

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Чернігівська політехніка»

Теорія автоматичного керування

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування”
освітньо-професійної програми “Галузеве машинобудування”

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
автомобільного транспорту та
галузевого машинобудування
Протокол №13 від 24.09.2024 р.

Чернігів 2024

Теорія автоматичного керування. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування” освітньо-професійної програми “Галузеве машинобудування” /Укл.: Пасов Г.В., Завертанний Б.С. – Чернігів: НУ “Чернігівська політехніка”, 2024. – 44 с.

Укладачі:

Пасов Геннадій Володимирович,
кандидат технічних наук, доцент
Завертанний Богдан Сергійович,
доктор філософії, старший викладач

Відповідальний за випуск:

Венжега Володимир Іванович,
завідувач кафедри автомобільного
транспорту та галузевого
машинобудування,
кандидат технічних наук, доцент

Рецензент:

Кологойда Антоніна Вікторівна
кандидат технічних наук, доцент,
кафедри автомобільного транспорту
та галузевого машинобудування

ЗМІСТ	Стор
Вступ	4
1 Лабораторна робота №1. Командна система автоматичного керування ..	5
1.1 Мета роботи	5
1.2 Порядок виконання роботи	5
1.3 Обладнання для виконання роботи	5
1.4 Загальні відомості про командні системи автоматичного керування	5
1.5 Робота окремих механізмів	6
1.6 Циклограма руху барабана	8
1.7 Налагодження командоапарата	10
1.8 Варіанти індивідуальних завдань	12
2 Лабораторна робота №2 Шляхова система автоматичного керування ..	13
2.1 Мета роботи	13
2.2 Порядок виконання роботи	13
2.3 Обладнання для виконання роботи	13
2.4 Загальні відомості про шляхові системи автоматичного керування	13
2.5 Робота окремих елементів системи	13
2.6 Варіанти індивідуальних завдань	16
3 Лабораторна робота №3 Слідкуюча система автоматичного керування	17
3.1 Мета роботи	17
3.2 Порядок виконання роботи	17
3.3 Обладнання для виконання роботи	17
3.4 Загальні відомості про слідкуючі системи автоматичного керування	17
3.5 Загальні відомості про роботу гідрокопіювального супорта	18
3.6 Похибка копіювання і її визначення	18
3.7 Швидкісна статична характеристика	19
3.8 Варіанти індивідуальних завдань	21
4 Лабораторна робота №4 Цифровий відліковий пристрій	22
4.1 Мета роботи	22
4.2 Порядок виконання роботи	22
4.3 Обладнання для виконання роботи	22
4.4 Загальні відомості про цифрові відлікові пристрої	22
4.5 Принцип роботи цифрового відлікового пристрою	23
4.6 Визначення точності і спрацьовування цифрового відлікового пристрою	27
4.7 Варіанти індивідуальних завдань	27
Рекомендована література	30
Додатки	31
Додаток А – Варіанти завдань до лабораторних робіт	31
Додаток Б – Приклади звітів до виконання лабораторних робіт	37

Вступ

Автоматизація виробничих процесів – це основний напрямок розвитку науково-технічного прогресу, одна з головних умов побудови матеріально-технічної бази сучасної ринкової економіки. Особливе значення має автоматизація машинобудівного виробництва. На основі розвитку машинобудування здійснюється механізація і автоматизація всієї сучасної промисловості.

Наукові основи комплексної механізації і автоматизації виробництва, розробки високоавтоматизованих машин, верстатів і систем автоматичного керування забезпечує наука – автоматика, яка вивчається студентами в дисципліні “Теорія автоматичного керування” [1,2,5].

Лабораторні роботи з дисципліни “Теорія автоматичного керування”, які описані в цих методичних вказівках, виконують студенти машинобудівних спеціальностей різних форм навчання. При виконанні лабораторних робіт студенти на практиці знайомляться з елементами і системами автоматичного керування (САК) різноманітної фізичної природи, які застосовуються для автоматизації процесів механічної обробки, зокрема, для автоматизації циклу обробки і контролю деталей на верстатах.

Методичні вказівки містять мету роботи, перелік необхідного обладнання і приладів, порядок виконання, опис роботи елементів, вузлів і систем, їх налагодження і зняття характеристик, варіанти завдань. Вони укладені на основі досвіду роботи кафедри автомобільного транспорту, машинобудування та промислового дизайну Чернігівського національного технологічного університету [3,4].

Приклади звітів по кожній лабораторній роботі з переліком етапів, що виконуються, і вимогами до їх оформлення знаходяться в додатках до методичних вказівок з лабораторних робіт.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Командна система автоматичного керування

1.1 Мета роботи

Ознайомлення з командною САК, конструкцією окремих елементів і механізмів, розрахунком і налагодженням командних САК для здійснення заданого циклу роботи системи.

1.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з особливостями командних САК, методикою розрахунку і налагоджуванням.

2. Розрахувати встановлення часу циклу і кулачків для заданого варіанту циклу.

3. Налагодити командну САК, здійснити заданий цикл і перевірити по секундоміру точність її спрацьовування.

4. Оформити звіт до лабораторної роботи згідно форми звіту.

1.3 Обладнання для виконання роботи

1. Система командної САК з командоапаратом КЕП–12У, компресором і пневматичними виконавчими механізмами.

2. Спецвикрутка для встановлення і фіксації кулачків.

3. Секундомір для перевірки точності налагоджування.

1.4 Загальні відомості про командні САК

Особливістю командних САК є наявність командоапарату, що забезпечує централізоване керування рядом виконавчих механізмів. При цьому задана послідовність включення і виключення цих механізмів, час початку і тривалість їхньої роботи можуть регулюватися при налагодженні командоапарата. Командоапарат, що виконує роль програмоносія, має переставні кулачки, які вмикають і вимикають контактні групи електричних перемикачів або золотникові пневмореле для керування пневматичними робочими елементами. Команди виконуються пневматичними виконавчими механізмами.

В нашому випадку використовується 12–ти каналний універсальний командоапарат електропневматичний (КЕП–12У), що дозволяє керувати шістьма виконавчими механізмами, з яких три можуть управлятися електричними і три пневматичними елементами.

1.5 Робота окремих механізмів

В якості механізмів представлених для вивчення командної САК використовуються: компресор, командоапарат з пневмореле і механізмом защібок, а також пневматичні виконавчі механізми.

Командоапарат

Схема командоапарата приведена на рисунку 1.1. Приводом служить синхронний двигун I з постійним числом обертів n_0 , що живиться від мережі змінного струму напругою 127 В, який через вбудований в нього редуктор з постійним передавальним відношенням, храповий зчіплюючий механізм 2 і чотирьохпозиційну коробку швидкостей 3 з механізмом типу Меандра, забезпечує обертання барабана командоапарата 4 з кількістю обертів n_6 . Чотирьохпозиційна коробка швидкостей дозволяє переміщенням шестерні z_3 встановити один з діапазонів I, II, III та IV числа обертів. Зчіплюючий механізм дозволяє зміною кількості зубців z_0 храпового колеса, що захоплюються собачкою, здійснювати періодичну зміну обертів в межах кожного з означених діапазонів. Встановлення необхідного числа зубців, що захоплюються собачкою, здійснюється по шкалі n дзвона зчіплюючого механізму.

На барабані командоапарата є пази, в яких встановлюються елементи впливу у вигляді довгого (вмикаючого) D і короткого (вимикаючого) K кулачків. Необхідний порядок встановлення кулачків здійснюється зміщенням їх по куту повороту барабана у відповідності із шкалою m . Кулачки діють на защібки механізму 5 , що забезпечує необхідне положення золотника пневмореле 6 для сполучення порожнини $Пк$ відповідного виконавчого механізму з компресором через канал $Рн$ або з атмосферою через канал $Ро$.

Компресор

Компресор застосовують для живлення пневматичних виконавчих механізмів мембранного типу. Працює він при змінному струмі з напругою 220 В.

Виконавчі механізми

В якості виконавчих механізмів використовуються пневматичні механізми зі зворотно-поступальним характером руху робочого органу.

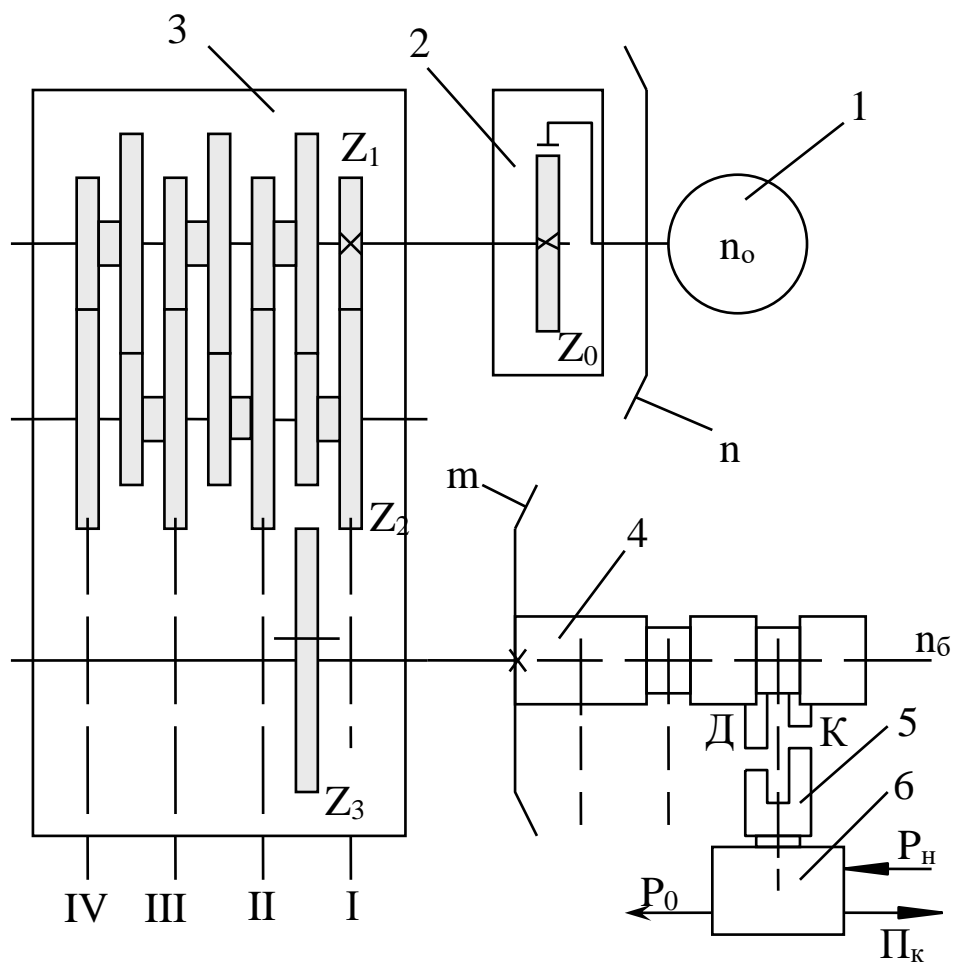


Рисунок 1.1 – Схема командоапарата

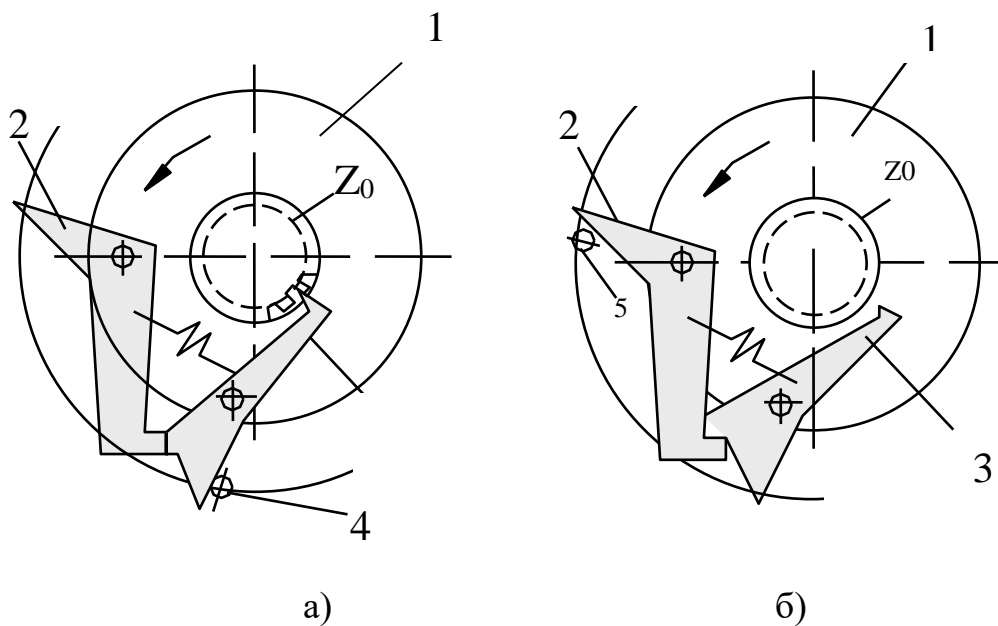


Рисунок 1.2 – Робота механізму зчеплення:
 а) зчеплене положення;
 б) розчеплене положення.

