

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

В.І. Швець, Д.М. Шостачук, М.В. Богдановський

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу
«Автоматизований електропривід»
для студентів спеціальності
«Автоматизоване управління технологічними
процесами»

*Затверджено на засіданні
кафедри автоматизації
і комп'ютеризованих технологій
(протокол № 4 від 18 грудня 2007р.)*

Житомир 2008

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Автоматизований електропривід» для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами». – Житомир, ЖДТУ, 2008. – 96 с.

Укладачі: Швець В.І.
Шостачук Д.М.
Богдановський М.В.

Рецензент: Коваленко І.О.

Відповідальний редактор: Безвесільна О.М.

Комп'ютерний набір та верстка: Костюк К.О.

Наклад: 100 примірників

Житомир, РВВ ЖДТУ, 2008

Загальні положення

Виконання лабораторних робіт дозволяє:

- закріпити та поглибити знання, отримані на лекціях, пов'язати теорію з практикою;
- набути навичок лабораторних досліджень та використання вимірювальної апаратури;
- навчитися узагальнювати результати досліджень.

У процесі підготовки до лабораторних досліджень студент зобов'язаний:

- ознайомитись із змістом лабораторної роботи за даним посібником;
- вивчити відповідні розділи конспекту лекцій та рекомендованої літератури;
- опрацювати питання для самоперевірки;
- підготувати таблиці для запису даних вимірювань та обчислень;
- виконати попередні розрахунки.

При виконанні лабораторних робіт студенти повинні бути виключно уважними та суворо дотримуватись правил техніки безпеки при роботі в лабораторії «Автоматизований електропривід» з відповідним обладнанням та апаратурою. На першому занятті викладачем проводиться інструктаж з техніки безпеки і його результати оформляються належним чином в спеціальному лабораторному журналі.

Перед виконанням лабораторної роботи перевіряється рівень теоретичної підготовки студентів до занять. Непідготовлені студенти до виконання лабораторної роботи не допускаються.

Починаючи лабораторну роботу, необхідно перевірити, чи всі прилади, що вказані в описі роботи, є на робочому місці, та початкове положення органів керування.

Виконувати лабораторну роботу необхідно дотримуючись послідовності, що вказана у завданні на лабораторну роботу.

Кожний студент повинен мати робочий зошит, у який в процесі досліджень заносяться результати вимірювань, виконуються необхідні розрахунки, будуються у чорновому варіанті необхідні характеристики. По закінченню заняття

результати досліджень підписує викладач.

Звіт про виконання лабораторної роботи оформлюється кожним студентом на окремих листах формату А4. Звіт повинен містити:

- 1) назву та мету роботи;
- 2) перелік використовуваних приладів та обладнання з паспортними даними;
- 3) схеми досліджуваних систем;
- 4) експериментальні дані у вигляді таблиць, графіків, осцилограм;
- 5) розрахунки, передбачені завданням;
- 6) докладні висновки за результатами досліджень, співставлення експериментальних даних з розрахунковими, пояснення точності їх співпадіння та можливих розбіжностей.

На черговому занятті студенти зобов'язані пред'явити керівнику оформлені звіти з проведеної роботи та захистити їх. В іншому випадку вони не допускаються до виконання наступної роботи.

Лабораторна робота № 1

Тема: дослідження промислового регулятора швидкості обертання двигуна постійного струму.

Мета роботи: вивчити конструкцію, побудову, технічні характеристики регулятора ПТОР-230-10-Б. Придбати навички експериментального дослідження елементів промислової системи.

1.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка включає такі основні частини:

1. Машинний агрегат, що містить двигун постійного струму, навантажувальну машину, тахогенератор, дросель.
2. Перетворювач тиристорний однофазний реверсивний (ПТОР).
3. Пульти керування, що містить приладну панель та панель вмикання.
4. Осцилограф.
5. Вольтметр.

ПТОР перетворює змінну однофазну напругу промислової частоти у постійну регульовану реверсивну напругу та призначений для живлення якірних кіл машин постійного струму.

Перетворювач є комплектним пристроєм, що складається з силових керованих вентилів, приладів керування та захисту елементів, необхідних для створення систем автоматичного регулювання (рис. 1.1, рис. 1.2).

Перетворювач складається із таких функціональних блоків:

1. Силової частини.
2. Системи імпульсно-фазового керування (СІФК),
3. Блоку логіки (БЛ),
4. Реверсуючого елемента (РЕ),
5. Датчика зворотного зв'язку за швидкістю (ДЗЗ),
6. Блоку живлення (БЖ),
7. Підсилювачів (P_1, P_2),
8. Блоку струмової відсічки (СВ),

9. Гнучкого зворотного зв'язку за струмом (R_{89}, C_{23}).

Принцип роботи перетворювача оснований на властивості тиристорів змінювати в широких рамках середнє значення випрямленої напруги шляхом затримки часу відкриття тиристорів по відношенню до початку додатної півхвилі живлячої змінної напруги.

Перетворювач містить два комплекти керування вентилями "Вперед" та "Назад". Схема керування побудована за принципом роздільного керування комплексами вентилів із використанням одного комплексу СІФК.

Блок фазового керування призначений для формування прямокутних відкриваючих імпульсів та видачі їх в певній послідовності і в певний момент часу, що необхідно для роботи перетворювача, і являє собою одноканалну однокомплектну безінерційну систему, яка працює за вертикальним принципом. На рис 1.5 показана діаграма, яка пояснює роботу схеми.

СІФК (БФК) можна розбити на наступні функціональні вузли (рис. 1.7):

- генератор пилкоподібних напруг (ГПН);
- суміщений нуль-орган (НО) та формувач тривалості; імпульсів (ФТІ);
- розподільник імпульсів (PI);
- керуючий орган (КО).

Розглянемо роботу кожного вузла.

Генератор пилкоподібних напруг.

ГПН виробляє пилкоподібну напругу частотою $f = 2 f_m = 100$ Гц. Вузол включає в себе два джерела випрямленої напруги (обмотка 1 трансформатора T_p , діоди VD_1, VD_2 та конденсатор C_2 складають одне джерело, назовемо його U_n , та ж обмотка I та діоди VD_3, VD_4 складають друге джерело, назовемо його U_k), крім того, ГПН включає транзистор VT_{33} , конденсатор C_{28} та резистори $R_{131} + R_{134}$ та R_{136} . При цьому елементи $T_{p1}, VD_1 - VD_4, C_2$ конструктивно входять до блоку живлення.

Потенціал бази транзистора VT_{33} відносно його емітера визначається відношенням струму зміщення I_{3M} через резистор R_{133} від джерела U_n та струму підпору I_{nion} від джерела U_k через резистори R_{133}, R_{134} . При $I_{3M} < I_{nion}$

транзистор T_{33} закритий, і конденсатор C_{28} заряджається від U .

За час спаду U_K до величини $I_{3M} < I_{\text{відп}}$ напруга на перехід база-емітер $U_{б-е}$ T_{33} стає від'ємною, транзистор VT_{33} закривається, і через його розряджається конденсатор C_{28} . Таким чином, напруга на конденсаторі C_{28} являє собою пилку з частотою $2f_m$ (див. рис 1.5.).

Напруга на резисторі R_{132} це є різниця

$$U(R_{132}) = U_n - U(C_{28}) = U_{\text{пилки}}$$

На вихід НО та ФТІ поступають напруги: $U_{\text{пилки}}$, U_V та U_{3M} . U_V - регулююча напруга, що знімається з резистора R_{135} . Напруга U_{3M} - знімається з резистора R_{136} і є напругою додатного зміщення кута регулювання (U_{3M}). При цьому:

$$U'_{\text{пилки}} = U_{\text{пилки}} - U_{3M}$$

Розглянемо роботу схеми. У початковому стані задається напруга $U_3 = 0$, ключі B_1 , H_1 та ключі B_2 , H_2 елемента РЕ закриті, управляючі імпульси на тиристорах відсутні, випрямлена напруга на виході перетворювача $U = 0$. При появі задавальної напруги певної полярності на виході порівнюючого елемента виникає сигнал, котрий поступає на додатковий підсилювач Π_1 , що дозволяє зменшити приведену до входу підсилювача зону нечутливості БЛ і розширити межі регулювання швидкості. Підсилювач Π_1 , охоплений коректуючим **RC** - колом, є ПІ-регулятором швидкості, а підсилювач Π_2 у даній схемі використовується як регулятор струму. Після Π_1 сигнал поступає на реверсуючий елемент РЕ. РЕ перетворює реверсивний сигнал ΔU в однополярний сигнал ΔU , що поступає на вихід нереверсивного підсилювача Π_2 .

