

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

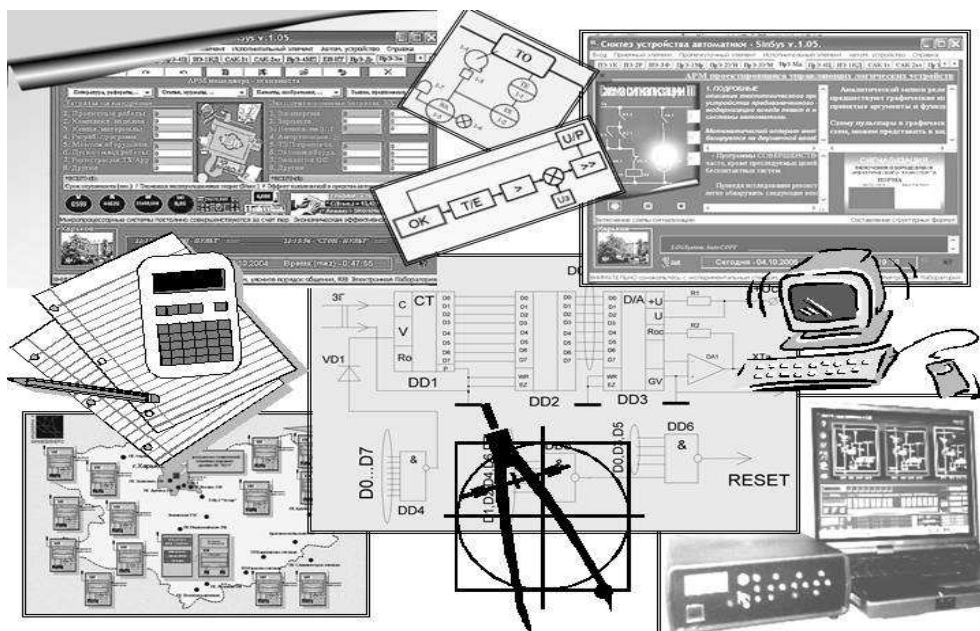
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ТА УСТАНОВОК**

*(для студентів 5 – 6 курсів всіх форм навчання  
за спеціальностями 7.05070204, 8.05070204 – «Електромеханічні системи  
автоматизації та електропривод»)*



**Харків  
ХНУМГ  
2014**

Методичні вказівки до практичних робіт з дисциплін «Автоматизація технологічних процесів та установок» (для студентів 5 – 6 курсів усіх форм навчання за спеціальностями 7.05070204, 8.05070204 – «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 63 с.

Укладачі: С. М. Єсаулов  
О. Ф. Бабічева

Рецензент: А. К. Бабіченко к.т.н., доцент (ХНТУ „ХП”)

У методичних вказівках розглядаються прикладні питання, що вирішуються при автоматизації технологічних процесів і складають основу закріплення знань з прикладної теорії автоматичного регулювання, при виконанні курсової роботи та відповідних розділів дипломних проектів. Багато прикладів реалізовано у програмному продукті SinSys – «Синтез пристроїв автоматики», що демонструє сучасні способи автоматизації інженерних розрахунків і віртуального моделювання технічних засобів для їх експериментального вивчення.

Затверджено на засіданні кафедри електричного транспорту,  
протокол №2 від 1.10.2013 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	Стор. 5
Тема 1 Техніка читання й розробка функціональних схем автоматичного керування.....	6
Тема 2 Експериментальні й аналітичні методи моделювання статики об'єктів керування.....	11
Тема 3 Моделювання динаміки і дослідження об'єкта керування....	16
Тема 4 Вибір закону регулювання для об'єкту керування.....	20
Тема 5 Запис структур і умов роботи дискретних схем автоматики	26
Тема 6 Дискретні компоненти цифрових систем автоматики.....	29
Тема 7 Похибки вимірювань в засобах автоматизації, їх облік і способи усунення.....	31
Тема 8 Оцінка стійкості об'єкту керування за допомогою АФХ.....	37
Тема 9 Розрахунок вимірювальної схеми САР.....	40
Тема 10 Розрахунок електромагнітного виконавчого пристрою САР.....	42
Тема 11 Розрахунок параметрів для вибору активного елементу безконтактного виконавчого пристрою САР.....	45
Тема 12 Проектування джерела живлення для пристрою автоматики.....	48
Тема 13 Діаграми взаємодії компонентів електротехнічних пристроїв автоматики.....	51
Тема 14 Проектування щитів і пультів систем автоматики.....	53
Тема 15 Оцінка економічних показників проектного пристрою автоматики.....	56
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	60

## УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

АРМ – автоматизоване робоче місце;  
АФХ – амплітудно-фазові характеристики;  
ВЕ – виконавчий елемент;  
ВЛ – вимірювальний ланцюг;  
ВМ – виконавчий механізм;  
ДЖ – джерело живлення;  
ДЕЖ – джерело електричного живлення;  
МСМ – метод структурних матриць;  
МПП – мікропроцесорні пристрої;  
ОК – об'єкт керування;  
ПК – персональні комп'ютери;  
ПН – підсилювач напруги;  
ПП – підсилювач потужності;  
ПС – підсилювач струму;  
САР – системи автоматичного регулювання;  
ТО – технологічні об'єкти;  
ТП – технологічні процеси;

## ВСТУП

Системи автоматичного регулювання (САР) для різних технологічних процесів (ТП) складають основу прикладної теорії автоматичного регулювання.

Сучасні системи автоматизації технологічних об'єктів (ТО) і установок різного призначення розробляють із застосуванням персональних комп'ютерів (ПК), оснащених спеціальними програмними продуктами. Автоматизоване робоче місце (АРМ) з ПК дозволяє сучасному фахівцеві не тільки проектувати засоби автоматики, але й проводити випробування, користуючись віртуальними моделями технічних рішень різної складності, виявляти недоліки і модернізувати їх.

Синтез САР включає виконання необхідних статичних і динамічних розрахунків, розробку структурних схем для отримання передавальних функцій, дослідження ТО за допомогою їх математичних моделей, складання функціональних схем реальних систем автоматизації з обґрунтуванням використання серійного або нестандартного устаткування та ін. Оскільки питання автоматизації ТО завжди пов'язані з фінансуванням таких заходів, очевидно, що розробник САР повинен уміти виконувати економічний аналіз технічних рішень, використовуючи патентний матеріал і досягнення науки.

Враховуючи обширні області застосування засобів автоматики на транспорті, у промисловості, у сфері обслуговування населення, в побуті та ін., очевидно, що знання, придбані при синтезі САР з використанням ПК, можуть стати в нагоді сучасному менеджеру в самих різних напрямках діяльності, де він зможе вміло організувати поточну роботу, планувати перспективні завдання і своєчасно здійснювати модернізацію використовуваних технічних засобів і устаткування.

## **Тема 1 Техніка читання й розробки функціональних схем автоматичного керування**

Мета: навчитися читати й розробляти функціональні схеми.

*Відомості про проектну документацію.*

Системи автоматизації вмонтовують, налагоджують і експлуатують за кресленнями і схемами. Щоб знайти необхідну документацію, за якою виконують з'єднання, плани розстановки засобів автоматики, щитів, пультів і АРМ операторів, необхідно знати, в яких частинах проекту відбиваються конкретні питання для їх реалізації.

Стадії проектування і склад проекту.

Проектування систем автоматизації технологічних процесів здійснюється:

- в одну стадію (робочий проект) – для технічно нескладних об'єктів;
- у дві стадії (робоча документація з кошторисами) - для крупних і складних об'єктів.

Склад проекту:

1. Структурна схема керування і контролю (для складних);
2. Схема автоматизації (функціональні) технологічних процесів (для нескладних ТО);
3. Плани розміщення щитів, пультів, АРМ і т.п.;
4. Заявочні відомості (прилади, засоби автоматики, нестандартизоване устаткування, арматура, щити, пульти, матеріали);
5. Технічні вимоги на розробку нестандартизованого устаткування;
6. Кошторис на придбання і монтаж засобів систем автоматизації;
7. Пояснювальна записка.

На стадії робочої документації до складу проектних матеріалів входять:

- 1) структурна схема керування і контролю;
- 2) функціональна схема автоматизації ТО;
- 3) принципові електричні схеми контролю, регулювання, керування, сигналізації і живлення;
- 4) загальні види щитів, пультів, АРМ;
- 5) монтажні схеми щитів, пультів, АРМ;
- 6) схеми зовнішніх з'єднань і проводок;
- 7) плани розташування засобів автоматики;
- 8) нетипові креслення установки засобів автоматики;
- 9) загальні види нестандартизованого устаткування;
- 10) пояснювальна записка;
- 11) розрахунки різних елементів системи;
- 12) замовлені специфікації всіх компонентів і устаткування.

Види й типи схем:

- за видами підрозділяються на електричні, пневматичні, гідравлічні, комбіновані схеми;
- за типами:

- ✓ структурні – укрупнена структура і взаємозв'язок між пунктами контролю і управління;
- ✓ функціональні – функціонально-блокова структура окремих вузлів контролю, сигналізації, керування і регулювання ТО;
- ✓ принципові – повний склад елементів, модулів, апаратури і зв'язків між ними;
- ✓ монтажні – з'єднання в межах щитів, пультів, АРМ.

Умовні позначення:

- базове позначення приладів, що встановлюються в різних місцях (за місцем, на щиті, на пульті та ін.) – круг, овал (діаметр 10 – 15мм).
- для виконавських елементів - квадрат (7×7 мм).

Приклад функціональної схеми автоматизації ТО представлений на рисунку 1.1.

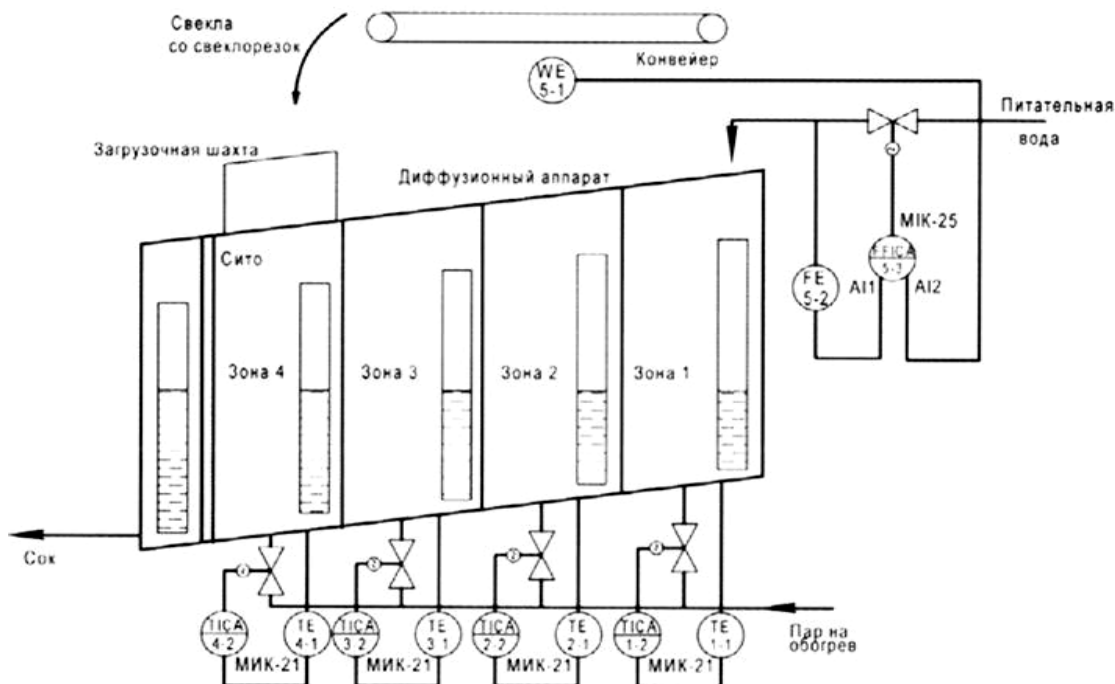


Рисунок 1.1 – Фрагмент функціональної схеми автоматизації реального технологічного об'єкта

Таблица 1.1 – Умовні позначення технологічних параметрів

Технологічна величина	Буквене позначення
Температура	T
Електрична величина	E
Ручна дія	H
Рівень	L
Концентрація	Q
Вологість	M
Тиск	P

Технологічна величина	Буквене позначення
Швидкість	S
Вимірювана величина	U
Інші	Резервні букви

Таблиця 1.2 – Умовні позначення приладів контролю

Функціональна ознака	Позначення
Показуючий	I
Реєструючий	R
Регулюючий	C
Перетворюючий, обчислюючий	Y
Сигналізує	A
Приймальний елемент	E
Задаюча верхня межа	H
Задаюча нижня межа	L
Дистанційна передача	T
Програмний	K
Станція керування	S
Інші	Резервні букви

Слід пам'ятати, що при використанні позначень, не передбачених ДСТ 3925-58 і ГСТ 36.27-77, застосовують резервні букви (відсутні в таблиці), які в одній документації не повинні повторюватися.

Таблиця 1.3 – Позначення характеристик роботи приладів

Позначення	Характеристика
Електричний сигнал	E
Пневматичний сигнал	P
Гідравлічний сигнал	G
Аналоговий сигнал	A
Дискретний сигнал	D
Операція складання	$\Sigma$
Перемноження двох сигналів	X
Поділ сигналів	/
Обмеження значення (верхнє)	max
Обмеження значення (нижнє)	min
Введення інформаційного сигналу в мікропроцесорний пристрій	$B_i$
Виведення інформаційного сигналу з мікропроцесорного пристрою	$B_o$

Порядок запису умовних позначень наступний: вимірювана величина ( $T$  – температура,  $E$  – електрична та ін.); свідчення ( $I$ ); реєстрація ( $R$ ); регулювання, керування ( $C$ ); включення, відключення, перемикання ( $S$ ); сигналізація ( $A$ ); засоби комунікацій ( $B_i$ ). Очевидно, що позначення, які відображають функціональні властивості конкретного автоматичного пристрою.



Для закріплення вищевикладеного матеріалу слід розробити систему автоматизації технологічного об'єкта, використовуючи індивідуальні початкові дані, наведені в таблиці 1.4. Для підготовки ескізного проекту доцільно скористатися графічним редактором програми *SinSys*.

Таблиця 1.4 – Варіанти завдань

№ варіанта	Технологічний об'єкт	Параметри		Керування ВЕ	
		контролю	регулювання	автоматичне	ручне
1	Компресор	Струм	Тиск	+	-
2	Випрямний агрегат	Температура	Напруга	+	-
3	Електропривод	Напруга	Напруга	+	+
4	Електронасос	Температура	Напруга	+	-
5	Електропривод	Швидкість	Струм	+	-
6	Компресор	Тиск	Тиск	+	+
7	Випрямний агрегат	Напруга	Струм	+	+
8	Вентилятор	Температура	Напруга	+	-
9	Водонагрівач	Температура	Напруга	+	-
10	Вулканізатор	Температура	Напруга	+	-
11	Автодвигун	Температура	Швидкість	+	-
12	Тягова підстанція	Концентрація газу	Напруга	+	+
13	Пристрій захисту від КЗ	Струм	Напруга	+	-
14	Освітлювальні прилади	Освітленість	Напруга	+	+
15	Реверсивний двигун	Швидкість	Напруга	+	-
16	Освітлювальні прилади	Освітленість	Потужність	+	+
17	Реверсивний двигун	Швидкість	Струм	+	-
18	Електромобіль	Швидкість	Струм	+	+
19	Трансформатор	Температура	Струм	+	-
20	Електропривод	Швидкість	Температура	+	-
21	Компресор	Тиск	Температура	+	+
22	Випрямний агрегат	Напруга	Напруга	+	+
23	Вентилятор	Температура	Температура	+	-
24	Електропривод	Концентрація	Напруга	+	+
25	Електровентилятор	Температура	Напруга	+	-
26	Електродвигун	Швидкість	Струм	+	-
27	Компресор	Температура	Температура	+	+
28	Випрямний агрегат	Напруга	Потужність	+	+
29	Вентилятор	Потужність	Напруга	+	-
30	Регулятор потужності	Потужність	Напруга	+	+

### ***Контрольні питання***

1. Що таке об'єкт регулювання?
2. Перелічіть обов'язкові компоненти будь-якої системи автоматичного регулювання (САР).
3. Поясніть призначення локальних систем автоматизації.
4. Для чого в САР застосовують первинні вимірювальні перетворювачі?
5. Наведіть приклади відомих приймальних елементів.
6. Яку роль в системах автоматики виконують проміжні елементи?
7. Перелічіть властивості електромагнітного реле як проміжного елемента схеми автоматики.
8. Наведіть приклади відомих проміжних елементів.
9. Чи є різниця між виконавчим механізмом і виконавським елементом? Назвіть відомі виконавчі елементи.
10. Як позначають компоненти схем автоматики на функціональних схемах?
11. Яка документація входить до складу проекту систем автоматизації ТП?

## Тема 2 Експериментальні й аналітичні методи моделювання статички об'єктів керування

*Мета:* навчитися експериментальним і аналітичним шляхом розробляти математичні моделі статички об'єктів керування.

### *Відомості з теорії*

*Статичний, або сталий режим* роботи об'єкта керування (ОК) характеризується незмінними в часі значеннями вхідних і вихідних його параметрів.

