електрична схема двопозиційного регулятора

Контакти  $K1$  розмикаються, реле  $KL$  відпускає, розмикає свої контакти  $KL.1$ , нагрівник печі вимикається від джерела живлення.

При охолодженні печі перемикання електричних кіл здійснюється у зворотному порядку, нагрівник печі знову підключається до мережі та процес повторюється.

## Трипозиційне регулювання

Для здійснення трипозиційного регулювання використовуються обидва позиційні пристрої. Лівий позиційний пристрій встановлюється на мінімальне значення заданої температури  $t_{min}$ , а правий – на максимальне  $t_{max}$ . Відстань між показниками позиційних пристроїв визначає температурний інтервал, у якому підтримується температура печі.

Електрична схема трипозиційного регулятора представлена на рис. 1.19.5.

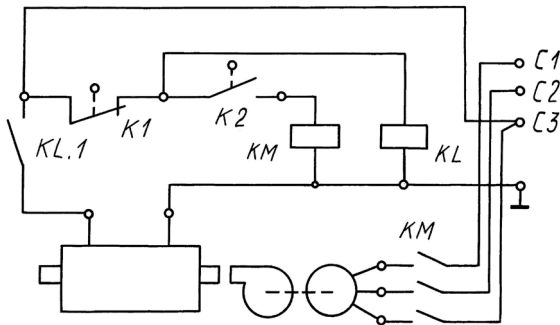


Рисунок 1.19.5 – Електрична схема трипозиційного регулятора

Якщо температура печі нижча за мінімальну задану, то схеми працюють як описано в пункті «Двопозиційне регулювання». При перевищенні  $t_{min}$  контакт  $K1$  розмикається, реле  $KL$  вимикається, його контакти  $KL.1$  розмикаються, а контакт  $KL.2$  замикається. Нагрівник печі переключується на знижену напругу живлення. Приплив енергії до об'єкта регулювання знижується. Якщо температура в печі і далі зростатиме й перевищуватиме максимальне значення  $t_{max}$ , то замикається контакт  $K2$  і вмикається магнітний пускач  $KM.1$ , який контактом  $KM.1$  розмикає ланцюг живлення нагрівника, а контактами  $KM.2$  вмикає електродвигун повітродувки, що подає охолоджене повітря до робочого простору печі. При зниженні температури перемикання електричних ланцюгів відбувається у зворотному порядку і процес повторюється.

## Порядок виконання роботи

### Завдання 1. Дослідження об'єкта регулювання

1. Скласти електричну схему згідно з рис. 1.19.6.
2. Увімкнути самописний потенціометр та записати початкову температуру на діаграмній стрічці.
3. Встановити автотрансформатором вихідну напругу на рівні 30-50 % номінальної (220 В) та увімкнути живлення.

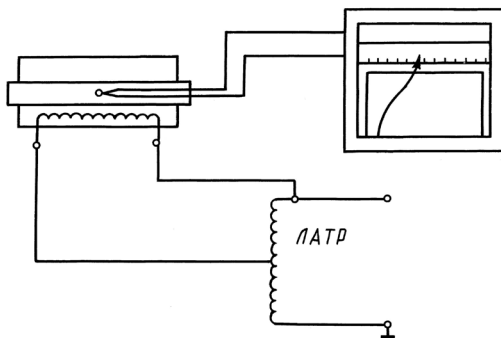


Рисунок 1.19.6 – Схема підключення печі

4. Записати криву розгону до стабілізації температури в печі. Для одержання повних даних можна записати кілька кривих розгону при ступінчастій зміні напруги (при збільшенні та зменшенні).

### Завдання 2. Дослідження двопозиційного регулятора

1. Опанувати електричну схему двопозиційного регулятора.
2. Скласти схему регулювання згідно з рис. 1.19.4.
3. Встановити температуру позиційним пристроєм.
4. Увімкнути систему і записати динаміку процесу регулювання та одержання стабільного режиму роботи.

### Завдання 3. Дослідження трипозиційного регулятора

1. Опанувати електричну схему трипозиційного регулятора.
2. Скласти схему регулювання згідно з рис. 1.19.5.

3. Задати температуру: мінімальну – на  $30...50^{\circ}$  нижче за потрібну, максимальну – відповідно до заданої.

4. Увімкнути систему та записати динаміку процесу регулювання до стабілізації режиму.

### **Обробка результатів**

Одержані криві розгону і зміни температури при дво- та трипозиційному регулюванні перенести з діаграмної стрічки в протокол 1.

Визначити характеристики об'єкта регулювання (повне запізнювання  $\tau_{\text{п}}$ , сталу часу  $T$ , ступінь самовирівнювання  $\rho$ , швидкість розгону  $\epsilon$ ) і якість процесів регулювання (інтервал зміни температури).

Порівняти показники дво- та трипозиційного регулювання.

### **Література**

1. Енциклопедія кібернетики [Текст]: в 2-х т. / Ред. кол.: В. М. Глушков–К.: Головна редакція УРЕ, 1973. – 572 с.

2. Основы автоматического регулирования и управления [Текст]: учеб. пособие для студ. неэлектротехн. спец. вузов / Л. И. Круги и др.; под ред. В. М. Пономарева, А. П. Литвинова. – М.: Высшая школа, 1974. – 439 с.

3. Алгоритмы и системы управления технологическими процессами в машиностроении [Текст]: сб. науч. тр. / редкол.: В. Н. Михелькевич и др. – Куйбышев: КПТИ, 1986. – 165 с.

## **Лабораторна робота № 1.20. АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ**

### **Мета роботи:**

1. Опрацювати методику побудови автоматичних систем управління у функції шляху та часу.
2. Набути навичок складання електричних схем автоматичного управління та випробування їхньої дії.

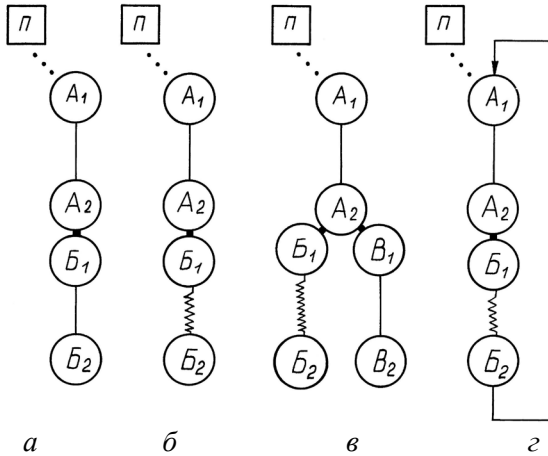
### **Загальні відомості**

Автоматичні системи управління використовуються для виконання технологічних процесів через вмикання та вимикання в заданій послідовності виконавчих механізмів, які приводять у дію робочі органи устаткування.

За своєю структурою автоматичні системи керування, на відміну від автоматичних систем регулювання, належать до розімкнених систем. Управління операціями, що становлять технологічний процес в автоматичних системах, може здійснюватися за принципом вимірювання часу (часові операції), необхідного для виконання цієї операції, або за ступенем їхньої готовності (рефлексні операції). Структура системи управління складається з елемента керування, що подає команду на ввімкнення (початок) операції або зміну режиму роботи проміжного елемента, який реагує на пусковий сигнал і приводить у дію виконавчий механізм, виконуючи функцію перемикача або розподілу сигналів, логічних функцій тощо, датчика для визначення моменту вимкнення (закінчення) операції.

Для часових операцій таким датчиком служить реле часу, а для рефлексних операцій – пристрій, який визначає їхню готовність (наприклад, кінцевий вимикач, реле швидкості, термореле тощо). При керуванні послідовністю операцій елемент, що визначає закінчення попередньої операції, може видавати команду вмикання наступної операції, тобто поєднувати функції керуючого та кінцевого елементів.

Вид операції, як-от характер зв'язку між її початком та припиненням, може бути зображений графічно за допомогою умовних позначень, а алгоритм роботи системи автоматичного управління сукупності операцій – за допомогою схем автоматизації (рис. 1.20.1).



*а-в* – послідовні операції (ланцюгова схема);  
*г* – послідовні операції, що розгалужуються;

... – неавтоматичний (ручний) пуск; \_\_\_\_\_ – рефлексна операція;

• перехідний зв'язок;  $A_1$  – початок операції;  $A_2$  – кінець операції

Рисунок 1.20.1 – Схеми автоматизації

Якщо різні технологічні процеси відображаються однаковими схемами автоматизації, то електричні схеми управління ними будуть аналогічні.

В електричних системах автоматичного управління як елементи керування використовуються кнопки управління, перемикачі, кінцеві вимикачі та інші релейні чутливі пристрої. Проміжними елементами є реле, магнітні пускачі, контактори, логічні елементи тощо. Виконавчі механізми – це двигуни різного типу, тягові електромагніти тощо.

Для складання систем автоматичного управління використовуються релейно-контактні прилади та логічні безконтактні елементи.

Контакти керування за функціональною дією поділяють на:

- пускові короткочасної дії (ПК);
- пускові довготривалої дії (ПД);
- зупинені короткочасної дії (ЗК);
- зупинені довготривалої дії (ЗД);
- комбіновані – пуск-зупинка (ПЗ).

Контакти короткочасної дії здійснюють команду (замикаються ПК або розмикаються ЗК) одночасно з початком робочого ходу та переривають команду до закінчення робочого ходу.

Контакти довготривалої дії подають команду, початок якої збігається з початком робочого ходу, а кінець – із закінченням робочого ходу. Контакт ПЗ подає команди, що за тривалістю збігаються з робочим ходом.

З цих п'яти основних контактів можна скласти чотири типові схеми управління проміжними та виконавчими елементами (рис. 1.20.2).

Схема *а* (рис. 1.20.2) має один контакт управління ПЗ (проміжний елемент *X* увімкнено, якщо контакт ПЗ замкнено, та вимкнено, якщо контакт ПЗ розімкнено, тобто елемент *X* повторює дію контакту).

За схемою *б* при замиканні ПД вмикається *X*, а вимикання виконавчого елемента здійснюється за активізації ЗД.

Схема *в* вмикає *X* при короткочасному замиканні ПК, далі елемент *X* за допомогою свого контакту *X* стає на саможивлення (функція пам'яті). Вимикання *X* здійснюється контактом ЗД.

Схема *г* використовує два контакти короткочасної дії: пусковий ПК та зупинений ЗК, паралельно ввімкнені. Контакт ПК використовується для вмикання *X*, а контакт ЗК – для вимикання *X*.

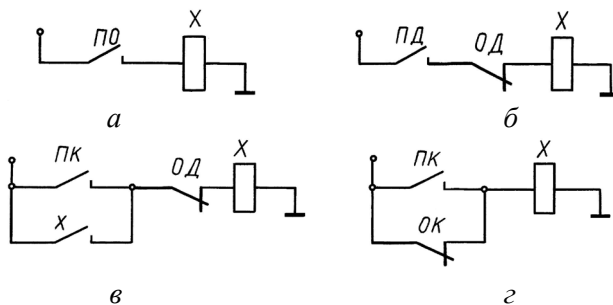


Рисунок 1.20.2 – Типові схеми управління та циклограми роботи елементів

Комбінуючи зазначені чотири типові схеми, можна скласти рівні паралельно-послідовні контактні схеми керування.

Для створення нескладних схем систем управління використовують так званий інтуїтивний метод. Алгоритм розробки схеми починається з визначення всіх необхідних елементів: керуючих, проміжних та виконавчих. Технологічний процес розбивається на елементарні операції, визначається її вид (часова, рефлексна або ручна) та призначаються конкретні типи елементів, які мають реагувати на команди персоналу та контролювати положення окремих механізмів, стану технологічного об'єкта тощо. Потім складається схема автоматизації для визначення електричних ланцюгів між елементами системи. Для цього важливо правильно визначити типи контактів керування, тобто тривалість їхньої дії та успішне використання типових схем. При складанні електричних схем управління їх розділяють на керувальну (малопотужну) та силову (потужну). До схеми керування вмикають чутливі, керуючі та проміжні елементи, до силової – виконавчі механізми. Зв'язок між керувальною та силовою схемами здійснюється проміжними елементами, реагуючий орган яких (наприклад, обмотка контактора) вмикається в ланцюги керування, а виконавчі контакти – до силових ланцюгів.

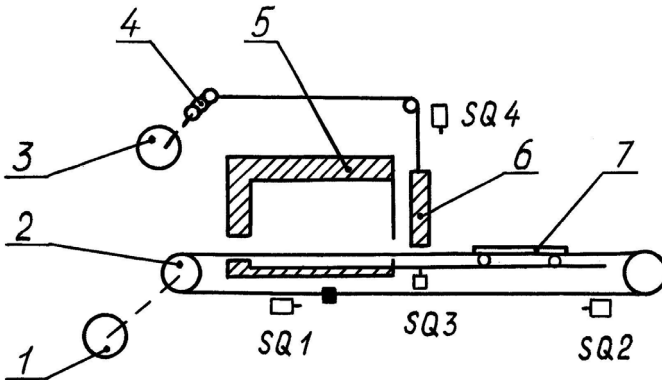
Після закінчення проектування схем проводиться аналіз на нестачу ланцюгів короткого замикання за будь-яких положень механізмів і дій операторів, забезпечення систем автоматичного захисту та випробування.

### **Лабораторне обладнання**

Виконання лабораторної роботи проводиться на лабораторному стенді, обладнаному необхідною апаратурою: електромагнітними реле, реле часу, кнопками пуску та зупинки, клемами для підключення живлення та комплектом монтажних дротів. Для моделювання операцій, які підлягають управлінню, використовуються сигнальні лампочки, позначені літерами А, Б, В тощо.

## Діюча модель автоматизованої сушки

Модель, представлена на рис. 1.20.3, складається з електричної камерної сушки 5 з електричним нагрівачем опору, рухомого візка 7, який приводиться в дію двигуном 1 за допомогою лебідки 2. Дверцята сушки 6 переміщуються двигуном 4 та лебідкою 3. Положення візка та дверцят контролюється кінцевими вимикачами.