Зчіплюючий механізм

Зчіплюючий механізм (рисунок 1.2) забезпечує східчасту зміну обертів барабана командоапарата в межах кожного діапазону і складається з ведучої ланки 1, пов'язаного з валом двигуна, на якому закріплені собачки 2 та 3 вхідної шестерні z_0 чотирьохпозиційної коробки швидкостей.

На рисунку 1.2, а показано зчеплене положення. Зчеплення собачки 3 з шестернею z_0 здійснюється дією на виступ собачки 2 пальця 5, пов'язаного із диском дзвону n . При цьому звільняється упор собачки 3 і вона під впливом пружини входить в зачеплення з шестернею z_0 .

На рисунку 1.2, б показано розчеплене положення. Розчеплення собачки здійснюється під впливом натискання нерухомого пальця 4 на виступ собачки 3, що виводить із зачеплення із шестернею z_0 . Собачка 3 утримується в цьому положенні виступом собачки 2.

Пневмореле з механізмом зацібок

Схема пневмореле з механізмом зацібок показана на рисунку 1.3. Сполучення порожнини P_k відповідного виконавчого механізму з порожниною P_k компресора відбувається (як показано на рисунку 1.3, а) через проточку золотника 1 при ввімкненому механізмі зацібок. При цьому довгий кулачок 5 командоапарату натискає при обертанні на планку 3, яка відхиляючись захоплює планку 2 і переміщує планку 4 таким чином, що золотник під впливом пружини займає позначене на схемі крайнє праве положення. Порожнина P_0 перекрита золотником.

Сполучення порожнини P_k з атмосферою через канал P_0 , згідно рисунка 1.3, б здійснюється коротким кулачком 6, що при обертанні барабана скидає планку 2 з упора планки 3. В результаті, під впливом пружин планка 4 відхиляється так, що утоплений золотник займає позначене на схемі крайнє ліве положення. Порожнина P_k перекривається пояском золотника, а порожнина P_k через проточку золотника з'єднується з атмосферою через порожнину P_0 .

1.6 Циклограма руху барабана

Циклограма руху барабана командоапарата, згідно рисунка 1.4, показує графічний закон руху барабана в координатах: кут повороту α° – час t , с. При чотирьох різних значеннях передавального відношення механізму типу Меандр можливі чотири безперервні закони у вигляді похилих прямих i_1 , i_2 , i_3 та i_4 (при передавальному відношенні зчіплюючого механізму $z/z_0 = 1$).

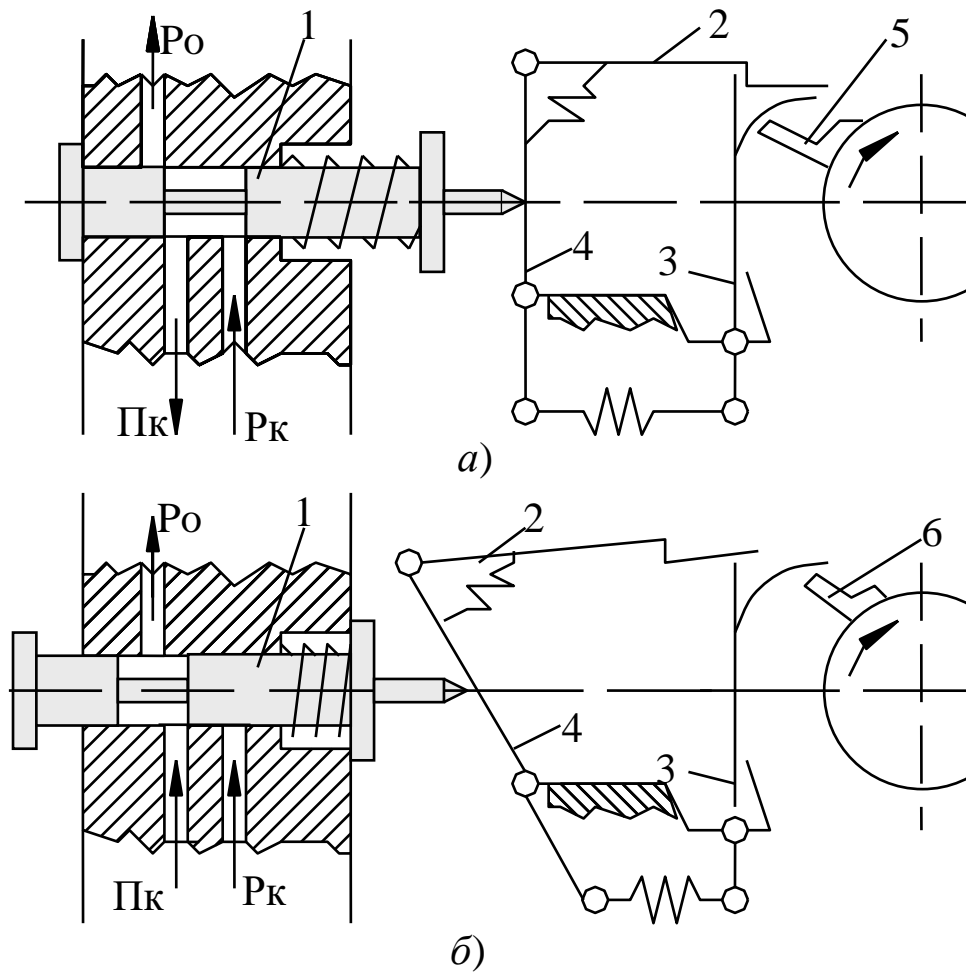


Рисунок 1.3 – Схема роботи пневмореле:
 а) вимкнене положення
 б) вклучене положення

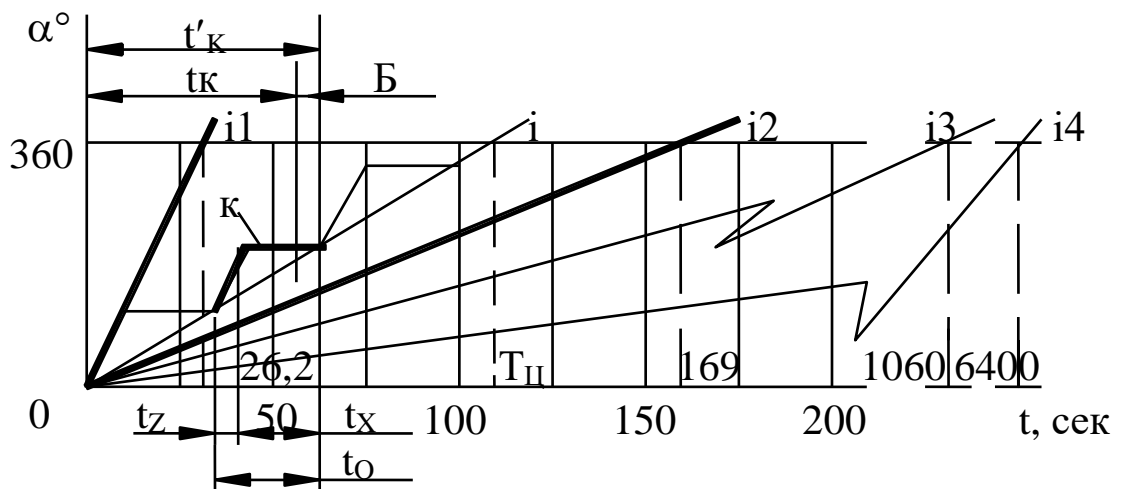


Рисунок 1.4 – Циклограма руху барабана командопарата

При заданому часі циклу T_u необхідний безперервний закон руху в вигляді похилої прямої i , що був би можливий за наявності безступінчастої зміни передавального відношення зчіплюючого механізму. Але в зв'язку з тим, що передавальне відношення зчіплюючого механізму змінюється переривчасто (тобто частину оберту привода, відповідно часу t_z , барабан обертається, а іншу частину оберту, відповідно часу t_k , барабан стоїть) то і циклограма руху буде складатися з ділянок ламаних ліній, що торкаються необхідної похилої прямої i в точках початку і кінця кожної сходинки.

Таким чином, час однієї сходинки

$$t_0 = t_z + t_k.$$

Враховуючи, що тривалість кожної сходинки

$$t_0 = 60 / n_0,$$

отримаємо тривалість елементів кожної сходинки

$$t_z = t_0 \cdot z / z_0;$$

$$t_k = t_0 - t_z = t_0 - t_0 \cdot z / z_0 = t_0 \cdot (1 - z / z_0) = 60 / n_0 \cdot (1 - z / z_0).$$

Час включення заданого елемента циклу t_k може співпасти з моментом нерухомого положення барабана, тому з'являється тимчасова помилка включення, значення якої можна знайти по залежності

$$\delta = t_k' - t_k,$$

або

$$\delta = (t_k' - t_k) / t_k' \cdot 100\%,$$

де t_k' – час відповідний початку або кінцю сходинки на якій здійснюється включення розглянутого елемента, тобто

$$t_k' = t_k \cdot k,$$

де k визначається округленим відношенням t_k/t_0 до найближчого цілого числа, що відповідає початку або кінцю сходинки.

1.7 Налагодження командоапарата

Налагодження командоапарата складається з розрахунку і налагодження часу циклу та розрахунку і налагодження встановлення кулачків.

а) Розрахунок і встановлення часу циклу

Розрахунок і встановлення часу циклу здійснюється по залежностям

$$n_6 = 1 / T_u ;$$

$$n_6 = n_0 \cdot J_{H1} / J_{H2} ,$$

де T_u – заданий час циклу в хв.;

n_6 – кількість обертів барабана, об/хв.;

$n_0=10.949$ – кількість обертів приводу в об/хв.;

$J_{H1} = z / z_0$ – ланка налагодження зчіплюючого механізму у вигляді собачки з храповим колесом;

z – кількість зубців, що захоплюються собачкою;

$z_0 = 50$ – загальна кількість зубців храпового колеса;

J_{H2} – ланка налагодження із ковзаючою шестернею $z_3 = 96$ та механізму типу Меандра з шестернями $z_1 = 20$ та $z_2 = 50$, що забезпечує чотири можливих положення ковзаючої шестерні.

Вирішивши спільно вище наведені залежності і перетворивши їх, отримаємо формулу для розрахунку встановлення часу циклу

$$z = 60 \cdot z_0 / (T_u \cdot n_0 \cdot J_{H2}).$$

Встановлення часу циклу здійснюється переміщенням ковзаючої шестерні z в одне з чотирьох положень і поворотом дзвону зчіплюючого механізму на потрібне число ділень n .