Функціональна залежність вихідної величини  $Y$  від вхідної  $X$  в сталому режимі називається *статичною характеристикою ОК*:

$$Y_i = f(X_i). \quad (2.1)$$

Відношення приростів цих величин у статичному режимі називається *коефіцієнтом посилення* даного об'єкта  $K$ :

$$K_i = \frac{dY_i}{dX_i}. \quad (2.2)$$

Статичні залежності виражаються, як правило, алгебраїчними рівняннями або їх системою.

Статика процесів дозволяє визначити початкові й кінцеві дані динамічних режимів ОК, спосіб регулювання, а також керуючі величини.

Використання конкретного каналу дії ОК як регулюючого в основному визначається крутизною його статичної характеристики.

Експериментальним шляхом визначаються статичні характеристики на реальних об'єктах. Результати дослідів служать для побудови графіків. Причому досліди проводять багато разів для отримання максимально достовірної інформації.

При отриманні лінійних графіків, їх математичні вирази мають вигляд

$$Y_{вих} = KX_{вх} + Y_0; \quad (2.3)$$

$$K = \frac{Y_i - Y_0}{X_i - X_0}. \quad (2.4)$$

При нелінійних графіках їх математичний вираз значно ускладнюється. У таких випадках користуються лінійними статичними характеристиками у визначеному діапазоні варіювання параметрів об'єкта.

Дослідне визначення статичних характеристик можливе тільки на реальних об'єктах. Отримання даних здійснюється шляхом задання вхідних

величин і реєстрації вихідних величин. Результати, отримані при цьому, апроксимуються за допомогою рівнянь. Проте математичні моделі складно застосувати до інших ОК, але оцінка каналів керування, можливо, знайде використання для аналогічних технологічних об'єктів.

А. Розглянемо експериментальне визначення статичних залежностей.

**Приклад 2.1** Маємо дані дослідження випрямного агрегата на тяговій підстанції.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані

Температура ВА, °Т	Вихідний сигнал приймального елемента, В
60	0,68
65	1,71
70	2,76
75	3,81
80	4,86
85	5,91
90	6,96
95	8,01
100	9,06
105	10,11

Необхідно апроксимувати ці дані рівнянням першого порядку вигляду:

$$Y_{вих} = KX_{вх} + Y_0.$$

Визначимо величину  $K = \frac{Y_i - Y_0}{X_i - X_0}$ .

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку параметрів

Yi-Yo	Xi-Xo	K1
0	0	-
1,03	5	0,206
2,08	10	0,208
3,13	15	0,208667
4,18	20	0,209
5,23	25	0,2092
6,28	30	0,209333
7,33	35	0,209429
8,38	40	0,2095
9,43	45	0,209556

Середнє значення:  $K1 = 0,208743$ .

Отримаємо рівняння:

$$Y_1 = 0,2087 \cdot X_1 + Y_0. \text{ (оскільки } Y_0 = 0 \text{),}$$

$$Y_1 = 0,2087 \cdot X_1 - 12,522.$$

Порівняємо експериментальні дані з величинами, розрахованими за формулою (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Дані експериментів і розрахунку

Y1 <sub>э</sub>	Y1 <sub>т</sub>
0,68	0
1,71	1,678
2,76	2,718
3,81	3,758
4,86	4,798
5,91	5,838
6,96	6,878
8,01	7,918
9,06	8,958
10,11	9,998

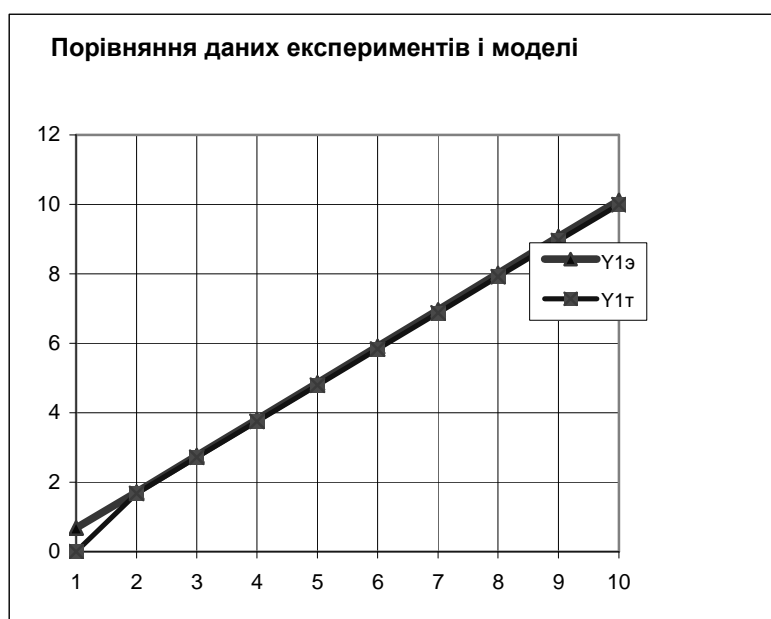


Рисунок 2.1 – Порівняння розрахункових даних і дослідів

#### Б. Аналітичний метод моделювання.

У статичному режимі всі параметри процесу, а значить і температура ВА, залишаються незмінними. Приймаючи цю умову, можна записати рівняння балансу, що відображає витрати потужності джерела живлення  $P_1$  на навантаження в контактній мережі  $P_0$  і тепло  $P_2$ :

$$P_1 = P_0 + P_2 \quad (2.5)$$

або у вигляді

$$k_1 U_1 I_1 = k_0 U_0 I_0 + k_2 U_2 I_2, \quad (2.6)$$

$k_i$  – коефіцієнти пропорційності.

Для розрахунку статичних характеристик

$$P_0 = f(U_1); \quad P_0 = f(I_1); \quad P_0 = f(U_2); \quad P_0 = f(I_2) \quad (2.7)$$

у рівняння (2.5) необхідно підставляти чисельні значення всіх параметрів, окрім величин, залежність між якими визначається.

**Приклад 2.2** (при  $k_i = 1$ ):

$$I_0 = \frac{10 \cdot U_i - 396}{90} = 0,11 \cdot U_1 - 4,4. \quad (2.8)$$

Задаючи значення величини  $U_1$ , можна отримати початкові дані для оцінки залежності, що нас цікавить.

Для функції (2.8) результати розрахунків наведені в таблиці 2.4 (інтервал варіювання  $U_1 = \pm 15\%$  ).

На рисунку 2.2 наведена графічна залежність  $P_0 = f(U_1)$  в безрозмірних одиницях, отримана за допомогою програми MS Excel.

Таблиця 2.4 – Розрахунок параметрів залежності  $P_0 = f(U_1)$

$U_1, \text{В}$	$U_1/U_{10}$	$I_0, \text{А}$	$I_0/I_{00}$
180	0,818182	15,6	0,778272
185	0,840909	16,15556	0,805988
190	0,863636	16,71111	0,833705
195	0,886364	17,26667	0,861421
200	0,909091	17,82222	0,889137
205	0,931818	18,37778	0,916853
210	0,954545	18,93333	0,94457
215	0,977273	19,48889	0,972286
220	1	20,04444	1,000002
225	1,022727	20,6	1,027718
230	1,045455	21,15556	1,055435
235	1,068182	21,71111	1,083151
240	1,090909	22,26667	1,110867
245	1,113636	22,82222	1,138583
250	1,136364	23,37778	1,1663

$$P_0 = f(U_1).$$

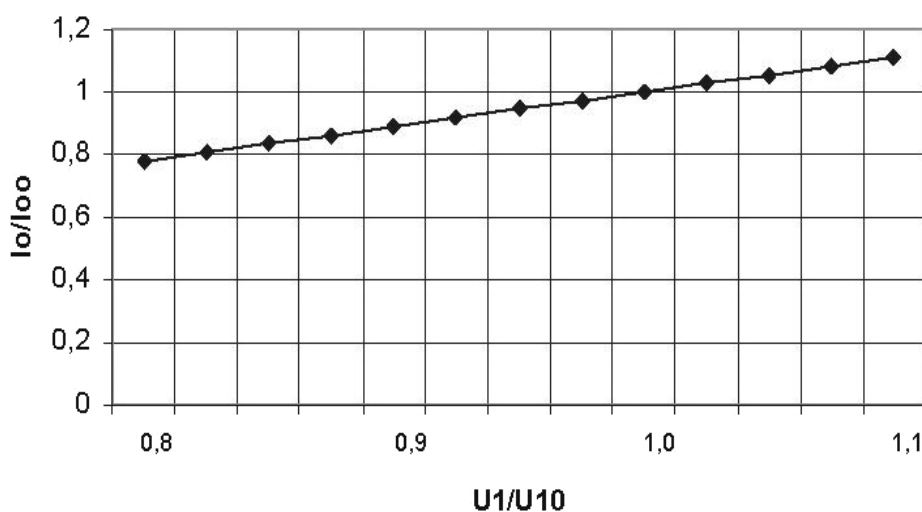


Рисунок 2.2 – Залежність  $P_0 = f(U_1)$

### ***Контрольні питання***

1. Що таке об'єкт керування?
2. Що таке статичний режим об'єкта керування?
3. Поясніть необхідність вивчення статистики ОК.
4. Як визначити коефіцієнт передачі ОК?
5. Як отримати статичну характеристику дослідним шляхом?
6. Поясніть аналітичний метод отримання статичних характеристик.
7. Як апроксимують дослідні дані?
8. Які існують шляхи отримання статичних залежностей?
9. У чому особливість нелінійних статичних залежностей?
10. У чому сенс оптимізації технологічних процесів за допомогою статичних характеристик?
11. Що таке канал керування?
12. Як визначити основний канал керування технологічним процесом, використовуючи статичні характеристики?

### Тема 3 Моделювання динаміки і дослідження об'єкта керування

Мета: розробити динамічні моделі для пристроїв, використовуваних в різних електротехнічних виробках.

#### *Відомості з теорії*

*Динамічний режим* роботи об'єкта керування (ОК) – режим, що настає після нанесення збурення на вхід об'єкта.

*Динамічні характеристики ОК* наводять у вигляді:

- рівнянь динаміки;
- перехідних характеристик – графіки вирішення рівняння динаміки;
- передавальні функції;
- частотні характеристики;
- годографів амплітудно-фазових характеристик (АФХ);
- логарифмічних частотних характеристик.

Всі динамічні характеристики з різним ступенем труднощі можна тримати на реальному об'єкті.

*Експериментальні методи* визначення динамічних властивостей ОК точніші й менш трудомісткі, але отримані при цьому математичні описи не можна використовувати на інших ОК.

*Аналітичні методи* моделювання динаміки ОК менш точні, але можна отримати характеристики для проєктованих об'єктів, узагальнені і придатні для застосування їх до різних об'єктів, при цьому можливе вдосконалення характеристик в міру вивчення самих об'єктів керування.

На практиці часто використовують *комбіновані методи* – експериментально-аналітичні.

Реальні системи автоматичного регулювання (САР) включають багато елементів з різними динамічними властивостями. Якщо система керування ТО має лінію циркуляції сигналів по замкнутому контуру, то вона називається замкнутою системою керування. Відповідно систему без зворотного зв'язку називають розімкненою.

На практиці розімкнені системи керування ТО застосовуються дуже рідко, проте, їх розгляд зручний при вивченні структури і динамічних властивостей всіх компонентів, що входять в єдину систему автоматизації.

Об'єкт першого порядку – складається з однієї (зазвичай типової) динамічної ланки.

Об'єкт високого порядку – складається з декількох взаємозв'язаних між собою простих об'єктів або динамічних ланок.

З підвищенням порядку ТО реакція вихідної величини на збурення завжди відбувається повільніше. Об'єкти високого порядку в динаміці поведінки ідентично поведінці ланцюжка типових динамічних ланок, з'єднання яких складає структуру ОК.

У практиці вивчення ОК будь-якій складності набуло поширення розчленування системи керування на дрібні підпорядкування підсистеми,



скоординоване вивчення яких називається декомпозицією завдань і систем керування.

Декомпозиція завдань покладена в основу вивчення найскладніших ОК, до яких відносяться одновимірні ОК, що мають тільки одну керовану величину, і багатовимірні ОК – з великим числом керованих і керуючих величин.

**Приклад 3.1** Розглянемо як об'єкт керування електротехнічний пристрій, що складається з декількох елементів, сполучених послідовно (рисунок 3.1), для якого необхідно отримати передавальну функцію.

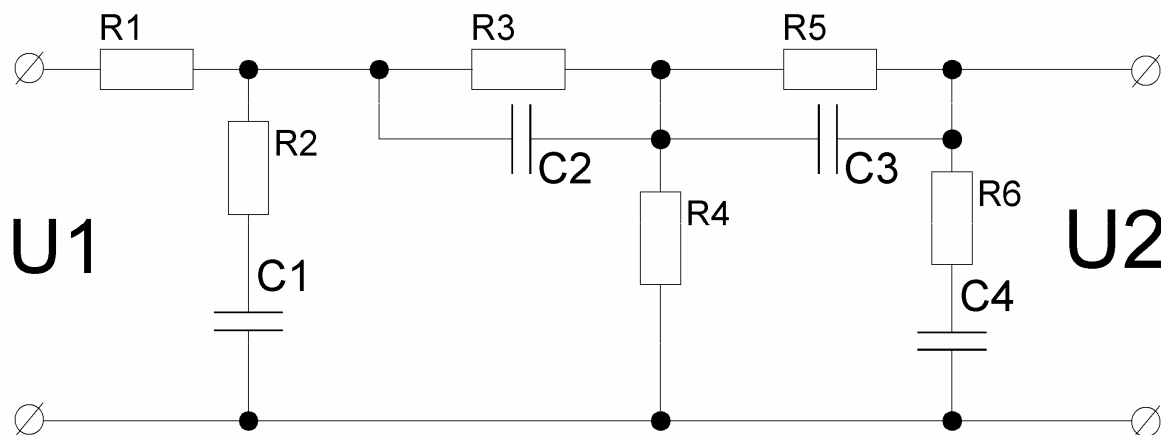


Рисунок 3.1 – Схема коректуючого сходового фільтра

Аналіз коректуючого фільтра дозволяє зробити висновок, що він складається з пасивних: інтегруючої ( $R_1, R_2, C_1$ ), диференціюючої ( $R_3, R_4, C_2$ ), інтегро-диференціюючої ( $R_5, R_6, C_3, C_4$ ) ланок.

а) отримаємо передавальну функцію для подільника напруги ( $R_1, R_2, C_1$ ):

$$W_1(p) = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p) + Z_2(p)}. \quad (3.1)$$

$$Z_1(p) = R_1; \quad (3.2)$$

$$Z_2(p) = R_2 + \frac{1}{pC_2} = \frac{1 + R_2 C_2 p}{pC_2}. \quad (3.3)$$

Після підстановки виразів для величин опорів маємо:

$$W_1(p) = \frac{1 + T_2 p}{1 + T_1 p}, \quad (3.4)$$

де  $T_1 = (R_1 + R_2)C_2$ ;  $T_2 = R_2 C_2$ .

б) визначимо передавальну функцію для диференціальної ланки ( $R_3, R_4, C_2$ ):

$$W_2(p) = \frac{U_0(1+T_1p)}{1+T_2p}, \quad (3.5)$$

$$\text{де } T_1 = R_1C_1; T_2 = \frac{R_1R_2C_2}{R_1+R_2}; U_0 = \frac{R_2}{R_1+R_2}.$$

в) передавальна функція інтегро-диференціюючої ланки ( $R_5, R_6, C_3, C_4$ ) має вигляд

$$W_3(p) = \frac{(1+T_1p)(1+T_2p)}{(1+T_3p)(1+T_4p)}, \quad (3.6)$$

$$\text{де } T_1 = R_1C_1; T_2 = R_2C_2; T_1T_2 = T_3T_4; T_3+T_4 = T_1+T_2+R_1C_2.$$

Це рішення є послідовне з'єднання радіоелементів, для якого загальна передавальна функція матиме вигляд

$$W_\phi(z) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p). \quad (3.7)$$

Прийнявши всі постійні величини такими, що дорівнюють 1, можна побудувати годографи всіх елементів, що складають схему коректуючого фільтра (схема пасивного фільтра).

**Приклад 3.2** Скласти рівняння і передавальну функцію електромашинного підсилювача, в якому потік реакції якоря повністю компенсується і підсилювач працює на активне навантаження  $R_n$ .

Для ланцюга керування застосуємо другий закон Кірхгофа:

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} + (R_\epsilon + R_1)I_1 = U_1, \quad (3.8)$$

де  $L_1$  і  $R_1$  – індуктивність і опір обмотки керування;  $R_\epsilon$  – вихідний опір джерела вхідної напруги.

Для поперечного ланцюга, якщо застосувати другий закон Кірхгофа, запишемо:

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} = R_2I_2 = E_2 = C_1I_1, \quad (3.9)$$

де  $L_2$ ,  $R_2$  – індуктивність і опір поперечному ланцюгу;  $E_2$  – з.р.с. поперечного ланцюга;  $C_1$  – коефіцієнт пропорційності між з.р.с. і струмом керування.

Напругу на навантажувальному опорі можемо представити як

$$U_3 = R_n I_3 = \frac{R_n E_3}{R_n + R_3}, \quad (3.10)$$

де  $R_3$  – опір поздовжнього ланцюга.