Реверсивний сигнал ΔU поступає також на вхід блоку логіки БЛ. У результаті спрацьовує один з каналів блоку логіки, наприклад "В", котрий подає команду на вмикання ключів B_1 та B_2 . Вмикання призводить до проходження сигналу ΔU на вхід підсилювача Π_2 , котрий діє на вхід БФК, а через ключ B_1 на комплект вентилів ТВ з виходу БФК поступають керуючі імпульси. На виході

перетворювача з'являється напруга U_d і проходить розгін двигуна.

Блок логіки утримується у відповідному стані "Вперед" за рахунок блокувань вихідної напруги підсилювача U_n та струму головного кола I_d , що поступає у БЛ з датчика струму. Сигнал ΔU здійснює тільки початкове перемикання БЛ у перехідних режимах; при роботі у сталому режимі величина $\Delta U = U_3 + U_{33}$ дуже мала.

Реверсування приводу здійснюється наступним чином: при зміні полярності задавальної напруги, змінюється знак ΔU , даючи БЛ команду на перемикання ключів, але ключі B_1 і B_2 залишаються у попередньому стані через наявність блокувань від U_n та I_d ; ΔU на вхід підсилювача поступає з протилежним знаком, - починаються швидкий спад напруги на виході підсилювача і струму в силовому колі. Після того як U_n та I_d спадуть до нуля, проходить перемикання ключів: B_1 і B_2 вимикаються, H_1 і H_2 вмикаються із затримкою часу. При вмиканні H_2 на вхід підсилювача P_2 поступає напруга ΔU тієї ж полярності і на його виході з'являється напруга U_n , котра здійснює регулювання кута та утримування блоку логіки у вимкненому стані. Через ключ H_1 керуючі імпульси з виходу СІФК подаються на комплект вентилів "Назад". У результаті перемикання комплектів двигун переходить у гальмівний режим з рекуперацією енергії в мережу через інверторний комплект тиристорів ТН. Після закінчення гальмування двигун розганяється у зворотну сторону тим же комплектом вентилів ТН.

Формування прямокутної струмової діаграми в перехідних процесах здійснюється вузлом струмової відсічки СВ.

Корекція САР здійснюється за допомогою охоплення підсилювача RC - колом, а також введенням на вхід підсилювача від'ємного зворотного зв'язку за струмом (R_{89} , C_{23}).

На приладній панелі пульту (рис. 1.3.) розміщені прилади, які дозволяють виміряти напругу на навантаженні (вольтметр V_1), струм навантаження (амперметр A), напругу з ЛАТР (вольтметр V_3).

Тумблер B_1 необхідний для реверсування якоря двигуна. Тумблер B_5 необхідний для підключення ПТОР (верхнє положення) або ЛАТР (нижнє положення). Перемикач B_7 необхідний для підключення елементів установки, що використовуються в лабораторній роботі № 1 (ліве положення) чи в лабораторній роботі № 2 (праве положення). Ручка P - регулятор швидкості. На панелі вмикання розташовані кнопка "Пуск" (чорна), кнопка "Стоп" ("Аварія") (червона) та ручка регулятора ЛАТРу.

У вихідному стані кнопка "Стоп" повинна бути віджата (відпущена). Регулятор швидкості - у крайньому лівому положенні. Регулятор ЛАТРу - у крайньому лівому положенні. Вихідне положення ручки реостата навантаження — крайнє праве ("нижче").

1.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією та основними параметрами функціональних пристроїв лабораторної установки, вивчити функціональну та структурну схему, принципи дії системи автоматичного регулювання та уявити розміщення і призначення органів контролю та керування лабораторної установки.

2. Встановити всі ручки та тумблери в початкове положення. Увімкнути установку на щитку живлення лабораторії (правий нижній перемикач).

3. Зняти залежність випрямленої напруги від положення регулятора швидкості. Для цього необхідно підключити вольтметр до гнізд $G_{N35} - G_{N41}$ силової частини ПТОРу. Натиснути кнопку "Пуск" на панелі вмикання. При цьому повинна засвітитися сигнальна лампа L_3 силової частини ПТОРу, яка сигналізує про вмикання ПТОРу. Регулятор швидкості послідовно встановлювати у положення 1...7. Для кожного положення виміряти випрямлену напругу. Регулятор швидкості плавно повернути в початкове положення. Тумблером B_1 виконати реверс двигуна. Повторити заміри випрямленої

напруги при зворотному напрямі обертання якоря двигуна. Результати занести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

Положення РШ	1	2	3	4	5	6	7
U_d , В (Вперед)							
U_d , В (Назад)							

4. Зняти залежність кута регулювання від положення регулятора швидкості. Для цього необхідно підключити осцилограф до гнізд $G_{H24} - G_{H27}$. Регулятор швидкості послідовно встановлювати у положення 1...7. Для кожного положення заміряти кут регулювання на екрані осцилографа. Виконати реверс і повторити вимірювання. Методика знаходження кута регулювання показана на рис. 1.4. Результати занести в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2

Положення РШ	1	2	3	4	5	6	7
α (Вперед)							
α (Назад)							

Визначити величину максимального та мінімального кута регулювання. Максимальний кут регулювання визначається при нульовому положенні регулятора швидкості, мінімальний - при максимальному задавальному сигналі.

5. Зняти у масштабі осцилограми напруг у блоці фазового управління тиристорами на гніздах $G_{H28} - G_{H29}$, $G_{H28} - G_{H27}$, $G_{H24} - G_{H25}$, $G_{H24} - G_{H23}$.

6. Поставити регулятор швидкості в положення "4", учинити реверс приводу. Спостерігати перехідний процес при реверсі та заміряти час реверсу.

7. Встановити регулятор швидкості в положення "0".

Заміряти напругу на виході тахогенератора на клеммах " U_{m2} ", дотримуючись полярності. Регулятор швидкості послідовно встановити в положення 1...7 та зняти покази вольтметра для кожного положення регулятора.

З графіка рис. 1.6, залежності кількості обертів двигуна - напруга тахогенератора визначити кількість обертів двигуна n у кожному положенні регулятора швидкості. Учинити реверс двигуна та повторити виміри. Результати занести у таблицю 1.3.

Таблиця 1.3

Положення РШ	1	2	3	4	5	6	7
U_{m2} , В (Вперед)							
n , об/хв.(Вперед)							
U_{m2} , В (Назад)							
n , об/хв. (Назад)							

8. Зупинити установку, встановивши РШ у положення "0", натиснути кнопку "Стоп".

Підключити реостат до гнізд "Навантаження". Встановити величину опору реостата 300 Ом, увімкнути установку та повторити виміри пункту 7, записавши їх у таблицю 1.4.

Таблиця 1.4

Положення РШ		1	2	3	4	5	6	7
100 Ом	U_{m2} , В							
	n , об/хв.							
200 Ом	U_{m2} , В							
	n , об/хв.							
300 Ом	U_{m2} , В							
	n , об/хв.							

Послідовно встановити опір реостата 200, 100 Ом та повторити виміри. Поставити ручку реостата у вихідне положення "Нижче", вимкнути установку, відключити реостат.

8. Перемкнути на передній панелі пульта керування перемикач "ПТОР/ЛАТР" у положення ЛАТР, увімкнути установку, при цьому ручка ЛАТРу повинна знаходитись у крайньому лівому положенні. Послідовно встановити на вольтметрі напругу 50, 100, 150, 200, 220 В та заміряти напругу тахогенератора. З графіка рис. 1.6. знайти відповідні значення $n = f(U_{m2})$. Результати вимірювань занести у таблицю 1. 5.

Таблиця 1.5

Напруга ЛАТРу U_b , В	50	100	150	200	220
U_{m2} , В					
n , об/хв.					

Для запобігання перевантаження ЛАТРу та ДПС напруга ЛАТРу не повинна перевищувати 220 В. Ручку ЛАТРу поставити у нульове (крайне ліве) положення. Натиснути на кнопку "Смон" на панелі вмикання. Усі тумблери та перемикачі повернути у вихідне положення.