Враховуючи, що в КЕП–12У на шкалі дзвону встановлюється кількість зубців z , що не захоплюються собачкою, і що ділень дзвону в два рази більше за кількість зубців храпового колеса і дорівнює 100, маємо

$$n = (100 - 2 \cdot z).$$

б) Розрахунок і встановлення кулачків

Розрахунок і встановлення кулачків на барабані командоапарату виконується згідно формули

$$\theta_k = m \cdot t_k / T_u ,$$

де θ_k – необхідна кількість ділень для встановлення кулачка до k –го переходу;

$m = 100$ – загальне число ділень дзвону барабана;

T_u – заданий час циклу, сек.;

t_k – необхідний час включення до k –го переходу з початку циклу, сек.

Встановлення кулачків в пазах барабану командоапарата здійснюється в положеннях впливу їх на заціпки пневмореле при розрахованій кількості ділення θ_k на шкалі дзвону барабана командоапарата. Довгі кулачки з'єднують відповідні порожнини з компресором, а короткі – з'єднують їх з атмосферою. Встановлення коротких кулачків повинне налагоджуватися

після включення відповідних механізмів, але не пізніше початку включення їх зворотнього ходу.

Закінчивши налагодження всіх довгих і коротких кулачків, слід зчепити ковзаючу шестерню з відповідною шестернею механізму типу Меандра, встановивши попередньо шкалу дзвону барабана командоапарата на ділення "0", і запустити командоапарат.

Перевірити правильність виконання налагодження по секундоміру, вимірюючи час включення відповідних виконавчих механізмів і загальний час циклу.

1.8 Варіанти індивідуальних завдань

Вивчити систему, виконати розрахунок і налагодження командної САК для здійснення циклу, показано в таблиці А.1 (додаток А) та заданого в координатах: швидкість подачі S по часу t с, де

T_u – час циклу в с,

n_1, n_2, \dots, n_6 – порожнини пневматичних виконавчих механізмів,

t_1, t_2, \dots, t_6 – час включення відповідних порожнин виконавчих механізмів в с,

τ – час включення відповідного виконавчого механізму, с.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

2 Шляхова система автоматичного керування

2.1 Мета роботи

Ознайомлення з шляховою САК, конструкцією окремих елементів, складанням схем і налагоджуванням шляхових САК для здійснення заданого циклу.

2.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з особливостями шляхових САК, їх елементами, методикою укладання гідравлічних і електричних схем та їх налагоджуванням.
2. Скласти схему гідросистеми в положенні згідно варіанту завдання.
3. Скласти таблицю стану електричних елементів системи керування і електросхему для здійснення заданого циклу.
4. Зібрати електросхему на стенді і здійснити заданий цикл.
5. Оформити звіт лабораторної роботи згідно форми звіту.

2.3 Обладнання для виконання роботи

1. Стенд шляхової САК з елементів електрогідроавтоматики.
2. набір проводів для складання електросхеми.

2.4 Загальні відомості про шляхові САК

Шляхові САК застосовуються для автоматизації циклу руху робочих органів машин. Особливістю шляхових САК є те, що команди управління подаються в функції шляху, пройденого виконавчими механізмами. При цьому забезпечується точна послідовність роботи. Зміну напрямку або характеру руху виконавчого механізму подає сам робочий орган цього механізму за допомогою жорстких програмоносіїв в вигляді шляхових перемикачів, що через керуючі прилади перерозподіляють енергію таким чином, що вимикається попередній і вмикається наступний елемент циклу.

В нашому випадку використовується електрогідравлічна схема керування переміщенням гідравлічного виконавчого механізму.

2.5 Робота окремих елементів системи

В якості елементів запропонованої для вивчення шляхової САК використовуються дві групи елементів: гідравлічні і електричні. До елементів гідросистеми відносяться: насосна станція, двохпозиційні

розподільчі золотники з електричними соленоїдами, виконавчий механізм, дросель і зворотній клапан. До елементів електросхеми відносяться електричні соленоїди двохпозиційних золотників, електромагнітні реле зі своїми контактами, шляхові мікроперемикачі і пускова кнопкова станція.

Елементи гідросистеми

Елементи гідросистеми показані на рисунку 2.1.

Насосна станція складається із лопасного насосу H з переливним клапаном і двигуна з редуктором, що живиться від мережі постійного струму напругою 27 В. Масло до насосу надходить з бака B через фільтр Φ . Тиск P_n масла, що подається в систему, контролюється манометром M .

Виконавчий механізм BM виконаний у вигляді поршня з циліндром, на штоку якого закріплений робочий орган PO – кулачок. Перерозподіл потоків масла за допомогою розподільчих золотників по каналах 1 і 2 забезпечує підведення (+) або відведення (–) кулачка.

Дросель D призначений для встановлення потрібного значення подачі при повільному переміщенні виконавчого механізму. Величина подачі на дроселі визначається щільною в дроселі, яка регулюється вручну.

Зворотній клапан $ЗК$ – кулькового типу з пружиною. Напрямок потоку масла, що пропускається зворотним клапаном, вказаний на його корпусі стрілкою.

Керуючі золотники є основними елементами гідросистеми. На рисунку 2.1 наведені схеми двопозиційних розподільчих золотників Z_1 і Z_2 з електричними соленоїдами EC_1 і EC_2 . При заживленому (+) або відключеному (–) стані соленоїда EC двопозиційний золотник займає одне з двох крайніх положень, відповідно двом командам.

Складання схеми гідросистеми (рисунок 2.1) полягає в сполученні елементів між собою таким чином, щоб забезпечити заданий цикл руху робочого органу виконавчого механізму.

Наявність двох однакових керуючих двопозиційних золотників пояснюється необхідністю керування напрямком і швидкістю переміщення робочого органу. Один з золотників Z_1 з соленоїдом EC_1 служить для керування напрямком руху, для чого необхідні дві команди відповідні двом позиціям золотника: (+) – підведенню і (–) – відведенню. Інший двопозиційний золотник Z_2 з соленоїдом EC_2 служить для керування швидкістю. Одне з положень (+) при повільній швидкості відповідає підпору зворотного клапана каналом P_n і масло на злив після першого золотника примушене йти через дросель. Інше (–) при швидкому русі з'єднує зливну порожнину золотника зі зворотним клапаном і рідина на злив після першого золотника мінає зворотний клапан і проточку другого золотника. При цьому масло, що підводиться від насоса до другого золотника, надходить в канал, закритий заглушкою.

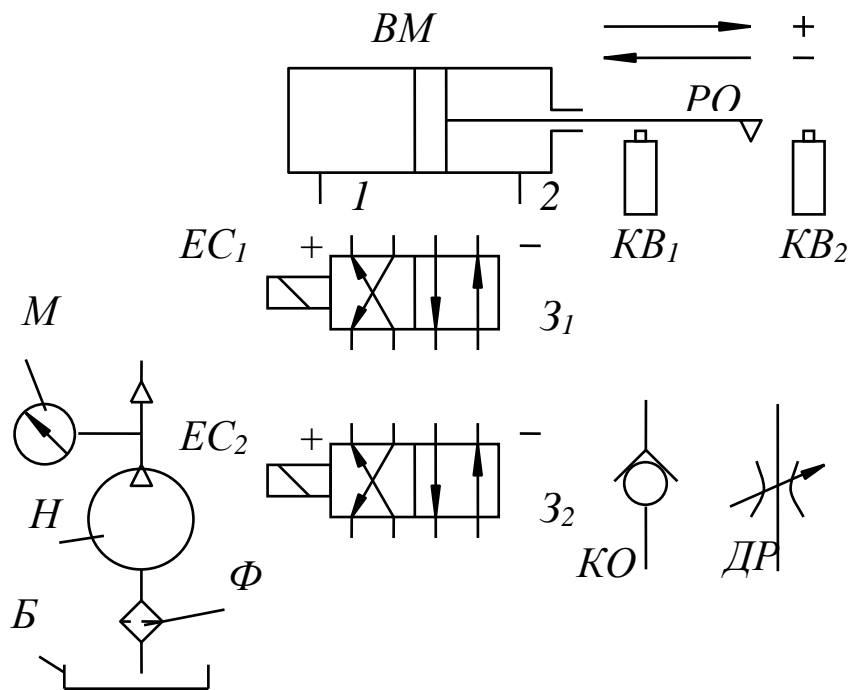


Рисунок 2.1 – Елементи гідравлічної схеми

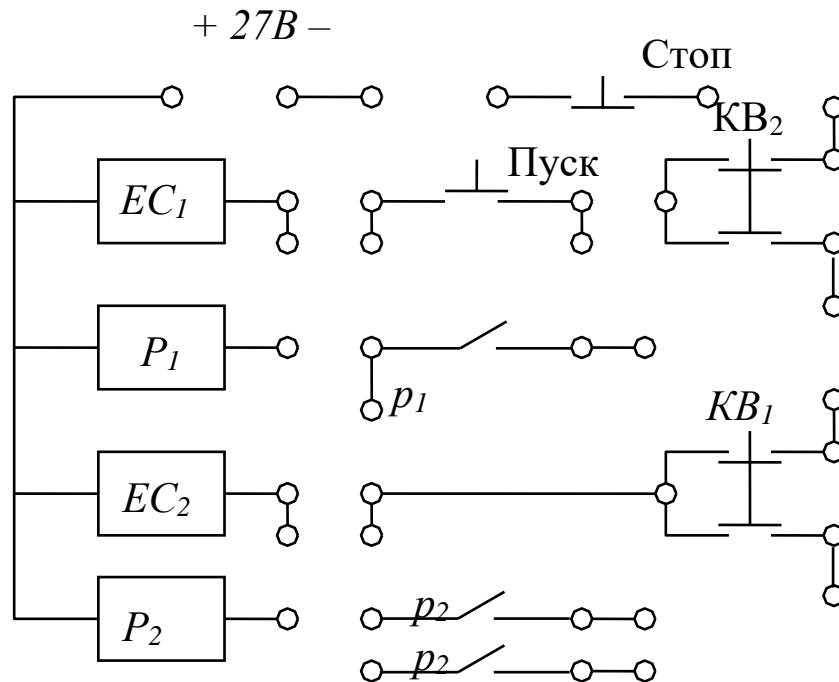


Рисунок 2.2 – Елементи електричної схеми

Елементи електросхеми

Електричні соленоїди EC_1 та EC_2 встановлені в золотниках електромагнітного типу із втягуючим якорем. Подача живлення на соленоїди забезпечує підйом якоря, а відключення – його опускання, що керує перерозподілом потоків масла в каналах золотника і відповідає двом його крайнім положенням.

Електромагнітні реле P_1 та P_2 з поворотними якорями і своїми контактами p_1 та p_2 передбачені для блокування нормально розімкнених контактів кнопки “Пуск” пускової кнопкової станції та кнопок KB_1 та KB_2 .

Шляхові мікроперемикачі KB_1 та KB_2 , розташовані по шляху руху робочого органу виконавчого механізму, мають нормально-замкнені та нормально-розімкнені контакти, що дозволяє давати команди на зміну стану електричних соленоїдів золотників, необхідних для здійснення різноманітних елементів циклу.

Пускова кнопкова станція складається з кнопки “Пуск” для пуску системи на початку роботи та кнопки “Стоп” для можливої зупинки в будь-який момент в процесі роботи системи. Кнопка “Пуск” – це нормально-розімкнений контакт, а кнопка “Стоп” – нормально-замкнений контакт.

Складання електричної схеми (рисунок 2.2) полягає в сполученні необхідних елементів так, щоб у вихідному положенні всі вони були знеструмлені, а при натиску на кнопки кнопкової станції або замиканні і розмиканні контактів мікроперемикачів KB_1 та KB_2 повинні виникати зміни, необхідні для послідовного виконання всіх заданих елементів циклу.

2.6 Варіанти індивідуальних завдань

Вивчити, здійснити підготовку і налагодження шляхової САК для здійснення циклу згідно варіанту завдання, наведеного в таблиці А.2 (додаток А) та заданого в координатах: швидкість подачі S по шляху l , де

ШП – швидке підведення,

ПП – повільне підведення,

ШВ – швидке відведення,

ПВ – повільне відведення.