1, 4 – двигун; 2, 3 – лебідка; 5 – камерна сушка;  
6 – дверцята сушки; 7 – рухомий візок  
Рисунок 1.20.3 – Схема автоматизованої сушки

## Порядок виконання лабораторної роботи

### Завдання 1. Розробка системи управління за заданою схемою автоматизації

1. Одержати у викладача завдання у вигляді схеми автоматизації.
2. Опрацювати надані електричні засоби, визначити їхні параметри та способи підключення до електричних ланцюгів.
3. Спроекувати електричну схему управління та перевірити її у викладача.
4. Після затвердження електричної схеми керування скласти її макет на стенді та випробувати.

**Завдання 2. Дослідження роботи системи управління автоматизованою установкою**

1. Дослідити будову та роботу моделі автоматизованої сушки.

2. Випробувати роботу моделі в різних режимах (при різних положеннях візка та дверцят).

3. Визначити види операцій, які виконуються в автоматичному режимі, та скласти схему автоматизації.

4. Визначити види автоматичних блокувань та захисту, що застосовані в системі, і запропонувати методи їхньої реалізації.

## **Лабораторна робота № 1.21. ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА НАСТРОЮВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА**

### **Мета роботи:**

1. Дослідити будову та основні функції промислового робота РФ-202М.
2. Набути практичних навичок з розробки, кодування програм управління та обслуговування технологічних процесів ливарного виробництва.

### **Необхідне обладнання:**

- 1) робот промисловий РФ-202М;
- 2) магазин зі стержнями;
- 3) макет ливарної форми.

### **Опис лабораторного стенду**

Стенд, представлений на рис. 1.21.1, складається з робота промислового 1 типу РФ-202М, обладнання керування (ОК) 2 типу СУ-202М, обладнання підготовки повітря (ОПП) 3, балона зі стиснутим повітрям 4, магазину зі стержнями 5 та макета ливарної форми 6.

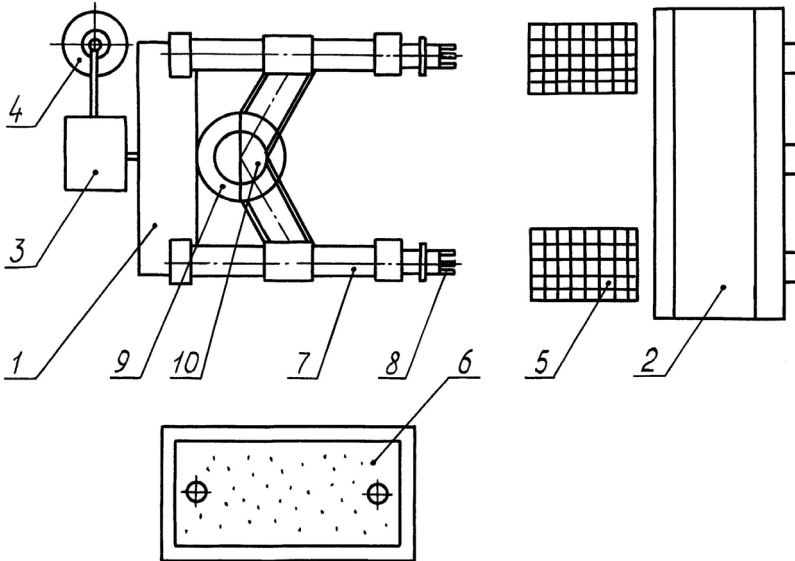
Робот промисловий РФ-202М (РП) містить два модулі горизонтального переміщення (МГП) 7, так звані «руки»; механізми затиску (МЗ) 8; модуль піднімання (МП) 9 і модуль центра повороту (МЦП) 10.

Робот працює при напрузі живлення 220 В, частоті 50 Гц і тиску в пневмосистемі 0,4 – 0,6 МПа (4 – 6 кгс/см<sup>2</sup>).

Вантажопідйомність кожної «руки» не менше ніж 2 Н (0,2 кг), величина лінійного переміщення руки не менше 220 мм, максимальний кут повороту колони відносно своєї осі не менше 120°, величина регулювання 50–120°, величина кутів ротації МЗ 0 – 90° і 0 – 180°.

## Обладнання керування СУ-202М

Обладнання керування розміщується в шафі з верхньою кришкою, що відкидається. На передній стінці шафи є кнопки «Увімкнути» та «Вимкнути», а також «Пуск» і «Стоп» програми.



1 – робот промисловий; 2 – обладнання керування; 3 – обладнання підготовки повітря; 4 – балон зі стиснутим повітрям; 5 – магазин зі стержнями; 6 – макет ливарної форми; 7 – модуль горизонтального переміщення; 8 – механізм затиску; 9 – модуль піднімання; 10 – модуль центра повороту

Рисунок 1.21.1 – Стенд промислового робота РФ-202М

На внутрішній стороні відкидної кришки знаходяться кнопки керування «руками» робота, колоною, а також кнопки для введення команд у пам'ять обладнання керування. Усі кнопки мають мнемонічні знаки.

На верхній кришці ОК розміщено перемикач програм та кнопки для перевірки придатності контрольної батареї, що забезпечує збереження записаних програм у пам'яті ОК при вимиканні РП з мережі.

## Методичні вказівки

Управління переміщенням робота реалізується за попередньо записаною програмою. Програма – це інформація про послідовність кроків (переходів), яку здійснює робот для виконання необхідних операцій.

РП може також забезпечуватися приладом для синхронізації та роботи технологічного обладнання, що подає на нього відповідні команди для виконання цієї програми чи переходу на іншу.

Робот може працювати у двох режимах:

- режим навчання (ручний);
- режим автоматичної роботи.

У режимі навчання проводиться запис програм методом пробних переміщень.

Програма складається з окремих кроків, унаслідок чого може бути здійснено тільки одне переміщення МЗ по кожній координаті від початкового положення, відповідно кінцевому положенню попередніх переходів, до кінцевого, записаного в цьому переході.

В автоматичному режимі здійснюється багаторазове відпрацювання будь-якої програми з раніше записаних на вибір оператора.

### Функціонування робота промислового в режимі навчання

1. Увімкнути подачу повітря під тиском 0,4 – 0,6 МПа.
2. Перевірити придатність контрольної батареї.
3. Увімкнути РП, натиснувши кнопку «Увімкнути» на вузлі електропостачання СУ-202М.
4. При натиснутій кнопці «Стирання» натиснути і відпустити кнопку «Запис» #.
5. Встановити програмний перемикач «Номер програми» в положення 1.
6. Натиснувши кнопку «Навчання», загориться відповідна лампочка та цифра 1 на індикаторі «Номер програми».

7. Вивести МП РП у початкову точку технологічної програми, натиснувши на відкидній кришці ОК відповідні кнопки, що позначають координати РП.

8. Записати координати першої точки, натиснувши і відпустивши кнопку # при натиснутій кнопці «Початок програми».

9. Записати необхідний час витримки МЗ РП у першій точці, натиснувши необхідну кількість разів (від 0 до 9) кнопку «Таймер», яка відповідає витримці від 0 до 9 с при масштабі таймера «1» і від 0 до 4,5 с при масштабі «0,5».

10. Покроково записати технологічну програму, натискаючи відповідні кнопки на панелі ОК та кнопку «Запис» #.

11. Наприкінці навчання при натиснутій кнопці «Кінець програми» натиснути та відпустити кнопку «Запис» #. Останній крок технологічної програми має вивести МЗ у початкову точку програми.

12. У разі потреби запису інших програм встановити перемикач «Номер програми» в положення 2–9, повторити дії, описані в пп. 1–11. Можливий запис 9 різних програм.

### **Функціонування робота промислового в автоматичному режимі**

1. Встановити програмним перемикачем ОК номер потрібної програми.

2. Встановити потрібний масштаб таймера.

3. Натиснувши кнопку автоматичного режиму роботи, загориться лампочка на індикаторі «Номер програми» і висвітлиться номер потрібної програми.

4. При натисканні кнопки «Пуск» автоматично запускається вибрана програма.

5. Щоб перервати програму, необхідно натиснути кнопку «Стоп».

6. Повторний запуск програми здійснюється кнопкою «Пуск».

7. Для виправлення будь-якого кроку натиснути кнопку «Виправлення» (необхідну кількість разів) та продовжувати запис програми.

## Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою та системою керування розробленими програмами промислового робота РФ-202М.

2. Опанувати способи регулювання приладів, які забезпечують точність позиціонування всього робота та його «рук».

3. За завданням викладача скласти, записати в автоматичному режимі та відпрацювати програму установки стержня в ливарну форму. При цьому може варіюватися як положення стержня у формі, так і розташування форми в просторі.

## Література

1. Бусленко В. Наш колега – робот [Текст] / В. Бусленко – М. : Молодая гвардия, 1984. – 222 с.

2. Костюков В. И. Промышленные роботы [Текст] / В. И. Костюков – К. : Вища школа, 1985. – 64 с.

3. Спыну Г. А. Промышленные роботы: Конструирование и применение [Текст] : учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Г. А. Спыну – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1991. – 310 с.

4. Ульяницкий В. Н. Металлургические манипуляторы и роботы [Текст] : учеб. пособие для студ. спец. 17.03 «Металлург. машины и оборудование» / В. Н. Ульяницкий – К. : УМК ВО, 1993. – 140 с.

5. Капустин Н. М. Автоматизация машиностроения [Текст] : учебник для втузов / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. школа, 2003. – 223 с.

## Лабораторна робота № 1.22. ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЛИВАРНИМИ АГРЕГАТАМИ

### Мета роботи:

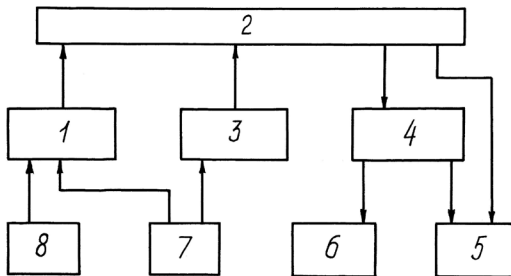
Ознайомитися з конструкцією та принципом дії мікропроцесорної техніки.

### Необхідне обладнання: стенд.

Підвищення якості продукції ливарного виробництва неможливе без застосування досконалих засобів автоматичного дозування, змішування та подачі різних матеріалів до пункту призначення. Такі системи, як правило, виконані засобами сучасних технологій і мають централізовану ієрархічну структуру з двома рівнями управління.

На першому рівні забезпечується приготування суміші з максимальною швидкістю при середньоквадратичній помилці дозування, на другому – виконується завдання розрахунку оптимальної рецептури та контролю її виконання.

Мікрокеруючий виконавчий комплекс (МКВК) управляє процесом і видає всю необхідну оперативну інформацію (рис. 1.22.1).



- 1 – модуль вводу дискретної інформації; 2 – мікропроцесор;
- 3 – модуль вводу ініціативних сигналів;
- 4 – модуль кодового керування з гальванічною розв'язкою;
- 5 – управління мнемосхемою; 6 – механізм управління;
- 7 – сигнальна лампа пульта керування; 8 – і-тий пристрій

Рисунок 1.22.1 – Структурна схема комплексу

Мікропроцесор 2 приймає інформацію через модуль вводу ініціативних сигналів 3, переробляє її та видає сигнал управління на блоки 5, 4, а також після формативних перетворень на дисплей та пристрій друку. Необхідно, щоб виконавчі органи мали або мікропроцесор, або системи, що базуються на логічних елементах.

Логічні елементи – це пристрої дискретного типу, які реалізують елементарні логічні функції в системах управління логічного напрямку, що застосовуються в мікропроцесорній техніці. Вхідні та вихідні сигнали елементів дають тільки два значення, відповідних нулю та одиниці: 1 (Так) і 0 (Ні).

Базовим елементом є елемент «АБО-НІ», що реалізує логічну функцію «інверсія кон'юнкції»:

$$F(z) = a + b + c = a \cdot b \cdot c, \quad (1.22.1)$$

де  $a, b, c$  – відповідно сигнали від кінцевих вимикачів.

Подвійний базовий елемент має дві незалежні схеми «АБО-НІ» та маркується Т-101.

На рис. 1.22.2 показано схему реалізації функцій логічного керування роботою пневмоциліндра на базових логічних елементах типу Т-101. Структурна формула спрацювання реле, а отже, й електромагніта пневматичного клапана, що керує роботою пневмоциліндра, при застосуванні звичайних елементів запишеться так:

$$F(z) = (a \cdot b + z) \cdot \bar{c}, \quad (1.22.2)$$

де  $z$  – блокуючий сигнал реле.

При виконанні базових елементів Т-101:

$$F(z) = \overline{\overline{\overline{\overline{\bar{c} + (\bar{z} + \bar{b} + \bar{a})}}}}}. \quad (1.22.3)$$

У цьому разі значно спрощується комутація, ремонт та експлуатація систем, підвищується їхня надійність.

Отже, ця комірка може використовуватися для управління будь-яким пневмоциліндром в автоматичній системі розподілу формувальної суміші по бункерах, які завантажуються по двох рівнях.

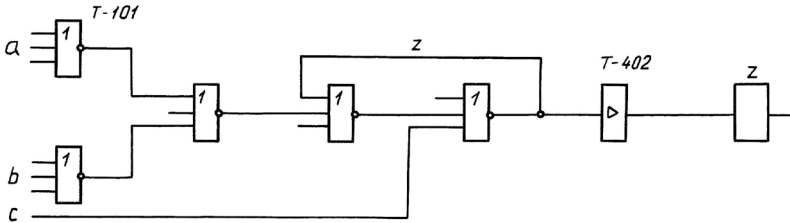


Рисунок 1.22.2 – Схема реалізації функцій логічного керування

На рис. 1.22.3 показаний логічний ланцюжок для керування плужковим скидачем формувальної суміші першого бункера. Кожний бункер має свій ланцюг елементів 5-9 і 15. Останні елементи для всіх ланцюгів є загальними. За такої умови в елементах 10, 13 і 16 має бути стільки входів, скільки бункерів на лінії.