З отриманих рівнянь запишемо:

$$(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)U_3 = kU_1, \quad (3.11)$$

де

$$T_1 = \frac{L_1}{R_6 + R_1}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2}; \quad k = \frac{C_1 C_2 R_n}{R_6 + R_1} \cdot R_2 (R_n + R_1).$$

Передавальна функція матиме вигляд

$$W(p) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{k}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}. \quad (3.12)$$

### ***Контрольні питання***

1. Що таке динамічна характеристика ОК?
2. Які існують методи отримання динамічних характеристик?
3. Як отримати динамічну характеристику ОК аналітичним шляхом?
4. У чому переваги експериментально-аналітичного методу дослідження динаміки ОК?
5. Які ОК відносяться до об'єктів високого порядку?
6. Що таке структура ОК?
7. Поясніть сенс декомпозиції при вивченні ОК.
8. Що таке багатовимірні об'єкти керування?
9. Як визначається передавальна функція ОК, якщо динамічні ланки – компоненти структури сполучені між собою послідовно і паралельно?
10. Поясніть принцип застосування аналітичного методу моделювання динаміки ОК.

## Тема 4 Вибір закону регулювання для об'єкта керування

Мета: вибрати закон регулювання для конкретного об'єкта керування і провести розрахунок налаштувань типового регулятора.

### Відомості з теорії

Технологічні об'єкти поділяють на *стійкі* (володіють самовирівнюванням)

$$T_0 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 X(t - \tau) \quad (4.1)$$

і *нейтральні* (відсутнє самовирівнювання)

$$T_\varepsilon \frac{dy(t)}{dt} = X(t - \tau), \quad (4.2)$$

де  $y$  – регульована величина;  $X$  – регулююча дія;  $T_0$  – постійна часу ОК;  $k_0$  – коефіцієнт передачі ОК;  $T_\varepsilon$  – час розгону об'єкта;  $\tau$  – час запізнювання;  $t$  – час.

До *якості регулювання ТО* відносяться: мінімальне значення динамічної помилки регулювання; мінімальний час регулювання.

Прийнято три типові вимоги до *перехідних процесів*: граничний аперіодичний процес; з 20%-им перерегулюванням; з мінімальною квадратичною площею відхилення.

Завдання вибору регулятора або закону регулювання має множинне рішення. При виборі закону регулювання (типу регулятора) враховують наступні чинники:

- властивості технологічного об'єкта;
- максимальна величина збурення;
- прийнятий для даного технологічного процесу вид типового перехідного процесу;
- допустимі значення показників якості процесу регулювання (динамічна помилка  $Y_{1\text{don}}$ , статична помилка  $Y_{\text{ст.дон}}$ , час регулювання  $t_{p.\text{дон}}$ ).

На багатьох технологічних об'єктах в основному застосовують *пропорційно-інтегрально-диференціальні* (ПІД) - регулятори.

Очевидно, що протікання перехідного процесу в конкретному ОК можуть забезпечити різні регулятори. Тому завжди доцільно вибір починати з найбільш простого типу регулятора.

Послідовність вибору регулятора:

1. Оцінюють властивості ОК. Якщо об'єкт володіє самовирівнюванням і малим часом запізнювання, то застосовують *I-регулятор*.
2. Якщо ОК відноситься до нейтральних об'єктів, то *I-регулятор* застосовувати не можна, оскільки створювана система буде нестійкою

при будь-яких значеннях налаштувань І-регулятора. *П-регулятор* можна застосувати на таких об'єктах, оскільки він володіє швидкодією, але при допустимому залишковому відхиленні параметра від заданого значення. При виборі простих *П-* і *І-регуляторів* завжди визначають максимальне динамічне відхилення регульованої величини.

3. *ПІ-регулятори* відрізняються швидкодією і здатні виводити параметр на задане значення. Проте вони погано працюють на ОК з великим часом запізнювання і значними змінами навантаження.
4. *ПІД-регулятори* застосовують на ОК з різними динамічними характеристиками. Проте якщо вони не забезпечують необхідний перехідний процес регульованої величини, а показники якості виходять за допустимі межі, то слід перейти від одноконтурної системи регулювання до багатоконтурного її вирішення.

При виборі пристрою регулювання орієнтування користуються наступними даними:

- позиційний регулятор  $\tau/T_0 < 0,2$ ;
- регулятор безперервний  $0,2 < \tau/T_0 < 1$ ;
- багатоконтурна система регулювання  $\tau/T_0 > 1$ .

*Визначення параметрів налаштування регуляторів проводять:* організованим пошуком (безпосередньо на діючій САР); розрахунковим шляхом (складання рівняння динаміки системи і його рішення щодо регульованої величини при різних налаштуваннях); за формулами і графічними залежностями (отриманими при моделюванні САР).

**Приклад 4.1** Вибрати тип і визначити оптимальні налаштувальні параметри регулятора, встановленого на стійкому об'єкті 1-го порядку із запізнюванням за наступних умов:

- коефіцієнт передачі ОК  $k_0 = 1,2$ ; постійна часу  $T_0 = 204\text{ ms}$ ; час запізнювання  $\tau = 54\text{ ms}$ ; відношення  $\tau/T_0 = 0,27$ ; *система регулювання повинна забезпечити перехідний процес з 20%-им перерегулюванням*;
- параметри якості перехідного процесу не повинні перевищувати наступні допустимі значення:

✓ динамічна помилка регулювання  $Y_{\text{don}} = 0,08$ , статична помилка регулювання  $Y_{\text{ст. don}} = 0,03$ , час регулювання  $t_{p.\text{don}} = 600\text{ ms}$ ;

- регулююча дія відповідає максимальній зміні збурення  $X_g = 0,12$ .

Максимальне відхилення регульованої величини

$$y_0 = k_0 X_g = 1,2 \cdot 0,12 = 1,44.$$

За графіком (рис. 4.1) визначимо динамічний коефіцієнт передачі  $R_d = \frac{y_1}{y_0}$  систем з регуляторами різних типів (таблиця 4.1). Якщо ОК відноситься до нейтральних, то слід користуватися рисунком 4.2.

Таблиця 4.1 – Визначення динамічних коефіцієнтів регуляторів

Закон регулювання	Динамічний коефіцієнт	Закон регулювання	Динамічний коефіцієнт
<b>I</b>	<b>0,64</b>	<b>III</b>	<b>0,32</b>
<b>II</b>	<b>0,36</b>	<b>ПД</b>	<b>0,24</b>

Використовуємо отримані дані для розрахунку максимального динамічного відхилення регульованої величини в замкнутому контурі:

– для стійких об'єктів

$$Y_{1y} = R_0 k_0 X_{\varepsilon}; \quad (4.3)$$

– для нейтральних

$$Y_{1n} = R_0 \cdot X_{\varepsilon}. \quad (4.4)$$

Отримані результати в таблиці 4.2 свідчать, що умова  $Y_{1y} < Y_{1don}$  ( $Y_{1don} = 0,08$ ) для I-регулятора не виконується.

Таблиця 4.2 – Розрахунок максимального динамічного відхилення

Закон регулювання	Максимальне динамічне відхилення	Закон регулювання	Максимальне динамічне відхилення
<b>I</b>	<b>0,0922</b>	<b>III</b>	<b>0,0461</b>
<b>II</b>	<b>0,0518</b>	<b>ПД</b>	<b>0,034</b>

Слід перевірити системи з іншими регуляторами (окрім I-регулятора).

Перевіримо II-регулятор на величину  $Y_{cm}$ . Для цього на рисунку 4.1 знайдемо величину  $Y_{cm}^*$  для процесу з 20%-им перерегулюванням і обчислимо величину

$$Y_{cm} = Y_{cm}^* \cdot y_0 = 0,28 \cdot 0,144 = 0,0403.$$

Отримана величина  $Y_{cm} > Y_{cm, don}$  ( $Y_{cm, don} = 0,03$ ) свідчить, що задана якість регулювання не буде забезпечена.

Перевіримо системи з III- і ПД-регуляторами на час регулювання  $t_p$ , скориставшись графіком (рис. 4.1):

для III – регуляторів  $t_p = 12 \cdot \tau = 12 \cdot 54 = 648$  (ms).

для ПД – регуляторів  $t_p = 8 \cdot \tau = 8 \cdot 54 = 432$  (ms).

Якщо порівняти отримані дані з вимогами до системи, то можна зробити висновок, що умова  $t_p < t_{p, don}$  ( $t_{p, don} = 600$  ms) виконується для системи з ПД-регулятором.

Оптимальні настройки параметрів регулятора можна визначити розрахунковим шляхом за формулами в таблицях 4.3, 4.4.

**Завдання.** Вибрати тип і визначити оптимальні настроювальні параметри для регулятора, встановленого на ОК 1-го порядку.

Таблиця 4.3 – Розрахунок параметрів регуляторів для статичних ОК

Регулятор	Типовий процес регулювання		
	Аперіодичний	З 20%-им перерегулюванням	З максимальним критерієм якості регулювання
П	$K=0,3/(kT/\tau)$	$K=0,7/(kT/\tau)$	$K=0,9/(kT/\tau)$
ПІ	$K=0,6/(kT/\tau)$ $T_u=0,6T$	$K=0,7/(kT/\tau)$ $T_u=0,7T$ ( $T_u=0,3T+\tau$ )	$K=1/(kT/\tau)$ $T_u=T$
ПІД	$K=0,95/(kT/\tau)$ $T_u=2,4\tau$ ; $T_d=0,4\tau$	$K=1,2/(kT/\tau)$ $T_u=2\tau$ ; $T_d=0,4\tau$	$K=1,4/(kT/\tau)$ $T_u=1,3\tau$ ; $T_d=0,5\tau$

Таблиця 4.4 – Розрахунок параметрів регуляторів для астатичних ОК

Регулятор	Типовий процес регулювання		
	Аперіодичний	З 20%-им перерегулюванням	З максимальним критерієм якості регулювання
П	$K=0,5/k$	$K=1/k$	$K=1,2/k$
ПІ	$K=0,7/k$ $T_u=2\tau$	$K=0,9/k$ $T_u=3\tau$	$K=1,4/k$ $T_u=3\tau$
ПІД	$K=0,95/k$ $T_u=5\tau$ ; $T_d=0,2\tau$	$K=1,2/k$ $T_u=2\tau$ ; $T_d=0,5\tau$	$K=2/k$ $T_u=1,6\tau$ ; $T_d=0,5\tau$

*Примітка:*  $K$  – коефіцієнт посилення;  $T_u$  – постійна інтеграції;  $T_d$  – постійна диференціювання.

### Контрольні питання

1. Які технологічні об'єкти відносяться до стійких?
2. Які ОК називають нейтральними?
3. Які величини характеризують якість регулювання ТО?
4. Поясніть типові вимоги до перехідних процесів.
5. Які чинники враховують при виборі закону регулювання для конкретного ОК?
6. Які існують закони регулювання?
7. Який рекомендується порядок при виборі закону регулювання?
8. У чому особливості І-регулятора?
9. У чому особливості П-регулятора?
10. Який регулятор називають з випередженням?
11. На яких ТО найчастіше застосовують ПІ- і ПІД-регулятори?
12. Який параметр використовують для орієнтовного вибору позиційної, безперервної і багатоконтурної систем автоматики?
13. Поясніть параметри настройки, передбачені в П-регуляторі?
14. Поясніть параметри настройки, передбачені в ПІ-регуляторі?
15. Поясніть параметри настройки, передбачені в ПІД-регуляторі?

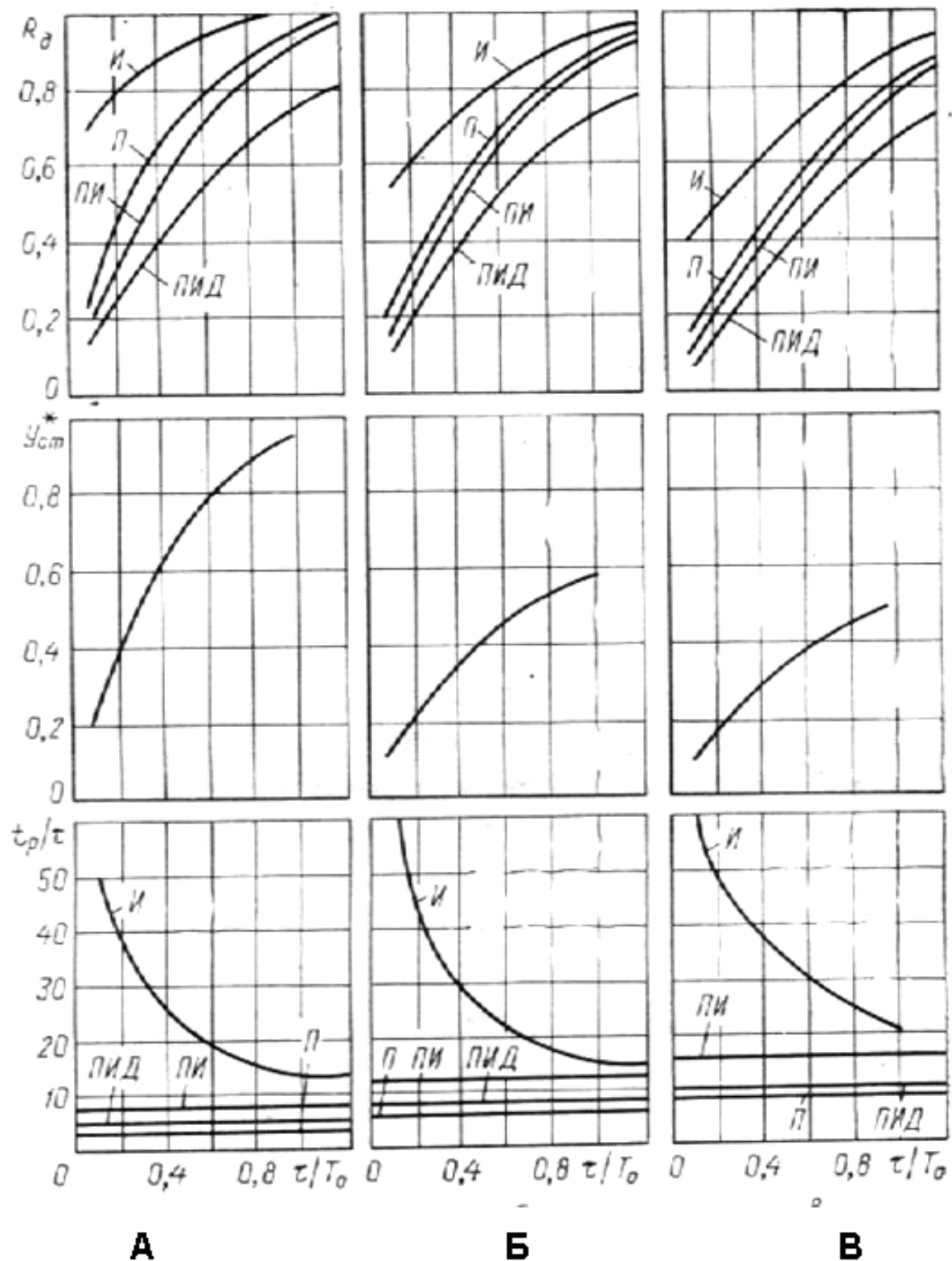


Рисунок 4.1 – Динамічні коефіцієнти регулювання  $R_d$ , статичні помилки регулювання  $y_{cm}$  і час регулювання  $t_p/\tau$  стійких об'єктів: А – аперіодичний перехідний процес; Б – з 20%-им перерегулюванням; В – з мінімальною квадратичною площею відхилення.



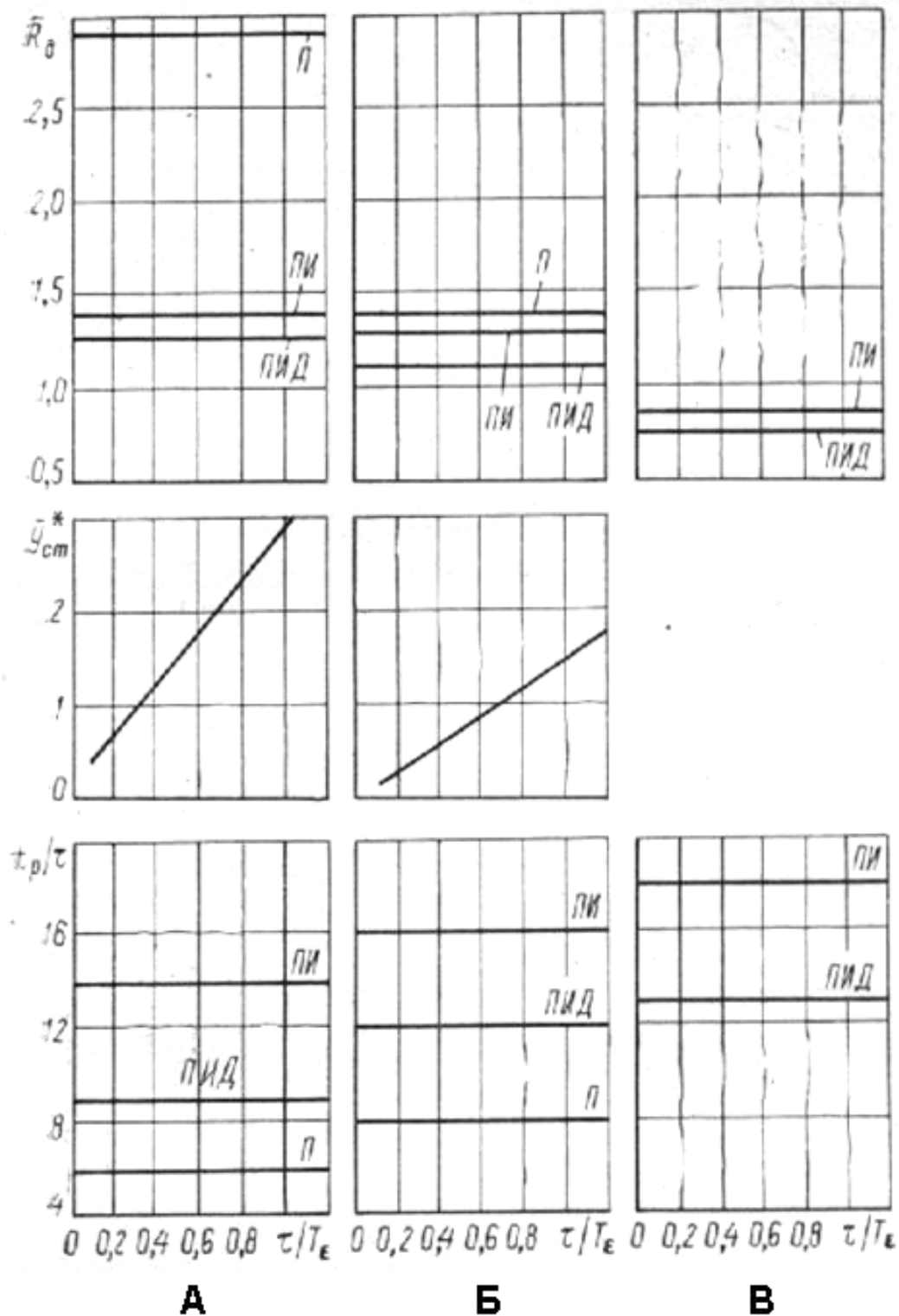


Рисунок 4.2 – Динамічні коефіцієнти регулювання  $R_0$ , статичні помилки регулювання  $u_{cm}$  і час регулювання  $t_p/\tau$  нейтральних об'єктів: А – аперіодичний перехідною процес; Б – з 20%-им перерегулюванням; В – з мінімальною квадратичною площею відхилення.