Примітка. При екстремому вимиканні натиснути кнопку "Смон" на панелі вмикання. Ручку регулятора швидкості повертати плавно, без ривків. В іншому випадку може спрацювати автомат захисту. Для вмикання установки у випадку спрацювання автомату захисту необхідно увімкнути живлення лабораторної установки з щитка живлення, відкрити нижню кришку пульта керування та вимкнути автомат захисту. Продовжувати лабораторну роботу можливо тільки після дозволу керівника заняття.

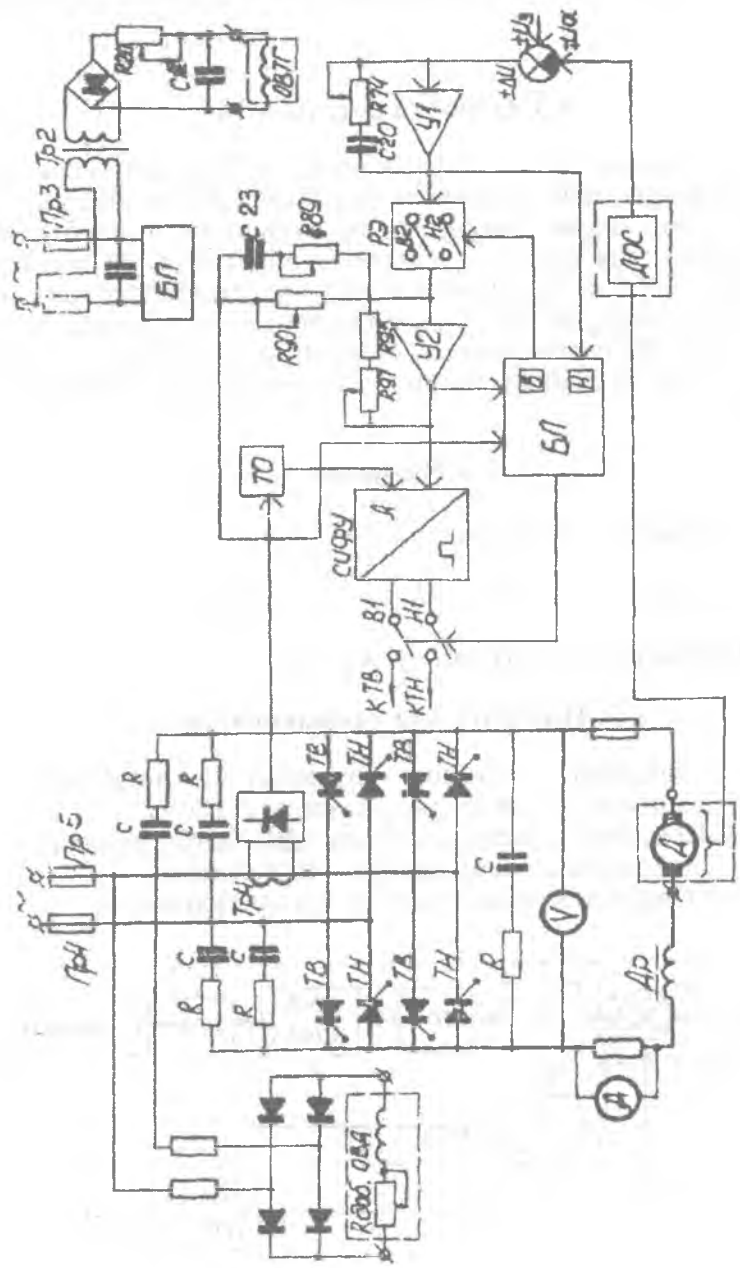


Рис. 1.1

1.3. Обробка результатів

За даними табл. 1.1 та табл. 1.2 побудувати графіки $U_d = f(\alpha)$ для двох напрямків обертання якоря двигуна. З структурної схеми вяснити, які тиристори і як будуть працювати для одного з напрямів обертання. За даними таблиць 1.3, 1.4. побудувати графіки залежності швидкості обертання двигуна "n" від положення регулятора швидкості при різних R навантаження. Порівняти та проаналізувати результати. За даними таблиці 1.5. побудувати графік $n = f(U_d)$.

1.4. Висновки

Пояснити залежності $U_d = f(U_3)$, $U_d = f(\alpha)$,

$n = f(U_{m2})$, $n = f(U_{m2}, R_n)$, $n = f(U_n)$.

Пояснити осцилограми пункту 1.2.5

1.5. Питання для самоперевірки

1. Пояснити принцип отримання випрямленої напруги за структурною схемою ПТОРУ.
2. Пояснити роботу блоків фазового керування, логіки, напівпровідникового підсилювача.
3. Пояснити методику виміру кута регулювання.