Коли бункери не завантажені і контакти сигналізаторів нижнього рівня розімкнені, примусове завантаження йде по нижньому рівню. Потенційний мінусовий сигнал на виході каналу *K0* дешифратора *ДШ* подається на вхід елементів 5 і 9. На другий вхід елемента 5 сигнал надходить від сигналізатора верхнього рівня.

Сигнал, що з'явився на виході цього елемента, далі не проходить, тому що на елемент 6 «Заборона» подається заборонний сигнал від інвертора 17 (елемент «Заборона» пропускає сигнал на вході *a* тільки тоді, коли на другий вхід *b* сигнал не подається; інакше він як би забороняє проходження сигналу на вході *a*). На другий вхід елемента 9 йде сигнал від інвертора 15, унаслідок чого на його виході також з'являється сигнал, який проходить через елементи «АБО» 7, 10 і 11. Підсилений сигнал підсилувачем 8 подається на реле *P1*, яке спрацьовує, вимикаючи електромагніт плужкового скидача. Останній опускається на стрічку транспортера і починається завантаження першого бункера. Саме тоді сигнал, що з'являється на виході елемента 11, зникає на виході інвертора 12. У результаті цього генератор 1 не працює і, оббігаючи пристрій, який складається з генератора, тригерів 2, 3, 4 і дешифратора, утримує потенціальний сигнал на виході каналу *K0*.

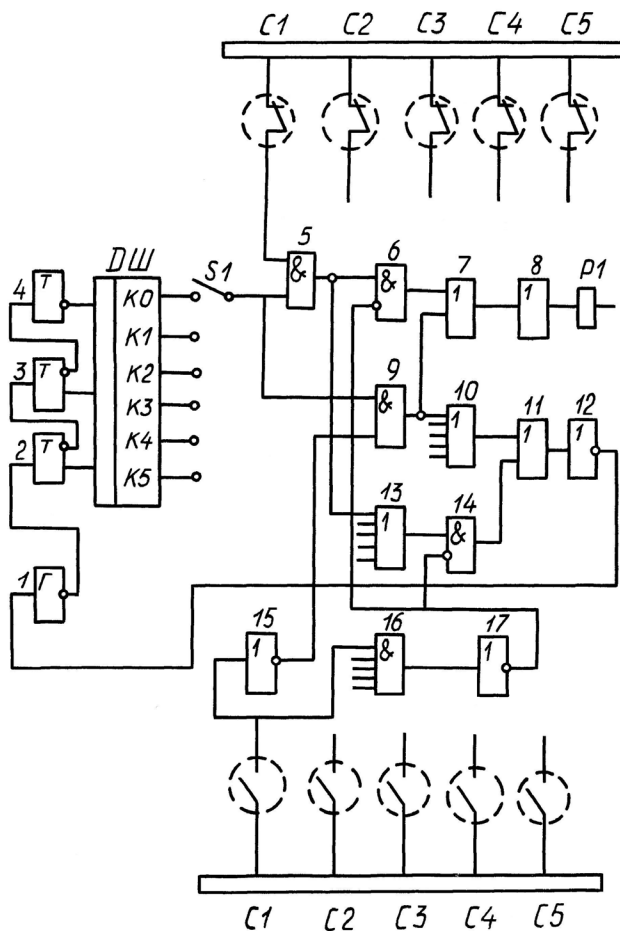


Рисунок 1.22.3 – Схема управління примусово-послідовним завантаженням бункерів

Після завантаження бункера до нижнього рівня замикається контакт реле сигналізатора нижнього рівня, на виході інвертора 12 з'являється мінусовий потенціал, унаслідок чого вмикається в роботу пристрій. Сигнал з'являється на виході каналу K1 і пропадає на виході каналу K0 дешифратора. Якщо

другий бункер не заповнений, то за аналогічною схемою спрацьовує реле  $P2$  і він завантажується. Якщо він заповнений, пристрій оббігаючи послідовно «опитує» наступні бункери і в порожні по черзі подається суміш.

Після заповнення всіх бункерів до нижнього рівня схема автоматично переключається і їх завантажують по верхньому рівню. Сигнал опускання плужка проходить по ланцюжку логічних елементів 5-8, через те що заборона на передачу сигналів з елементів 6 і 14 знімається (на виході елемента 16 є сигнал, на виході інвертора 17 його немає).

Якщо при завантаженні по верхньому рівню з'являється вимога на будь-яке позачергове завантаження бункера, то він заповнюється до нижнього рівня поза чергою (завантаження по верхньому рівню переривається). Збирається ланцюг елементів 15, 9, 7, 8 і реле, бо на елементи 6 і 14 подається заборонний сигнал від інвертора 17 (на його вході сигнал пропадає). Пристрій, «опитуючи», знаходить потрібний бункер, який завантажується до нижнього рівня, а потім система знову переключається на завантаження по верхньому рівню.

Якщо на позачергове завантаження подають запити одразу кілька бункерів, то система заповнює їх по нижньому рівню відповідно до черги їх розташування вздовж стрічки транспортера.

Після заповнення всіх бункерів до верхнього рівня подається команда зупинки приводу транспортера і водночас вмикається аварійна сигналізація. Залишок матеріалу на стрічці скидається в останній бункер, датчик верхнього рівня якого розташований трохи нижче ніж в останніх.

### **Порядок проведення лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з електричною схемою керування примусово-послідовним завантаженням бункерів.
2. Мнемосхему підключити до живлення.
3. При описі роботи висвітлити питання:
  - 3.1. Початкове положення системи при порожніх бункерах.
  - 3.2. Завдяки чому здійснюється послідовне завантаження бункерів?

3.3. Як система переходить на заповнення до верхнього рівня при завантаженні всіх бункерів до нижнього рівня?

3.4. Чому при розподілі по верхніх рівнях подача суміші в заповнені бункери не здійснюється?

3.5. Як проходить «перекидання» схемою заповнення з верхнього на нижній рівень, коли суміш закінчилася?

### Література

1. Немировский Р. Г. Автоматические машины литейного производства [Текст] / Р. Г. Немировский – Киев ; Донецк : Высшая школа, 1981. – 208 с., ил.

2. Промышленные роботы: Внедрение и эффективность [Текст] / К. Ассан, С. Кигагии, Т. Кодзима ; пер. с яп. – М. : Мир, 1987. – 384 с. : ил.

3. Петраков Ю. В. Автоматизация технологических процессов у машиностроения средствами микропроцессорной техники [Текст] : навч. посібник / Ю. В. Петраков, П. П. Мельничук – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 194 с.

## Розділ 2. МЕТАЛУРГІЯ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ

### Лабораторна робота № 2.1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

#### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з основними видами залізної руди та методами її збагачення.
2. Засвоїти будову та принцип дії магнітного сепаратора.
3. Дослідити основні параметри процесу магнітного збагачення залізних руд.
4. Навчитися визначати вміст заліза в руді лінійним та автоматизованим методом.

#### **Матеріали, обладнання та прилади:**

залізна руда, лабораторний магнітний сепаратор, мікроскоп, електронні терези, цифрова фотокамера, прилад для автоматичного визначення вмісту заліза в залізній руді та її складових, комп'ютер, мікрокалькулятор.

#### **Загальні відомості**

Вміст заліза в рудах змінюється в дуже великих межах: від 25 % (бідні руди) до 75 % (багаті руди). Чим менше заліза в руді, і відповідно більше пустої породи, тим менше продуктивність доменної печі, більше витрати палива, вище вартість чавуну. Щоб уникнути цього бідну залізну руду збагачують.

Є декілька способів збагачення руди, але всі вони зводяться до вилучення пустої породи, тобто до збільшення в руді вмісту заліза. Найбільше розповсюдження в чорній металургії отримала магнітна сепарація, що ґрунтується на магнітних властивостях залізних руд. Для цього застосовують спеціальні пристрої – магнітні сепаратори. Принцип дії магнітного сепаратора наведено на рис. 2.1.1.

Руда, що збагачується, транспортерною стрічкою подається на барабан, всередині якого розміщена магнітна система. Під дією потужних електромагнітів частинки попередньо роздрібненої руди притягуються до транспортерної стрічки й відхиляються в бік барабану. Пуста порода падає з транспортерної стрічки за іншою траєкторією. Так, руда розділяється на концентрат і пусту породу.

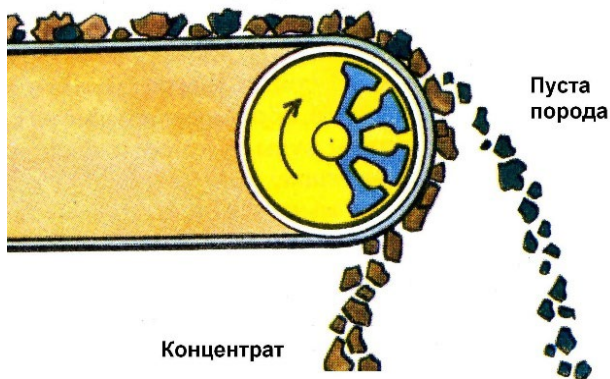


Рисунок 2.1.1 – Принцип роботи магнітного сепаратора

Лабораторний магнітний сепаратор, призначений для сухого збагачення залізних руд, (рис. 2.1.2) складається з пустотілого відомого барабана 1, всередині якого розташована магнітна система з двох постійних магнітів (рис. 2.1.3). Магнітна система є нерухомою й жорстко з'єднана з основою сепаратора 2. Барабан, виготовлений із немагнітної нержавіючої сталі 9Х18Н10Т, обертається навколо магнітної системи. За допомогою гумової транспортерної стрічки 3 барабан з'єднується з ведучим барабаном 4, який обертається за допомогою електродвигуна 5, редуктора 6 і ремінної передачі 7. Швидкість руху транспортерної стрічки регулюється блоком живлення.

У якості залізної руди використовується суміш дрібних частинок оксиду заліза  $Fe_3O_4$  і кварцового піску ( $SiO_2$ ) відповідно 25 % і 75 % за масою.



1 – відомий барабан; 2 – основа сепаратора;  
 3 – гумова транспортерна стрічка; 4 – ведучий барабан;  
 5 – електродвигун; 6 – редуктор; 7 – ремінна передача  
 Рисунок 2.1.2 – Лабораторний магнітний сепаратор

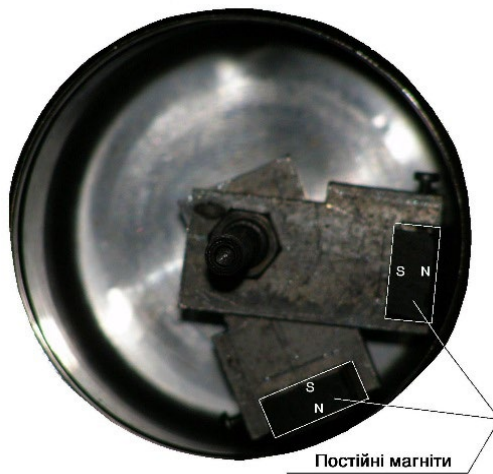
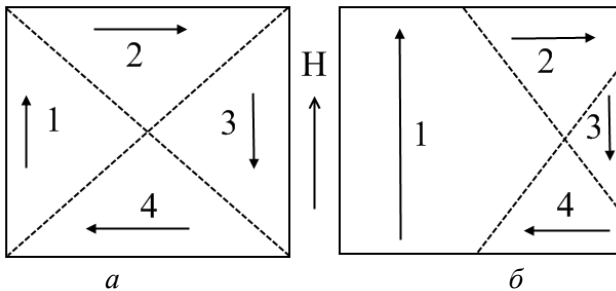


Рисунок 2.1.3 – Магнітна система сепаратора

Принцип дії автоматичного приладу для визначення вмісту заліза в залізній руді та її складових (концентрату й пустої породи) ґрунтується на спроможності взаємодії рудного мінералу із зовнішнім магнітним полем.

Рудний мінерал містить залізо й, отже, є феромагнітним. Він складається з окремих феромагнітних кристалів. Так само кожний феромагнітний кристал складається з певних зон (доменів), які намагнічені до насичення. На рис. 2.1.4, *a* наведена схема феромагнітного кристала, який складається з чотирьох доменів. Стрілкою показано напрями вектору намагніченості кожної зони. Вектори скомпенсовані так, що кристал макроскопічно не намагнічений.

Накладання магнітного поля  $H$  (рис. 2.1.4, *б*) призводить до макроскопічного намагнічування кристала через зсув меж доменів так, що один із них, намагніченість якого спрямована вздовж  $H$ , збільшується внаслідок інших.



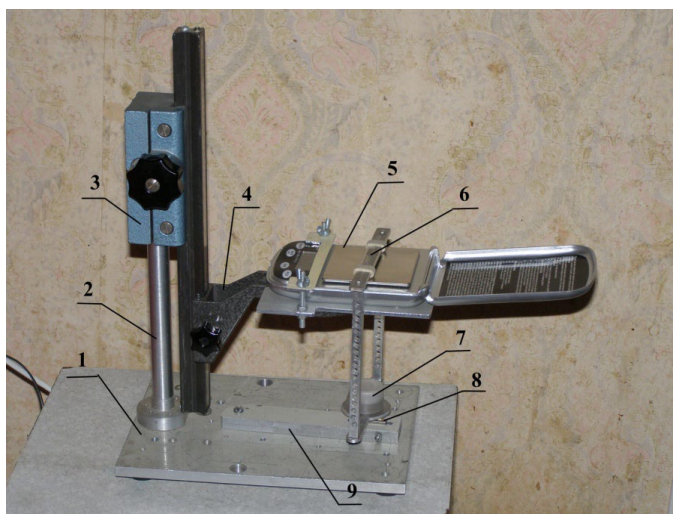
*a* – ненамагнічений стан; *б* – частково намагнічений стан

Рисунок 2.1.4 – Доменна структура заліза

Зовнішнє магнітне поле  $H$  створюється за допомогою магніту. Кристал притягується до магніту з деякою силою  $F$ .