## Тема 5 Запис структур і умов роботи дискретних схем автоматики

Мета: освоїти метод структурних матриць для отримання формального опису роботи дискретних схем автоматики.

### *Відомості з теорії*

Математичним апаратом *методу алгебраїзації* схем автоматики є *двозначна алгебра логіки* (булева алгебра), яка вивчає зв'язки між змінними, що приймають тільки два значення 0 і 1. Такі змінні називаються *логічними*.

Цифри 0 і 1 *не виражають кількісних співвідношень*, стосовно об'єктів керування, але є однозначними символами, що характеризують умови в дискретних схемах. Оскільки стани контактних елементів пристроїв автоматики (прикладом такої системи є позиційний регулятор) часто тісно пов'язані з режимами експлуатації технологічних об'єктів, то за ними можна з високою точністю судити *про якість* технологічного процесу. Очевидно, що навіть нескладні схеми автоматики дозволяють здійснювати якісну оцінку технологічного процесу.

При аналізі дискретних схем або релейних пристроїв виділяють *приймальні, проміжні й виконавчі елементи*.

Дію будь-якого автоматичного пристрою описують функціональними залежностями між вхідними і вихідними змінними. Очевидно, що для релейних схем ці залежності виражають за допомогою *логічних функцій*.

Логічні функції подають у вигляді *таблиць істинності (стану)*, в яких записують різні комбінації значень аргументів і функцій.

Логічні функції двох змінних, а також кон'юнкції і диз'юнкції змінних називають *елементарними логічними функціями*. Використовуючи їх, можна будувати будь-які функції алгебри логіки з великим числом аргументів.

Для аналітичного запису релейних схем звичайно застосовують тільки три логічні функції: *інверсію, кон'юнкцію, диз'юнкцію*. Вибір цих функцій обумовлений простими і звичними їх властивостями, близькими до аналогічних операцій множення і складання.

Принцип підстановки у функцію нових функцій замість аргументів, слідуючи якому можна будувати функції з меншим числом змінних і навпаки, називається *принципом суперпозиції*.

*Метод структурних матриць (МСМ)*, або матриць безпосередньої провідності знайшов широке застосування для запису структур будь-яких пристроїв, складених з двополюсних елементів.

МСМ передбачає побудову квадратичних матриць з числом рядків і стовпців, що дорівнюють числу пронумерованих вузлів. Якщо між вузлами немає безпосередніх ланцюгів, то відповідні елементи матриці записують такими, що дорівнюють 0. Якщо два вузли з'єднуються безпосередньо – 1.

Для схеми включення виконавського елемента  $Y_1$  на рисунку 5.1 матриця матиме наступний вигляд:

$1$	$X_1$	$0$	$0$
$X_1$	$1$	$X_2$	$X_3$
$0$	$X_2$	$1$	$\bar{X}_4$
$0$	$X_3$	$\bar{X}_4$	$1$

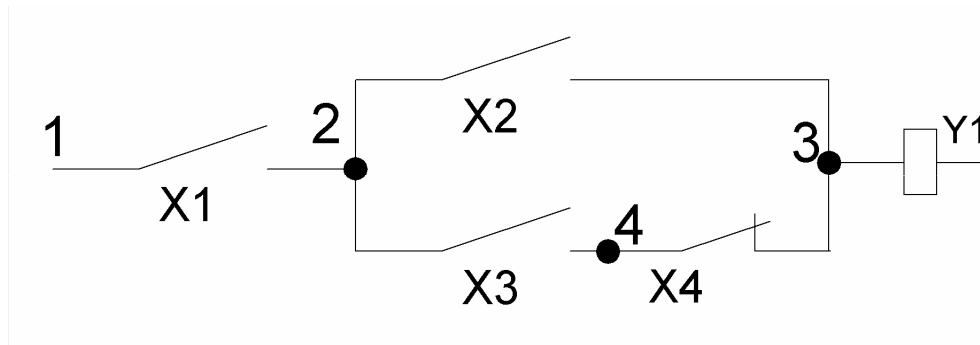


Рисунок 5.1 – Схема включення ВЕ

Важливою властивістю даної матриці є те, що при викреслюванні  $i$ -го рядка і  $j$ -го стовпця, визначник, який залишився, відповідатиме ланцюгу від вузла  $i$  до вузла  $j$ .

Для визначення умов спрацьовування ВЕ в отриманій матриці викреслимо перший рядок і третій стовпець (ланцюг між 1 і 3 вузлами). Визначник для вибраного ланцюга матиме наступний вигляд:

$$D_{13} = \begin{vmatrix} X_1 & 1 & X_3 \\ 0 & X_2 & \bar{X}_4 \\ 0 & X_3 & 1 \end{vmatrix}. \quad (5.1)$$

Визначник обчислюється за звичайними правилами, тільки всі члени розкладання беруть із знаком плюс:

$$F = X_1 X_2 \vee X_1 X_3 \bar{X}_4; \quad (5.2)$$

$$F = X_1 (X_2 \vee X_3 \bar{X}_4). \quad (5.3)$$

Після перетворень виразів алгебри, до отриманої залежності застосовують відповідні аксіоми і закони релейних ланцюгів. У результаті мінімізації отримують функціональну схему безконтактного пристрою. Для виразу (5.3), безконтактну схему ілюструє рисунок 5.2.

Застосовуючи МСМ, слід пам'ятати, що структурні формули завжди записуються для кожного проміжного або виконавчого елементів окремо, простежуючи перетворення вхідних сигналів від входу до виходу схеми.

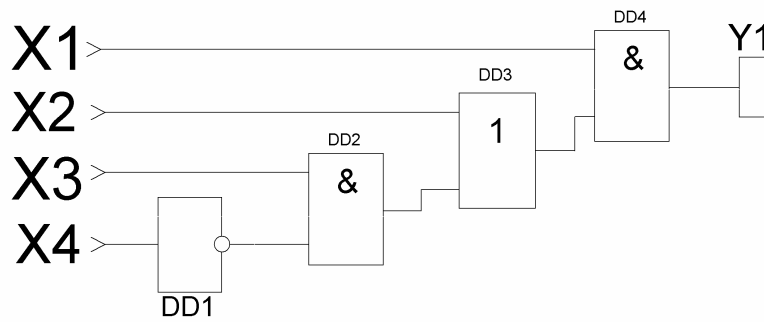


Рисунок 5.2 – Безконтактна функціональна схема

**Завдання.** Використовуючи МСМ, отримати структурну формулу для релейно-контактної схеми (рис. 5.3) і запропонувати спосіб запам'ятовування стану виконавського елемента  $Y_1$  (сигнального пристрою) з урахуванням зміни стану контактних елементів схеми, відмічених відповідними аргументами  $X_1 - X_5$ .

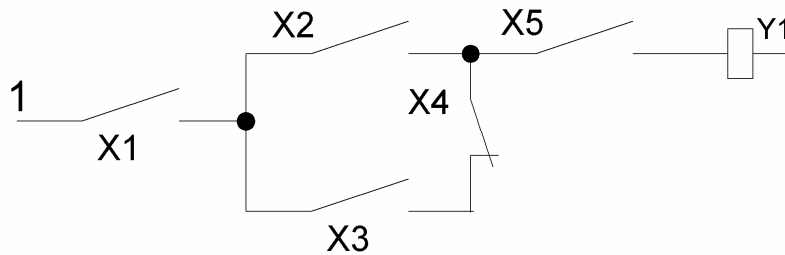


Рисунок 5.3 – Схема включення сигнального пристрою

### Контрольні питання

1. Поясніть призначення булевої алгебри.
2. У чому різниця кількісних і якісних величин, що характеризують роботу об'єкта керування?
3. Що відображають логічні функції?
4. Які логічні функції застосовують в аналітичному записі релейних схем?
5. Поясніть принцип суперпозицій для виразів, що відображають взаємозв'язок аргументів з функцією?
6. Поясніть порядок побудови квадратичної матриці при використанні методу структурних матриць для схем з двополюсниками.
7. Якою важливою властивістю володіє квадратична матриця?
8. Поясніть сенс мінімізації виразу алгебри.
9. Що ілюструє функціональна схема?
10. Яка елементна база використовується для реалізації функціональних схем?

## Тема 6 Дискретні компоненти цифрових систем автоматики

Мета: вивчити існуючі системи числення, їх взаємозв'язок і використання дискретних логічних елементів у засобах автоматизації технологічних процесів.

### Відомості з теорії

Системи числення цифрових пристроїв автоматики засновані на прийомах і правилах, застосування яких дозволяє однозначно представляти будь-яку числову інформацію у вигляді сукупності визначених символів.

Десяткова система числення (DEC): 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9.

Бінарна (BIN): 0,1.

Шістнадцятирічна (HEX): 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F.

Таблиця 6.1 – Метод перекладу цілих і дробових DEC-чисел у BIN- і HEX-кодах

Перетворення	Ціле число	Дробове число
DEC->BIN	$110:2=55+0$ $55:2=27+1$ $27:2=13+1$ $13:2=6+1$ $6:2=3+0$ $3:2=1+1$ $1:2=0+1$  <b>110D = 1101110B</b>	$0,34*2=0,68$ (0) $0,68*2=1,36$ (1) $0,36*2=0,72$ (0) $0,72*2=1,44$ (1) $0,44*2=0,88$ (0) $0,88*2=1,76$ (1) $0,76*2=1,52$ (1) $0,52*2=1,04$ (1)  <b>0,34D = 0,0101011B</b>
DEC->HEX	$110:16=6+14$ $14:16=0+14$  <b>110D=6EH</b>	$0,34*16=5,44$ (5) $0,44*16=7,04$ (7) $0,04*16=0,64$ (0) $0,64*16=10,24$ (10) $0,24*16=3,84$ (3)  <b>0,34D=0,570A3H</b>

### Приклад 6.1

Реалізувати систему сигналізації відповідно до таблиці істинності

$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

Використовуючи схему, наведену на демонстраційному стенді «ПрЭ-4Ц» програми SinSys (інтерфейс на рисунку 6.1), виконати індивідуальне завдання.

**Завдання:** використовуючи таблицю істинності (табл. 6.1), розробити цифрову систему блокування і сигналізації, що забезпечує відключення устаткування на діючому ТО при  $X_1 = X_2 = 1$  і автоматичне включення його при  $X_1 = X_2 = 0$ .

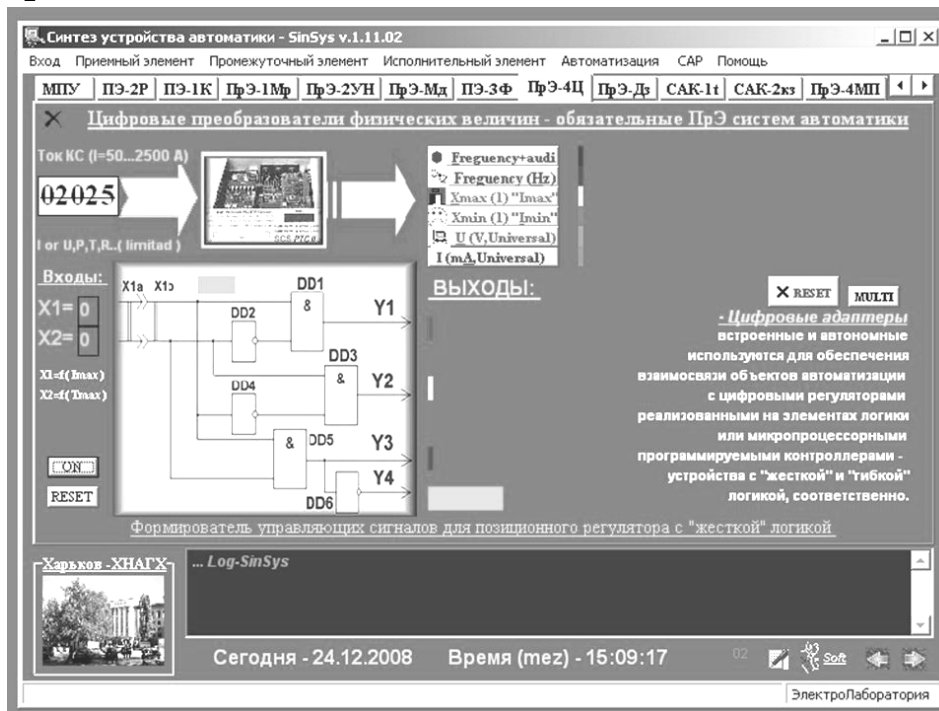


Рисунок 6.1 – Интерфейс програми «ПрЭ-4Ц»

### **Контрольні питання**

1. Поясніть застосування бінарної інформації в цифрових пристроях автоматики.
2. Поясніть принцип складання таблиці істинності.
3. Що позначають 0 і 1 в таблицях істинності цифрових приладів.
4. Як вибирають серійні логічні елементи для реалізації цифрових пристроїв автоматики?
5. У чому переваги цифрової техніки перед аналоговою при обміні інформацією?
6. Як організовується запам'ятовування інформації в цифрових пристроях?
7. Поясніть принцип стирання інформації в цифрових пристроях.
8. Які приймальні елементи використовують для формування логічних «0» і «1»?
9. Як реалізувати безконтактний формувач логічних «0» і «1»?
10. Перерахуйте відомі базові логічні елементи.

## Тема 7 Похибки вимірювань в засобах автоматизації, їх облік і способи усунення

*Мета:* оцінити похибки різних компонентів у системах автоматизації і вивчити способи їх обліку або компенсації в реальних технічних рішеннях.

### *Відомості з теорії*

*Вимірювання*, згідно з ДСТ 16263-70, – це знаходження значення фізичної величини за допомогою спеціальних технічних засобів.

При *прямих вимірюваннях* використовують прилади, в яких контрольована величина порівнюється з мірою її вимірювання (струм з ампером в амперметрі, напруга з вольтм в вольтметрі).

При *непрямих вимірюваннях* параметрів ТО використовують перетворення контрольованих величин, обчислюючи саму величину за формулами та ін., а результати розрахунків порівнюють з відповідними заходами вимірювання.

Окремими випадками методів порівняння з мірою є:

- *протиставлення* (величину порівнюють з відомими еталонними величинами);
- *диференціювання* (без досягнення рівноваги визначають різницю між заданим і поточним значеннями величини);
- *заміщення* (порівняння величини шляхом заміни її відомою величиною);
- *збіг* (порівняння з мірою вимірювання, застосовуючи збіги шкал двох величин).

Будь-які найточніші вимірювання супроводжуються похибками.

*Абсолютна похибка* – різниця між виміряною величиною і її дійсним значенням. Облік таких похибок досягається введенням поправки у вимірювання.

*Відносна похибка* – відношення абсолютної похибки до вимірюваної величини (звичайно виражається у відсотках).

*Приведена похибка* – відношення абсолютної похибки до нормуючого значення величини.

*Основна похибка приладу* – визначається якістю технічних засобів вимірювання.

*Додаткова похибка* – визначається впливом чинників, що порушують нормальні умови експлуатації приладів.

*Аддитивна похибка* – не залежить від значення вимірюваної величини (залежить від перешкод, дії зовнішніх чинників і т.п.).

*Мультиплікативна похибка* – залежить від значення вимірюваної величини (у стрілочному приладі порушується жорсткість протидіючої пружини).

*Клас точності засобів вимірювання* – узагальнена характеристика, визначувана межами допустимих основних і додаткових похибок та ін. чинниками.

**Класи точності приладів електровимірювань:** 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. *Наприклад*, для амперметра (0...5А) з класом точності 2,5 (2,5%) абсолютна похибка складе:  $(5 \cdot 2,5\%) / 100\% = \pm 0,125$  (А).