В завданнях наведено дві групи циклів: аперіодичний і періодичний. При аперіодичних циклах робочий орган після пуску системи з вихідного положення виконує всі зазначені в циклі елементи в означеній послідовності і повертається в вихідне положення. При періодичних циклах робочий орган після пуску системи з вихідного положення виконує всі зазначені в циклі елементи в означеній послідовності з наступним їхнім повторенням доти, доки система не буде зупинена.

Переключення в процесі переміщення робочого органу, необхідні для отримання наступних елементів циклу, здійснюється по командах, що надходять від шляхових перемикачів.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

3 Слідкуюча система автоматичного керування

3.1 Мета роботи

Ознайомлення з однокоординатним гідравлічним слідкуючим приводом, визначення похибки копіювання і зняття швидкісної статичної характеристики.

3.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з особливостями однокоординатного гідравлічного слідкуючого приводу, методикою визначення похибки копіювання і зняття швидкісної статичної характеристики.

2. Розрахувати величини швидкостей слідкуючої подачі для всіх заданих значень згідно варіанту завдання.

3. Встановити спеціальне пристосування з індикатором і зняти швидкісну статичну характеристику.

4. Оформити звіт до лабораторної роботи згідно форми звіту.

3.3 Обладнання для виконання роботи

1. Стенд з гідрокопіювальним супортом.

2. Копір з контуром дуги кола $R=20$ мм.

3. Пристосування з індикатором для зняття швидкісної статичної характеристики.

3.4 Загальні відомості про слідкуючі САК

Слідкуючі САК використовуються в виробничих процесах для автоматизації обробки складних фасонних поверхонь. З відомих слідкуючих приводів в металорізальних верстатах найчастіше застосовуються гідравлічні та електричні.

Розрізняють одно-, двох- та трьохкоординатні слідкуючі приводи. Двох- та трьохкоординатні приводи забезпечують високу точність, але є досить складними і більш дорогими. Однокоординатні приводи є більш простими, але не забезпечують високої точності (в них має місце похибка копіювання, про що буде описано далі).

На універсальних токарних верстатах для обробки по копію застосовуються гідрокопіювальні супорти з однокоординатним гідравлічним слідкуючим супортом. При цьому допоміжний і машинний час скорочується в 2-6 разів, але точність при цьому не є високою.

3.5 Загальні відомості про роботу гідрокопіювального супорта

Принцип роботи гідрокопіювального супорта полягає в наступному. Згідно рисунку 3.1 у верхню порожнину гідроциліндра 1 подається масло під тиском P_n , що через дросельний отвір в поршні 2 надходить в нижню порожнину і далі через щілину переливного золотника 3 іде на злив P_o . Площі поршня у верхній і нижній порожнинах різні за рахунок різних перерізів штоків в цих порожнинах.

Якщо щілина золотника повністю перекрита, то за відсутності зливу в нижній частині циліндра розвивається більша сила, ніж в верхній. Площа поршня в верхній порожнині менша ніж в нижній, а питомий тиск в порожнинах мало відрізняється (тільки на втрати в дросельному отворі). При цьому гідроциліндр при нерухомому поршні переміщується разом з інструментом в напрямку до деталі 4 .

Якщо щілина золотника відкрита повністю, то масло з нижньої порожнини повністю виходить на злив і тиск у верхній порожнині більше, ніж в нижній за рахунок сильного дроселювання в отворі і циліндр разом з інструментом буде рухатися від деталі.

Якщо ж золотник займає нейтральне положення, відповідне h_o , то може виникнути положення, при якому, незважаючи на різність тиску згори і знизу з урахуванням різниці площ, буде мати місце рівність сил і циліндр буде непорушний.

Таким чином переміщенням гідроциліндру можна керувати, змінюючи величину щілини золотника, що здійснюється за допомогою двохплечового важеля 5 , один кінець якого спирається на шток золотника, а інший (щуп) впирається в поверхню копіра 6 .

При переміщенні супорта з постійною за величиною і напрямом швидкістю подачі S_3 , що задається від ходового вала, має місце переміщення гідроциліндра з інструментом зі швидкістю подачі S_c , що має назву слідкуючої, направленої вздовж направляючих гідросупорта і залежної по величині від крутизни профілю копіра в цьому місці.

3.6 Похибка копіювання і її визначення

Якщо гідрокопіювальний супорт має однокоординатний гідравлічний привод, то має місце похибка копіювання, яка полягає в наступному.

Величина швидкості, що задає подачу супорта S_3 постійна. Згідно рисунку 3.2 величина швидкості слідкуючої подачі S_c , що направлена наприклад перпендикулярно до заданої, залежить від величини S_3 і крутизни профілю копіра – кута γ . Отже, при збільшенні кута зростає не тільки величина S_c , але і величина рівнодіючої швидкості подачі S , яка направлена по дотичній до контура в даному місці. Непостійність результуючої швидкості подачі при інших рівних умовах призводить до зміни умов обробки, появи похибки копіювання і відбивається на точності обробки.

Найбільш вдалим для дослідження профілем копіра є дуга кола. В цьому випадку, згідно рисунку 3.2, кут змінюється від 0 до 90° і, отже, швидкість слідкуючої подачі змінюється від 0 до ∞.

Справді

$$S_c = S_3 \cdot \operatorname{tg}(\gamma), \text{ мм/хв.}$$

Для можливості обробки ділянок з кутами, що наближаються до 90°, вісь штока гідросупорта, згідно рисунку 3.1, розміщена під кутом 60° і тоді

$$S_c = S_3 \cdot \sin(\gamma) / \sin(180^\circ - (60^\circ - \gamma)), \text{ мм/хв.}$$

Для випадку експериментального визначення похибки копіювання h_k , необхідно по копіру, що є профілем дуги кола, обробити деталь і спецприладом визначити відхилення що відрізняє профіль деталі від кола в заданих місцях, згідно рисунку 3.3. Далі слід підрахувати по формулі (3) значення S_c в різних точках профілю копіра, відповідно заданим значенням і побудувати графік залежності похибки копіювання від швидкості слідкуючої подачі.

3.7 Швидкісна статична характеристика

Виходячи з принципу роботи гідрокопіювального супорта, можна стверджувати, що швидкість слідкуючої подачі при інших рівних умовах залежить від величини відхилення золотника від нейтрального положення. Із збільшенням щілини золотника збільшується швидкість руху від деталі, а із зменшенням – збільшується швидкість руху на деталь.

Залежність між швидкістю слідкуючої подачі і відхиленням золотника називається швидкісною статичною характеристикою.

При незначних зміщеннях золотника від нейтрального положення різниця тиску в порожнинах гідроциліндра може виявитися недостатньою для його переміщення з урахуванням наявних при цьому сил тертя, що також відбивається на точності копіювання. Максимальне відхилення золотника від нейтрального положення, при яких гідроциліндр ще не переміщується, називається зоною нечутливості. Вплив зони нечутливості на точність копіювання відбивається в момент зміни знаку швидкості слідкуючої подачі.

Швидкісна статична характеристика може бути знята експериментально зміщенням золотника в ту або іншу сторону від нейтрального положення і заміром при кожному зміщенні величини швидкості слідкуючої подачі.

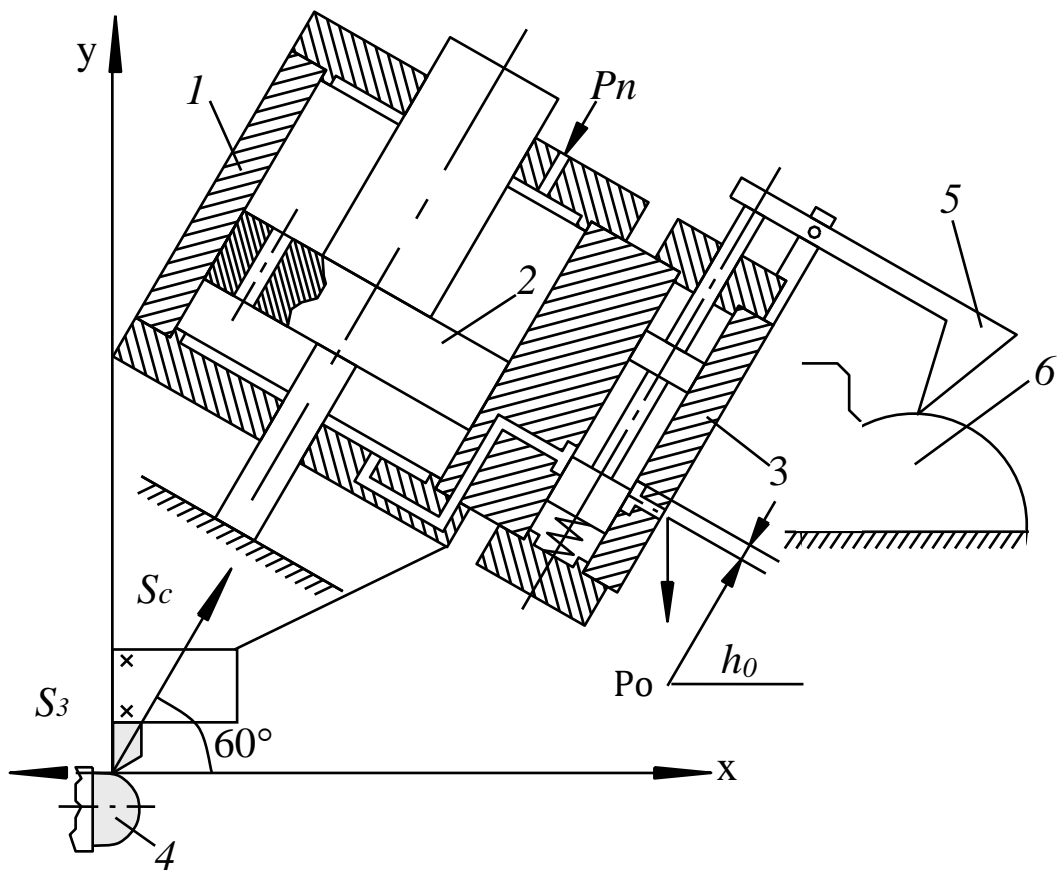


Рисунок 3.1– Схема лабораторної установки

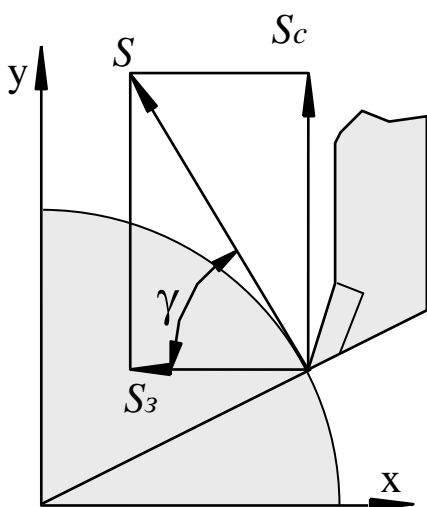


Рисунок 3.2 – Визначення подачі S_c

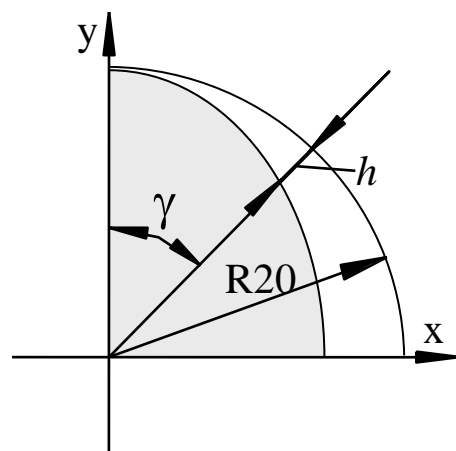


Рисунок 3.3 – Визначення похибки h

Зміщення золотника може бути задане гвинтом спецприспособлення з заміром величини зміщення h по індикатору. Швидкість слідкуючої подачі S_c для кожного значення h можна визначити, як відношення довжини шляху L переміщення гідроциліндра до часу t переміщення на цьому шляху. Шлях L визначається по міліметровій лінійці, а час t по секундоміру. Рух на деталь (прямий хід) вважається додатнім, а рух від деталі (зворотній хід) – від’ємним.