Певна маса залізної руди  $m$  містить  $n$  кристалів феромагнітного рудного мінералу. Вона притягується до магніту із силою  $nF$ . Ця сила пропорційна вмісту заліза в рудному мінералі й досягає максимуму, якщо рудний мінерал – це чисте залізо.

Прилад автоматичного визначення вмісту заліза в залізній руді зображено на рис. 2.1.5. Кремальєрний механізм 3 призначений для налагодження приладу. На кронштейні 4 жорстко закріплені електронні терези 5, призначені для вимірювання сили, з якою постійний магніт 8, виготовлений зі сплаву Fe – Nd – В, притягує контейнер із залізною рудою 7, який розташований на підвісі 6. Залежність сили, з якою магніт 8 притягує контейнер із рудою 7 від вмісту заліза в руді наведено на рис. 2.1.6.



- 1 – підстава; 2 – стійка; 3 – кремальєрний механізм; 4 – кронштейн;  
5 – електронні терези; 6 – підвіс; 7 – контейнер для руди;  
8 – постійний магніт; 9 – важіль

Рисунок 2.1.5 – Прилад автоматичного визначення вмісту заліза в залізній руді

### Методика виконання роботи

За вмістом у земній корі залізо посідає четверте місце після Оксигену, Силіцію й Алюмінію і входить до складу багатьох мінералів і гірських порід. Але не кожна з цих порід може бути використана для отримання заліза. Гірську породу, з якої

доцільно видобувати залізо, називають рудою. Залізні руди складаються з мінералів, які переважно містять залізо, і мінералів, що його не містять, так званої пустої породи. Пуста порода складається з оксидів силіцію, магнію й алюмінію. За вмістом заліза руди поділяють на бідні (Fe = 23 %), умовно бідні (Fe 23 – 45 %), рядові (Fe 45 – 60 %), багаті (Fe = 60 %) і дуже багаті (Fe до 70 %).

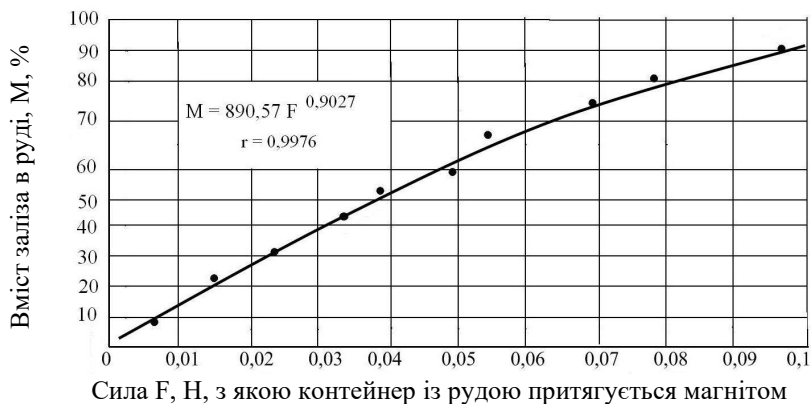


Рисунок 2.1.6 – Залежність сили  $F$ , з якою контейнер із залізною рудою притягується магнітом, від вмісту заліза в руді

Бідні руди перед застосуванням для доменного плавлення треба збагачувати, тобто штучно збільшувати в них вміст заліза. Найпоширенішим методом збагачення залізної руди є магнітна сепарація.

Вміст заліза в руді можна визначити лінійним методом. Для цього під мікроскопом малого збільшення спостерігається залізна руда. Рудний мінерал і пуста порода розрізняються за своїми оптичними характеристиками та формою. Зразок залізної руди фотографується цифровою фотокамерою (рис. 2.1.7). На фотографію наноситься ряд ліній. Штангенциркулем визначається довжина відрізків, які пересікають частинки рудного мінералу.

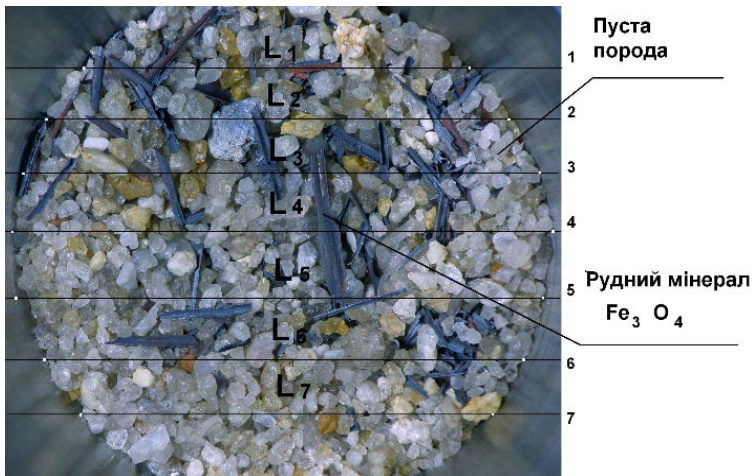


Рисунок 2.1.7 – Вигляд залізної руди під мікроскопом малого збільшення

Згідно з принципом Кавальєрі–Акера співвідношення відрізків прямих, площин і об’ємів тотожні. Отже, відношення об’ємів рудного мінералу і пустої породи можна визначити за допомогою пересічних відрізків за формулою:

$$V_{PM}/V_P = \sum l / \sum L \quad (2.1.1)$$

де  $V_{PM}$  – об’єм рудного мінералу;

$V_P$  – об’єм руди;

$\sum l$  – сумарна довжина відрізків пересічних рудного мінералу;

$\sum L$  – загальна сумарна довжина пересічних.

Об’ємна частка рудного мінералу дорівнює:

$$V_{PM} = (\sum l / \sum L) \quad (2.1.2)$$

Об’ємна частка пустої породи:

$$V_{ПП} = (\sum L - \sum l) / \sum L$$

Масова частка рудного мінералу  $M_{PM}$  дорівнює:

$$M_{PM} = V_{PM} \cdot \rho_{PM} / (V_{PM} \cdot \rho_{PM} + V_{ПП} \cdot \rho_{ПП}) \quad (2.1.3)$$

де  $\rho_{PM}$  і  $\rho_{ПП}$  – густина рудного мінералу й пустої породи відповідно.

Вміст заліза в руді  $M_{Fe}$  дорівнює:

$$M_{Fe} = K_{Fe} \cdot M_{PM} \quad (2.1.4)$$

де  $K_{Fe}$  – коефіцієнт, який дорівнює масовій долі заліза в рудному мінералі у відсотках.

Параметри рудних мінералів заліза й пустої породи, які потрібні для розрахунку масової долі заліза в руді, наведені в табл. 2.1.1.

Таблиця 2.1.1 – Параметри деяких рудних мінералів заліза й пустої породи

Мінерал	Колір	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Вміст заліза, %
Магнетит (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	Темний, чорний	5180	72,4
Гематит (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Червоно-коричневий	4900	70,0
Кварц (SiO <sub>2</sub> )	Білий, жовтуватий	2647	0

Під час виконання лабораторної роботи спочатку треба зважити вихідний зразок залізної руди на електронних терезах. Після цього лінійним методом визначаємо вміст заліза в руді. Зразок руди висипаємо на транспортерну стрічку лабораторного магнітного сепаратора. Вмикаємо джерело живлення електродвигуна і проводимо процес магнітної сепарації руди. Наприкінці цього процесу руда розділяється на дві складові: зі значним і з незначним вмістом рудного мінералу. На електронних терезах зважуємо кожну складову. У кожній із цих складових

визначаємо вміст заліза лінійним методом. За підсумком маси двох складових руди визначаємо масу руди після магнітної сепарації. Визначаємо витрати руди під час магнітної сепарації за формулою:

$$\Delta M = \frac{M_B}{M_K} \cdot 100 \%$$

де  $M_B$  – вихідна маса руди;

$M_K$  – кінцева маса руди.

### Порядок виконання роботи

1. Опрацювати методичні вказівки.
2. Зважити зразок залізної руди.
3. Дослідити зразок залізної руди під мікроскопом малого збільшення.
4. Сфотографувати вихідний зразок руди цифровою фотокамерою.
5. Розмістити зразок руди на транспортерній стрічці магнітного сепаратора.
6. Увімкнути двигун магнітного сепаратора та сепарувати зразок руди.
7. Зважити складові залізної руди після магнітної сепарації.
8. Сфотографувати цифровою фотокамерою складові залізної руди після магнітної сепарації.
9. Лінійним методом визначити вміст заліза у вихідному зразку руди та в складових після магнітної сепарації.
10. Визначити невідновлювані втрати руди під час магнітної сепарації.
11. Результати досліджень оформити у вигляді табл. 2.1.2.
12. Зважити 1 г вихідної руди, концентрату, пустої породи й чистого заліза.
13. Заповнити контейнер 1 г чистого заліза.
14. Встановити контейнер на підвіску, а останню – на платформу електронних терезів.
15. Увімкнути електронні терези і дочекатися встановлення на табло 0,00.

Таблиця 2.1.2. – Результати досліджень

Початкова маса руди	Маса після сепарації		Втрати руди, %	Вміст заліза, %		
	перша складова	друга складова		вихідна руда	перша складова	друга складова
Автоматичний метод						

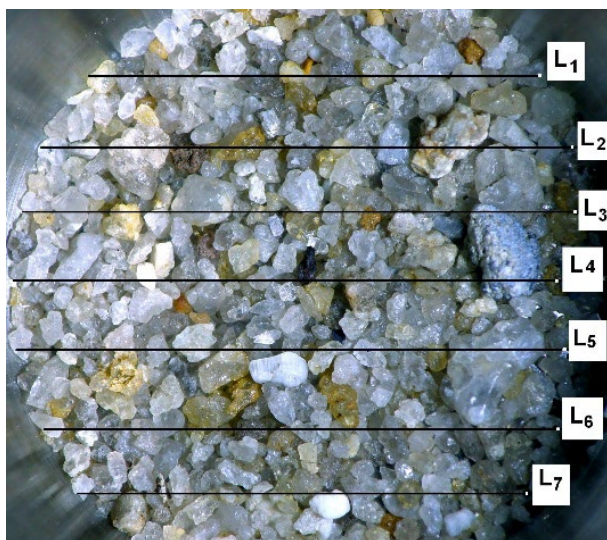
16. За допомогою важеля підвести магніт під контейнер.
17. Кремальєрного пристрою встановити на табло 9,70.
18. Вимкнути електронні терези та важелем відвести магніт від контейнера.
19. Заповнити контейнер вихідною рудою й увімкнути електронні терези.
20. За допомогою важеля підвести магніт під контейнер і відрахувати показник на табло.
21. За рівнянням (2.1.4) та табл. 2.1.5 визначають залежність сили взаємодії магніту й руди від вмісту заліза у вихідній руді.
22. Пункти 18-21 повторити для зразків концентрату й пустої породи.
23. Результати досліджень оформити у вигляді табл. 2.1.2.
24. Зробити висновки.

### **Приклад визначення вмісту заліза в залізній руді лінійним методом**

На фотографії вихідної залізної руди (рис. 2.1.7), а також на фотографіях першої та другої складової після магнітної сепарації (рис. 2.1.8, *a* і *б* відповідно) нанесено 7 ліній. Штангенциркулем або лінійкою вимірюємо довжину кожної з цих ліній, результати замірів заносимо в табл. 2.1.3.



*a*



*б*

*a* – перша складова руди; *б* – друга складова руди  
Рисунок 2.1.8 – Фотографії складових залізної руди  
після магнітної сепарації

Таблиця 2.1.3 – Результати вимірювань довжини пересічних ліній

№ лінії	Довжина пересічних ліній, мм		
	вихідна руда	руда після магнітної сепарації	
		перша складова	друга складова
1	80,69	70,90	78,5
2	97,20	89,19	90,40
3	109,26	92,38,	95,41
4	114,57	88,18	97,47
5	111,43	90,37	95,44
6	101,19	75,41	89,93
7	86,98	64,62	78,96
	$\sum L = 701,32$	$\sum L = 571,05$	$\sum L = 626,11$

Визначаємо довжину кожного відрізьку пересічних ліній, обмежену краями частинок рудного мінералу для рис. 2.1.7 і рис. 2.1.8, б, частинок пустої породи для рис. 2.1.8, а і підраховуємо загальну довжину всіх відрізьків  $\sum l_{PM}$ .

Наприклад, для рис. 2.1.7 довжина відрізьків пересічних рудного мінералу наведена в табл. 2.1.4.

Таблиця 2.1.4 – Результати вимірювань довжини відрізьків пересічних ліній для рудного мінералу залізної руди

№	$l$ , мм	№	$l$ , мм	№	$l$ , мм	№	$l$ , мм
1	2,62	7	2,37	13	3,57	19	2,85
2	4,75	8	1,75	14	2,96	20	3,28
3	3,57	9	3,18	15	4,75	21	3,50
4	3,32	10	2,69	16	6,58	22	7,73
5	4,93	11	3,21	17	2,16		
6	2,38	12	2,53	18	2,88		
$\sum l_{PM} = 77.55$ мм							

Відповідно сумарна довжина відрізьків, обмежених краями частинок пустої породи:

$$\sum_{III} = \sum L - \sum l_{PM} = 701.32 - 77.55 = 623.77 \text{ мм}$$

Визначаємо об'ємну долю рудного мінералу:

$$V_{PM} = 77.5 / 701.32 = 0.11$$

Визначаємо об'ємну долю пустої породи:

$$V_{III} = 623.77 / 701.32 = 0.889$$

За формулою (2.1.4) розраховуємо вміст заліза в руді.

Визначаємо масову долю рудного мінералу:

$$M_{PM} = 0,11 \cdot 5180 / (0,11 \cdot 5180 + 0,889 \cdot 2647) = 0.195$$

Визначаємо масову долю заліза у вихідній руді:

$$M_{Fe} = 72.4 \cdot 0.195 = 14.11 \%$$

Аналогічно визначаємо вміст заліза в першій і другій складовій залізної руди після магнітної сепарації.