*Облік похибок в системах автоматизації* досягається технічними методами, вдосконалення яких отримав новий розвиток в мікропроцесорних (МП) засобах, можливості яких безмежні. Особливе вирішення цих завдань наочно в МП системах діагностики як на лабораторних стендах, так і на об'єктах, що діють, в мобільних варіантах.

**Приклад 7.1** Визначити похибки резистивного датчика-перетворювача, що підключається до схеми вимірювання за допомогою трьох проводів.

Для вирішення такого завдання необхідно мати формулу зв'язку параметрів, що впливають на контрольовану величину. Для даного випадку можна застосувати рівняння, що відображають результати вимірювання опорів проводів, вимірюваних попарно.

Запишемо систему умовних рівнянь (проведено дев'ять вимірювань):

$$R_1 + R_2 - 5,21 = 0; R_1 + R_2 - 5,35 = 0; R_1 + R_2 - 5,15 = 0;$$

$$R_2 + R_3 - 5,43 = 0; R_2 + R_3 - 5,47 = 0; R_2 + R_3 - 5,39 = 0;$$

$$R_3 + R_1 - 5,32 = 0; R_3 + R_1 - 5,36 = 0; R_3 + R_1 - 5,29 = 0.$$

Найбільш вірогідні значення позначимо:

$$R_1 - t; R_2 - u; R_3 - w.$$

*Випадкові залишкові відхилення* в умовних рівняннях запишемо:

$$V_1 = 5,21 - t - u;$$

$$V_2 = 5,25 - t - u;$$

$$\dots\dots$$

$$V_9 = 5,29 - t - w.$$

Визначимо часткові похідні:

$$\frac{\partial V_1}{\partial t} = -1; \frac{\partial V_2}{\partial t} = -1; \dots \frac{\partial V_9}{\partial t} = -1.$$

Після скорочень запишемо систему нормальних рівнянь:

$$6t + 3u + 3w = 31,58;$$

$$3t + 6u + 3w = 31,90;$$

$$3t + 3u + 6w = 32,26.$$



Вирішивши цю систему рівнянь, отримаємо:

$$t = 2,543; \quad u = 2,657; \quad w = 2,777.$$

Використовуючи систему рівнянь, запишемо головного визначника:

$$D = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix} = 4.$$

Знайдемо ад'юнкти елементів головної діагоналі:

$$A_{11} = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 3; \quad A_{22} = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 3; \quad A_{33} = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 3.$$

Очевидно, що всі вимірювання рівноточні (всі визначники рівні).

Визначимо *середню квадратичну похибку*  $\sigma_{\chi}$  сукупних вимірювань (відношення суми квадратів залишкових відхилень до різниці кількості вимірювань і числа невідомих):

$$\sigma_{\chi} = \left( \frac{0,19}{9-3} \right)^{0,5} = 0,18;$$

знайдемо *вагу* кожного чинника  $g_i$  :

$$g_i = \frac{D}{A_{11}} = \frac{D}{A_{22}} = \frac{D}{A_{33}} = \frac{4}{3} = 1,33;$$

визначимо *середню квадратичну похибку* всіх величин  $S$  :

$$S = \frac{\sigma_{\chi}}{(g_i)^{0,5}} = \frac{0,18}{1,33^{0,5}} = 0,155.$$

*Довірчі межі*  $\Delta$  випадкових похибок отриманих результатів з вірогідністю 0,95 будуть дорівнювати:

$$\Delta \approx 2S = 2 \cdot 0,155 = 0,31 \approx 0,3 \text{ (Ом)}.$$

**ВИСНОВКИ:** шукані значення опорів проводів можна записати у вигляді

$$R_1 = 2,5 \pm 0,3 \text{ (Ом)}; \quad P = 0,95;$$

$$R_2 = 2,7 \pm 0,3 \text{ (Ом)}; \quad P = 0,95;$$

$$R_3 = 2,8 \pm 0,3 \text{ (Ом)}; \quad P = 0,95.$$

Облік розрахованих величин похибок в реальному пристрої досягається введенням поправки у вимірювання (звичайно, при цьому враховується ступінь впливу похибки-«перешкоди», оскільки вона може позначитися на класі точності вимірювального пристрою).

**Приклад 7.2** У системі автоматики застосовуються 8- і 10-розрядні цифрові перетворювачі (АЦП і ЦАП). Необхідно визначити помилку  $\lambda_i$  перетворення (похибку) рівня вхідного сигналу, що дорівнює 5В, при нормованому інтервалі його зміни від 0 до 10 В.

Визначувана вага логічної одиниці в результаті перетворення інформаційного сигналу за допомогою АЦП-1 і АЦП-2 з відомими розрядностями:

$$\lambda_1 = \frac{10}{2^8} = \frac{10}{256} = 0,0391(B);$$

$$\lambda_2 = \frac{10}{2^{10}} = \frac{10}{1024} = 0,00977(B);$$

$$U_{01} = 5 \pm 0,0391(B);$$

$$U_{02} = 5 \pm 0,00977(B).$$

Похибка ЦАП визначається аналогічно.

**ВИСНОВКИ:** з отриманих даних очевидно, що розглянуті пристрої у промислових системах автоматики незначно відбиваються на результатах вимірювання. У дослідницьких лабораторіях для усунення таких похибок і підвищення точності вимірювань (зниження помилки) застосовують перетворювачі з великою розрядністю. Але слід пам'ятати, що підвищення розрядності відбивається на швидкості перетворення електричних величин. Сучасна промисловість випускає цифрові перетворювачі, обмежившись 12-тю розрядами.

**Приклад 7.3** Мікропроцесорна техніка для автоматизації ТО функціонує в умовах промислових перешкод. Вхідні ланцюги МПП екрановані й заземлені. Визначити похибку вимірювання контрольованого параметра ( $U_{\text{вх}} = 30 \text{ мВ}$ ), якщо рівень перешкоди (електромагнітні випромінювання) в лінії зв'язку досягає 200В, а у вхідний ланцюг МПП можна ввести дискретні фільтри з рівнями подавлення перешкод рівними 120, 80, 40, 20 і 10 dB (традиційна технічна характеристика багатьох *атенюаторів* – резистивних подавлювачів перешкод), що включаються на вхід пристроїв вимірювання технологічних параметрів.

Оскільки багато атенуаторів виконують у вигляді резистивних подільників вхідного сигналу, то в розрахунках використовується величина подавлення перешкоди, яка виражена не в дБ, а у відносних значеннях:

$$U_{ex1} = \frac{200}{80} dB = 0,2 (mB);$$

$$U_{ex2} = \frac{200}{80} dB = 0,20 (mB);$$

$$U_{ex3} = \frac{200}{40} dB = 42 (B);$$

$$U_{ex4} = \frac{200}{20} dB = 20 (B);$$

$$U_{ex5} = \frac{200}{10} dB = 63,25 (B).$$

Таблиця 7.1 – Переведення децибел у відносні значення

дБ	Відносне значення	дБ	Відносне значення	дБ	Відносне значення	дБ	Відносне значення	дБ	Відносне значення
0,01	1,001	0,1	1,012	1	1,122	10	3,162	100	100000
0,02	1,002	0,2	1,023	2	1,259	20	10	110	316200
0,03	1,004	0,3	1,035	3	1,413	30	31,62	120	1000000
0,04	1,005	0,4	1,047	4	1,585	40	100	130	$3162 \cdot 10^3$
0,05	1,006	0,5	1,059	5	1,778	50	316,2	140	$10^7$
0,06	1,007	0,6	1,072	6	1,995	60	1000	150	$3162 \cdot 10^4$
0,07	1,008	0,7	1,084	7	1,239	70	3162	160	$10^8$
0,08	1,009	0,8	1,096	8	2,512	80	10000	170	$3162 \cdot 10^5$
0,09	1,011	0,9	1,109	9	2,818	90	31620	180	$10^9$

### ВИСНОВКИ:

1. Оскільки максимальна напруга у вхідних ланцюгах ПК та інших МПП не повинна перевищувати  $\pm 30 B$ , очевидно, що фільтри з рівнем подавлення перешкод  $10dB$  в даному пристрої застосовувати не можна оскільки «перешкода» може вивести з ладу ціле устаткування. Аналогічні випадки виникають під час грози, коли в лініях електропередачі наводяться значні ЕРС, а мікропроцесорні пристрої залишаються включеними в мережу живлення. Ці міркування справедливі при розгляді ТО електричного транспорту та ін. Захист МПП по мережі живлення виконують *ОБОВ'ЯЗКОВО*, але вона ефективна за наявності *ЕКРАНУВАННЯ* і індивідуального *ЗАЗЕМЛЕННЯ*.

2. Оскільки рівень корисного сигналу  $U_{ex} = 30mB$ , то результати розрахунку дозволяють стверджувати, що тільки фільтри  $80$  і  $120 dB$  доцільно використовувати в проєктованих мікропроцесорних пристроях автоматики.

**Приклад 7.4** Розрахувати атенуатор на базі резисторів для вхідного ланцюга МПП автоматики, щоб при рівні низькочастотної перешкоди, що

досягає 50 В, не знижувалася точність вимірювань інформаційних сигналів з рівнем 5 – 45 мВ і МПП не було виведене з ладу.

Технічна характеристика атенюатора визначиться шляхом розрахунку співвідношення величин

$$50 \text{ В} / 5 \text{ мВ} = 10000 (10000 > 80 \text{ дБ}).$$

$$50 \text{ В} / 45 \text{ мВ} = 1111,1 (1111,1 > 60,915 \text{ дБ}).$$

Для автоматизації цих розрахунків можна скористатися електронним довідником **«Калькулятор математика»** («SinSys» ➤ «Помощь» ➤ «Математика» або <Ctrl+M>).

Очевидно, що потрібно передбачити двоступінчастий резистивний атенюатор у вигляді двох шунтів. Приймаючи потужність розсіювання на атенюаторі в 0,5 Вт, розрахуємо

$$R_1 = \frac{0,005 \cdot 50}{0,5} = 0,5 \text{ (Ом)};$$

$$R_2 = \frac{0,045 \cdot 50}{0,5} = 4,5 \text{ (Ом)}.$$

Для вибору резисторів слід користуватися таблицею 7.2.

Таблиця 7.2 – Ряди номінальних величин опорів резисторів і ємкостей конденсаторів загального застосування

Ряд величин	Номінальні значення (одиниці, десятки Ом, кОм, мОм, гОм, пФ, мкФ, Ф)						Допустимі відхилення від номінального значення, %
E6	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 20
E12	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 10
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	± 10
E24	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 5
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	± 5
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	± 5
	1,3	2	3	4,3	6,2	9,1	± 5
E48	100	147	215	316	464	681	± 2
	105	154	226	332	487	715	± 2
	110	162	237	348	511	750	± 2
	115	169	249	365	536	787	± 2
	121	178	261	383	562	825	± 2
	127	187	274	402	590	866	± 2
	133	196	287	422	619	909	± 2
	140	205	301	442	649	953	± 2

При використанні резисторів з різною величиною допустимого відхилення їх номіналу якості виробу на їх основі також змінюватиметься.

#### ВИСНОВКИ:

Враховуючи вимоги до проектного пристрою, для його виготовлення слід використовувати резистори ряду E48 (± 2%).

### **Контрольні питання**

1. Що таке вимірювання?
2. У чому різниця прямих і непрямих вимірювань?
3. Пояснити окремі випадки методів вимірювання.
4. Які існують похибки?
5. Як визначається клас точності вимірювальних засобів?
6. Поясніть на прикладах способи обліку похибок.
7. Чи залежить похибка вимірювань від елементної бази вимірювального приладу?
8. Як впливають перешкоди на роботу вимірювальних пристроїв?
9. Чому у вимірювальних засобах рекомендують застосовувати екранування і заземлення?

### **Тема 8 Оцінка стійкості об'єкта керування за допомогою АФХ**

Мета: перетворити передавальну функцію об'єкта керування в частотну характеристику і побудувати годограф амплітудно-фазової характеристики (АФХ) для дослідження ТО.

#### *Відомості з теорії*

Рівняння динамік і передавальні функції характеризують об'єкт керування різною мірою. Кожна передавальна функція визначає динамічні властивості ТО тільки для одного каналу дії, а рівняння динаміки часто відображає декілька каналів дії. З цієї причини доцільно отримати декілька передавальних функцій, щоб повною мірою визначити поведінку ТО при різних діях або динаміку ТО по декількох каналах дії. Розглядаючи будь-який з каналів дії на ТО, завжди слід пам'ятати, що решта вхідних дій при цьому звичайно має нормовані величини, похідні за часом рівні нулю.

Щоб перетворити передавальну функцію

$$W(p) = \frac{2p + 5}{3p + 10p + 1} \quad (8.1)$$

у частотну характеристику, виконаємо підстановку

$$p = jw, \quad (8.2)$$

де  $p$  – оператор Лапласа;  $j$  – уявна одиниця ( $j = (-1)^{0,5}$ );  $w$  – частота, рад/с, і запишемо

$$W(jw) = \frac{2jw + 5}{-3w^2 + 10jw + 1}. \quad (8.3)$$

Позбавимося від комплексності знаменника, що дозволить отримати АФХ у вигляді складання реальної і уявної складових:

$$W(jw) = \operatorname{Re}(w) + j \operatorname{Im}(w), \quad (8.4)$$

де

$$\operatorname{Re}(w) = \frac{5(w^2 + 1)}{9w^4 + 94w^2 + 1}; \quad (8.5)$$

$$\operatorname{Im}(w) = -\frac{6w^3 + 48w}{9w^4 + 94w^2 + 1}. \quad (8.6)$$

Побудову годографа АФХ за амплітудно-фазовою характеристикою  $W(jw)$  проводимо шляхом підстановки в неї значень частоти  $w$  від 0 до нескінченності.

**Приклад 8.1** Виконати побудову АФХ за передавальною функцією

$$W(p) = -\frac{0,5p^2 + 6,72p + 1,23}{0,5p^2 + 7,6p + 1}; \quad (8.7)$$

$$\operatorname{Re}(w) = -\frac{(0,25w^4 + 51w^2 + 1,23)}{0,25w^4 + 56,8w + 1}; \quad (8.8)$$

$$\operatorname{Im}(w) = -\frac{7,16w^3 + 2,63w}{0,25w^4 + 56,8w + 1}; \quad (8.9)$$

Таблиця 8.1 – Початкові дані для побудови АФХ

№ п/п	W, рад/с	Re(w)	Im(w)
1	0	1,23	0
2	0,1	1,10	-0,18
3	0,2	1	-0,17
4	0,3	0,95	-0,15
5	0,4	0,93	-0,13
6	1	0,91	-0,16
7	5	0,74	-0,58
8	10	0,34	-0,87
9	15	-0,01	-0,96
10	20	-0,29	-0,93
11	30	-0,6	-0,78
12	40	-0,95	-0,64
13	50	-0,84	-0,59
14	60	-0,88	-0,45
15	70	-0,91	-0,39
16	80	-0,93	-0,35
17	90	-0,95	-0,30
18	100	-0,96	-0,28
19	140	-0,98	-0,20
20	∞	-1	0

Дані таблиці 8.1 використовують для побудови годографа (рис. 8.1) і аналізу стійкості ТО при різних величинах  $w$  за допомогою відповідного критерію.

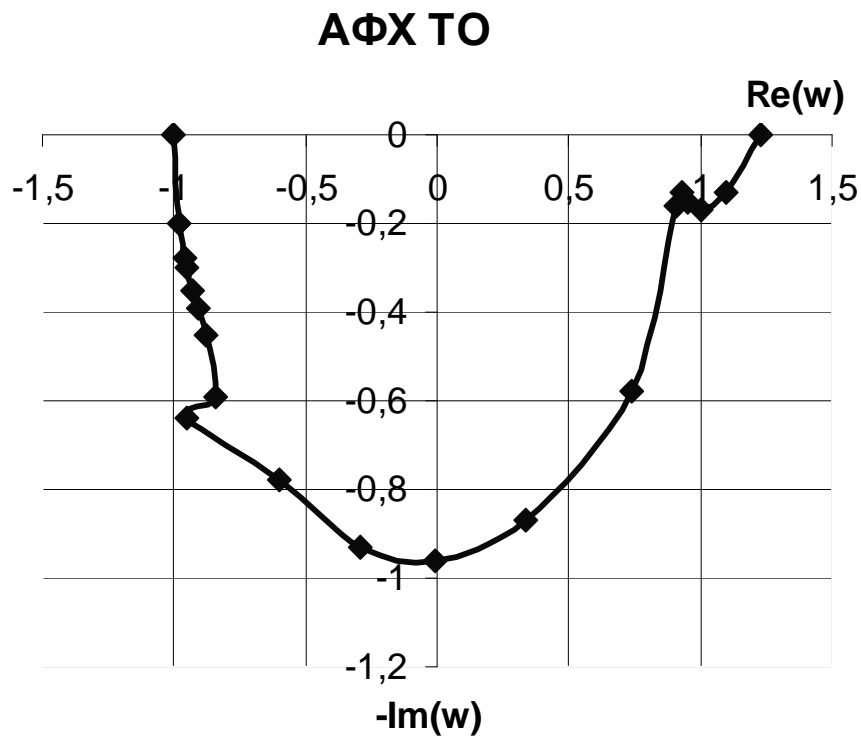


Рисунок 8.1 – Годограф АФХ технологічного об'єкта

### *Контрольні питання*

1. Поясніть шляхи вивчення динаміки об'єктів керування.
2. У чому особливість передавальних функцій при дослідженні динаміки ТО?
3. Що таке годограф АФХ?
4. Який порядок отримання АФХ?
5. Які критерії використовують для аналізу стійкості ТО за допомогою графічних АФХ?