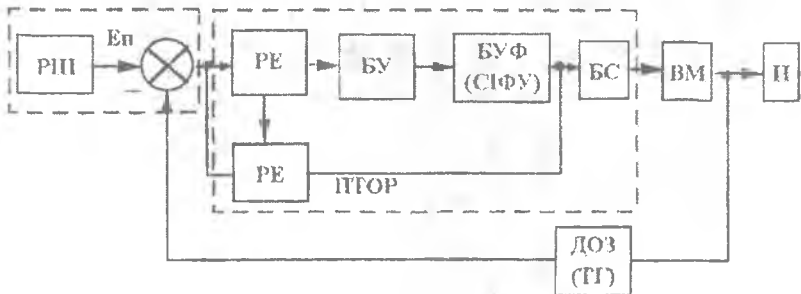


Рис. 1.2

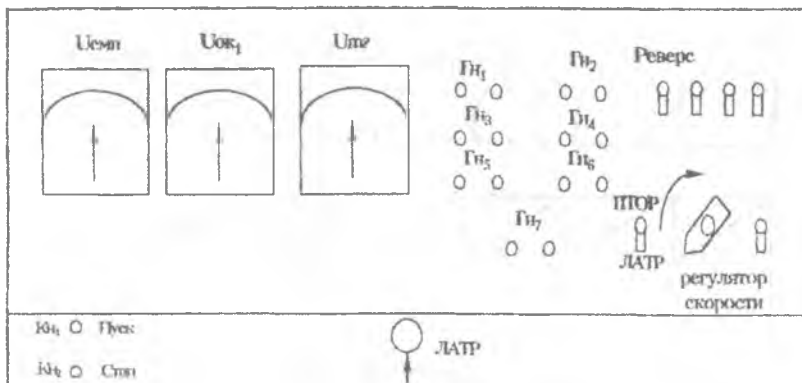


Рис. 1.3

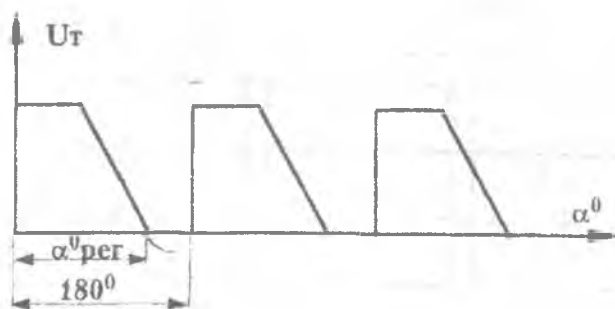


Рис. 1.4

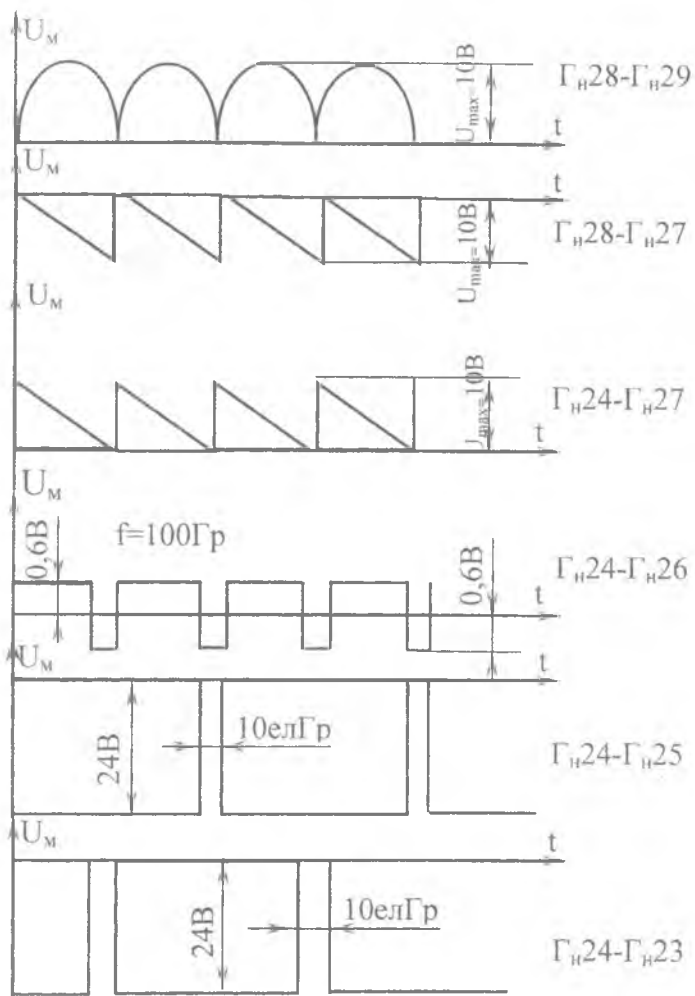


Рис. 1.5

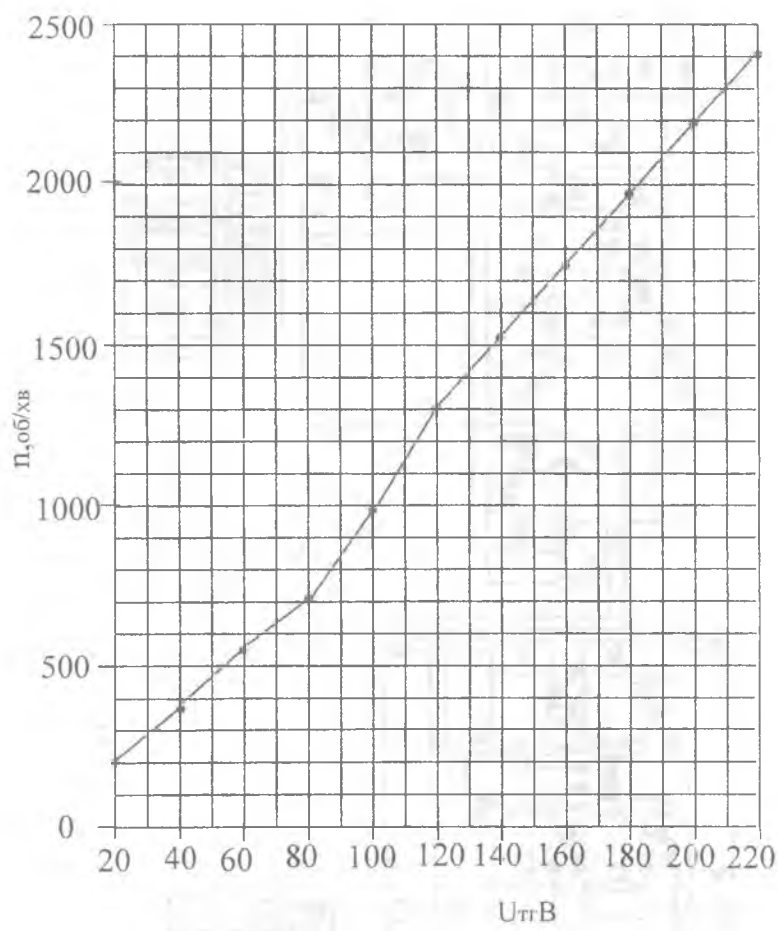


Рис. 1.6

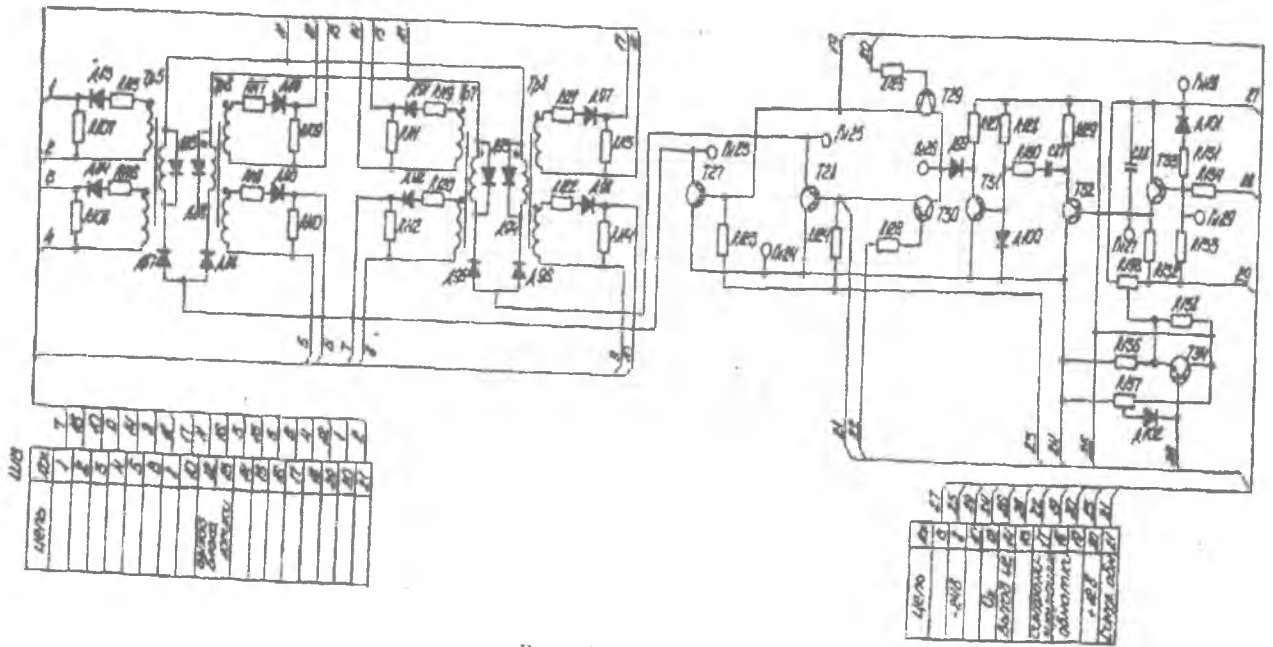
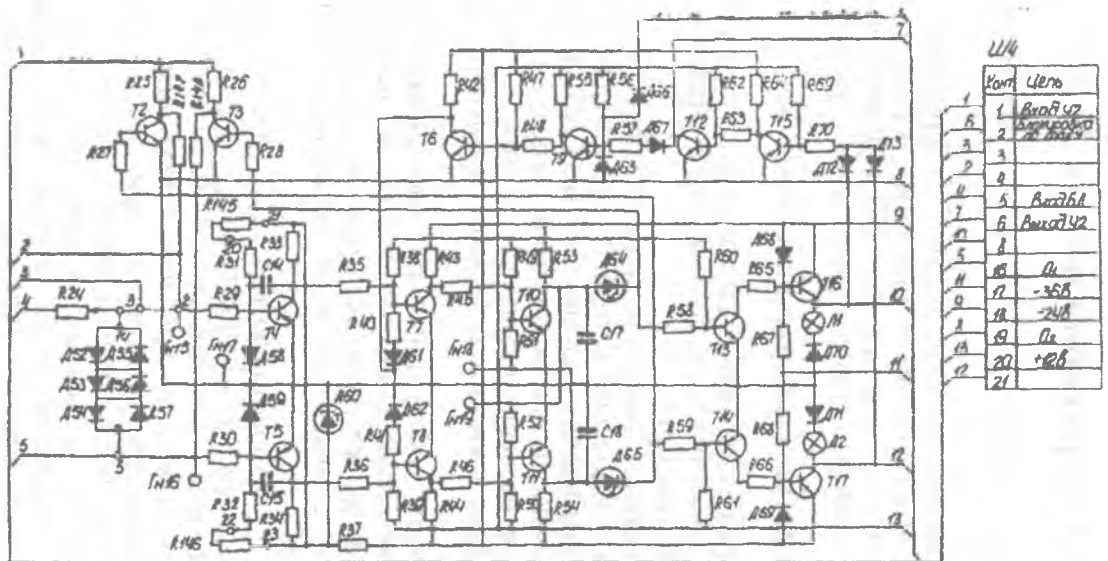


Рис. 1.7.