3.8 Варіанти індивідуальних завдань

Вивчити однокоординатний гідравлічний слідкуючий привод гідрокопіювального супорта, визначити похибку копіювання і зняти швидкісну статичну характеристику згідно варіанту завдання – таблиця А.3 (додаток А).

Таблиця 3.1 – Таблиця для визначення похибки копіювання

№ точки	$\gamma, ^\circ$	$S_c, \text{мм/хв.}$	$S_3, \text{мм/хв.}$	$h_k, \text{мм}$
1	...			
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Таблиця 3.2 – Таблиця зняття статичної характеристики

№ виміру	$h, \text{мм}$	$L, \text{мм}$	Прямий хід		Зворотний хід	
			$t, \text{сек.}$	$S_c, \text{мм/хв.}$	$t, \text{сек.}$	$S_c, \text{мм/хв.}$
1	0	Зона нечутливості	2 Δ =			
2			2 Δ =			
3			2 Δ =			
4	0,02
5						
6						
7	0,03					
8						
9						
10	0,04					
11						
12						

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

4 Цифровий відліковий пристрій

4.1 Мета роботи

Ознайомлення з цифровими пристроями для контролю відліку переміщень, визначення точності їх спрацьовування.

4.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з особливостями і роботою цифрових відлікових пристроїв (ЦВП), їх функціональною блок-схемою і роботою фотоелектричних датчиків переміщення.

2. Ознайомитися з органами керування ЦВП і для завдання величин переміщення за допомогою мікрометричної головки, методикою визначення точності їх спрацьовування.

3. Визначити точність спрацьовування ЦВП для всіх заданих точок згідно варіанту завдання.

4. Оформити звіт по лабораторній роботі згідно форми звіту.

4.3 Обладнання для виконання роботи

Комплект ЦВП з фотоелектричним лінійним датчиком переміщення і мікрометричною головкою для завдання величин переміщення.

4.4 Загальні відомості про цифрові відлікові пристрої

Системи з ЦВП [3] є одним із засобів збільшення продуктивності праці і полегшення роботи верстатника. Підвищення продуктивності праці на 20-70% досягається в результаті скорочення часу на необхідні розрахунки при використанні лімбів, на пробні виміри, а також в результаті полегшення роботи верстатника і скороченні браку. При цьому підвищується точність обробки в зв'язку з меншою кількістю можливих помилок, полегшенням читання розмірів на світловому табло, винятком впливу на точність обробки зносу механічних вимірювальних засобів. Робітникамі достатньо порівняти показники на світловій панелі з розміром деталі на виданій йому технічній документації.

В світовій практиці є значна кількість токарних, фрезерувальних верстатів і іншого універсального технологічного обладнання з такими системами.

Комплект ЦВП призначений для контролю переміщень по одній координаті, тому для токарних верстатів необхідно два, а для фрезерних – три таких комплекти.

По методам виміру системи цифрового відліку можуть бути механічними, електричними і оптичними. Останні дві системи є більш досконалими і дають кращі результати по точності.

В цій роботі вивчається система з фотоелектричними лінійними датчиками переміщення.

4.5 Принцип роботи цифрового відлікового пристрою

Цифрові відлікові пристрої, що вивчаються в цій роботі, використовується для відліку і індикації в цифровій формі величини і напрямку переміщення по координатам в універсальних металорізальних верстатах і іншому технологічному обладнанні. Швидкості переміщення – не більш 15 м/хв.

Основні вузли і органи керування

Цифровий відліковий пристрій (рисунок 4.1) складається з фотоелектричного лінійного датчика Д, формувача фази ФФ, блоку цифрового відліку БЦВ з підставкою для його повороту в зручне положення, стабілізатора СТ і блоку живлення БЖ. Зв'язок всіх вузлів здійснюється за допомогою з'єднувальних кабелів.

Для завдання величини переміщення при визначенні точності спрацьовування в установці ЦВП передбачена мікрометрична головка 1, до якої рухомий орган датчика притискається за допомогою пружини 2. БЦВ має два режими:

Режим “сброс”, коли початку відліку відповідає нульове положення, індукуєме на цифровому табло 3 і вводиться натиском на кнопку 6 при нульовому стані блоку набору координат 4.

Режим “запись”, коли початку відліку може відповідати будь-яке число, яке набране в блоці набору координат. Введення набраного числа і його індукування здійснюється в результаті натискання на кнопку 5 (після попереднього натиску на кнопку 7 – попереднього встановлення).

Цифрове табло 3 і блок набору координат 4 має шість розрядів числа і спереду один розряд знаку напрямку (+) або (-). Для зміни індикації напрямку, відповідно переміщенню в ту або іншу сторону, зі зворотної сторони блоку БЦВ передбачений тумблер 9. Для переносу десяткової коми передбачений тумблер 10, що дозволяє контролювати переміщення з точністю до двох або трьох знаків після коми. Включення вентилятора для охолодження блоку в процесі роботи здійснюється тумблером 11.

Живлення цифрового відлікового пристрою здійснюється через стабілізатор від мережі змінного струму напругою 220 В. Для підключення живлення передбачений тумблер 8.

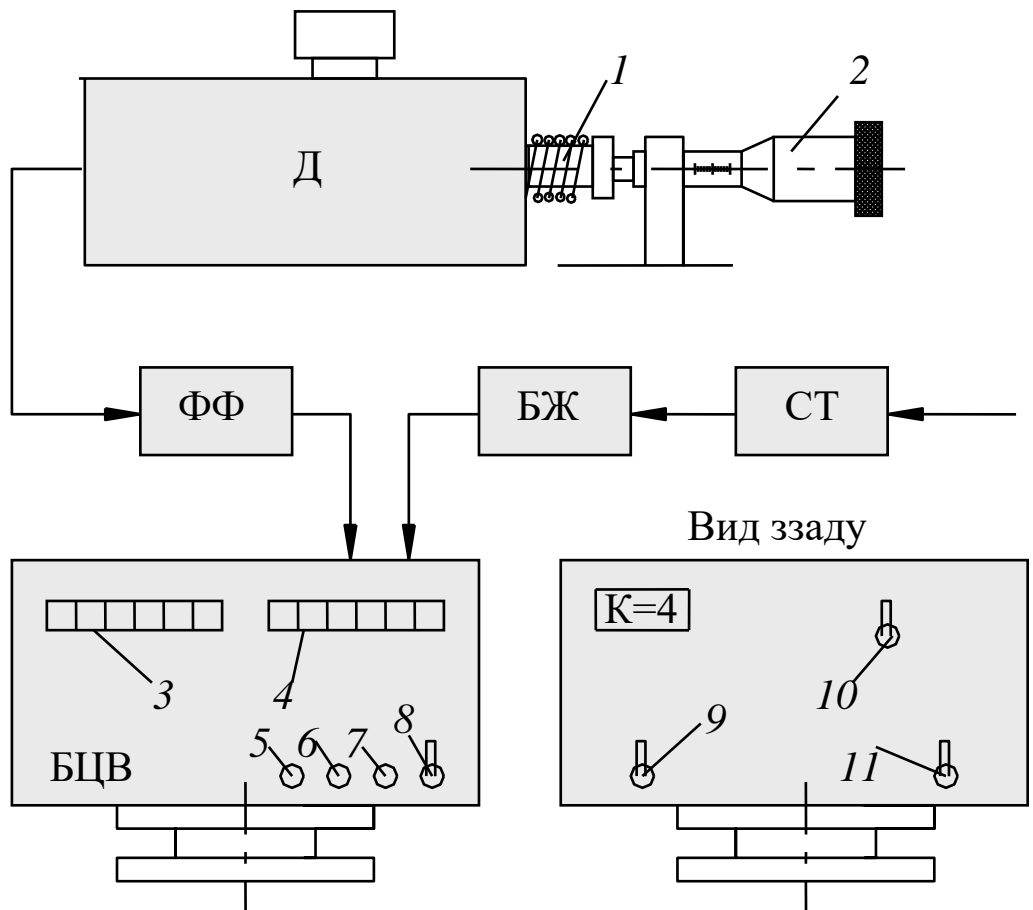


Рисунок 4.1 – Схема экспериментального стану

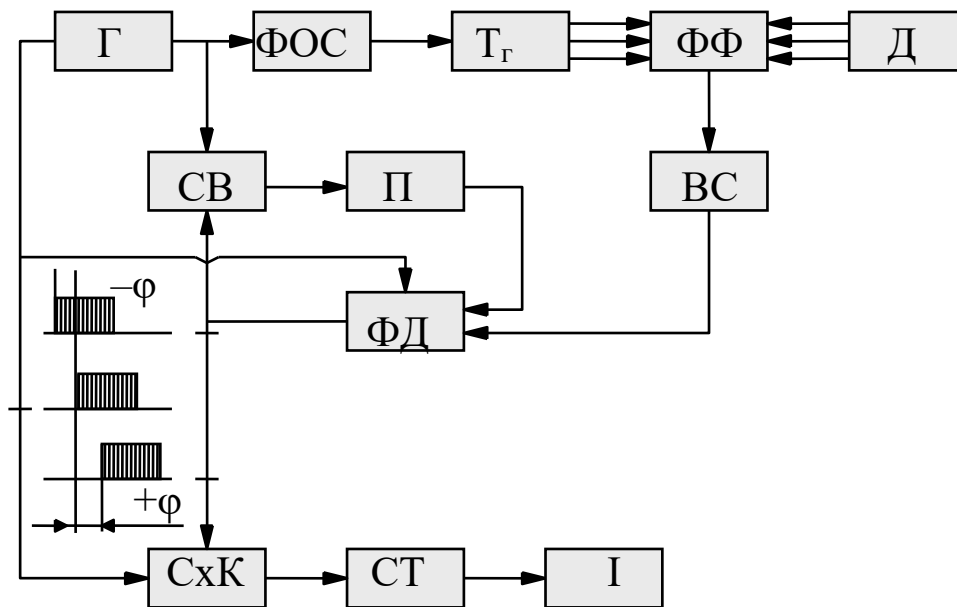


Рисунок 4.2 – Блок-схема ЦВП

Спрощена функціональна блок-схема

В основу роботи приладу покладене фазо-імпульсне перетворення і подання інформації, яке полягає в наступному (рисунок 4.2). Кожному положенню рухомого органу датчика Д, перетвореного в чотири вихідні напруги, відповідає сигнал певної фази φ , що формується в фотоелектричному формувачі ФФ і вимірювальній схемі ВС. При русі по координаті цей сигнал зсувається відносно деякого іншого сигналу, прийнятого за опорний і одержуваного від генератора Г після ділення в формувачі опорного сигналу ФОС і двох тригерах (Тг).

В якості генератора використовується мультівібратор, налаштований на частоту 40 кГц. Формувач опорних сигналів забезпечує ділення частоти що задає генератор на величину $K = 40, 80, 100$ або 200 , в залежності від необхідної ціни імпульсу, тобто точності, що забезпечується відповідною вставкою K (див. рисунок 4.1). Тригери Тг являють собою два статичних тригера що формують чотири прямокутних сигнали один відносно другого на чверть періоду і що служать для формування в фотоелектричному формувачі вихідного сигналу датчика.

Відзначене вище зрушення виділяється фазовим дискримінатором ФД і компенсується в перетворювачі П сигналами генератора Г. Для компенсації цього зрушення в ланцюзі зворотного зв'язку окрім перетворювача П передбачена схема віднімання СВ, що забезпечує додавання або віднімання (в залежності від знаку фази).

Число імпульсів, що необхідне для компенсації вхідного фазового зрушення, є мірою переміщення, що відраховується, тому їхній підрахунок і дозволяє отримати числовий еквівалент пройденого шляху.