## Тема 9 Розрахунок вимірювальної схеми САР

Мета: вивчити призначення вимірювальної схеми в САР і виконати її розрахунок для резистивного датчика температури.

### *Відомості з теорії*

Вимірювальні схеми застосовують для перетворення параметра приймального елемента, що підключається до них, в електричний сигнал. Так, якщо терморезистор включений у вимірювальний міст, зміна його внутрішнього опору під впливом температури навколишнього середовища викличе зміни рівноваги схеми і на вимірювальній діагоналі з'явиться напруга пропорційно контрольованій температурі.

*Вимірювальний ланцюг (ВЛ)* з живленням постійним чи змінним струмом застосовують з параметричним перетворювачем (датчиком) для його узгодження з наступним елементом електричної схеми. Вихід ВЛ майже завжди з'єднаний з входом підсилювача. ВЛ служить для зниження впливу на результати вимірів ліній зв'язку, компенсації початкового значення вихідного сигналу датчика, одержання строго лінійної шкали із заданими межами виміру, визначення знака ( $\pm$ ) збільшення контрольованої величини, усунення впливу на датчик вхідних ланцюгів підсилювача та ін.

Датчики, в яких вихідною величиною є струм чи напруга звичайна, включають у мостову вимірювальну схему (рисунок 9.1) з напругою живлення  $U_{MIN}$ . Основною умовою рівноваги електричного моста є рівність добутків опорів протилежних плечей:

$$R_2(R_T + R_L) = (R_1 + R_L)(R_H + R_{np}). \quad (9.1)$$

Рівняння рівноваги моста при нижній межі виміру має вигляд

$$R_2(R_{T MIN} + R_L + R_{np}) = (R_1 + R_L) \cdot R_H. \quad (9.2)$$

Вибір величини  $R_{np}$  дозволяє встановлювати верхню межу шкали вимірюваного параметра. Розрахунок резистора межі виміру  $R_{np}$  виконують з урахуванням інтервалу варіювання величини датчика – перетворювача  $R_T$  за формулою

$$R_{np} = \frac{R_2 \cdot (R_{T MAX} - R_{T MIN})}{R_1 + R_2 + R_L}. \quad (9.3)$$

Величина баластного резистора  $R_1$  знаходять з умови рівності опорів датчика в середній точці діапазону вимірів. Величини  $R_1$  і  $R_2$  звичайно рівні між собою, що забезпечує збільшення чутливості ВЛ.



Значення резистора визначення початку шкали  $R_H$  розраховують за формулою

$$R_H = \frac{R_2 \cdot (R_{T \text{ MIN}} + R_L + R_{np})}{R_1 + R_L}. \quad (9.4)$$

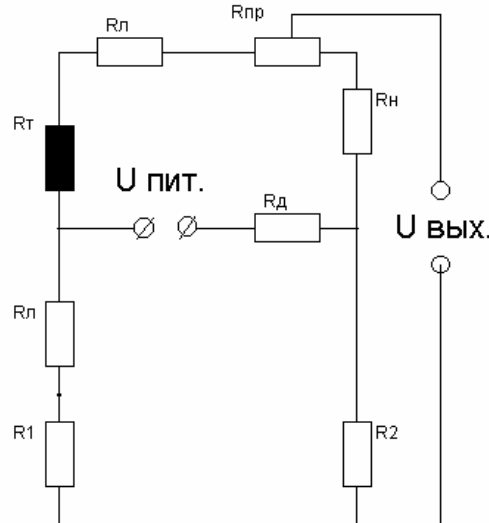


Рисунок 9.1 – Мостова вимірювальна схема

Комбінація включення настроювальних постійних і змінних резисторів з мінімальними припустимими відхиленнями їхніх значень дозволяє досягнути високої точності результатів виміру контрольованої величини. При цьому максимальна сила струму  $I_{T \text{ MAX}}$  через датчик може бути обрана резистором обмеження струму  $R_D$  відповідно до залежності

$$I_{T \text{ MAX}} = \frac{U_{\text{MIN}}}{R_{T \text{ MIN}} + R_L + R_{np} + R_H + R_D}, \quad (9.5)$$

$$R_D = \frac{U_{\text{MIN}}}{I_{T \text{ MAX}}} - (R_{T \text{ MIN}} + R_L + R_{np} + R_H). \quad (9.6)$$

При виконанні індивідуальних завдань слід використовувати дані таблиці Д2. Для перевірки розрахунків скористайтеся програмою SinSys.

### Контрольні питання

1. Що таке приймальний елемент?
2. Поясніть призначення вимірювальної схеми.
3. Для чого розраховують компоненти вимірювальної схеми?
4. Які відомі вимірювальні схеми?
5. Як використовують результати розрахунків при виборі компонентів вимірювальних схем?

## Тема 10 Розрахунок електромагнітного виконавчого пристрою САР

Мета: вивчити будову електромагнітного виконавчого пристрою і виконати розрахунок для його реалізації

### *Відомості про використання нестандартних виконавчих пристроїв у САР*

При реалізації у САР електромеханічних *виконавчих механізмів* (ВМ) на жаль, не завжди вдається знайти серійний пристрій, що задовольняє вимогам до його монтажу і умовам довготривалої експлуатації. Тому таке нестандартне устаткування розробники САР часто проектують і виготовляють власними силами. До таких ВМ відносяться прямоходові електричні приводи, вживані для відкривання і закривання дверей, переміщення засувки різного призначення, включення силових ланцюгів живлення в електротехнічному устаткуванні та ін.

Прямоходовий електромагнітний *виконавчий елемент* (ВЕ) (рис. 10.1) складається з електромагніту (з Ш-подібними частинами осердя 1,3 і котушки 2, рухомої рами 4, поперечини 5 з ізоляційного матеріалу з подвійними контактами 6 і нерухомих контактів 7, до яких приєднуються проводи електричного ланцюга, який замикає ВЕ.

Коли по обмотці електромагніта протікає електричний струм, нижня рухома частина осердя (якір) піднімається вгору, захоплюючи за собою рухома раму з установленими на поперечині подвійними контактами. Рухомі контакти щільно доторкаються до нерухомих контактів і з'єднують їх. Відбувається замикання ланцюга, керованого контактором.

Прямоходові ВЕ виготовляють одно- і триполюсними (для трифазного змінного струму).

Котушки більшості електромагнітних ВЕ конструктивно виконують на каркасах і розраховують на тривале включення.

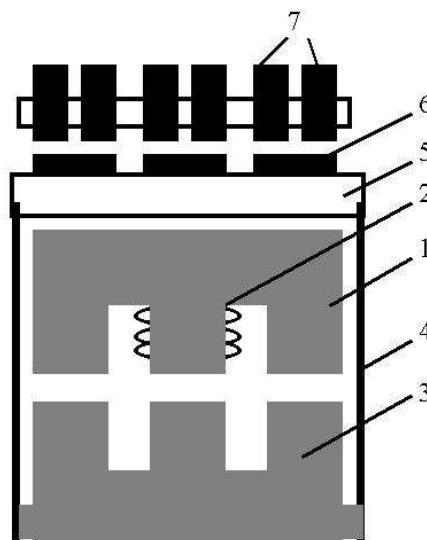


Рисунок 10.1 – Прямоходовий виконавчий елемент

Поверхню котушки  $S_{\epsilon}$  постійного струму, що знаходиться в повітрі, і поверхню  $S_M$ , що стикається з металом при її, наприклад, циліндричному виконанні, визначають за формулами

$$S_{\epsilon} = \pi D_H h + \frac{\pi(D_H^2 - D_B^2)}{4}; \quad (10.1)$$

$$S_M = \pi D_B h + \frac{\pi(D_H^2 - D_B^2)}{4}, \quad (10.2)$$

де  $D_H, D_B, h$  – зовнішній, внутрішній діаметри і довжина котушки.

Обмотувальні дані котушки розраховують у такій послідовності: потужність котушки

$$P = k_1 S_B + k_2 S_M. \quad (10.3)$$

Коефіцієнти  $k_1, k_2$  визначають потужність, виділювану з одиниці поверхні котушки, залежать від товщини обмоток і умов експлуатації.

Площа вікна

$$S = \frac{D_H - D_B}{2} \cdot h. \quad (10.4)$$

Середня довжина витка котушки

$$L_{cp} = \pi S. \quad (10.5)$$

Сила котушки, що намагнічує, для обмоток, виконаних з круглого мідного проводу:

$$F = 5(P)^{0,5} \left( \frac{S}{L_{cp}} \right)^{0,5}. \quad (10.6)$$

Діаметр проводу котушки

$$D_{II} = 0,16 \cdot \left( \frac{L_{cp} F}{U_Y} \right)^{0,5}, \quad (10.7)$$

$U_Y$  – значення напруги керуючого ланцюга.

Число витків котушки

$$\omega = \frac{0,64 \cdot S}{D_{II}^2}. \quad (10.8)$$

Якщо котушка ВЕ включається в керуючий ланцюг послідовно, то розрахунок конструктивних даних здійснюють, використовуючи значення струму  $I_Y$ , за формулами

$$\omega = \frac{F}{I_Y}, \quad (10.9)$$

$$D_{II} = 0,8 \left( \frac{S}{\omega} \right)^{0,5}. \quad (10.10)$$

Розрахунок котушок змінного струму при максимальному використанні їхнього об'єму виконують в наступному порядку.

В апаратах змінного струму (з рівнобіжними котушками перерізом  $S_c$ ) максимальна робоча індукція знаходиться в межах 0,7–1,1 Т. При такій індукції і частоті 50 Гц значення ЕРС складатимуть:

$$E = (1,6 \dots 2,5) \cdot 10^{-2} \omega S_c. \quad (10.11)$$

Число витків, що приходить на кожний вольт прикладеної напруги,

$$\omega_v = (40 \dots 60) \cdot S_c. \quad (10.12)$$

Число витків котушки на напругу  $U_y$

$$\omega = \omega_v \cdot U_y. \quad (10.13)$$

Площу вікна визначають за залежністю (10.13), а переріз і діаметр проводу

$$S_{II} = \frac{S \cdot k_3}{\omega}; \quad (10.14)$$

$$D_{II} = 1,13 \cdot S_{II}^{0,5}; \quad (10.15)$$

$$k_3 = (0,63 \dots 0,74) \cdot \left( \frac{D_{II}}{D_{III}} \right)^2, \quad (10.16)$$

де  $D_{II}$ ,  $D_{III}$  – діаметр проводу без ізоляції і з ізоляцією відповідно.

При виконанні індивідуальних завдань (таблиця ДЗ) слід використовувати номограми (рисунок ДІ).

### **Контрольні питання**

1. Що таке виконавський елемент?
2. Поясніть призначення прямоходового виконавчого пристрою.
3. Які і для чого розраховують величини виконавського елемента?
4. Які відомі виконавські елементи?
5. Поясніть різницю між виконавським елементом і виконавчим пристроєм.

## Тема 11 Розрахунок параметрів для вибору активного елемента безконтактного виконавчого пристрою САР

*Мета:* вивчити призначення безконтактного виконавського елемента і виконати розрахунок для вибору активного елемента для його реалізації.

### *Відомості з теорії*

Безконтактні виконавчі пристрої, вживані в САР, не мають комутуючих контактів, оскільки необхідні електричні з'єднання у схемах автоматики реалізують, використовуючи властивості напівпровідникових елементів (транзисторів, тиристорів, семісторів, оптичних пар та ін.), що полягають в однонаправленій їх провідності, якою можна керувати. Одним з популярних безконтактних пристроїв у САР є підсилювач потужності на транзисторі, наприклад, з навантаженням – обмоткою збудження електричного двигуна або прямоходового ВМ.

Розрахунок параметрів для вибору активного елемента підсилювача потужності зводиться до визначення величин, за якими вибирають напівпровідникові компоненти схем, що серійно випускаються.

Електронний підсилювач постійного чи змінного струмів призначений для перетворення аналогової електричної величини в пристроях автоматики. Серед безлічі основних характеристик параметрів підсилювачів (наводяться в технічному паспорті виробу) важливими є:

- ✓ коефіцієнт підсилення – відношення збільшення значення вихідної напруги до зміни вхідної напруги, що його викликала ( $K_U = 10^4 \div 10^8$ );
- ✓ напруга зсуву – напруга, яку необхідно прикласти між входами для одержання нуля на виході пристрою (електронний спосіб компенсації нуля в ВЛ з підсилювачами);
- ✓ температурний дрейф вхідного струму – коефіцієнт, що дорівнює відношенню максимальної зміни вхідного струму до зміни навколишньої температури, що його викликала;
- ✓ вхідний і вихідний опори, що враховуються при узгодженні підсилювача з датчиками, вимірювальними ланцюгами на вході і наступними каскадами перетворення чи ВЕ на його виході відповідно.

Розрізняють *підсилювачі DA струму* (ПС) ( $K_i = 10^2 \div 10^6$ ), *напруги* (ПН) ( $K_U = 10^6 \div 10^8$ ) і *потужності* (ПП) ( $K_p = 10 \div 10^4$ ).

Підсилювачі вибирають з номенклатури відповідних їхніх серій мікросхем чи збирають з окремих напівпровідникових елементів. Вибір необхідних компонентів засобів автоматики здійснюють на основі попередніх розрахунків.

Наприклад, для ПП спочатку визначають максимальну амплітуду напруги на навантаженні

$$U_H = 0,5E - Uk_{\min}, \quad (11.1)$$

де  $E$  – напруга джерела живлення (ДЖ) (В);  $Uk_{\min}$  – напруга на виході (колекторі) ПП, що відповідає прямолінійній ділянці статичної характеристики колекторного струму (попередньо приймають 0,8 – 1,5 В).

Максимальну потужність у навантаженні знаходять за формулою

$$P_H = \frac{U_H^2}{2R_H}, \quad (11.2)$$

де  $R_H$  – опір навантаження (залежить від застосовуваного ВЕ).

Максимальний струм колектора розраховують, користуючись наближеною залежністю

$$I_{K \max} \cong \left( \frac{2P_H}{R_H} \right)^{0,5}. \quad (11.3)$$

Максимальне значення середнього струму (споживаного від джерела живлення, що враховується при виборі ДЖ) визначають з виразу

$$I_{cp} = \frac{I_{K \max}}{\pi}. \quad (11.4)$$

З огляду на коефіцієнт корисної дії ДЖ

$$\eta = 0,78 \left( 1 - \frac{2Uk_{\min}}{E} \right) \quad (11.5)$$

можна знайти максимальну потужність, що розсіюється на вихідному транзисторі ПП:

$$P_K = P_H \cdot \frac{1 - \eta}{2\tilde{\eta}}. \quad (11.6)$$

Якщо напруга джерела живлення  $E$  не задається, то його можна розрахувати за формулою

$$E = 2 \left[ (2P_H R_H)^{0,5} + Uk_{\min} \right]. \quad (11.7)$$

Знайдені таким чином величини  $P_K, I_{K \max}, I_{cp}, E \cong U_{KE}$  – напруга «колектор – емітер» дозволяють вибрати необхідний тип транзистора чи мікросхему для реалізації ПП, навантаженням якого буде конкретний виконавчий елемент (табл. 11.1, 11.2).

Таблиця 11.1 – Параметри деяких тиристорів

Тип	Прямий струм у відкритому стані, А	Постійне зворотня напруга у закритому стані, В	Постійний відмикаючий струм, мА	Відмикаюча напруга, В	Напруга у відкритому стані, В	Час включення, мкс	Час виключення, мкс
2У104А	0,1	15	15	2	2	0,29	2,5
КУ201А	25	200	100	6	2	10	100
КУ202Д	10	100	100	5	2	10	150
КУ202Н	10	400	100	5	2	10	150
КУ203Ж	10	150	450	5	2	3	7
2У211К	20	800	300	5	2	4	25
КУ208Г	5	400	500	5	2	10	10
Т6-10	10	100-1600	3-25	4	2,1	10	30-150
ЕВ320Б	320	100-2010	300	4	0,9	11	150-250
Е3-500	500	800-1600	400	7	1,6	10	250-500
Т253-800	800	10000	400	3,5	2,1	10	50

Таблиця 11.2 – Параметри деяких транзисторів

Тип	Структура	Uкб, В	Uкз, В	Iкмах, мА	Ркмах, Вт	fгр., МГц
КТ312А	п-р-п	15	15	20	0,225	80
КТ361А	р-п-р	25	25	10	0,150	250
КТ315А	п-р-п	-	20	100	0,150	250
ГТ806Б	р-п-р	100	65	25	2	10
1Т813В	р-п-р	70	150	30	1,5	30
КТ209М	п-р-п	60	90	300	0,2	0,4
КТ3117Б	п-р-п	75	75	400	0,3	200
КТ3157А	р-п-р	250	250	100	0,1	60
КТ6117Б	п-р-п	160	140	600	250	100
КТ6127А	р-п-р	50	90	2000	30	150
2Т708А	р-п-р	100	100	2500	5	3
КТ8127А	п-р-п	1500	700	7500	56	2
КТ816Г	р-п-р	60	60	6000	25	3
КТ8181А	п-р-п	700	400	8000	50	4
КТ1827А	п-р-п	100	100	40000	125	4
КТ926А	п-р-п	200	150	25000	450	51
КТ8116А	п-р-п	100	100	16000	125	4
ТІР122	п-р-п	100	100	Аналог - КТ8116А		

### Контрольні питання

1. Що таке безконтактний виконавський елемент?
2. Поясніть переваги й недоліки безконтактного ВЕ.
3. Які і для чого розраховують параметри безконтактного ВЕ?
4. Які відомі безконтактні виконавські елементи?
5. Поясніть різницю між безконтактним виконавчим елементом і безконтактним виконавчим пристроєм.