1/При диапазоне 1-200 соединить перемычкой точки 4-3 и 3-2
2/При диапазоне 1-2000 соединить перемычкой точки 3-2; 20-21, 22-23

Рис. 1.8.

Лабораторна робота № 2

Тема: дослідження сельсинного вимірювального пристрою.

Мета роботи: вивчити будову та принцип роботи сельсинного вимірювального пристрою (СВП), отримати практичні навички у дослідженні СВП в індикаторному та трансформаторному режимах та при типових неполадках.

2.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з стенду, на якому змонтована сельсинна пара, фазочутливий випрямляч (ФЧВ) та стрілочний вольтметр.

На панелі стенду ліворуч розміщений сельсин-датчик із шкалою та стрілкою на осі ротора. Ротор може гальмуватись тумблером, розміщеним під шкалою. Біля сельсин-датчика встановлено сельсин-приймач із закріпленою на осі ротора шкалою. Ротор сельсин-приймача (СП) може гальмуватись тумблером. Над шкалами сельсинів розміщені нерухомі стрілки.

Сельсин являє собою мініатюрну електричну машину, у звичайному виконанні схожу на синхронний генератор або двигун. Частіш за все ротор сельсина має одну обмотку, а статор — три обмотки, осі яких зміщені на 120° одна відносно іншої.

Сельсини використовуються у двох режимах: трансформаторному та індикаторному. Вони звичайно працюють у парі: сельсин-датчик (СД) з'єднаний із вхідним валом, а сельсин-приймач - з вихідним.

В індикаторному режимі ротори обох сельсинів отримують живлення від одного джерела змінного струму, а статорні обмотки сельсинів з'єднані між собою. При однаковому положенні валів струми в з'єднувальних проводах відсутні. Якщо вхідний вал повернуто на деякий кут, то в з'єднуючих проводах з'являться струми, котрі при жорстко закріпленому вхідному валі викличуть у приймача момент, що намагається зменшити кут розузгодження до нуля. Але цей момент вельми малий і практично достатній

лише для переміщення стрілок або інших вказівних приладів. Тому індикаторний режим у системах автоматичного регулювання не використовується. Трансформаторний режим роботи сельсинів широко використовується у стежних системах, призначених для здійснення синхронного і синфазного обертання двох валів, механічно між собою не зв'язаних. Один з валів є вхідним, а інший - вихідним. У цьому випадку живляча напруга подається на ротор сельсин - датчика.

Статорні обмотки також з'єднані, а з обмотки сельсин-датчика знімається напруга. Вихідна напруга буде рівною нулю при різниці кутів повороту 90° , бо результуючий потік у цьому випадку не буде перетинати витки обмотки ротора приймача. Цей стан приймається за нульовий. Будь яке розузгодження супроводжується появою напруги на виході, причому величина вихідної напруги в розповсюджених конструкціях є функцією синуса кута розузгодження.

Фазочутливий випрямляч (ФЧВ) призначений для перетворення сигналів змінного струму із зберіганням інформації про амплітуду (діюче значення) та фазу вхідного сигналу.

На передній панелі дана принципова схема сельсинного вимірювального пристрою (рис. 2.1.). Живлення кола збудження сельсинів здійснюється від мережі змінного струму і встановлюється рівним 110 В. Воно може відключатися за допомогою тумблера T_1 .

Напруга 110 В через потенціометр R_1 поступає як опорна напруга на фазовий дискримінатор (ФД).

Потенціометр R_2 служить для встановлення нуля ФЧВ, тумблер T_2 — для підключення виходу сельсин-приймача до входу ФД, тумблер T_3 для відключення конденсаторів C_1 і C_2 фільтра.

2.2. Порядок виконання роботи

2.2.1. Дослідження статичної характеристики сельсинної пари.

1. Зібрати схему сельсинів для роботи у трансформаторному режимі.
2. Тумблером, котрий знаходиться під шкалою, застопорити ротор сельсин-приймача на

нульовому положенні шкали та знайти узгоджене положення сельсинів у трансформаторному режимі шляхом повороту ротора СД. Запам'ятати положення шкали СД.

3. Підключити вольтметр до виходу СП.
4. Обертаючи ротор СД у межах від 0° до 360° , через кожні 30° зняти покази вольтметра. Дані записати в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

$\Delta\psi^\circ$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
U_{avr}													

2.2.2. Дослідження статичної характеристики фазочутливого випрямляча.

1. Зібрати схему сельсинів для роботи у трансформаторному режимі.
2. Встановити напругу на вході СД 15 ... 20 В. Тумблером T_2 підключити вихід сельсинної пари до входу ФЧВ, тумблером T_3 підключити конденсатори C_1 і C_2 фільтра. Вольтметр підключити до виходу ФЧВ.
3. Знайти узгоджене положення сельсинів і встановити потенціометром в нуль ФЧВ.
4. Застопорити СП тумблером під шкалою. Обертаючи ротор СД в межах від 0° до 360° , через кожні 30° зняти покази вольтметра і дані записати у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

$\Delta\psi^\circ$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
U_{avr}													

5. Відключити конденсатори C_1 і C_2 фільтра тумблером T_3 та повторити виконання пунктів 2 - 4 і заповнити таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

$\Delta\Psi^\circ$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$U_{\text{вих}}^*$													

6. Замалювати епюри вихідного сигналу ФЧВ при кутах $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 160^\circ, 180^\circ$, підключивши вхід осцилографа до виходу ФЧВ при підключених та відключених конденсаторах C_1 і C_2 .

2.2.3. Дослідження роботи СВП при типових неполадках.

1. Зібрати схему для роботи сельсинів у індикаторному режимі та відпустити стопор СП.
2. Обертаючи ротор СД, спостерігати роботу СВП.
3. Тумблером T_1 ввести несправність ОБРИВ КОЛА ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ. Обертаючи ротор СД, спостерігати роботу СВП.
4. Вийняти з'єднувальний провід, ввести несправність ОБРИВ ПРОВОДУ КОЛА СИНХРОНІЗАЦІЇ. Обертаючи ротор СД, спостерігати роботу СВП.
5. За допомогою з'єднувальних проводів ввести несправність ПЕРЕПЛУТАНІ ВИВОДИ ОБМОТОК СИНХРОНІЗАЦІЇ. Обертаючи ротор СД, спостерігати роботу СВП.

2.3. Обробка результатів

1. За даними таблиці 2.1. побудувати графік залежності $U_{ex} = f(\Psi)$.
2. Визначити коефіцієнт підсилення як тангенс кута нахилу дотичної до характеристики у точці $\Psi = 0$.
3. За даними таблиці 2.2. побудувати графік залежності $U_{ex} = f(\Psi)$.
4. За даними таблиці 2.3. побудувати графік залежності $U_{ex} = f(\Psi)$ та зробити висновок щодо впливу фільтра на статичну характеристику ФЧВ.

2.4. Висновки

1. Пояснити статичні характеристики сельсинної пари та фазочутливого випрямляча.
2. Пояснити вплив фільтра на статичну характеристику ФЧВ.
3. Зробити висновки щодо роботи СВП при типових неполадках.

2.5. Питання для самоперевірки

1. Призначення та типи сельсинів, що використовуються у роботі, їх основні технічні характеристики.
2. Пояснити роботу СВП в різних режимах роботи.
3. Пояснити порядок визначення статичних характеристик СВП та ФЧВ.
4. Проаналізувати відмінність роботи СВП при виникненні неполадок відносно нормальних режимів його роботи.