Підрахунок імпульсів, що надходять у вигляді пачки імпульсів з виходу фазового дискримінатора і необхідних для компенсації фазового зрушення (+) або (-) відносно сигналів що задає генератор, здійснюється динамічним реверсивним лічильником Л і цифровою індикацією І, побудованих таким чином, що кожному вихідному імпульсу відповідає одиничне зрушення вихідного сигналу регістру молодшої декади лічильника.

Лічильник включає в себе шість лічильних декад, що являють собою десяткові кільцеві регістри зрушення, і схему керування СхК. Схема керування забезпечує зв'язок лічильника з опорним каналом і фазовим дискримінатором і режим роботи лічильника: додавання, віднімання, встановлення і зміну знаку напряму, перенос цифрової інформації з розряду в розряд і т.д.

Система індикації має шість розрядів цифрової індикації величини, кожний з яких є індикаторною газорозрядною лампою з катодами цифр 0, 1, 2, ... 9 (в третій і четвертій лампі, окрім цифр позаду і праворуч їх, є катода "кома"), один розряд індикації напряму переміщення і каскади підсилювачів (анодних, катодних і знаку). Катодні підсилювачі подають живлення на

катоди усіх ламп, з'єднаних паралельно. Вихідні сигнали регістрів рахункових декад посилюються анодними підсилювачами і подаються на аноди відповідних ламп. Тимчасовий збіг сигналів, що надходять на катоди і аноди ламп, водночас індукується в цифровій формі. Отримане число і відповідає переміщенню.

Опорний канал, вимірювальна система, перетворювач з фазовим дискримінатором, лічильник і система індикації розміщені в блоку БЦВ.

Схема проходження і перетворення сигналу

Фотоелектричний датчик складається з освітлювача, об'єктиву, довгої закріпленої непорушно в корпусі растрової лінійки, короткої індексної решітки і чотирьох кремнієвих фотоприймачів.

Растрова лінійка і індексна решітка розміщені з невеликим зазором (приблизно 0.08 мм) і являє собою скляні пластинки, на яких з постійним кроком t , рівним 0.02 мм нанесені непрозорі штрихи шириною $0.5t$ (рисунок 4.3). Штрихи індексної решітки складаються з чотирьох груп штрихів (I, II, III і IV), нанесених з послідовним зміщенням по кроку на величину $0.25t$ відносно попередньої групи штрихів. Завдяки цьому, в результаті модуляції світлового потоку, з кремнієвих фотоприймачів датчика знімаються безперервні сигнали в вигляді напруг I, II, III, і IV, величина яких залежить від перекриття вікон шкали растрової лінійки штрихами індексної решітки, а період їхньої зміни відповідає кроку штрихів растрової лінійки.

Сигнали після датчика надходять на один з входів фотоелектричного формувача.

На рисунку 4.3 показано розташування штрихів для чотирьох положень растрової лінійки і індексної решітки, означених кутами $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ і 135° .

Фотоелектричний формувач служить для формування вихідного сигналу датчика і складається з чотирьох модуляторів М, схеми складання СС і підсилювача змінного струму П1. На один вхід модуляторів надходять сигнали I, II, III і IV з відповідних фотоелементів датчика, а на другий – сигнали 1, 2, 3 і 4 після тригерів опорного каналу. На виходах модулятора з'являються сигнали I–1, II–2, III–3 і IV–4, час дії яких визначається сигналами опорного каналу, а величина сигналами фотодатчиків. Вихідні сигнали модуляторів зсунуті відповідно на $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ відносно першого сигналу.

В схемі додавання всі чотири сигнали складаються і далі посилюються в підсилювачі змінного струму.

Часові діаграми сигналів, що ілюструють роботу формувача, показані на рисунку 4.3.

Вимірювальна система здійснює подальше формування і перетворення вихідних сигналів датчика і складається з інтегратора І, нуль-індикатора Н1 і підсилювача П2.

Східчастий сигнал що надходить від підсилювача фотоелектричного формувача спочатку інтегрується в інтеграторі, перетворюючись в безперервний лінійно-трикутний сигнал (на рисунку 4.3 для простоти цей сигнал отриманий в результаті сполучень середніх точок майданчиків східчастого сигналу). В момент переходу такого сигналу через середній рівень спрацьовує нуль-індикатор, що видає на виході прямокутний сигнал, що в подальшому підсилюється в підсилювачі П2.

Таким чином, на виході вимірювальної системи одержується часовий сигнал, фаза якого (позитивний фронт отриманого сигналу, на рисунку 4.3 без штриховки) лінійно пов'язана з положенням рухомого органу датчика, а, отже, і рухомого органу верстату.

4.6 Визначення точності спрацьовування ЦВП

Визначення точності спрацьовування здійснюється порівнянням заданої величини переміщення X , встановленої за допомогою мікрометричної головки, з фактично отриманою X_I на цифровому табло. Різниця між ними і являє собою точність спрацьовування

$$\Delta = X - X_I,$$

де Δ , X , X_I – вимірюються в мм.

Визначення точності спрацьовування виконується спочатку при прямому ході, тобто при збільшенні розміру на шкалі мікрометричної головки, а після цього при зворотному ході, або при зменшенні цього розміру.

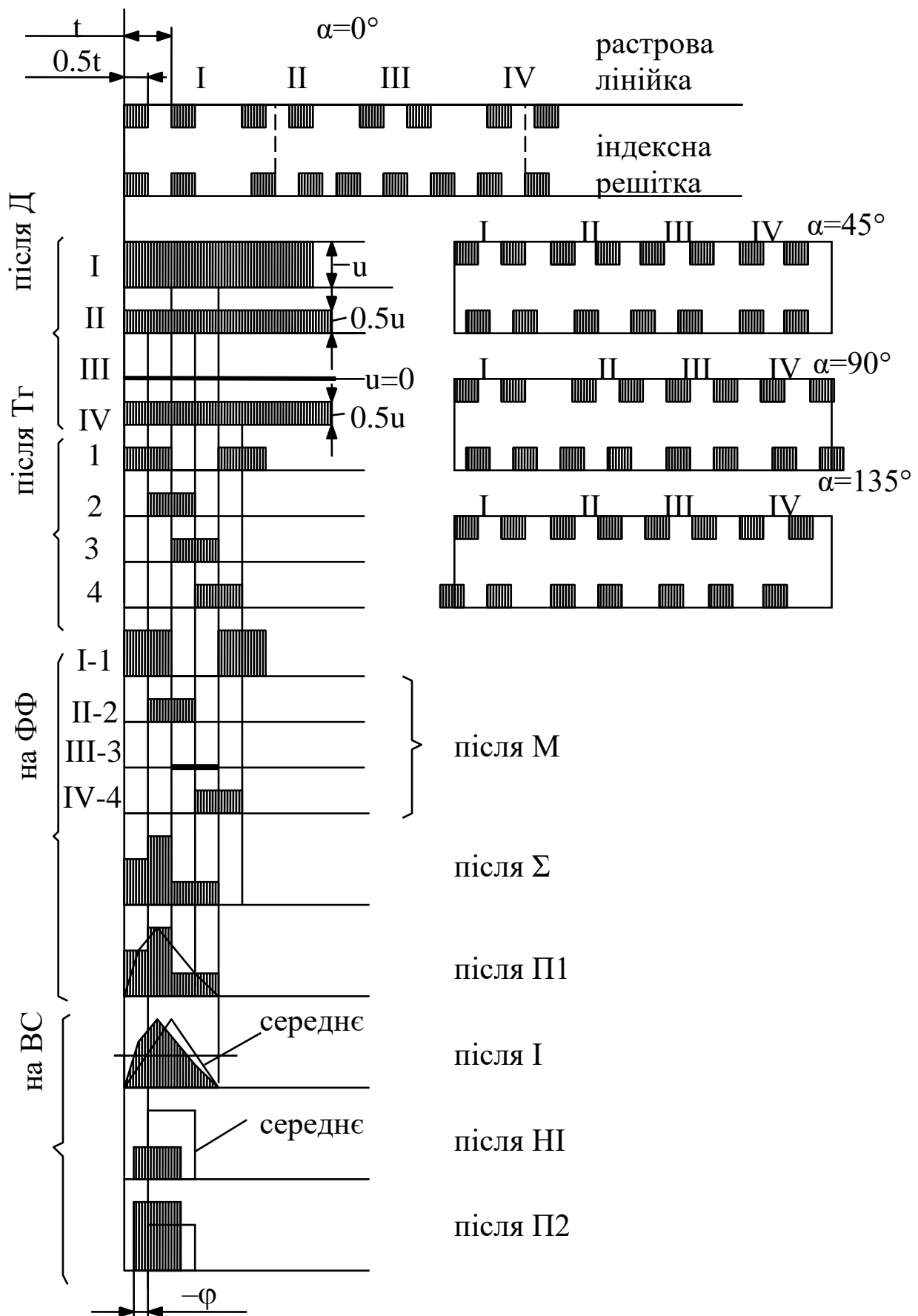
Задані величини переміщення встановлюються в відповідності з варіантом завдання – таблиця А.4 (додаток А).

Задані значення X , отримані значення X_I і розраховані значення Δ занести в таблицю 4.1.

По результатах вимірів і розрахунків побудувати графік залежності точності спрацьовування Δ від величини переміщення X .

4.7 Варіанти індивідуальних завдань

Вивчити цифровий відліковий пристрій, ознайомитись з його функціональною блок-схемою, схемою проходження і перетворення сигналів, органами керування, роботою і визначити точність спрацьовування згідно варіанту завдання – таблиця А.4 (додаток А).



Рекомендована література

1. Александров Е.Є. та ін. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами : У 3 т.: Підручник для студентів політехнічних та аерокосмічних ун-тів. Т.1. Теорія автоматичного керування. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2002.
2. Гоголюк П.Ф., Гречин Т.М.С Теорія автоматичного керування: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008.
3. Зайцев Г.Ф. Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький. – К.: Техніка, 2002. – 686 с.
4. Артюшин Л. М. Теорія автоматичного керування / Л.М. Артюшин, О.А. Машков, Б.В. Дурняк, М.С. Сівов. – К.: Атіка, 2003. – 270 с.
5. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 2007. – 654 с.
6. Аблесімов О.К. Автоматичне керування рухомими об'єктами й технологічними процесами / О.К. Аблесімов, Є.Є. Александров, І.Є. Александрова. – Харків: НТУ ХПІ, 2008. – 443с.
7. Маркін О.М., Маркін М.О. Теорія автоматичного керування. Електронний конспект лекцій. К. КПІ. 2009. – 137 с.
8. Теорія автоматичного керування: Дослідження системи автоматичного регулювання: Курсова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії» / А. А. Марченко, В. С. Гулий, Д. В. Настенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,23 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 31 с.
9. Аблесімов О. К. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / О. К. Аблесімов – К. : «Освіта України», 2019. – 270 с.

ДОДАТКИ

Додаток А – Варіанти завдань до лабораторних робіт

Таблиця А.1 – Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи №1

№ варіанта		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	T_{II}
		сек.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	а	5	15					59
	б			22	31			
	в					46	54	
2	а	18	80					87
	б			27	53			
	в					6	67	
3	а	59	131					179
	б			9	157			
	в					24	90	
4	а	46	199					215
	б			8	65			
	в					85	135	
τ		1,5	1	1	2	1,5	1	

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	a	15	30					72
	б			30	41			
	в					52	67	
6	a	23	85					92
	б			36	72			
	в					12	76	
7	a	63	104					123
	б			12	117			
	в					32	96	
8	a	57	136					140
	б			15	89			
	в					76	123	
τ		1	1,5	2	1	1	1,5	
9	a	17	34					83
	б			32	45			
	в					57	69	
10	a	21	88					97
	б			39	77			
	в					14	78	
11	a	63	104					123
	б			12	117			
	в					32	96	
12	a	78	127					150
	б			18	91			
	в					76	123	
τ		1,5	2	1,5	1	2	1	

Таблиця А.2 – Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи №2

Варіант №		Цикл		Елемент циклу зображених схем*
1	2	3	4	5
1	а	Аперіодичний		ШП
	б			ПП
2	а			ШВ
	б			ПВ
3	а			ШП
	б			ПП
4	а			ШВ
	б			ПВ
5	а			ШП
	б			ПП
6	а			ШВ
	б			ПВ

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5
5	а	Аперіодичний		ШП
	б			ПП
6	а			ШВ
	б			ПВ
7	а	Періодичний		ПП
	б			ШВ
8	а			ПП
	б			ПВ

* На схемах усі елементи, стан яких під час роботи змінюється (золотники, кінцеві перемикачі, контакти реле), повинні зображатись в положенні, що відповідає завданому елементу циклу.