## Тема 12 Проектування джерела живлення для пристрою автоматики

Мета: вивчити призначення блоку живлення, принцип складання таблиці потреби джерел живлення, виконати розрахунок трансформатора імпульсного джерела для реалізації блоку електричного живлення проектного пристрою автоматики.

### *Відомості з теорії*

Сучасні засоби автоматики мають порівняно невеликі габарити, а їх енергоспоживання не перевищує декількох десятків ват. Для їх надійного функціонування розробляють малогабаритні імпульсні джерела електричного живлення (ДЕЖ), популярність яких обумовлена економічністю, можливістю компенсації реактивній потужності, застосуванням автономних акумуляторів для реалізації безперебійного режиму електричного живлення пристрою автоматики.

Перевагою імпульсних джерел живлення є можливість створення необхідного коефіцієнта потужності, що наближає форму споживаного струму до тієї, яка спостерігається при включенні в мережу чисто активного навантаження. Враховуючи ці сучасні досягнення електронної схемотехніки, доцільно провести конструктивний розрахунок імпульсного джерела живлення, яке можна рекомендувати для широкого використання в системах автоматики ТП. Він відрізняється необхідною економічністю і відповідає стандарту ІЕС 1000-3-2, що регламентує рівень гармонійних складових, які викликаються в однофазну живлячу мережу, наприклад з напругою 220...240В, від якої живиться автоматика ТП. Група D цього стандарту включає практично все устаткування потужністю до 600 Вт, до якого можна віднести і засоби автоматики, споживаючі струму менше 16 А.

Для розробки ІДЕЖ слід розрахувати такі початкові величини:

– споживану потужність  $P_n$

$$P_n = U_{np} \cdot I_{np} + U_{nv} \cdot I_{nv} + U_{nt} \cdot I_{nt}, \quad (12.1)$$

де  $U_{np}$  – напруга навантаження, В;

$I_{np}$  – струм, споживаний навантаженням, А;

$U_{nv}, U_{nt}$  – напруга на вторинних навантаженнях, В;

$I_{nv}, I_{nt}$  – струми, споживані вторинними навантаженнями, А.

Використовувана потужність трансформатора

$$P_{is} = 1,3 \cdot P_n \quad (12.2)$$



Площа перерізу трансформатора визначається залежністю

$$S_c = 0,01 \cdot \frac{(D_D - D_d) \cdot H}{2}, \quad (12.3)$$

де  $D_D$  – зовнішній діаметр, см;

$D_d$  – внутрішній діаметр, см;

$H$  – висота осердя, см.

Площу вікна вибраного магнітопровода розраховуємо з виразу

$$S_o = 0,01 \cdot \frac{\pi \cdot D_D \cdot D_d}{4}. \quad (12.4)$$

Габаритну потужність трансформатора на торі розраховуємо за формулою

$$P_d = \frac{S_c \cdot S_o \cdot F \cdot B_m}{150}, \quad (12.5)$$

де  $F$  – частота перетворення задаючого генератора, kHz;

$B_m$  – магнітна індукція в магнітопроводі, Т.

Якщо використовувана потужність менше габаритної, слід застосувати інший типорозмір осердя. Інакше треба продовжити розрахунок.

Напруга на первинній обмотці

$$U_1 = \frac{U_p}{2} - 1,6, \quad (12.6)$$

де  $U_p$  – напруга автономного джерела живлення, В.

Число витків первинної обмотки трансформатора визначається як

$$W_1 = \frac{2,5 \cdot U_1}{F \cdot B_m \cdot S_c}. \quad (12.7)$$

Максимальний струм первинної обмотки можна розрахувати за формулою

$$I_1 = \frac{P_n}{0,8 \cdot U_1}. \quad (12.8)$$

Діаметр проводу для цієї обмотки

$$D_1 = 0,6 \cdot \sqrt{I_1}, \quad (12.9)$$

число витків вторинних обмоток визначаємо за залежністю

$$W_i = \frac{W_1 \cdot U_i}{U_1}. \quad (12.10)$$

Діаметр проводу для кожної вторинної обмотки

$$D_i = 0,6 \cdot \sqrt{I_i}. \quad (12.11)$$

**Завдання 12.1.** Виконати розрахунок параметрів трансформатора для ІДЖ, використовуючи наступні початкові величини:

- напруга живлення перетворювача  $U_{жив} = 24 \text{ В}$ ,
- частота задаючого генератора, дорівнює  $100 \text{ Hz}$ ;
- індукція магнітопроводу  $B = 0,1 \text{ Т}$ ;
- напруга першої вторинної обмотки  $U_{н1} = 5 \text{ В}$ ;
- другої  $U_{н2} = 9 \text{ В}$ ; третьої  $U_{н3} = 5 \text{ В}$ ; п'ятої  $U_{н5} = 16 \text{ В}$ ;
- струм першої вторинної обмотки  $I_{н1} = 0,1 \text{ А}$ ; другої  $I_{н2} = 0,05 \text{ А}$ ; третьої  $I_{н3} = 0,05 \text{ А}$ ; п'ятої  $I_{н5} = 0,5 \text{ А}$ ,

Для вибору осердя трансформатора слід користуватися довідковими даними, представленими в *Help* програми SinSys.

### **Контрольні питання**

1. Поясніть призначення блоку електричного живлення у пристрої автоматики.
2. Як визначити потребу джерел живлення?
3. Чому джерела живлення називаються імпульсними?
4. Поясніть переваги й недоліки імпульсного ДЖ.
5. Які параметри визначають при розрахунку джерела живлення?
6. Для чого випускають різні типи осердя для трансформаторів джерел живлення?

## Тема 13 Діаграми взаємодії компонентів електротехнічних пристроїв автоматики

*Мета:* вивчити принципи побудови діаграм взаємодії і скласти діаграму для конкретного пристрою автоматики.

### *Відомості з теорії*

Робота САР передбачає реалізацію розроблених алгоритмів, коли при виконанні певних умов здійснюється включення або відключення виконавчих пристроїв, що визначають дію на ТО та ін. Так при позиційному керуванні ТО досягнення контрольованим параметром найменшого допустимого значення може бути причиною включення електричного виконавчого механізму (ЕОМ), дії якого направлені на усунення такого стану в ТО. У результаті включення ЕОМ, наприклад, величина параметра починає зростати, а при досягненні нею максимального допустимого рівня відбудеться відключення ЕОМ. Цей алгоритм виконується безперервно, що звичайно зручно представляти діаграмами взаємодії.

Існують діаграми взаємодії двох типів.

*Перший тип* – зображує послідовність дії і час у сталих режимах.

*Другий тип* – відображає роботу схем у несталих режимах.

Кількість рядків на діаграмах рівна кількості апаратів, взаємодія яких розглядається. Для полегшення опису схем автоматики характерні точки на діаграмах нумерують (зліва направо) і з'єднують стрілками, що вказують спрямування процесу між компонентами, відповідними проекціями, що зображаються.

**Приклад 13.1** Вивчити взаємодію проміжних реле в схемі автоматики (рисунок 13.1«А») і представити роботу цього пристрою у вигляді діаграми взаємодії першого типу.

При побудові діаграми взаємодії дотримують прийнятого масштабу часу по горизонтальній осі, що дозволяє визначати тривалість будь-якої частини процесу, проте абсолютні величини діаграми не відображають.

На рисунку 13.1«Б» зображена діаграма взаємодії компонентів схеми автоматики, фрагмент якої містить вимикач *SA1*, реле проміжні *K1*, *K2* і резистор *R1*.

**Завдання:** підготувати словесний опис роботи схеми, внести до неї зміни, згідно з індивідуальним завданням, підготувати діаграму взаємодії першого типу для даного технічного рішення з новими властивостями.

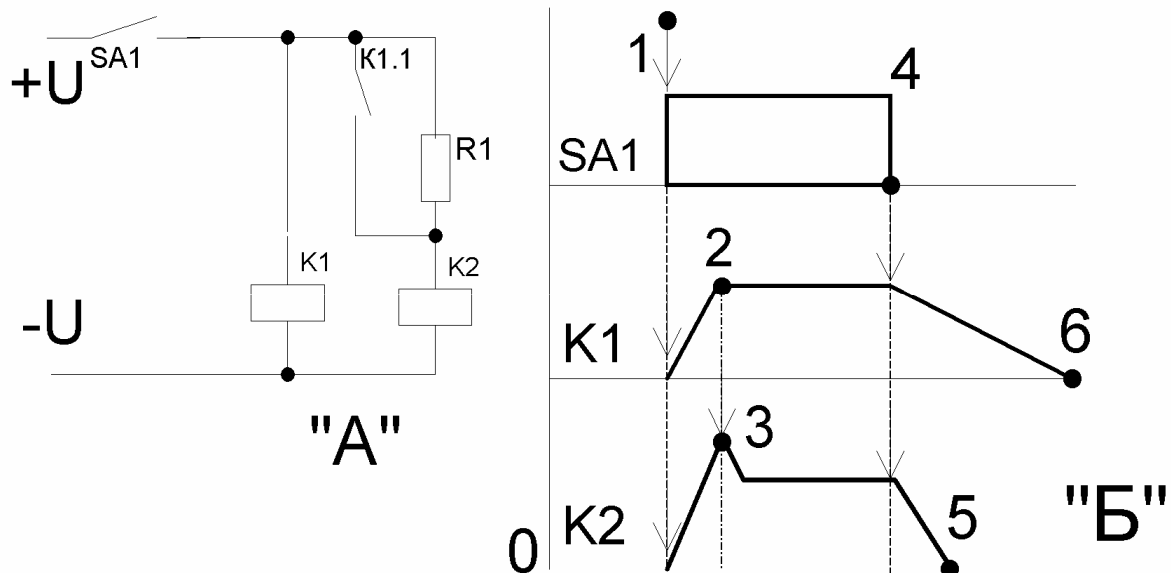


Рисунок 13.1 – Приклад побудови діаграми взаємодії першого типу

### ***Контрольні питання***

1. У чому різниця діаграм взаємодії першого і другого типів?
2. Для чого розробляють діаграми взаємодії?
3. Поясніть правила побудови діаграм взаємодії.
4. Чи можна і як визначити тривалість процесу в системі автоматики за діаграмою взаємодії?
5. Чи є різниця у проекціях виконавських елементів різного виконання?
6. Чи можна знайти абсолютні значення величин, відбиваних діаграмами?

## Тема 14 Проектування щитів і пультів систем автоматики

Мета: вивчити призначення, характеристики, конструкції щитів і пультів і сучасні засоби для їх проектування.

### *Відомості з теорії*

На щитах і пультах систем автоматизації ТП (щити контролю, керування, живлення та ін.) розміщують різну апаратуру, прилади, засоби керування, сигналізації і т.д. Конструкції щитів виконуються відповідно до ГОСТ 3244-68 та ін. для їх розташування у приміщеннях, на рухомих об'єктах або відповідно до спеціальних вимог для використання при низьких і високих температурах, вібрації, вологості, дії агресивних середовищ і т.п.

*Щит шафовий* – шафа зі встановленою апаратурою, електричною проводкою, підготовленою до підключення зовнішніх ланцюгів і приладів, що встановлюються на ТО.

*Пульт* – корпус, що має форму столу з похилою площиною, зі встановленою апаратурою керування, з електричною проводкою для підключення зовнішніх ланцюгів.

Позначення шаф і пультів в аббревіатурі відображає їх конструкцію, наприклад, *щит шафовий із задніми дверима, відкритий з правого боку* позначається ЩШ-ЗД-ОП; *пульт з приладовою приставкою вертикальний* – ПВП та ін.

При замовленні щитів і пультів їх розміри вказуються в позначенні:

Щит шафової ЩШ-ЗД-ОП-2200X800X600, де 2200 мм – висота, 800 мм – ширина, 600 мм – глибина шафи.

При проектуванні шаф і пультів враховують ергономічні рекомендації, що включають особливості організації робочого місця оператора, який має справу з моделями об'єкта керування. При цьому оператор повинен уміти вирішувати найскладніші завдання, виходячи із показань приладів, лаконічної інформації табло, мнемосхем, оптичних і звукових сигналів та ін. технічних засобів. У нормальних режимах оператор працює відносно спокійно, що не можна віднести до аварійних ситуацій. Очевидно, що ці чинники повинні враховуватися при проектуванні шаф і пультів шляхом раціонального розміщення на них всіх необхідних компонентів САР.

Важливе значення має технічна естетика, яка включає дизайн устаткування, органів керування і колірну гамму використовуваних матеріалів.

При проектуванні щитів, пультів і корпусів технічних засобів автоматики необхідно особливу увагу приділяти проектуванню монтажу всіх компонентів, які при ремонті доводиться демонтувати або замінювати справним устаткуванням, для чого витрати робочого часу не повинні бути значними.

Специфічні вимоги висуваються при проектуванні електронних систем керування, коли оператор має справу з моделлю ТО на екрані монітора, на якому також розміщуються і прилади, і табло, і органи керування.

Приклади пульта, приладу і інтерфейсу САР ілюструють рисунки 14.1, 14.2, 14.3.