Таблиця 2.1.5 – Залежність вмісту заліза в руді від сили  $F$ , з якою контейнер із рудою притягується до магніту

$F$ , Н	$M$ , %	$F$ , Н	$M$ , %	$F$ , Н	$M$ , %	$F$ , Н	$M$ , %	$F$ , Н	$M$ , %
0,0005	1	0,0158	21	0,0330	41	0,0511	61	0,0699	81
0,0012	2	0,0166	22	0,0339	42	0,0521	62	0,0709	82
0,0018	3	0,0174	23	0,0348	43	0,0530	63	0,0718	83
0,0025	4	0,0183	24	0,0357	44	0,0539	64	0,0728	84
0,0032	5	0,0191	25	0,0366	45	0,0548	65	0,0737	85
0,0040	6	0,0200	26	0,0375	46	0,0558	66	0,0747	86
0,0047	7	0,0208	27	0,0384	47	0,0567	67	0,0757	87
0,0054	8	0,0217	28	0,0393	48	0,0576	68	0,0766	88
0,0062	9	0,0225	29	0,0402	49	0,0586	69	0,0776	89
0,0070	10	0,0234	30	0,0411	50	0,0595	70	0,0785	90
0,0077	11	0,0242	31	0,0420	51	0,0605	71	0,0795	91

Продовження таблиці 2.1.5.

<i>F</i> , Н	<i>M</i> , %	<i>F</i> , Н	<i>M</i> , %	<i>F</i> , Н	<i>M</i> , %	<i>F</i> , Н	<i>M</i> , %	<i>F</i> , Н	<i>M</i> , %
0,0085	12	0,0251	32	0,0429	52	0,0614	72	0,0805	92
0,0093	13	0,0260	33	0,0430	53	0,0623	73	0,0814	93
0,0101	14	0,0268	34	0,0447	54	0,0633	74	0,0824	94
0,0109	15	0,0277	35	0,0456	55	0,0642	75	0,0834	95
0,0117	16	0,0286	36	0,0465	56	0,0652	76	0,0843	96
0,0125	17	0,0295	37	0,0474	57	0,0661	77	0,0853	97
0,0133	18	0,0303	38	0,0484	58	0,0671	78	0,0863	98
0,0141	19	0,0312	39	0,0493	59	0,0680	79	0,0872	99
0,0149	20	0,0321	40	0,0502	60	0,0690	80	0,0882	100

## **Лабораторна робота № 2.2. ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЯКІСНОЇ СТАЛІ СПЕЦІАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ ПЕРЕПЛАВЛЕННЯ**

### **Мета роботи:**

1. Засвоїти основні принципи й особливості деяких засобів спеціальної електromеталургії, а саме: електрошлакового переплавлення, вакуумно-дугового переплавлення, електронно-променевого переплавлення.
2. Ознайомитися з установками електрошлакового й електронно-променевого переплавлення.
3. Практично здійснити електрошлакове переплавлення сталі.

### **Матеріали та обладнання:**

Витратний електрод зі сталі 20. Флюс для електрошлакового переплавлення АНФ-6. Установка для електрошлакового переплавлення А-550. Установка для електронно-променевого переплавлення У-270. Металографічний мікроскоп.

### **Загальні відомості**

Основним завданням спеціальної електromеталургії є суттєве підвищення якості металів і сплавів, надання їм нових властивостей з одночасним зменшенням шкідливого впливу металургійного виробництва на довкілля.

Традиційний процес отримання якісного зливка можна поділити на дві стадії: перша – отримання рідкого металу певного хімічного складу і якості; друга – кристалізація в умовах, які забезпечують формування зливка щільної структури, фізично й хімічно однорідного, з високою якістю поверхні.

Лише поява такої цілком нової металургійної галузі, як спеціальна електromеталургія, дала змогу комплексно об'єднати ці дві стадії. Спільною ознакою всіх процесів спеціальної електromеталургії є послідовне рафінувальне переплавлення металу, та його поступове наплавлення у водоохолоджуваній кристалізатор, що забезпечує спрямовану кристалізацію зливка дуже високої якості, у якому практично нема ліквацийних дефектів.

Для спеціальної електromеталургії використовують заготовки заздалегідь отримані звичайними металургійними процесами, а також відходи металообробної промисловості та спрацьовані деталі. Після переплавлення заготовок у металі знижується вміст газів, неметалевих вкраплень і шкідливих домішок. У результаті безперервного підживлення розплаву новими порціями рідкого металу й теплофізичних особливостей кристалізації значно поліпшуються мікро- і макроструктура, усуваються хімічна і фізична неоднорідність зливків.

Засоби спеціальної електromеталургії поділяють на:

- електрошлакову технологію;
- вакуумну металургію;
- плазмову металургію
- електронно-променеву технологію.

Загальні особливості процесів переплавлення – це краплинне перенесення рідкого металу, послідовна спрямована кристалізація у водоохолоджуваному кристалізаторі та електричне джерело теплоти, а відмінність – засоби перетворення електричної енергії на теплову та властивості рафінувальних середовищ (вакуум, шлак, інертний газ).

За сталого режиму переплавлення в певний момент часу рафінується стільки металу, скільки його кристалізується під час формування зливка (рафінування та кристалізація збігаються в часі).

Особливості методів спеціальної металургії наведені в табл. 2.2.1.

Таблиця 2.2.1 – Технологічні особливості методів спеціальної електromеталургії

Показники процесу	Засоби спеціальної електromеталургії			
	вакуумна індукційна плавлення	вакуумне дугове переплавлення	електронно-променеве переплавлення	електрошлакове переплавлення
1	2	3	4	5
Шихтові матеріали	легований або нелегований скрап, феросплави, лігатури		заготовки заданого складу	
Легування	можливе під час плавлення	недоцільне під час плавлення	принципово можливе	неможливе

Продовження таблиці 2.2.1

1	2	3	4	5
Температурний режим	обмежений із боку високих температур, але добре піддається регулюванню	температура дуги висока, регулюванню не піддається	в зоні дії електронного променя температура висока, можливий перегрів шихти	максимальна температура та можливість її регулювання обмежені
Максимальна маса зливка	приблизно 50 т	приблизно 50 т	приблизно 18 т	приблизно 50 т
Поверхня зливка	як при звичайних методах розливки	технічно придатна поверхня	технічно придатна поверхня	дуже гарна
Джерело тепла	струми Фуко	електрична дуга	потік електронів	нагрів опором
Робочий тиск	$10^{-3}$ мм рт. ст.	$10^{-2}$ мм рт. ст.	$10^{-3}$ мм рт. ст. і менше	760 мм рт. ст.
Матеріал тигля, можливість реакцій	керамічний тигель, реакції неминучі	водоохолоджуваний мідний кристалізатор	водоохолоджуваний мідний кристалізатор	водоохолоджуваний мідний кристалізатор
Шлакові реакції	можливі	неможливі	неможливі	є принципом методу
Витрати енергії	4 кВт·год/кг	1 кВт·год/кг	1 – 2 кВт·год/кг	1 кВт·год/ кг
Продуктивність	0,3 – 5 т/год	до 2 т/год	до 1,2 т/год	до 2 т/год
Ефект дегазації	O <sub>2</sub> – обмежено реакцією з тиглем	можливі низькі значення	мінімальні значення	значне зниження внаслідок видалення окисів
	H <sub>2</sub> – приблизно до рівноваги	приблизно до рівноваги	приблизно до рівноваги	не з'ясовано
	N <sub>2</sub> – умовно	залежить від марки сталі	залежить від марки сталі	не з'ясовано

Продовження таблиці 2.2.1

1	2	3	4	5
Ефект випаровування	втрати важких металів на випаровування збільшуються від методу до методу зліва направо. Найбільші втрати при електронно-променевому переплавленні, при цьому досягається й найбільший ефект рафінування шкідливих домішок			практично нема

**Електрошлакове переплавлення (ЕШП)** – це вторинний процес рафінування металів. Він використовується для подальшого очищення металу від шкідливих домішок. У якості вихідного матеріалу застосовується сполосний витратний електрод із первинного металу. Схему електрошлакового переплавлення наведено на рис. 2.2.1.

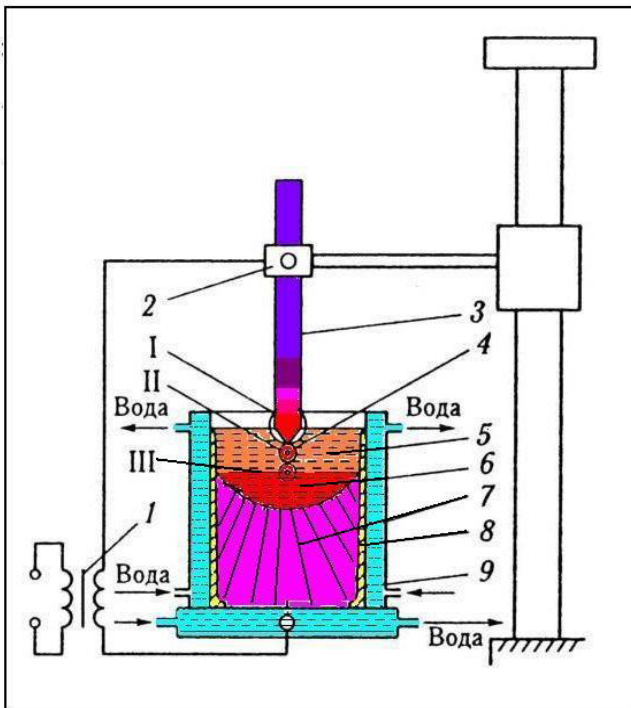


Рисунок 2.2.1 – Схема електрошлакового переплавлення

Торець витратного електрода 3, підключений через трансформатор 1 до джерела електричного струму, розміщується у ванні електропровідного, але в порівнянні з іншими розплавами, значним опором рафінувального шлаку 5. Шлак наводять у водоохолоджуваній металевій виливниці-кристалізаторі 9 розплавленням на початку процесу твердої електропровідної шлакової суміші або заливанням рідкого шлаку, виплавленого в окремій шлакоплавильній печі. Змінний електричний струм проходить від електрода через шлак на мідний водоохолоджуваний піддон. Під впливом теплової дії електричного струму шлак розплавляється й перебуває в рідкому стані.

У процесі електрошлакового переплавлення розрізняють три рафінувальні зони. Зона I міститься на торці електрода, який переплавляється. Плівка рідкого металу з високою концентрацією шкідливих домішок утворюється на торці електрода і стікає з нього. Вона одночасно взаємодіє з рафінувальним шлаком, має значну контактну поверхню поділу й невеликим перегріванням металу над температурою плавлення.

У зоні II відбувається рафінування краплі металу під час її утворення та переміщення від електрода через рафінувальний шлак до ванни рідкого металу. Особливістю цієї зони є короткочасність контакту зі шлаком – 0,5 – 1,0 с.

Зона III – це поверхня ванни рідкого металу, де на поверхні поділу між металом і шлаком спостерігається значне перегрівання та інтенсивне перемішування металу.

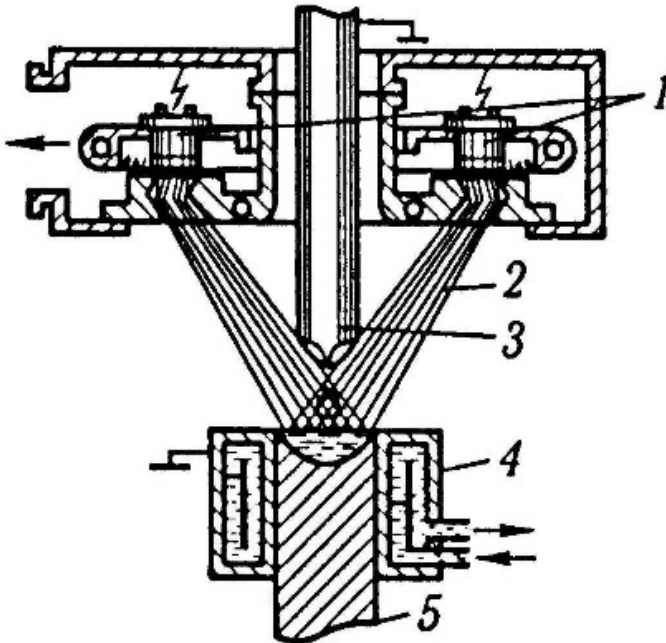
Шлакова ванна при ЕШП виконує роль теплової надставки, що сприяє формуванню щільної спрямованої структури зливка, вільного від усадкової раковини. Шлаковий гарнісаж 8, який утворюється між зливком і стінкою кристалізатора забезпечує чисту поверхню зливка.

**Електронно-променеве переплавлення (ЕПП)** – це вакуумний плавильний технологічний процес, де у якості джерела тепла використовується кінетична енергія спрямованого потоку електронів з енергією 20–40 кВ, яка перетворюється в теплову в разі зіткнення з поверхнею металу. Основними перевагами електронного променя як джерела нагрівання є

можливість плавної зміни температури нагрівання поверхні металу в широкому діапазоні та гнучке регулювання процесу.

При ЕПП формування зливка відбувається в короткому водоохолоджуваному кристалізаторі внаслідок безперервного плавлення металу витратного електрода.