Принципова схема сельсинного вимірювального пристрою

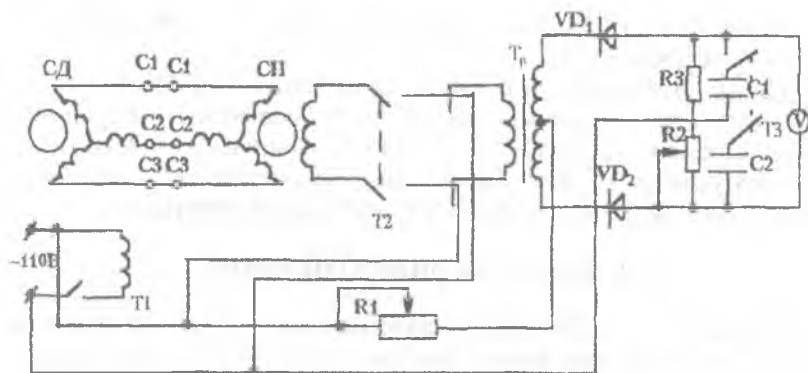


Рис. 2.1

Лабораторна робота № 3

Тема: дослідження циклової системи програмного керування роботів.

Мета роботи: вивчення пристрою ЕЦПУ-6030 та принципу дії циклової системи програмного керування промислового робота КБР-249, освоєння методики програмування та надбання практичних навичок налагодження роботи робота згідно заданої програми.

3.1. Короткий опис ЕЦПУ-6030

Пристрій ЕЦПУ-6030 призначено для керування маніпуляторами, що мають двохпозиційний стан ланок, з їх позиціонуванням упорами та аналогічним технологічним устаткуванням. Конструкція пристрою виконана у вигляді настільного пульта.

Структурна схема пристрою ЕЦПУ-6030



Рис. 3.1

Технологічна характеристика ЕЦПУ-6030

Тип системи керування - циклова.

Кількість керованих ланок маніпулятора - до 4.

Кількість точок зупинки на керованій ланці - 2.

Кількість технологічних команд - 6.

Кількість виходів на керовані пневмоклапани - 8.

Кількість програмованих витримок часу - 3.

Діапазон регулювання програмованої витримки часу - 0...0,7с.

Максимальна кількість кадрів програми - до 30.

Кількість виходів керування ланкою маніпулятора - 2.

Потужність споживання - 200 Вт.

Час безперервної роботи — не більше 16 год.

Елементна база - ІМС К155 в поєднанні з дискретними елементами.

Пристрій ЕЦПУ-6030 побудований за принципом синхронного програмного автомата з жорстким циклом керування і містить такі основні вузли та блоки:

- блок керування, призначений для обробки інформації за заданою програмою та видачі керуючих дій на маніпулятор і технологічне устаткування;
- пульт керування, що забезпечує завдання режимів роботи пристрою, виконання операцій вмикання - вимикання живлення, запуск в роботу, а також ручне керування ланками маніпулятора;
- програмоносій, призначений для набору та зберігання необхідної програми роботи робота;
- блок підсилювачів, що забезпечує видачу керуючих команд на розподільники маніпулятора та технологічне устаткування;
- блок живлення, що забезпечує живлення електронного обладнання, датчиків маніпулятора та технологічного устаткування.

БЛОК КЕРУВАННЯ формує команди керування виконавчими органами маніпулятора та технологічним устаткуванням на основі інформації, що поступає з програмоносія, сигналів від датчиків положення ланок маніпулятора та стану керуючих органів на пульті керування.

ПУЛЬТ КЕРУВАННЯ призначений для оперативного керування пристроєм та відображення стану робота. З пульта керування можна задати один із наступних режимів роботи робота: РУЧНИЙ, КОМАНДА, ЦИКЛ, АВТОМАТ.

У режимі РУЧНИЙ команди на маніпулятор задаються з пульта керування і поступають на блок підсилювачів, і далі на маніпулятор для керування його рухомими органами. Контроль положення виконавчих органів маніпулятора здійснюється за допомогою табло індикації стану ланок маніпулятора.

У режимі КОМАНДА пристрій забезпечує обробку одного кадру програми, набраної на програмоносії. Після обробки команд, заданих у кадрі, проходить зупинка пристрою,

У режимі ЦИКЛ пристрій забезпечує одноразове відпрацювання всіх кадрів програми.

У режимі АВТОМАТ пристрій забезпечує багаторазове відпрацювання робочого циклу робота.

Кнопка ПУСК функціонує тільки в режимах АВТОМАТ, ЦИКЛ, КОМАНДА. При натисканні на дану кнопку пристрій починає працювати за програмою, одночасно засвічується табло РОБОТА.

Кнопка СТОП служить для зупинки працюючого по програмі пристрою. При натисканні на дану кнопку табло РОБОТА гасне (живлення пристрою не вимикається).

Кнопка СБРОС СЧК (лічильника кадрів) використовується для попереднього встановлення лічильника кадрів у початкове положення.

Кнопка СЧК використовується для зміни стану лічильника.

Кнопка СЕТЬ призначена для вмикання живлення.

При роботі за програмою на табло індикації висвічується номер виконуваного кадру.

У верхній частині пристрою розміщена червона кнопка аварійного вимкнення пристрою.

ПРОГРАМОНОСІЙ виконаний у вигляді двох набірних полів з багатопозиційних перемикачів і розташований у верхній частині пристрою у спеціальній комірці, що закривається кришкою. Кожний кадр програми може містити одну чи дві команди, що набрані на верхньому та нижньому полях програмоносія.

Програма складається за циклограмою роботи робота, котра розбивається на кроки. Максимальна кількість кроків робочого циклу (а відповідно і програм) - 30. Програмоносій, на якому набирається програма, виконаний у вигляді двох наборних полів багатопозиційних перемикачів по 30 шт. у кожному полі (кількість кроків програми).

Система команд пристрою ЕЦІУ-6030 приведена у табл.3.1.

1. Команди груп А та В можуть поєднуватись. Наприклад: одночасне втягування (20) та опускання (02), будуть мати код 22.
2. Команди, які відмічені *, при сумісній роботі з промисловим роботом КБР- 249 не використовуються.

Система команд пристрою керування ЕЦПК – 6030

Таблиця 3.1

Номер команди	Назва команди	Код кадру	Примітка
1	Висув	10	A ⇨
2	Втягування	20	A ⇩
3	Поворот ліворуч	30	A ⇩⇨
4	Поворот праворуч	40	A ⇨⇩
5	Підйом	01	B ⇩
6	Опускання	02	B ⇨
7	Зміщення ліворуч	03	B -
8	Зміщення праворуч	04	B -
9	Ротація праворуч	50	A -
10	Ротація ліворуч	60	A -
11	Відкрити схват	05	B ⇨⇩⇨
12	Закрити схват	06	B ⇩⇨⇩
13-18	Технологічні команди	91-96	
19	Опитування	70	
20		80	
21		07	
22		08	
23	Витримка часу	09	Пауза 0.5 с
24	Пропуск	97	Пропуск наступного кадра
25	Перехід (на кадр 20)	98	При УСЛ ПЕР-24В
26	Зупинка	99	
27	Кінець програми	00	Для зациклювання

Наявність верхнього та нижнього полів програмоносія дозволяє виконати одну чи дві команди. Якщо в кадрі при програмуванні відповідна команда набирається на верхньому полі програмоносія, а на нижньому полі встановлюється цифра 0, то даний кадр складається з однієї команди. Кадр також складається з однієї команди, якщо на верхньому полі встановлюється цифра 0.

Кадр одночасної обробки формується з двох команд, які набираються в одному кроці на верхньому та нижньому полях. Перехід до наступного кроку проходить тільки після виконання команд керування ланками маніпулятора, які набрані на програмоносії.

Технологічна команда - команда керування технологічним обладнанням. В кадрі програми може бути набрана тільки одна технологічна команда.

Команда ВИТРИМКА ЧАСУ служить для вводу затримки між кроками програми. За допомогою команди ВИТРИМКА ЧАСУ може бути реалізований режим одночасного відпрацювання команд, в якому одна команда починає відпрацьовуватись через заданий час (в залежності від того, скільки разів було набрано код 09) після початку іншої.

Команда ПРОПУСК служить для організації пропуску одного кадру програми при виконанні зовнішньої умови. У випадку, якщо не приходить сигнал від датчика, який встановлено на зовнішньому обладнанні, пристрій переходить до виконання кадру, не встановленого на зовнішньому обладнанні, а записаного на (і плюс 1-му кроці - на і-му кроці -ПРОПУСК). Якщо зовнішня умова виконується, тобто є сигнал, -24 В, то пропуск кадру не виконується.

Команда ЗУПИНКА служить для зупинки пристрою, який працює за програмою.