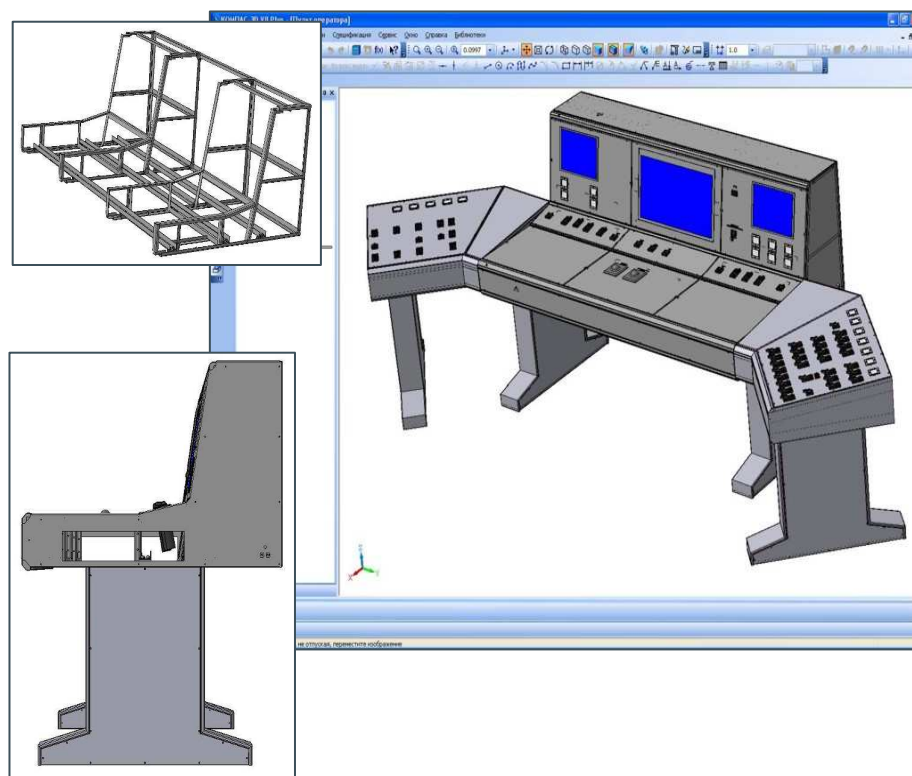


Рисунок 14.1 – Проект пульта керування САР ТО

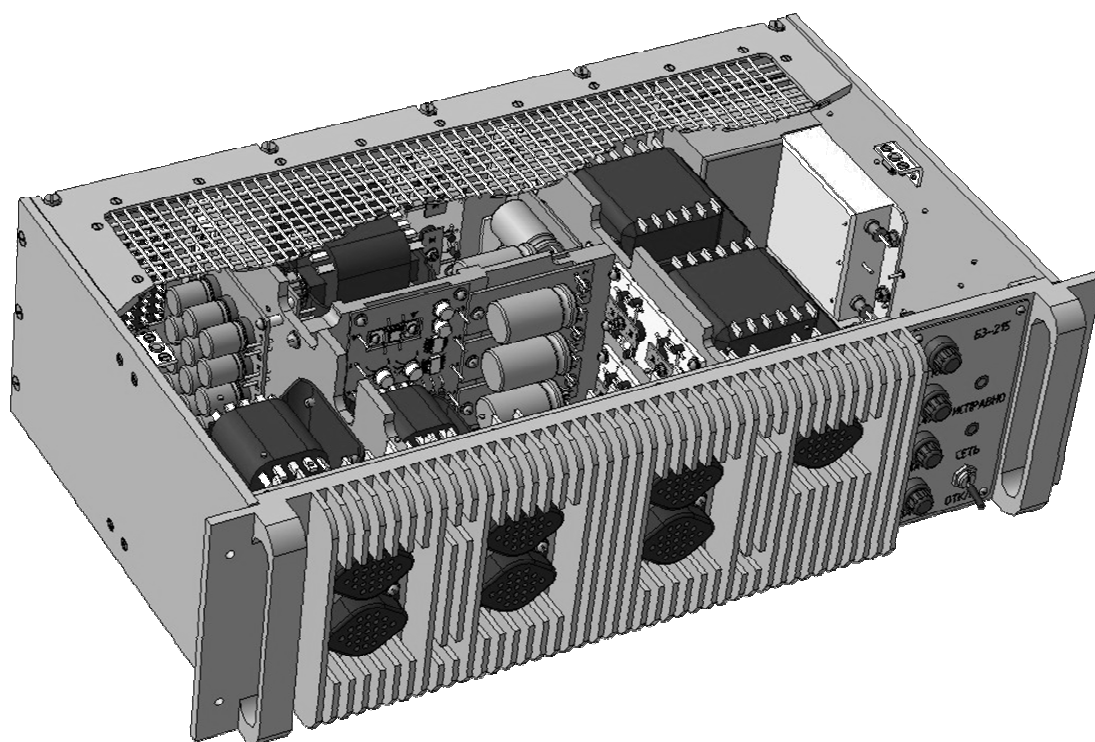


Рисунок 14.2 – Проект корпусу приладу для реалізації локальної САР ТО

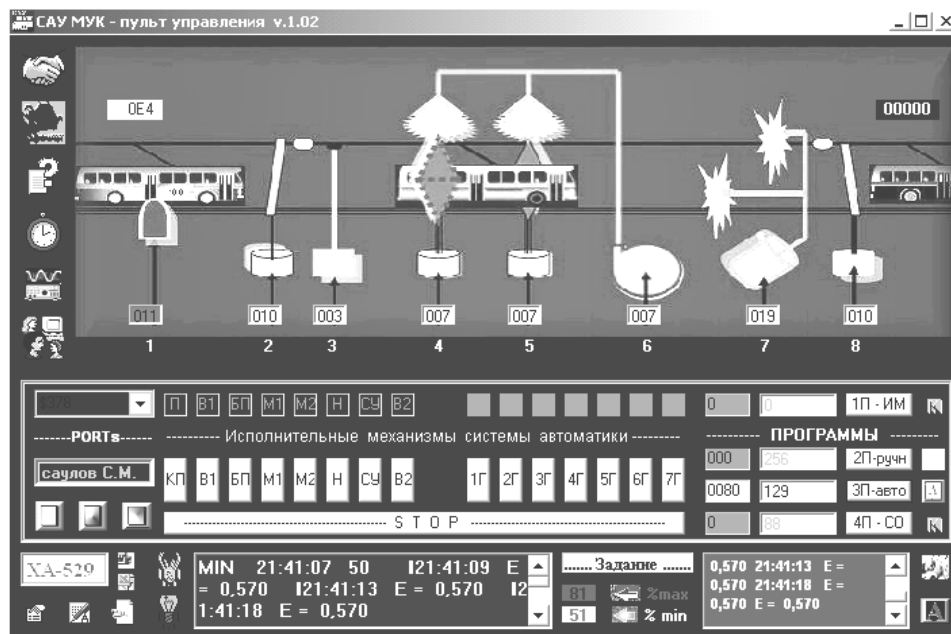


Рисунок 14.3 – Інтерфейс пульта керування мікропроцесорної САР мийно-прибирального корпусу депо

**Завдання:** запропонувати ескізний проект пульта керування технологічного об'єкта відповідно до індивідуального завдання (таблиця 1.4).

### ***Контрольні питання***

1. Пояснити призначення шафових щитів в САР.
2. Пояснити призначення пультів керування в САР.
3. Як позначають шафи і пульти при їх замовленні для виготовлення (постачання)?
4. Які вимоги враховують при проектуванні шаф і пультів керування?
5. У чому особливості інтерфейсів програмованих САР?

## Тема 15 Оцінка економічних показників проектного пристрою автоматизації

*Мета:* вивчити причини впровадження автоматизації технологічних процесів і установок, чинники, що впливають на економічні показники, виконати розрахунок проектного САР або технічного рішення.

### *Відомості з теорії*

Автоматизація технологічних процесів і установок дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, підвищити якість, обсяг і продуктивність праці, знизити трудомісткість отримання продукту і досягти високого рівня безпеки роботи обслуговуючого персоналу.

При розробці засобів автоматизації звичайно виконують порівняння пропонуваного технічного рішення з відомими аналогами на діючому об'єкті або на інших підприємствах.

Оскільки пропонуване технічне рішення призначене для удосконалення наявного устаткування, то оцінка його економічних показників може бути виконана на основі порівняння роботи функціонуючого устаткування з модернізованим варіантом.

Витрати на виконання нового технічного рішення можна визначити, тому що всі компоненти входять у розроблені схеми. Крім того, варто враховувати витрати на проектування, розробку програмного продукту, якщо передбачається модернізація автоматизованого робочого місця оператора корпусу.

Після виготовлення схеми звичайно виконують роботи з її налагодження, монтажу на діючому устаткуванні й остаточні пуско-налагоджувальні роботи всієї системи автоматизації з модернізованими вузлами або блоками.

Витрати на розробку пропонуваного технічного рішення представимо в таблиці 15.1.

Таблиця 15.1 – Витрати на розробку системи автоматизації.

№ п/п	Елементи витрат	Сума, грн.
1	Дослідницькі роботи	1200
2	Проектні роботи	1300
3	Компоненти пристрою	600
4	Матеріали для виготовлення пристрою на друкованій платі	70
5	Розробка (модернізація) програмного забезпечення	800
6	Монтаж і пуско-налагоджувальні роботи	2500
<b>Всього</b>		<b>6470</b>

Витрати на експлуатацію існуючої і пропонуваної систем автоматизації можуть бути визначені при використанні даних з технологічного об'єкта.



Наприклад, для експлуатації устаткування мийно-прибирального корпусу депо (МПК), де використовується система автоматики, витрати на оплату електричної енергії можна розрахувати за формулою

$$Z_1 = Q \cdot T, \quad (15.1)$$

де  $Q$  – кількість використаної електроенергії,  $\text{kVt}$ ;  $T$  – тариф за один  $\text{kVt/год}$ ,  $\text{грн.}$ ,

$$Z_1 = 3600 \cdot 0,252 = 907 (\text{грн}).$$

Оскільки в новому технічному рішенні пропонується виключити релейні компоненти, то, мабуть, споживання електричної енергії напівпровідниковими схемами скоротиться і складатиме

$$Z_{1_n} = 460 \cdot 0,252 \cong 116 (\text{грн}).$$

Витрати на обслуговування релейно-контактної системи автоматики визначаються регламентом на проведення таких робіт і можуть бути розраховані за формулою

$$Z_2 = N \cdot T, \quad (15.2)$$

де  $T$  – середня місячна заробітна плата персоналу, що обслуговує конкретне устаткування;  $N$  – кількість місяців.

$$Z_2 = 150 \cdot 12 = 1800 (\text{грн}).$$

Перевага безконтактних логічних мікросхем, які експлуатуються без обслуговування, забезпечують скорочення витрат, передбачені раніше за цією статтею. У грошовому вираженні ця величина буде

$$Z_{2_n} = 28 \cdot 12 = 336 (\text{грн}).$$

Витрати на амортизацію системи автоматики визначають поквартально, виходячи з базової вартості устаткування на початок кварталу за встановленою нормою амортизації:

$$A = \frac{S \cdot N}{100}. \quad (15.3)$$

Оскільки пропонується пристрій можна віднести до експериментальних рішень, то, використовуючи варіанти класифікації основних фондів підприємств, норма амортизації для них складе 20%.

З огляду на розглянуті підходи можна скласти таблицю експлуатаційних витрат на зміст системи автоматики (табл. 15.2), з огляду на існуючий ( $EX$ ) і пропонується ( $NEW$ ) варіанти.

Таблиця 15.2 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Елемент витрат	Сума, грн.	
		EX	NEW
1	Електроенергія	907	116
2	Заробітна плата персоналу	1800	336
3	Нарахування на заробітну плату	666	124
4	Амортизація (20%)	674,60	115,20
<b>Всього</b>		<b>4047,60</b>	<b>691,20</b>

Таким чином, витрати на зміст існуючих і пропонованої систем автоматики складають *4045 грн* і *691 грн* відповідно.

Витрати на виготовлення і впровадження нового обладнання  $Z_k$  вимагають капіталовкладень у розмірі *6470 грн*.

Економія витрат на експлуатацію системи автоматики забезпечиться в розмірі

$$Y = \sum Z_{EX} - \sum Z_{NEW}, \quad (15.4)$$

$$Y = 4045 - 691 = 3354 (\text{грн}).$$

Маючи отримані дані, можна оцінити економічні показники від упровадження системи автоматики без обліку інвестицій на реалізацію поставленого завдання.

Оскільки вартість проекту складає *6470 грн*, те строк окупності  $T_{ок}$  даного пристрою можна розрахувати за формулою

$$T_{ок} = \frac{Z_k}{Y}, \quad (15.5)$$

$$T_{ок} = \frac{6470}{3354} = 1,93 \approx 2 (\text{роки})$$

Якщо для реалізації проекту передбачається використовувати кредит якого-небудь банку, то у статтю витрат необхідно внести й річні ставки у відсотках до суми кредиту, що визначаються банками в різних розмірах.

Попередній розрахунок дозволяє стверджувати, що строк окупності проекту не перевищить *2 років*. У сучасних умовах господарювання такий термін є реальним і привабливим з погляду удосконалення застарілої матеріально-технічної бази на будь-яких діючих аналогічних технологічних об'єктах.

### **Контрольні питання**

1. Для чого здійснюється економічний аналіз технічних рішень?
2. Поясніть порядок визначення витрат для впровадження нової техніки.
3. Що є причиною впровадження систем автоматизації на технологічних об'єктах?
4. Як визначають експлуатаційні витрати при впровадженні систем автоматики?
5. Які чинники визначають при економічному аналізі технічних рішень?

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Єсаулов С.М. Синтез систем автоматизації технологічного об'єкта. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів та установок» (для студентів 5 курсу всіх форм навчання спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації і електропривод») – Х.: ХНАМГ, 2008. – 74 с.
2. Єсаулов С.М., Гарбуз Н.В. Системи автоматичного регулювання технологічних процесів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Автоматизація технологічних процесів та установок» (для студентів 5 курсу всіх форм навчання спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації і електропривод») – Х.: ХНАМГ, 2008. – 67 с.
3. Єсаулов С.М. Периферійні компоненти мікропроцесорних пристроїв. Методичні вказівки до вивчення курсу "Мікропроцесорні пристрої" і виконання контрольної та самостійної робіт (для студентів 4-5 курсу усіх форм навчання спеціальності 7.092 202 «Електричний транспорт») - Х.: ХНАМГ, 2007.- 63 с.
4. Єсаулов С.М. Мікропроцесорні пристрої на електротранспорті. Навчальний посібник з курсу "Мікропроцесорні пристрої" (для студентів 4 - 5 курсів усіх форм навчання спеціальності 7.092.202 - "Електричний транспорт") – Х.: ХНАМГ, 2007. – 182с.
5. Єсаулов С.М. Мікропроцесорні пристрої. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу „Мікропроцесорні пристрої” (для студентів 4 курсу усіх форм навчання спец. 7.092202 „Електричний транспорт”. – Х.: ХНАМГ, 2006. -66 с.
6. Єсаулов С.М. SinSys – учебная программа для домашнего ПК студента. - [www.tmn.hotmail.ru](http://www.tmn.hotmail.ru), ©2004-2007.
7. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
8. Воронов А.А. Теория автоматического управления. – М.: Высш. школа, 1986. – 356 с.
9. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. – М.: Химия, 1992. – 299 с.
10. Ключев А.С., Глазов Б.В., Миндин М.Б. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 376 с.
11. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 296 с.

Таблиця Д1 – Перетворення за Лапласом деяких функцій

Оригінал	Зображення
$1(t) = 0$ при $t < 0$ $1(t) = 1$ при $t > 0$	$1/p$
$t$	$1/p^2$
$kt$	$k/p^2$
$\exp(-kt)$	$1/(p+k)$
$\sin kt$	$k/(p^2+k^2)$
$\cos kt$	$p/(p^2+k^2)$
$t \exp(-kt)$	$1/(p+k)^2$
$t \sin kt$	$k/(p+k)^2+k^2$
$t \cos kt$	$(p+k)/[(p+k)^2+k^2]$

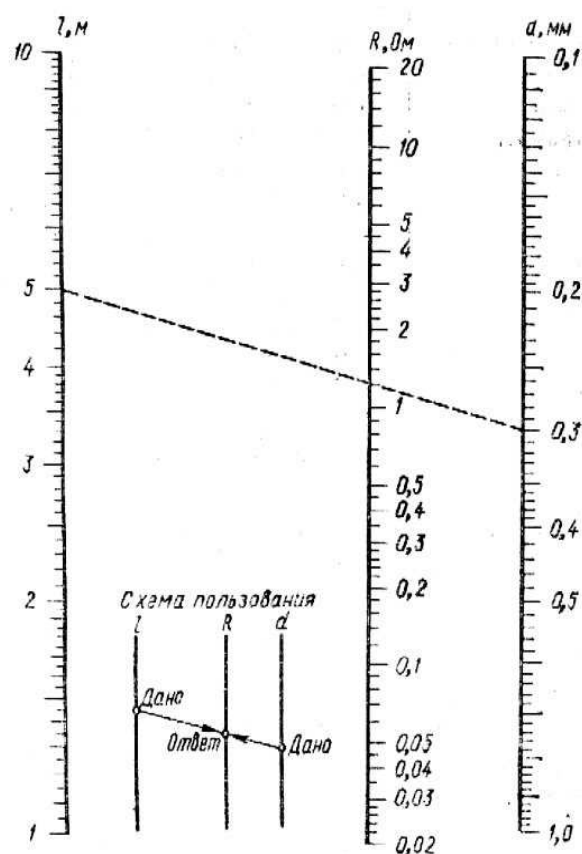


Рисунок Д1 – Номограма для визначення опору мідного проводу котушки виконавчого елемента

Таблиця Д2 – Варіанти завдань для розрахунку вимірювальної схеми

№ варіанта	$I_T$ , $10^{-3}$ А	$U_m$ , В	$R_{Tmin}$ , Ом	$R_{Tmax}$ , Ом	$R_L$ , Ом
1	4	5	100	177,1	2,01
2	4	5,1	105	183,2	2,05
3	4	5,2	107	185,6	2,06
4	4,5	5,3	108	188	2,1
5	4,5	5,4	110	191,2	2,2
6	4,5	5,5	111	192,4	2,4
7	4,5	5,4	112	193,7	2,52
8	5	5,3	114	194,4	2,55
9	5	5,2	115	195,6	2,57
10	5	5,1	116	196,1	2,6
11	5	5	118	198,8	2,61
12	5	5	119	199,3	2,63
13	5,5	6	120	200,3	2,66
14	5,5	6,1	121	201,7	2,67
15	5,5	6,2	122	202,5	2,7
16	5,5	6,3	123	203,6	2,81
17	5,5	6,4	124	204,4	2,89
18	6	6,5	123	203,3	3,03
19	6	6,6	122	200,9	3,4
20	6	6,7	121	201,1	3,7
21	6	6,8	120	201	3,77
22	7	6,9	119	198,9	3,85
23	7	6,8	118	197,6	3,9
24	7	6,7	117	197,9	4,01
25	7	6,6	116	195,8	4,12
26	7,5	6,5	115	194,9	4,2
27	7,5	6,4	114	195,2	4,35
28	7,5	6,3	113	194,2	4,5
29	7,5	6,2	112	193,6	4,56

Таблиця ДЗ – Варіанти завдань для розрахунку прямоходового вимірювального елемента

№ варіанта	D <sub>н</sub> , мм	D <sub>в</sub> , мм	h, мм	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	U <sub>y</sub> , В
1	19	10	70	0,15	0,075	7
2	19	10	70	0,125	0,075	7
3	19	10	70	0,125	0,075	7
4	20	10	70	0,115	0,065	11,5
5	20	10	70	0,115	0,065	11,5
6	20	10	70	0,115	0,065	11,5
7	20	10	75	0,1	0,065	11,5
8	21	10	75	0,1	0,065	13
9	21	11	75	0,1	0,060	13
10	21	11	75	0,135	0,060	13
11	21	11	75	0,135	0,060	13,5
12	21	11	75	0,135	0,060	13,5
13	21	11	75	0,135	0,019	13,5
14	22	11	75	0,135	0,019	13,5
15	22	11	75	0,125	0,019	14
16	22	11	75	0,125	0,017	14
17	22	11	60	0,125	0,017	14,2
18	22	11	60	0,125	0,017	14,2
19	22	12	60	0,105	0,145	14,2
20	22	12	60	0,105	0,145	15
21	23	12	60	0,105	0,145	15
22	23	12	60	0,105	0,068	15
23	23	12	60	0,114	0,068	15
24	23	12	55	0,114	0,068	16,2
25	23	12	55	0,104	0,059	16,2
26	23	10	55	0,104	0,059	16,2
27	24	10	55	0,091	0,054	16,2
28	24	10	55	0,091	0,054	16,5
29	24	10	55	0,091	0,054	16,5

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт

з дисципліни

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ТА УСТАНОВОК**

*(для студентів 5 – 6 курсів всіх форм навчання  
за спеціальностями 7.05070204, 8.05070204 – «Електромеханічні системи  
автоматизації та електропривод»)*

Укладачі: **ЄСАУЛОВ** Сергій Михайлович

**БАБІЧЕВА** Ольга Федорівна

Відповідальний за випуск: *О. Ф. Бабічева*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2014 поз.104М

---

Підп. до друку 23.06.2014

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 3,7

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4705 від 28. 03. 2014 р.