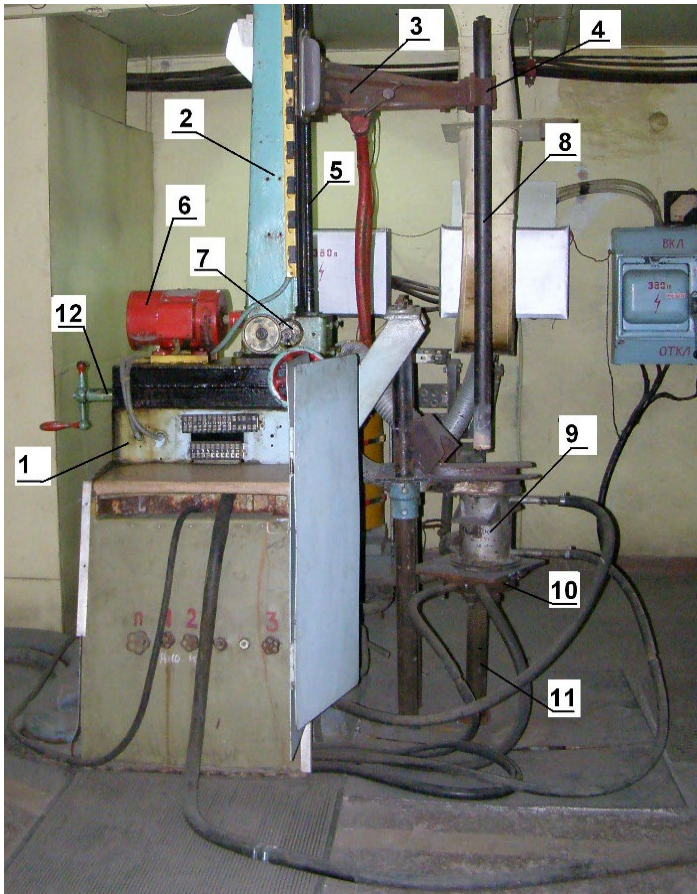
Засіб ЕПП принципово відмінний від інших засобів спеціальної електromеталургії тим, що енергія підводиться не через витратний електрод, а від окремого катода. Під дією скерованого в зону плавлення електронного пучка можна досягнути температури до  $7000^{\circ}\text{C}$ . Це дає змогу виплавляти сплави на основі надтугоплавких металів: вольфраму, молібдену, танталу, ніобію. Схема електронно-променевого переплавлення наведена на рис. 2.2.2.



1 – електронна гармата; 2 – електронний промінь; 3 – витратна заготовка; 4 – водоохолоджуваний кристалізатор; 5 – виліток  
Рисунок 2.2.2 – Схема електронно-променевого переплавлення

У спеціальному пристрої – електронній гарматі 1 відбувається випромінювання і фокусування електронів у щільний пучок – електронний промінь 2, який спрямовано на витратну заготовку 3. Під дією електронного променя торець витратної заготовки плавиться й метал потрапляє у водоохолоджуваний кристалізатор 4, де формується виливок 5. Виливок витягується з кристалізатора. Електронні промені не тільки плавлять витратну заготовку, але й підігрівають ванну рідкого металу. Плавлення проводять за тиску залишкових газів не більше ніж 1 Па. Це забезпечує надійний захист рідкого металу від окислення, утворює сприятливі умови для інтенсивного перебігу процесів дегазації, розкислення і випаровування шкідливих домішок.

Установка для електрошлакового переплавлення А-550 (рис. 2.2.3) складається зі станини 1, на якій закріплено вертикальну колону 2. По колоні у вертикальному напрямку рухається каретка 3 за допомогою електродвигуна постійного струму 6, редуктора 7 і ходового гвинта 5. Каретка несе тримач витратного електроду 4 з витратним електродом 8. Формування зливку відбувається у кристалізаторі 9. Водоохолоджуваний піддон 10 разом з виплавленим зливком рухається відносно кристалізатора за допомогою ходового гвинта 11 з відповідним реверсивним електромеханічним приводом. Супорт 12 призначений для центрування витратного електрода відносно кристалізатора.



1 – станина; 2 – вертикальна колона; 3 – каретка; 4 – тримач витратного електроду; 5 – ходовий гвинт; 6 – електродвигун постійного струму; 7 – редуктор; 8 – витратний електрод; 9 – кристалізатор; 10 – водоохолоджуваний піддон; 11 – ходовий гвинт; 12 – супорт

Рисунок 2.2.3 – Установа електрошлакового переплавлення А-550

Зливки, одержані на установці А-550, наведені на рис. 2.2.4.

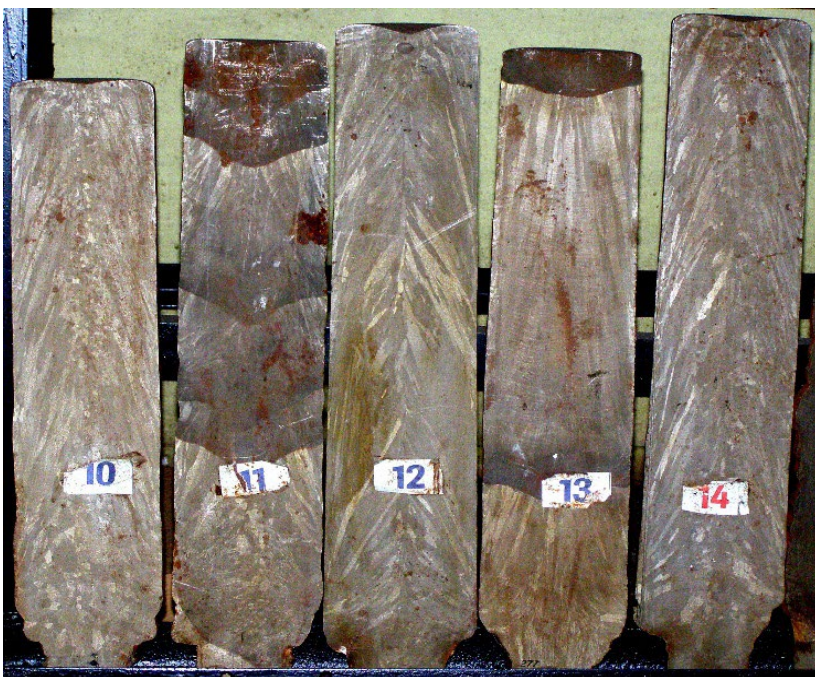


Рисунок 2.2.4 – Зливки електрошлакового металу,  
одержані на установці А-550

Принципова схема установки электронно-променевого переплавлення наведена на рис. 2.2.5. Установка складається з вакуумної камери 1, у якій розташовані електронні гармати 2, мідний водоохолоджуваний кристалізатор 3 і мідний водоохолоджуваний піддон 4. Заготівка 5 з вихідного металу поступово плавиться за допомогою електронних променів, які надходять з електронних гармат. Подання витратної заготівки здійснюється електродвигуном 7. Для рівномірного оплавлення заготівки остання обертається за допомогою електродвигуна 8. Зливок 5 поступово витягується з кристалізатора електромеханічним пристроєм 9.



Для створення вакууму призначена вакуумна система, яка складається з механічних вакуумних насосів, паромасляних дифузійних насосів і вакуумних затворів. Зовнішній вигляд установки У-270 наведений на рис. 2.2.6, вакуумна камера – на рис. 2.2.7, виливок – на рис. 2.2.8.



Рисунок 2.2.6 – Установка для электронно-променевого переплавлення У-270

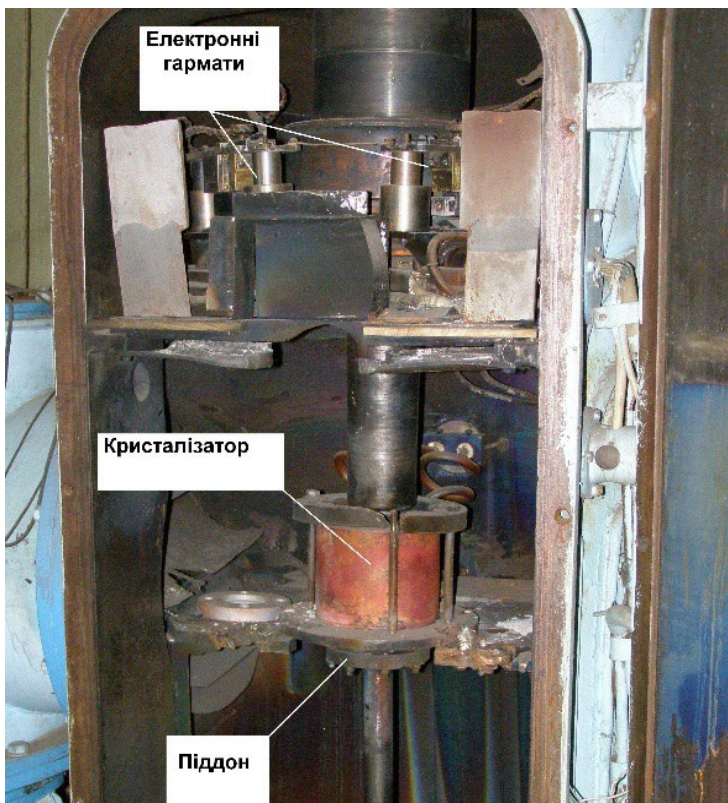


Рисунок 2.2.7 – Вакуумна камера установки ЕШП



Рисунок 2.2.8 – Виливок, одержаний засобом ЕШП

## Порядок виконання роботи

1. За методичними вказівками ознайомитися з основними засобами спеціальної електрометалургії.
2. На принципових схемах і реальних установках для електрошлакового переплавлення й електронно-променевого переплавлення опанувати їх принцип дії та будову.
3. Зважити флюс АНФ-6 і витратний електрод.
4. На мідний піддон встановити пристрій для твердого старту процесу ЕШП.
5. На каретці за допомогою тримачу закріпити витратний електрод.
6. За допомогою електроприводу опустити витратний електрод до зіткнення з пристроєм для твердого старту.
7. Засипати флюс АНФ-6 у кристалізатор.
8. Увімкнути електричний струм і почати процес ЕШП.
9. Після стабілізації робочого току вести плавлення протягом 5 хвилин.
10. Вимкнути електричний струм.
11. Опустити піддон зі зливком і зняти зливком із піддону.
12. Зважити «шапку» робочого флюсу, зливком і залишок витратного електроду.
13. З залишку витратного електроду й одержаного вилівку вирізати зразки та зробити з них металографічні шліфи.
14. На металографічному мікроскопі лінійним методом визначити індекс забрудненості сульфідними вкрапленнями.
15. Визначити ступінь десульфурації в процесі ЕШП.
16. Зробити висновок щодо виконаної лабораторної роботи.

## Контрольні запитання

1. Які основні методи спеціальної електрометалургії застосовують у промисловості?
2. Електрошлакове переплавлення, його переваги й недоліки.
3. Обладнання для електрошлакового переплавлення.
4. Електронно-променевого переплавлення, його переваги та недоліки.
5. Установка У-270, її будова.
6. Основні стадії процесу ЕШП.
7. Як впливає ЕШП на вміст сульфідних вкраплень у сталі?

## **Лабораторна робота № 2.3. ПЛАВЛЕННЯ СТАЛІ В ІНДУКЦІЙНІЙ ЕЛЕКТРОПЕЧІ**

### **Мета роботи:**

1. Засвоїти основні принципи та особливості виплавлення вуглецевої сталі в індукційній електропечі.
2. Практично розрахувати шихту і виплавити вуглецеву сталь в індукційній електропечі.
3. Визначити вміст вуглецю у виплавленій сталі металографічним методом.

### **Матеріали та обладнання:**

Індукційна піч ІСТ–001. Відходи сталі 20. Чавун. Фероманган. Феросиліцій. Алюміній. Ваги для зважування шихти. Ливарна форма. Металографічний мікроскоп. Відеокамера. Монітор. Радіаційний пірометр.

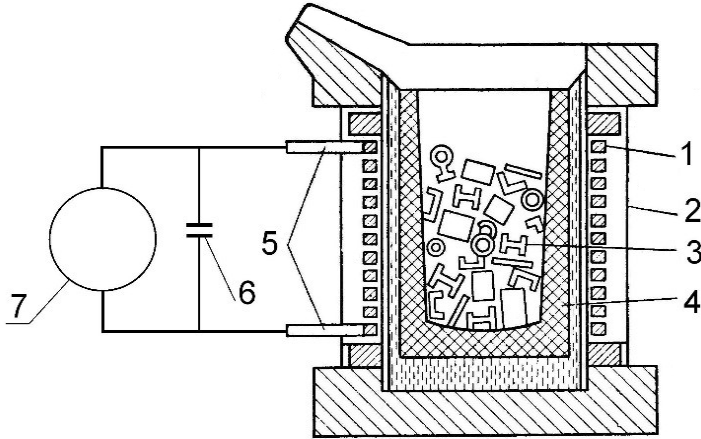
### **Загальні відомості**

Плавлення сталі в індукційних електропечах часто використовується в ливарному виробництві для виготовлення сталевих виливків. Нагрівання та розплавлення шихти відбувається внаслідок тепла, яке виділяється в шихті індукованим у ній струмом.

Схема будови індукційної електропечі наведена на рис. 2.3.1.

Індукційна піч складається з індуктора *1*, кожуха *2*, вогнетривкого тигля *4*, струмопідводів *5*. Електроживлення печі здійснюється за допомогою високочастотного генератора *7*. Конденсаторна батарея *6* призначена для оптимізації електричного режиму печі під час плавлення. Індуктор печі *1* можна розглядати як первинну обмотку трансформатора, шихту *3* – як вторинну.

Змінне електромагнітне поле індуктора індуктує (наводить) у шихті вихрові струми, електрична енергія перетворюється на теплову і використовується для плавлення металу. Печі цього типу відносно прості за конструкцією і є досить досконалими агрегатами для плавлення металу.



1 – індуктор; 2 – кожух; 3 – шихта; 4 – вогнетривкий тигель;  
 5 – струмопідводи; 6 – конденсаторна батарея; 7 – генератор  
 Рисунок 2.3.1 – Схема індукційної електропечі

Щільність наведених у шихті струмів досягає максимуму на її поверхні та знижується в напрямку від краю до середини. Це так званий поверхневий ефект.