Команда КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ служить для зациклення програми роботи робота. При виконанні цієї команди лічильник кадрів скидається в початковий нульовий стан, після чого виконання набраної програми повторюється.

У режимі ЦИКЛ, крім того, при виконанні команди КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ проводиться зупинка пристрою.

Для набору режимів роботи необхідно скласти програму, приклад якої приводиться в таблиці 3.2.

Перевірка програми проводиться послідовно в режимах КОМАНДА, ЦИКЛ, АВТОМАТ на ввімкненому пристрої. Перед початком перевірки необхідно ланки маніпулятора вивести в початкове положення в режимі РУЧНИЙ.

У режимі КОМАНДА, установлюючи лічильник в нульовий стан кнопкою СБРОС СЧК та натискуючи послідовно на кнопку ПУСК, відпрацювати всю програму. Потім програму перевірити в режимах ЦИКЛ та АВТОМАТ.

Таблиця 3.2

Номер кроку	Код кадру	Назва команди в кадрі
0	11	Вперед. Підйом.
1	5	Відкриття захватного пристрою
і т.д.		

3.2. Експлуатація пристрою

При вмиканні живлення ланки маніпулятора автоматично приходять в положення, відповідне зображенню в нижньому рядку табло індикації стану ланок маніпулятора. Щоб запобігти небажаних рухів ланок при вмиканні живлення, ланки маніпулятора перед вмиканням в мережу необхідно вручну вивести в початкове положення згідно табло індикації стану ланок. Пристрій вводиться в робочий стан у такій послідовності:

- натиском кнопки СЕТЬ увімкнути живлення;
- встановити режим роботи РУЧНОЇ і за допомогою кнопок ручного керування ланками маніпулятора привести їх у початковий стан;
- встановити режим роботи АВТОМАТ;
- натиснути кнопку СБРОС СЧК;
- натиснути кнопку ПУСК; при ньому робот починає функціонувати за програмою;
- перед зупинкою пристрою встановити режим роботи ЦИКЛ; робот допрацьовує останній цикл і зупиняється, маніпулятор проходить у початкове положення;

- вимкнути живлення натиском кнопки аварійного вимикання живлення.

3.3. Короткий технічний опис робота КБР-249

Робот призначений для автоматизації технологічних процесів, де необхідно виконати захват, перенесення та установку деталей, у тому числі: обслуговування пресів, обслуговування металорізальних верстатів, обслуговування стрічкових конвейерів, виконання простих складальних операцій.

Технічна характеристика робота:

Вантажопідйомність - 0,8 кг.
Висування робочого пристрою - 200 мм.
Підйом виконавчого пристрою - 65 мм.
Поворот виконавчого пристрою - 120°.
Точність позиціонування - 0,25 мм (плюс-мінус).
Тип приводу - пневматичний.
Робочий тиск повітря - 4-6,3 кгс/см.
Маса - 91 кг.

3.4. Програма виконання роботи

1. Вивчити функціональну схему, принцип дії і конструктивні особливості системи керування.
2. Візуально освоїти систему керування ЕЦПУ-6030. Оглянути пульт керування. Точно знати функціональне призначення кожної клавіші та зображення табло пульта керування.
3. Зовні оглянути робот КБР-249. Засвоїти напрямлення переміщення ланок маніпулятора (пересування їх вручну). Засвоїти всі режими роботи системи керування. У режимі РУЧНОЇ виконати відпрацювання всіх команд керування робота.
4. Скласти алгоритм функціонування робота, як це показано в табл. 3.2. Кількість кроків повинна бути не менше 7 і не більше 15. Записати в кожному кроці код кадру, відповідний опис алгоритму. Програма повинна бути оформлена у вигляді

таблиці. Набрати програму на програмоносії. Відлагодження програми проводити послідовно в режимах КОМАНДА, ЦИКЛ, АВТОМАТ. Продемонструвати викладачу функціонування робота за складеною програмою. Згідно вказівкам викладача, користуючись командами 23, 24, 25, 26 (однією чи кількома) з таб. 3.1, ускладнити програму. Модифіковану програму продемонструвати викладачеві.

3.5. Звіт

Звіт повинен містити:

1. Завдання.
2. Алгоритм програми.
3. Результати.
4. Особливості роботи системи керування в різних режимах.
5. Результати роботи програми з додатковими командами.
6. Висновки.

Пункт 2 звіту повинен містити таблицю аналогічну табл. 3.2, у якій приводиться мовний опис алгоритму руху робота та програма у вигляді кодів кадрів; короткі обґрунтування складання алгоритму, тобто співставлення алгоритму деякій технологічній операції, де можлива аналогічна послідовність руху робота.

Пункт 3 звіту повинен містити відомості про хід програмування та про відлагодження програми робота, перелік помилок при програмуванні та відлагодженні, їх зовнішні прояви, причини, номер кроку програми, спосіб усунення помилок програмування.

Пункт 4 звіту повинен містити відомості про різні режими системи керування ЕЦІУ-6030; привести порівняльну оцінку функціональних можливостей різних режимів та використання їх при програмуванні та відлагодженні.

Пункт 5 звіту повинен містити опис додаткових змін у раніше складеній програмі роботи робота. У ньому необхідно показати, як ці зміни впливають на програмування та відлагодження, описати які можливості надають внесені команди при виконанні певних технологічних операцій.

У висновках підкреслюється відповідність роботи робота програмі, переваги та недоліки циклових систем керування роботів.

3.6. Питання для самоперевірки

1. Пояснити принцип позиціонування в циклових роботах.
2. Зобразити графічно структурну схему циклових систем керування та вказати функціональне призначення блоків.
3. Назвати види програмоносіїв та методи запису в циклових системах керування.
4. Пояснити функціональне призначення таких команд ЕЦПУ - 6030: ТЕХНОЛОГІЧНА КОМАНДА, ВИТРИМКА ЧАСУ, ПРОПУСК, ПЕРЕХІД, ЗУПИНКА, КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ.
5. Пояснити функціональні можливості системи ЕЦПУ - 6030 у режимах: РУЧНОЙ, КОМАНДА, ЦИКЛ, АВТОМАТ.
6. Що таке робота за шляховим принципом?
7. Що таке робота за часовим принципом?
8. Пояснити функціональне призначення зворотнього зв'язку в циклових системах керування.
9. В яких технологічних процесах можливе і необхідне застосування циклових роботів?

Лабораторна робота № 4

Тема: вивчення режимів керування промислового робота "Електроника НЦ ТМ-01" та робота з ним.

Мета роботи: ознайомитись із загальною будовою, технічними характеристиками та роботою робота "Електроника НЦ ТМ-01" у режимі ручного керування та автоматичному режимі під керуванням програми.

4.1. Робота ПР "Електроника НЦ ТМ-01"

Промислові роботи типу НЦ ТМ-01 призначені для обслуговування металообробних токарних верстатів, а саме для завантаження та вивантаження деталей форми тіл обертання діаметром до 150 мм та висотою до 150 мм.

Кількість захватних пристроїв - 2: один для заготовки, інший - для деталей.

Вантажопідйомність - 23 кг.

Похибка позиціонування - 0,5 мм.

Кількість степенів рухомості, основних - 4, допоміжних - 3

Система керування виконана на базі мікроЕОМ "Електроника - 60 М" та складається з ряду блоків (рис. 4.1.).

Центральний процесор виконує програми з обробки інформації від датчиків та відпрацювання управляючих сигналів для приводів. Крім того, він містить оперативний запам'ятовуючий пристрій невеликого об'єму.

Модуль ППЗП служить для зберігання програми керування роботом. Зокрема, у ньому міститься програма керування роботом при обслуговуванні токарного верстата.

Пристрій послідовного обміну забезпечує зв'язок між ЕОМ та пультовим терміналом (клавіатура та дисплей) для діалогу з людиною. Замість терміналу до ЕОМ через цей пристрій може підключатися інша ЕОМ (верхній рівень керування).

Два пристрої паралельного обміну служать для передачі команд центрального процесора до зовнішніх пристроїв та прийому від них повідомлень.

Канал ЕОМ забезпечує зв'язок між пристроями мікроЕОМ. Ключі керування електродвигунами, гальмівними муфтами та пневмоклапанами призначені для узгодження вихідних сигналів мікроЕОМ та виконавчих механізмів.