Таблиця А.3 – Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи №3

№ вар	n , об/хв.	S_3 , мм/об	γ						
			0	3	15	40	58	72	90
1	710	0,065	0	3	15	40	58	72	90
2	1120	0,08	0	4	14	30	45	70	90
3	900	0,096	0	5	16	32	47	75	90
4	560	0,114	0	6	18	36	50	80	90
5	710	0,07	0	7	17	40	56	74	90
6	1120	0,082	0	8	19	34	46	71	90
7	900	0,09	0	3	15	32	49	76	90
8	560	0,106	0	4	14	33	54	82	90
9	710	0,06	0	5	16	31	57	77	90
10	1120	0,084	0	6	18	38	48	73	90
11	900	0,092	0	7	17	37	52	81	90
12	560	0,118	0	8	19	35	56	79	90
13	710	0,062	0	3	15	41	59	71	90
14	1120	0,07	0	4	14	26	48	81	90
15	900	0,098	0	5	16	28	45	79	90
16	560	0,112	0	6	18	40	52	82	90
17	710	0,055	0	7	17	36	58	77	90
18	1120	0,086	0	8	19	38	49	78	90
19	900	0,098	0	3	15	33	43	73	90
20	560	0,118	0	4	14	30	50	76	90
21	710	0,063	0	5	16	42	56	72	90
22	1120	0,089	0	6	18	36	46	80	90
23	900	0,094	0	7	17	32	51	75	90
24	560	0,122	0	8	19	34	54	74	90
25	710	0,067	0	3	15	42	56	71	90
26	1120	0,087	0	4	14	34	47	75	90
27	900	0,093	0	5	16	36	45	80	90
28	560	0,104	0	6	18	38	48	70	90
29	710	0,078	0	7	17	40	54	72	90
30	1120	0,085	0	8	19	30	43	74	90

Таблиця А.4 – Варіанти індивідуальних завдань до лабораторної роботи №4

№ вар	Переміщення X, мм												Зобразити схему проходження сигналу при α
	Прямий хід						Зворотній хід						
1	0	5	10	15	20	25	25	20	15	10	5	0	45°
2	0	4	8	12	16	20	20	16	12	8	4	0	90°
3	0	3	6	9	12	15	15	12	9	6	3	0	135°
4	0	2	4	6	8	10	10	8	6	4	2	0	180°
5	0	5	11	16	24	30	30	24	16	11	5	0	45°
6	0	4	9	13	18	23	23	18	13	9	4	0	90°
7	0	3	7	10	15	18	18	15	10	7	3	0	135°
8	0	2	5	7	9	11	11	9	7	5	2	0	180°
9	0	5	12	17	22	28	28	22	17	12	5	0	45°
10	0	4	10	14	18	22	22	18	14	10	4	0	90°
11	0	3	8	11	14	17	17	14	11	8	3	0	135°
12	0	2	6	8	10	12	12	10	8	6	2	0	180°
13	0	5	9	14	19	23	23	19	14	9	5	0	45°
14	0	4	7	11	15	21	21	15	11	7	4	0	90°
15	0	3	5	8	11	14	14	11	8	5	3	0	135°
16	0	2	4	7	9	11	11	9	7	4	2	0	180°
17	0	5	12	16	23	27	27	23	16	12	5	0	45°
18	0	4	9	12	18	25	25	18	12	9	4	0	90°
19	0	3	7	12	16	22	22	16	12	7	3	0	135°
20	0	2	5	9	12	18	18	12	9	5	2	0	180°
21	0	5	12	18	24	30	30	24	18	12	5	0	45°
22	0	4	10	16	19	23	23	18	19	10	4	0	90°
23	0	3	8	13	18	24	24	18	13	8	3	0	135°
24	0	2	6	10	15	19	19	15	10	6	2	0	180°
25	0	5	9	15	20	25	25	20	15	9	5	0	45°
26	0	4	8	13	17	21	21	17	13	8	4	0	90°
27	0	3	7	11	16	22	22	16	11	7	3	0	135°
28	0	2	4	8	12	18	18	12	8	4	2	0	180°
29	0	5	11	16	25	29	29	25	16	11	5	0	45°
30	0	4	9	15	19	26	26	19	15	9	4	0	90°

Додаток Б – Приклади звітів до виконання лабораторних робіт

НУ “Чернігівська політехніка

Група _____

Кафедра АТ та ГМ

ЗВО _____

ЗВІТ

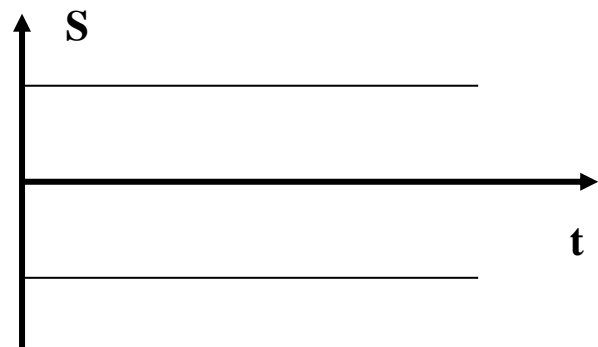
з лабораторної роботи № 1

КОМАНДНА САК

1. Мета роботи: Вивчити командну САК з командоапаратом КЗП-12у, побудову її окремих елементів, виконати розрахунок і налагодження завданого циклу згідно варіанту завдання № ____ .

2. Цикл роботи САК і вихідні дані для налагодження:

Час	t_k	t_k'	$T_{\text{ц}}$
	сек.		
Завданий			
Фактичний			



3. Залежності і розрахунки:

а) встановлення часу циклу

$$Z =$$

$$n =$$

б) встановлення елементів дії (кулачків)

$$\theta_1 =$$

$$\theta_2 =$$

в) помилки включення

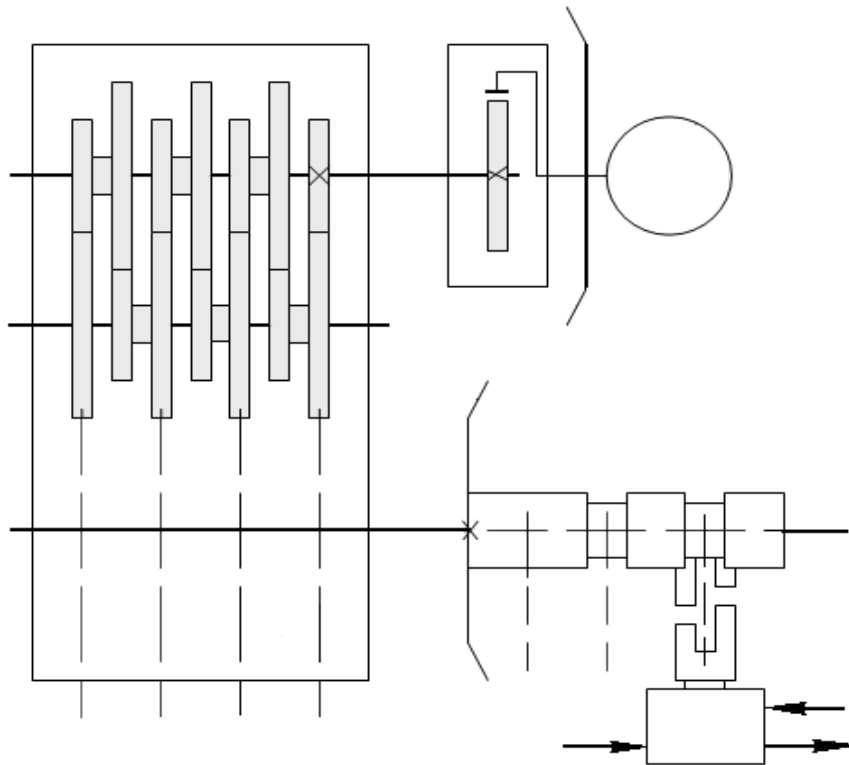
$$\delta_1 =$$

$$\delta_2 =$$

$$\delta_1 \% =$$

$$\delta_2 \% =$$

4. Спрощена кінематична схема командоапарату
(зобразити схему у заданому положенні і увести позначення)



5. Таблиця встановлення елементів

Виконавчий механізм	Пневмоциліндр №			
	Ліва		Права	
Порожнина циліндру				
Кулачок	Вмик.	Вимик.	Вмик.	Вимик.
θ_k				

6. Циклограма руху барабану командоапарата
(зобразити циклограму у заданому положенні і увести позначення)

Підпис ЗВО _____

Дата « __ » _____ 202__ р.

Підпис викладача _____

Дата « __ » _____ 202__ р.

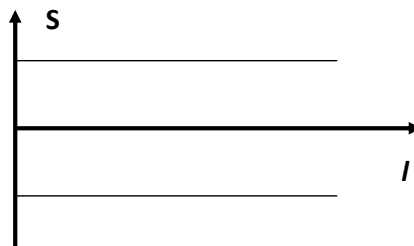
ЗВІТ

з лабораторної роботи № 2

ШЛЯХОВА САК

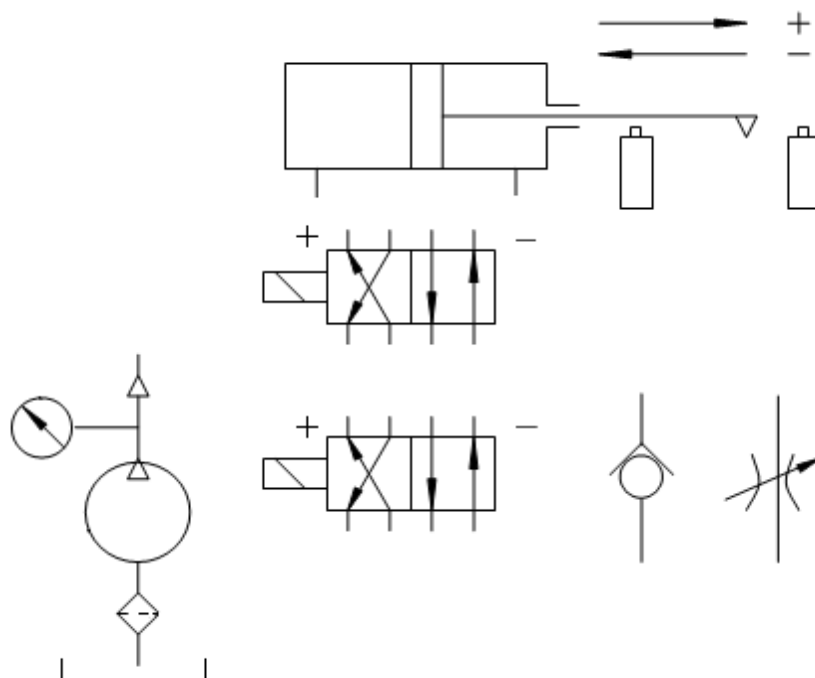
1. Мета роботи: Вивчити командну САК складену із елементів електро-гідроавтоматики і виконати налагодження завданого циклу згідно варіанту завдання № ____ .