Тепло, що витрачається на нагрівання та розплавлення металу, виділяється, головним чином, у поверхневому шарі шихти, де щільність наведеного струму досягає максимального значення. Товщина цього шару дорівнює глибині проникнення магнітного потоку  $\delta$ , яка визначається за формулою:

$$\delta = 5030 \sqrt{\rho / \mu \cdot f}$$

- де  $\delta$  – глибина проникнення, см;  
 $\rho$  – питомий опір шихти, Ом/см;  
 $\mu$  – магнітна проникливість шихти (входить в формулу тільки для феромагнітних матеріалів);  
 $f$  – частота джерела електроживлення, герц.

Глибина проникнення магнітного потоку для деяких металів наведена у табл. 2.3.1.

Таблиця 2.3.1 – Глибина проникнення магнітного потоку

Метал		Глибина проникнення, см, при частоті, Hz		
		50	500	10000
Сталь	Тверда	0,225	0,071	0,015
	Рідка	7,13	2,14	0,47
Нікель	Твердий	2,34	0,74	0,16
	Рідкий	7,44	2,35	0,58
Мідь	Тверда	1,0	0,29	0,067
	Рідка	3,34	1,1	0,23
Алюміній	Твердий	1,2	0,38	0,085
	Рідкий	3,68	1,16	0,26

Індукційні печі мають такі переваги у порівнянні із дуговими:

1. Бракує науглецювання металу в ході плавлення, що дає змогу вести переплавлення високолегованих відходів без додатків низьковуглецевої заготовки.

2. Інтенсивне перемішування рідкого металу у індукційній печі забезпечує більшу однорідність хімічного складу і більш рівномірний розподіл температури.

3. Метал поглинає менше водню і азоту із атмосфери завдяки в'язкому шлаку, що його покриває.

Але індукційні печі мають і недоліки:

1. Важкість видалення сірки та фосфору із сталі внаслідок низької температури шлаку і слабкої взаємодії його з металом.

2. Невелика стійкість футерівки печі.

Футерівку індукційних електропечей виготовляють з кислих і основних вогнетривких матеріалів. Найчастіше виготовляють набивні тиглі.

Набивку тигля ведуть у такий спосіб. Спочатку індуктор з внутрішньої сторони обкладають листами міканіту (термостійким електроізоляційним матеріалом) товщиною 4–6 мм, потім листами азбесту такої ж товщини. На дно укладають листи азбесту товщиною 6–10 мм. Потім насипають футерувальну масу шарами 20–40 мм і ущільнюють її трамбуванням. На



Таблиця 2.3.3 – Склад вогнетривкої маси для виготовлення основних тиглів

Матеріал	Склад, %, з розміром частинок, мм		
	4 – 2	2 – 1	менше 1
Магнезитовий порошок	10	17,5	15
Мелена магнезито-хромитова цегла	7,5	17,5	23,25
Каустичний магнезит	–	–	7,5
Плавикий шпат	–	–	1,0
Вогнетривка глина	–	–	1,75

$B_1 \dots B_N$  – вміст легувальних елементів у готовому металі (відповідає заданому хімічному складу сталі).

$C_1 \dots C_3$  – відсотковий вміст легувального елемента у відповідному феросплаві або лігатурі.

$P_1 \dots P_i$  – маса додатку відповідного феросплаву або лігатури.

$P_0$  – маса вихідної металеві ванни після розплавлення.

$P_K$  – кінцева маса готового металу;

$N$  – загальна кількість легувальних елементів.

Склад феросплавів феромангану і феросиліцію, які використовуються при виплавці вуглецевої сталі, наведено в додатку А.

Ця система рівнянь має таке аналітичне рішення:

$$P_i = K_3 (B_i K / C_i - A_i C_i) P_0 \quad (2.3.2)$$

$$K = (1 - \sum A_i / C_i) / (1 - \sum B_i / C_i)$$

$K_3$  – коефіцієнт засвоєння легувального елемента. Коефіцієнт засвоєння залежить від вигару хімічних елементів під час плавлення.

При плавленні сталі в печі з кислотою футерівкою шихту розраховують так, щоб вміст фосфору й сірки був на 0,005 – 0,01 % нижче припустимого верхнього рівня тому, що ці домішки під час плавлення не вилучаються. Вміст вуглецю в шихті має бути наближеним до припустимого нижнього рівня.

На дно тигля укладають дрібну шихту, зверху її феросплави й потім крупну шихту. По периферії завантажують більш крупні шматки шихти. Проміжок між крупною шихтою заповнюється дрібною шихтою. Верхній шар шихти укладається менш щільно, що полегшує осадження шихти під час розплавлення.

Після закінчення завантаження вмикають піч. Спочатку 5–6 хвилин до печі підводять понижену потужність. Після припинення поштовхів струму потужність поступово збільшують до максимальної та підтримують її до закінчення плавлення. У цей період можливе зварювання окремих шматків шихти й утворення мостів, тому шихту треба своєчасно осаджувати. У період плавлення метал має бути закритий шлаком, що попереджує ступінь окислення та поглинання рідким металом газів з атмосфери.

Після повного розплавлення шихти знижують потужність до 30 – 40 % від максимальної потужності генератора. Після аналізу попередньої проби виконується корегування складу металу через введення в рідкий метал відповідних феросплавів.

Феросплави вводять у такому порядку. Феровольфрам, ферохром і феромолібден вводять у завалку. Додаток А цих феросплавів виконують не пізніше ніж за 20 хвилин до випуску плавлення. Ферованадій присаджують за 7–10 хвилин до випуску, фероманган і феросиліцій – за 10 хвилин до випуску. Кінцеве розкислення здійснюють алюмінієм, який вводять у ківш у кількості 0,08 – 0,1 %.

При плавленні сталі в індукційній печі з основною футерівкою можна вилучати з металу сірку і фосфор. Для цього на дно тигля на невелику кількість дрібної шихти укладають 5 % вапна і зверху вапна залишки шихти. Після розплавлення шихти вилучають шлак, який утворився.

Для десульфурації треба вести плавлення зі збільшеною кількістю шлаку та декілька разів його скачувати, що ускладнює процес плавлення та зменшує стійкість футерівки.

## Порядок виконання роботи

1. За методичними вказівками ознайомитися із плавленням сталі в індукційній електропечі.

2. Розрахувати шихту. Для цього вихідні дані та результати розрахунку представити у вигляді табл. 2.3.4. Врахувати засвоєння елементів (табл. 2.3.5).

3. На вагах зважити компоненти шихти.

4. Перевірити стан індукційної печі, особливу увагу звернути на стан тигля.

5. Відкрити вентиль подачі води для охолодження індуктора, переконатися в тому, що вода витікає з вихідного патрубку індуктора.

7. Завантажити шихту в тигель.

8. Увімкнути електромашинний високочастотний генератор.

9. Поступово збільшувати потужність на індукторі та довести її до 40 – 50 кВт.

10. Розплавити шихту.

11. За 10 хвилин до випуску додати фероманган і феросиліцій.

12. Перед випуском додати в розливний ківш алюміній.

13. Поступово зменшити потужність на індукторі до нуля і вимкнути генератор.

14. Нахилити піч і злити розплавлену сталь у ківш.

15. З ковша залити ливарну форму.

16. Після охолодження вибити з форми сталевий зливочок.

17. Від зливка відрізати зразок і зробити з нього металографічний шліф.

18. Протравити шліф в 4 % спиртовому розчині азотної кислоти.

19. Лінійним методом визначити кількість перлітної складової мікроструктури.

20. За формулою визначити вміст вуглецю у виплавленій сталі.

21. Зробити висновок щодо виконаної лабораторної роботи.

Таблиця 2.3.4. Розрахунок шихти сталі 35Л

№ п/п	Елемент	$A_i, \%$	$B_i, \%$	$C_i, \%$	$K_3, \%$	$P_i, \text{кг}$
1	C					
2	Si					
3	Mn					

Початкова маса  $P_0 =$                       кг

Кінцева маса  $P_K =$                       кг

Елемент	Коефіцієнт засвоєння, $K_3, \%$	
	основна піч	кисла піч
Si	85 – 90	100
Mn	95 – 90	90
Cr	95 – 90	95
V	95 - 90	92 – 95
W	98	98
Ti	65 – 75	–
Nb	85 – 90	–
Zr	65 – 75	–
Mo	98	98

### Контрольні запитання

1. Принцип роботи індукційної електропечі.
2. Переваги й недоліки індукційної електропечі у порівнянні з електродуговою.
3. Склад основної та кислої футерівки для індукційної електропечі.
4. Технологія виготовлення тигля індукційної електропечі.
5. Стійкість кислої та основної футерівки індукційної електропечі
6. Особливості укладання шихти перед початком плавлення.
7. Послідовність введення феросплавів під час плавлення.
8. Кінцеве розкислення.

## Лабораторна робота № 2.4. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВУГЛЕЦЮ У ЛИТІЙ ДОВЕТЕКТОЇДНІЙ ВУГЛЕЦЕВІЙ СТАЛІ МЕТАЛОГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ

### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з металографічним методом визначення вмісту вуглецю в доевтектоїдній сталі.
2. Практично визначити вміст вуглецю в литій сталі.

### **Матеріали та обладнання:**

Зразок литої сталі (береться з попередньої лабораторної роботи). Металографічний мікроскоп. Цифровий фотоапарат. Штангенциркуль. Електронні терези. Мікрокалькулятор. Ножиці.

### **Загальні відомості**

Відомо, що у вуглецевих сталях вуглець міститься переважно в перлітній складовій у вигляді цементиту. Евтектоїдна сталь, яка складається виключно з перліту, містить 0,8 % вуглецю. Мікроструктура доевтектоїдної сталі складається із перлітної та феритної складової, які різні за своїми оптичними характеристиками після травлення. Феритна складова після травлення залишається світлою й містить у своєму складі 0,02 % вуглецю.

Для виявлення мікроструктури спочатку треба зі зразка сталі виготовити металографічний шліф і потім його протравити. Хімічне травлення вуглецевої сталі на ферито-перлітну структуру здійснюють 4 % розчином азотної кислоти. Але більш контрастно перлітну складову можна виявити електролітичним травленням.

Перлітна складова значно темніша за феритну. Якщо визначити кількість перлітної складової, то вміст вуглецю можна розрахувати за такою формулою:

$$C = F_{\Pi} \cdot 0.8 / 100, \% \quad (2.4.1)$$

де  $F_{\Pi}$  – площа, яку займає перліт на металографічному шліфу.

Згідно з принципом Кавальєрі-Акера площину можна замінити відношенням відрізків пересічних, які відсікаються межами ділянок перлітної складової до загальної довжини пересічних:

$$C = 100 \cdot 0.8 \cdot \Sigma L_{II} / \Sigma L_3, \% \quad (2.4.2)$$

де  $\Sigma L_{II}$  – сумарна довжина відрізків пересічних;

$\Sigma L_3$  – сумарна загальна довжина пересічних.

Якщо є мікрофотографія структури, можна застосувати так званий ваговий метод. Він полягає в тому, що на чутливих вагах спочатку зважується мікрофотографія. Потім ножицями вирізаються зображення ділянок перлітної складової й останні зважуються на вагах. Вміст вуглецю визначаємо за формулою:

$$C = 100 \cdot 0.8 \cdot M_{II} / M_3, \% \quad (2.4.3)$$

де  $M_{II}$  – маса зображень ділянок перліту;

$M_3$  – загальна маса фотографії.

### Порядок виконання роботи

1. За методичними вказівками ознайомитися з металографічним методом визначення вмісту вуглецю в сталі.
2. Виготовити металографічний шліф зі зразка литої сталі.
4. Протравити металографічний шліф на мікроструктуру.
5. Встановити шліф на металографічний мікроскоп, вибрати характерне поле зору і зробити його фотографію.
6. Нанести 5 пересічних ліній на фотографію.
7. Визначити довжину відрізків пересічних штангенциркулем, які відсікаються ділянками перлітної складової.
8. За формулою (2.4.2) визначити вміст вуглецю.
9. Ручкою або олівцем окреслити на фотографії межі ділянок перлітної складової.
10. Зважити на електронних терезах фотографію.

11. Ножицями вирізати зображення ділянок перлітної складової з фотографії.
12. Зважити на електронних вагах вирізані зображення ділянок перлітної складової.
13. За формулою (2.4.3) визначити вміст вуглецю.
14. Порівняти результати, визначені лінійним і ваговим методом.
15. Зробити висновок щодо виконаної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Основні складові мікроструктури вуглецевої доєвтектоїдної сталі.
2. Вміст вуглецю в евтектоїдній сталі.
3. Як виявляється мікроструктура сталі?
4. За допомогою якої складової визначається вміст вуглецю металографічним методом?
5. Визначення вмісту вуглецю лінійним методом.
6. Визначення вмісту вуглецю ваговим методом.

## Лабораторна робота № 2.5. ПЛАВЛЕННЯ СИЛУМІНУ

### Мета роботи:

1. Засвоїти основні принципи та особливості виплавлення кольорового сплаву на основі алюмінію – силуміну в печі опору.
2. Розрахувати шихту і виплавити подвійний силумін в електропечі опору.
3. Визначити вміст силіцію у виплавленому сплаві металографічним методом.

### Обладнання, матеріали та прилади:

мініатюрна плавильна піч опору, чистий алюміній, лігатура зі вмістом силіцію 15 %, хромель-алюмелева термопара, цифровий мілівольтметр, металографічний мікроскоп, цифровий фотоапарат, відеокамера, монітор, електронні ваги, штангенциркуль, мікрокалькулятор, захисні окуляри, сталевий стрижень.

### Загальні відомості

Силуміни – це сплави алюмінію із силіцієм. Вміст силіцію складає від 6 до 13 %. Якщо вміст силіцію дорівнює 11,6 %, утворюється евтектика з кристалів  $\alpha$  – твердого розчину силіцію в алюмінії та кристалів силіцію. Діаграма стану алюміній – силіцій наведена на рис. 2.5.1.

Гранична розчинність силіцію в алюмінії дорівнює 1,65 %. У звичайних умовах кристалізації евтектична колонія як структурна складова не утворюється. Тому мікроструктура уявляє собою конгломерат кристалів алюмінію та силіцію. Вміст кремнію в такому сплаві можна визначити лінійним методом. Силуміни досить широко застосовують у машинобудуванні як ливарні сплави.

Силумін можна одержати сумісним плавленням чистого алюмінію та силіцію. Але такий процес довготерміновий і енергозатратний унаслідок високої температури плавлення силіцію. Тому при плавленні силуміну чистий алюміній легують лігатурою, яка містить від 15 до 20 % силіцію.

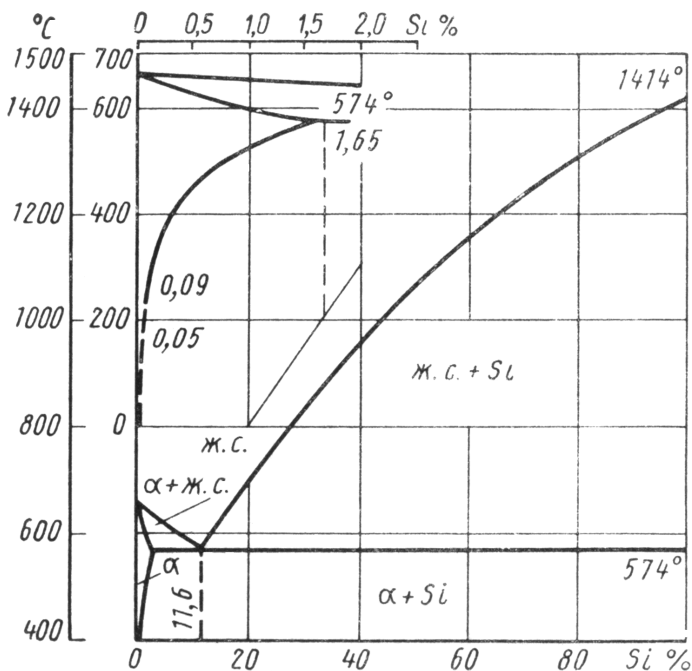


Рисунок 2.5.1 – Діаграма стану алюміній – силіцій

Для плавлення алюмінієвих сплавів застосовують тигельні та подові печі. Для нагрівання 1 кг чистого алюмінію від кімнатної температури до температури розливки необхідно витратити 0,325 кВт · год електроенергії.

У ливарних цехах найчастіше використовують тигельні печі. Тигельні печі можуть бути зі стаціонарним тиглем, або з тиглем, який вилучається з печі.

Нагрівання тигля здійснюється індукційним методом або внаслідок електричного опору. Тигельні печі опору в порівнянні з індукційними значно дешевше. Їх перевагою є рівномірний розподіл температури.

Нагрівальні елементи для печей опору виготовляють із ніхрому – сплаву на нікелевій основі з додатком хрому. Максимальна температура ніхрому – 1100 °С.

Плавильна піч опору (рис. 2.5.2) має у своєму складі власне піч 1, пристрій для автоматичного регулювання температури 2 і тиристорний регулятор потужності 3 (пристрій для автоматичного регулювання температури і тиристорний регулятор конструктивно об'єднані в одному блоці керування).



1 – піч; 2 – пристрій для автоматичного регулювання температури;  
3 – тиристорний регулятор потужності

Рисунок 2.5.2 – Електрична піч опору для плавлення сплавів на основі алюмінію

Плавильна піч (рис. 2.5.3) складається із керамічного муфеля 1, на який намотаний ніхромовий нагрівач 2. Муфель оточений сталевим кожухом 3. Для зменшення втрат теплоти піч має кришку 4. Тигель 5 під час плавлення сплаву розташований у муфелі. Після розплавлення сплаву 6 тигель вилучається із печі та метал заливається в металеву виливницю. Простір між муфелем і кожухом заповнений теплоізоляційним матеріалом 7. Нагрівач струмопідводами 8 з'єднується з тиристорним регулятором струму 13. Струмівідводи ізолювані від кожуха печі керамічними ізоляторами 11. Термопара 10 з'єднується з автоматичним регулятором температури 12, який підтримує задану температуру сплаву.

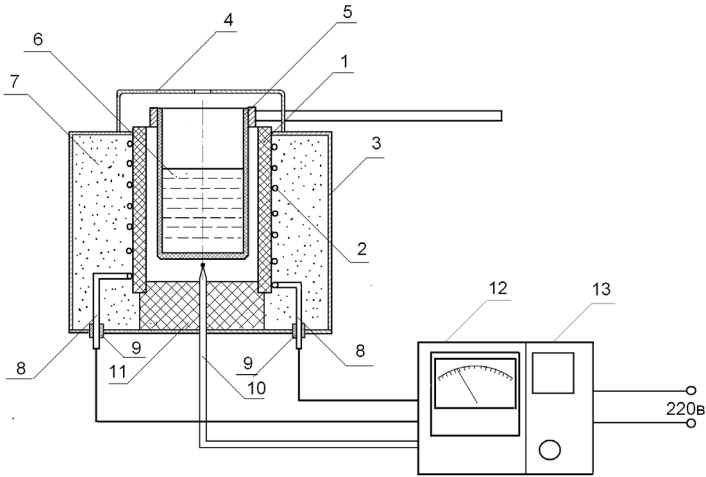


Рисунок 2.5.3 – Схема будови електричної печі опору для плавлення алюмінієвих сплавів

Тигель (рис. 2.5.4, а) складається з керамічної посудини 1 та обійми з рукояткою 2.

Виливниця (рис. 2.5.4, б) складається з латунного піддону 1 і сталевій формоутворювальній частини 2, що з'єднуються гвинтом 3.



а б

Рисунок 2.5.4 – Тигель і виливниця

Під час плавлення температура рідкого металу вимірюється хромель-алюмелевою термопарою занурення 1 з вторинним приладом – цифровим мілівольтметром 2 (рис. 2.5.5).



Рисунок 2.5.5 – Термопара та мілівольтметр

### Методика проведення роботи

1. Виміряти розміри виливниці штангенциркулем: середній діаметр  $d_{CP}$  і висоту  $h$ .
2. Розрахувати масу сплаву у виливниці за формулою:

$$M = \pi d^2 0.9 h \rho / 4$$

де  $d$  – середній діаметр виливниці;  
 $h$  – висота виливниці;  
 $\rho$  – густина сплаву.

Для силуміну  $\rho$  дорівнює  $2650 \text{ кг/м}^3$ .

3. Металографічним методом визначити вміст силіцію в зразку лігатури. Для цього установити металографічний шліф лігатури на металографічний мікроскоп і лінійним методом визначити індекс вкраплень силіцію  $I_{Si}$  (рис. 2.5.6).



Рисунок 2.5.6 – Вкраплення силіцію в лігатурі

Визначити вміст силіцію  $Si, \%$  за формулою:

$$Si, \% = I_{Si} \cdot \rho_{Si}$$

де  $I_{Si}$  – індекс вкраплень силіцію;  
 $\rho_{Si}$  – густина силіцію ( $2,6 \text{ кг/м}^3$ ).

4. Розрахувати шихту для плавлення. Для цього використати систему двох рівнянь з двома невідомими:

$$\begin{cases} M_{ЛІГ} \cdot \% Si_{ЛІГ} = M \cdot \% Si_{СПЛ} \\ M_{Al} + M_{ЛІГ} = M \end{cases}$$

де  $M_{Al}$  – маса алюмінію;  
 $M_{ЛІГ}$  – маса лігатури;  
 $M$  – маса сплаву;  
 $\% Si_{СПЛ}$  –  $\% Si$  у сплаві;  
 $\% Si_{ЛІГ}$  –  $\% Si$  у лігатурі.

5. Зважити шихту на електронних вагах.
6. Вийняти тигель з електропечі та завантажити в нього шихту, після чого вставити тигель у муфель електропечі.
7. Вивести регулятор керування потужністю на блоці керування електропіччю (рис. 2.5.7) у крайнє ліве положення.



Рисунок 2.5.7 – Блок керування електропіччю

8. Увімкнути електропіч – почне світитися зелений світлодіод.
9. Встановити температуру муфелю електропечі 850 °C на мілівольтметрі блоку керування викруткою.
10. Поступово рукояткою 1 збільшувати потужність на нагрівачу електропечі. Контроль здійснюється за допомогою вольтметра 2.
11. Після досягнення встановленої температури муфелю електропечі згасає зелений і загоряється червоний світлодіод.
12. Виміряти температуру сплаву термopарою занурення крізь отвір у кришку печі. Вона має дорівнювати 780 – 800 °C.
13. Відкрити кришку печі і сталевим стержнем зсунути з поверхні розплавлення шар оксидів.
14. Рукояткою витягти тигель із муфелю електропечі та залити сплав у кокіль.
15. Поступово рукояткою 1 на блоці керування зменшити потужність на нагрівачу електропечі.

16. Після охолодження виливниці вилучити зливков.
17. Зважити зливков на електронних вагах.
18. Визначити вихід придатного металу за формулою:

$$M_{\text{ПРИД}} = 100 \% \cdot M_{\text{ЗЛИВКА}} / M_{\text{ШИХТИ}}$$

19. З нижньої поверхні зливка виготовити металографічний шліф і протравити його у водному розчині плавикової кислоти (рис. 2.5.8).

20. Лінійним методом визначити вміст силіцію у виплавленому силуміні.

21. Зробити висновок виконаної роботи.

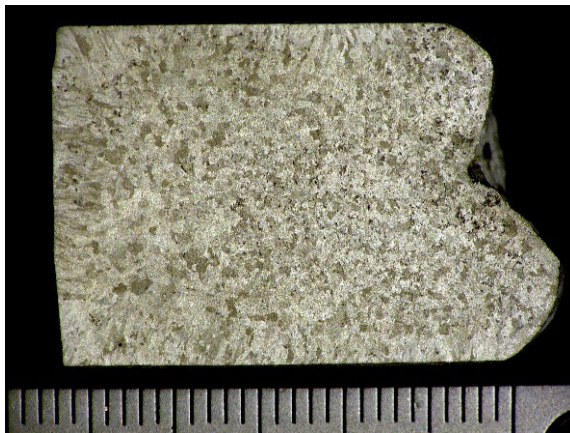


Рисунок 2.5.8 – Макроструктура зливка силуміну

### Контрольні запитання

1. Хімічний склад силумінів.
2. Температура плавлення силумінів.
3. Температура плавлення алюмінію та силіцію.
4. Будова електропечі опору для плавлення алюмінієвих сплавів.
5. Розрахунок шихти для плавлення силуміну.

6. Визначення вмісту кремнію в лігатурі  $Al - Si$  металографічним методом.
7. Порядок плавлення силуміну в печі опору.
8. Визначення виходу придатного металу.
9. Послідовність технологічних операцій під час виплавлення силуміну в електропечі опору.

## ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

1. Електропіч і кокіль мусять бути встановлені на металевих підставках.

2. Перевірити надійність ізоляції між корпусом електропечі та нагрівачем за допомогою мультиметра.

3. Роботу з розплавленим металом проводити тільки в захисних окулярах.

4. Вилучення зливків проводити лише після повного охолодження виливниці.

5. Травлення металографічних шліфів проводити тільки в захисних окулярах. При випадковому попаданні травника на шкіру негайно промити уражене місце розчином соди.

**Додаток А**  
**Хімічний склад феросплавів**  
**Феросиліцій**

Марка	ДСТУ	Хімічний склад, %				
		Si, не менше	домішки, не більше			
			Mn	Cr	P	S
ФС 92	ДСТУ 4127:2002 Феросиліцій. Загальні технічні умови (ISO 5445:1980, NEQ)	92	0,2	0,2	0,03	0,02
ФС 90		90	0,2	0,2	0,03	0,02
ФС 75		74 – 80	0,4	0,4	0,05	0,02
ФС 75л		74 – 80	0,3	0,3	0,05	0,02
ФС 75э		74 - 80	0,3	0,2	0,04	0,02
ФС 69э		67 - 72	0,3	0,3	0,04	0,02
ФС 65		63 – 68	0,4	0,4	0,05	0,02
ФС 45		41 – 47	0,6	0,5	0,05	0,03
ФС 25		23 – 27	0,9	—	0,06	0,03
ФС 20		19 – 23	1,0	—	0,10	0,02
ФС 20л		19 – 23	—	—	0,20	0,02

**Фероманган**

Марка	Вміст мангану, % не менше	Масова частка, % (не більше)			
		C	Si	P	S
<b>Низьковуглецевий фероманган</b>					
ФМн0,5	85,0	0,5	2,0	0,30	0,03
<b>Середньовуглецевий фероманган</b>					
ФМн1,0А	85,0	1,0	1,5	0,10	0,03
ФМн1,0	85,0	1,0	2,0	0,30	0,03
ФМн1,5	85,0	1,5	2,5	0,30	0,03
ФМн2,0	75,0	2,0	2,0	0,35	0,03
<b>Високowуглецевий фероманган</b>					
ФМн78А	78,82	7,0	2,0	0,05	0,03
ФМн78К	78,82	7,0	1,0	0,35	0,03
ФМн78	78,82	7,0	2,0	0,35	0,03
ФМн75АС6	75,0	7,0	6,0	0,05	0,03
ФМн75С4	75,0	7,0	4,0	0,45	0,03
ФМн75С9	75,0	6,0	9,0	0,45	0,03
ФМн75	75,0	7,0	1,0	0,45	0,03
ФМн70	70,0	7,0	2,0	0,55	0,03

*Навчальне видання*

**ГОНТАРЕНКО Володимир Іванович  
БЯЛІК Гаррі Абрамович**

**АВТОМАТИЗАЦІЯ  
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА  
В ПРАКТИЦІ ЛИВАРНОГО  
ВИРОБНИЦТВА**

*Навчальний посібник*

Редактор Е. А. Бажміна  
Коректор Е. А. Бажміна  
Комп'ютерне верстання О. О. Дяченко

Підписано до друку 14.12.2020. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 12,96.  
Тираж 100 прим. Зам. № 1273.

Національний університет «Запорізька політехніка»  
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64  
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.