2. Завданий цикл робочого органу :



3. Схема гідросистеми

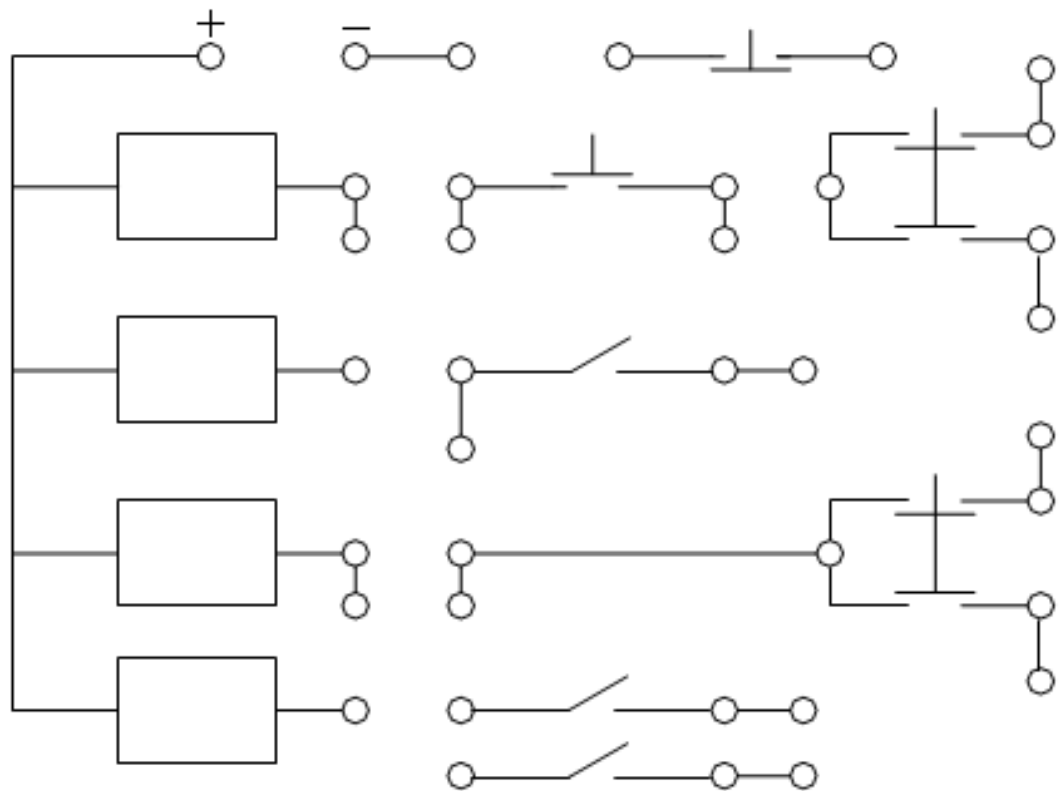
(зобразити гідросистему у заданому положенні і увести позначення) :



4. Таблиця стану елементів електричної схеми:

Елемент циклу	ЕС-1	ЕС-2	Елемент вмикавання

5. Електрична схема (зобразити у заданому положенні і увести позначення)



Підпис ЗВО _____

Дата « __ » _____ 202__ р.

Підпис викладача _____

Дата « __ » _____ 202__ р.

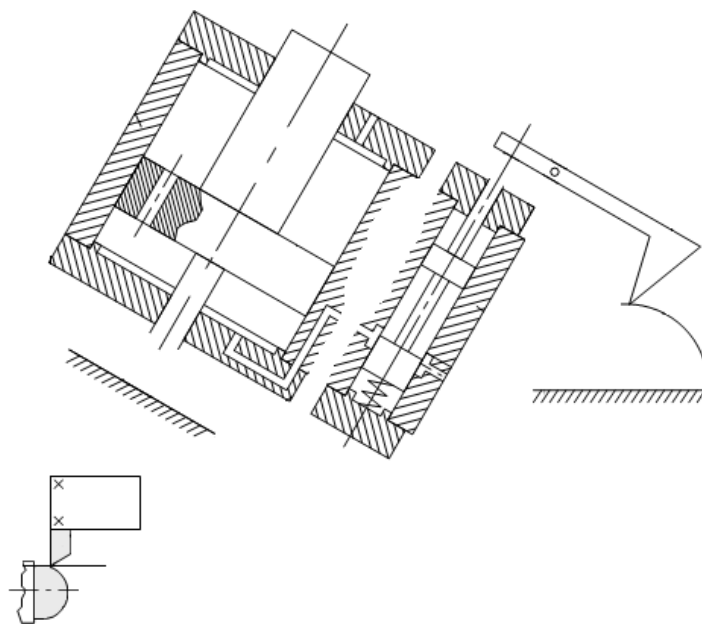
ЗВІТ

з лабораторної роботи № 3
С Л І Д К У Ю Ч А С А К

1. Мета роботи: Вивчити слідкуючу САК, однокоординатний гідравлічний слідкуючий привод гідрокопіювального супорта, визначити похибку копіювання і зняти швидкісну статичну характеристику згідно варіанту завдання № ____ .
2. Дані для визначення похибки копіювання:

Варіант	n об/хв	S мм/об	γ°						

3. Спрощена принципова схема гідрокопіювального супорта (зробити необхідні з'єднання і увести позначення)



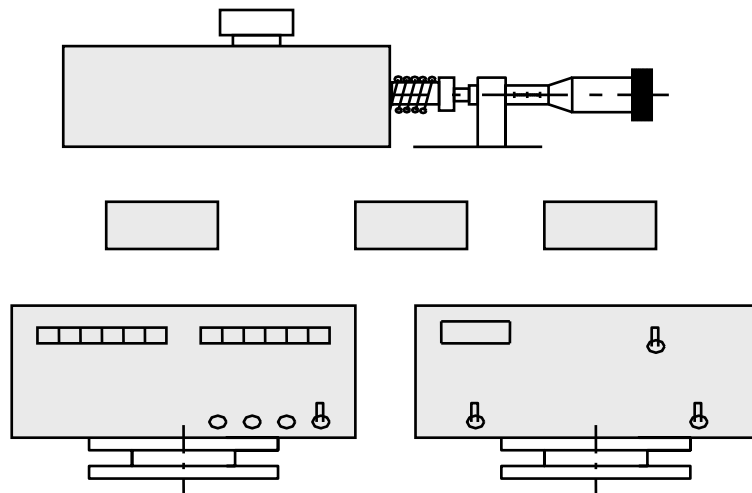
ЗВІТ

з лабораторної роботи № 4

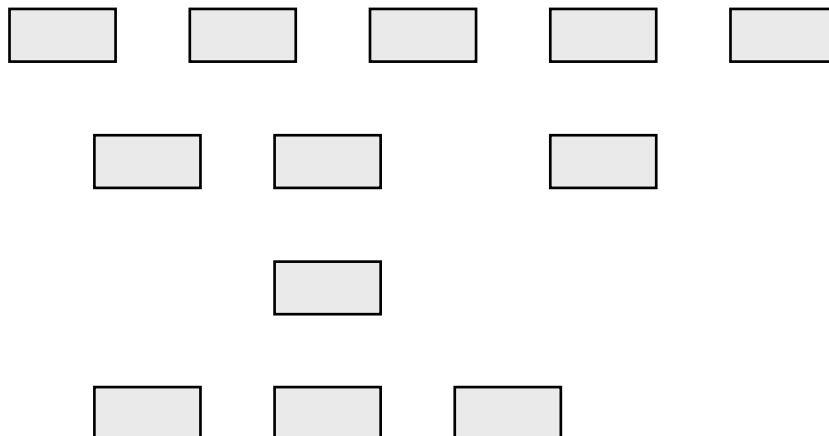
ЦИФРОВИЙ ВІДЛІКОВИЙ ПРИСТРІЙ

1. Мета роботи: Вивчити цифровий відліковий пристрій для контролю переміщень, визначити точність його спрацьовування згідно варіанту завдання № ____ .

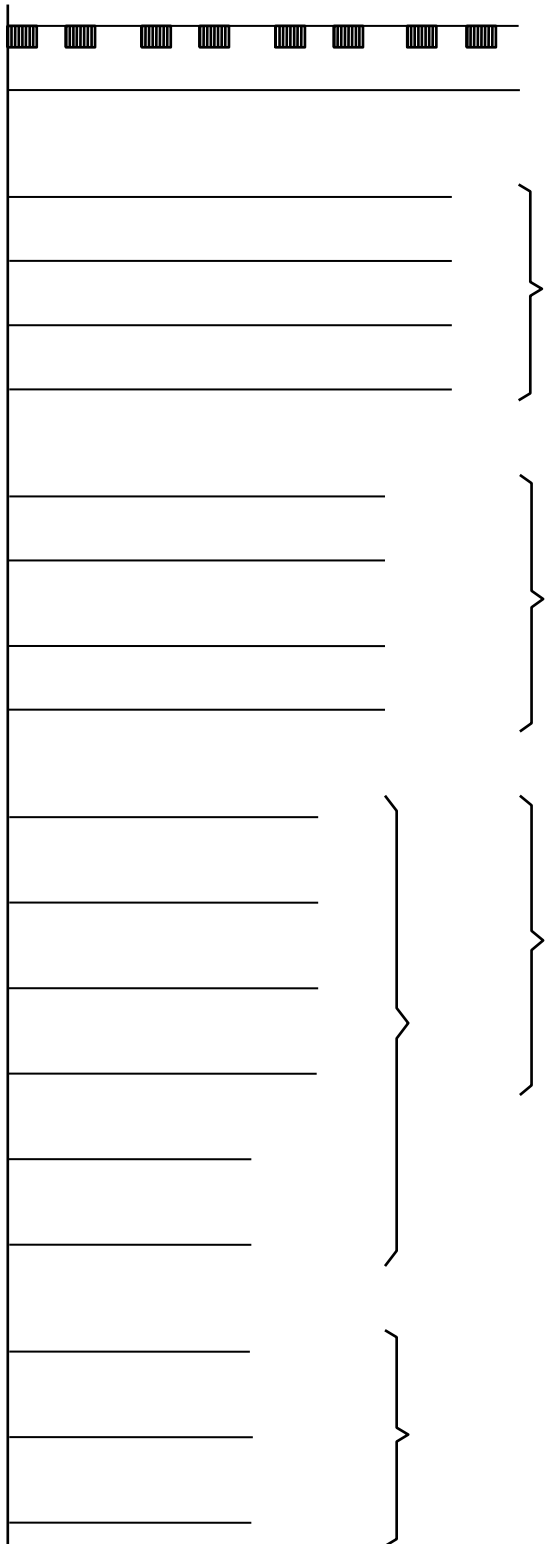
2. Основні вузли і органи керування:
(зробити необхідні з'єднання і ввести позначення)



3. Спрощена функціональна блок-схема:
(зробити необхідні з'єднання і ввести позначення)



4. Схема проходження сигналу при $\alpha =$



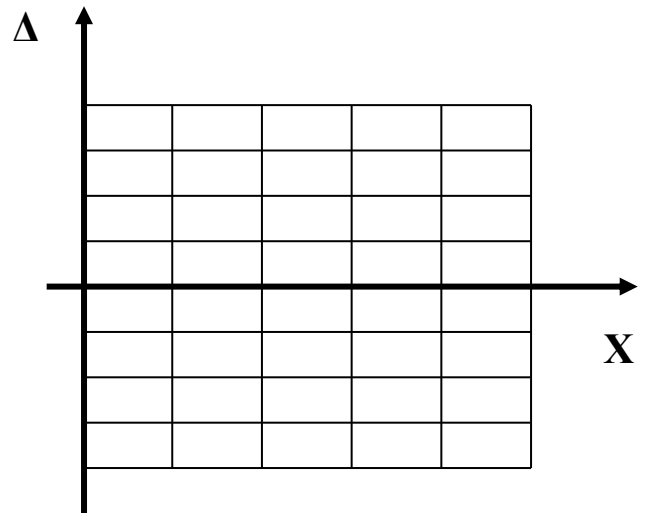
Підпис ЗВО _____

Дата «__» _____ 202__ р.

5. Визначення точності спрацювання
а) Таблиця замірів і розрахунків

мм				

б) Графік



Підпис викладача _____

Дата «__» _____ 202__ р.