Комірки зв'язку з датчиками служать для прийому та перетворення інформаційних сигналів від виконавчих механізмів робота для введення їх в мікроЕОМ.



Рис. 4.1. блок – схема системи керування

Джерело живлення забезпечує подачу напруги живлення на датчики та виконавчі механізми робота, а також живлення узгоджуючих елементів системи керування.

Заводом - виробником система керування запрограмована на стандартний цикл маніпулювання деталями, для якого необхідно ввести тільки змінні дані:

тип касети, кількість позицій в ряду касети, кількість деталей в касеті, модель верстата і т.і. (про це детально див. нижче). На підставі введених даних автоматично розраховуються необхідні рухи ланок маніпулятора та послідовність обходу позицій деталей в касеті. За командою "Пуск робота", введеної з пультового терміналу, ПР виконує наступні дії:

- 1) рух у початкове положення;
- 2) перевірка роботи захватних пристроїв;
- 3) захват першої заготовки в касеті, перенесення та установку її в патроні верстата;
- 4) рух у початкове положення, пуск програми ЧПУ верстата та очікування закінчення циклу обробки деталі на верстаті;
- 5) захват наступної заготовки в касеті;
- 6) рух в зону верстата;
- 7) захват обробленої деталі та заміна її новою заготовкою;
- 8) рух в зону касети та установка обробленої деталі на місце заготовки котра знаходиться в патроні верстата.

Далі дії ПР продовжуються починаючи з п. 4 до тих пір, поки не буде завершена обробка останньої деталі на верстаті. У цьому випадку оброблена деталь знімається з верстата та встановлюється в касеті на місце першої заготовки; ПР виходить у початкове положення і завершує тим самим цикл своєї роботи.

Додаткові можливості цієї програми полягають у тому, що вона забезпечує діагностику виникаючих відхилень у роботі ПР та видає відповідні повідомлення на екран дисплею, а також має режими: навчання за першою заготовкою, блокування роботи при наїзді на перешкоду та елементи адаптації до зовнішнього середовища.

Додаткові відомості щодо роботи ПР "Електроніка НЦ ТМ-01" пов'язані з його механікою.

Маніпулятор робота конструктивно виконаний за модульним принципом, тобто складається з вузлів, які забезпечують певні функції роботи робота (рис. 4. 2.)



Рис. 4.2. Маніпулятор ПР "Електроніка НЦ ТМ - 01"

На рисунку позначено:

А - механізм горизонтального руху вздовж осі Х;

В - механізм повороту навколо осі Z;

С - механізм горизонтального руху вздовж осі Y або X в залежності від стану механізму В;

Д - механізм вертикального руху вздовж осі Z;

Згідно з технічним описом ПР-критерієм його робото-здатності є забезпечення наступних переміщень та швидкостей:

механізм А - не менше 300 мм, не менше 78 мм/с;

механізм В - до 90 градусів;

механізм С - не менше 300 мм, 150 мм/с;

механізм Д - не менше 160 мм, не менше 55 мм/с.

Перераховані механізми обладнані електроприводом та забезпечують рухи основних степенів рухомості робота. Три допоміжні степені рухомості - ротація захватного пристрою та два схвати - обладнані пневмоприводом.

Усі механізми, крім Д, мають датчики крайніх положень: початкового та кінцевого. Механізм Д обладнаний тільки датчиком початкового положення. Крім того, механізми А, С та Д мають імпульсні шляхові датчики, кожен імпульс яких відповідає переміщенню ланки ПР на 0.4 мм.

В електроприводі застосовані двигуни постійного струму з гальмівними муфтами. Механізмами передачі руху від двигунів до поступальних ланок маніпулятора є шарико - гвинтові пари.

4.2. Підготовка до роботи, вмикання та вимикання робота

Підготовка ПР до роботи починається із зовнішнього огляду маніпулятора, блоку керування, з'єднувальних кабелів та повітропроводів на предмет відсутності пошкоджень та порушення з'єднань.

Перемикач, який знаходиться на корпусі маніпулятора, необхідно встановити у положення "Робота". Перемикачі на передній панелі блоку керування повинні бути у вимкненому стані, клавіші ЕОМ - у нижньому положенні, а кнопки на блоці клавіатури - відтиснуті.

Вмикання ПР здійснюється так:

1. Подати стиснуте повітря, відрегулювати тиск.
2. Підключити блок керування та термінал до мережі.
3. Увімкнути автомат на передній панелі блоку керування. При цьому повинна засвітитися неонові лампа "Сеть".
4. Натиснути кнопку [I] на передній панелі блоку керування. Повинні запрацювати вентилятори ЕОМ.
5. На блоці ЕОМ клавішу "Питание" перевести у верхнє положення. Повинен засвітитися індикатор "Питание", індикатор "Робота" повинен засвітитися та погаснути.
6. Тумблер на передній панелі блоку керування перевести в верхнє положення. Повинні засвітитися індикатори "Сеть" та "+5 В".
7. Клавішу "Программа / Пульт" на блоці ЕОМ перевести у верхнє положення.
8. Натиснути кнопку "Сеть" на блоці логіки.
9. Натиснути кнопку "ЛИН", "ДУП" та "РЕД" на блоці клавіатури.
10. Натиснути та відпустити клавішу "ЛАТ". На екрані повинен з'явитись символ "@", котрий свідчить про готовність ЕОМ приймати команди оператора.
11. На клавіатурі набрати: 20000 G. На екрані повинно з'явитись повідомлення:
РАБОТА РОБОТА РАЗРЕШАЕТСЯ
РОБОТ___

12. Ввести двохзначне число - номер робота, наприклад 01.

На екрані з'явиться таблиця:

РАБОТА РОБОТА РОЗРЕШАЕТСЯ	
РОБОТ 01	
ЗАДАЙТЕ ПАРАМЕТРЫ	
Тип кассеты (0-300 мм, 1-268 мм, 1-198 мм)	0
Тип заготовки (0-h<70 мм, 1-h>70 мм)	0
Модель станка (0-NEF 480, 1-16 20 TI, 2-1П717)	0
Количество деталей в кассете (от 1 до 81)	9
Количество позиций в ряду	3
Количество циклов	1
Коррекция вертикального механизма у патрона, мм	60
Коррекция горизонтального механизма у патрона, мм	146
Команды правления с клавиатуры дисплея	
Пуск робота AP ₂	
Аварийный останов и вызов таблицы СБР	
Останов С	
Продолжения работы П	
Вызов таблицы Т	
Количество обработанных деталей ПРМ	
Признак конц вводу параметров ПС	

13. Задати параметри в таблиці. Для вводу параметра натиснути клавішу ПС. для виправлення помилки - клавішу Т.

14. Перевести клавішу "Таймер" на блоці ЕОМ у верхнє положення.

Пуск робота здійснюється натискуванням на клавішу AP₂. При цьому повинно початись відпрацювання роботом програми в автоматичному режимі.

Вимикання робота здійснюється в наступній послідовності:

1. Тумблер "+5 В" на передній панелі блоку управління — вниз.
2. Клавішу "Таймер" - вниз.
3. Клавішу "Программа/Пульт" - вниз.

4. Клавіша "Питание" вниз.
5. Вимкнути автомат на блоці керування.
6. Вимкнути пультовий термінал кнопкою "Сеть" на блоці логіки.

4.3. Емулятор пульта ручного керування

Емулятор пульта ручного керування являє собою програму з виконання функцій пульта ручного керування ПР "Електроника НЦ ТМ-01" штатними засобами мікроЕОМ "Електроника - 6ОМ".

Він призначений для керування та контролю рухів ПР у ручному режимі за допомогою пульта терміналу та дозволяє виключити не тільки перекомутацію робота від блоку керування до пульта ручного керування, а й виготовлення останнього.

Програма емулятора написана на мові асемблера та розміщена в модулі ППЗПІ блоку керування ПР, "Електроника НЦ ТМ-01".

Для роботи з емулятором пульта ручного керування на клавіатурі необхідно набрати: 42120 G.

На екрані з'явиться таблиця, показана на рис. 4.3.

ЭМУЛЯТОР ПУЛЬТА РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ					
Z:000000	7-вниз	8-скорость	9-вверх	О- общий стоп	ВК- выход
Y:000000	4- вперед	5-скорость	6-назад	R- обнулити	D- показати
X:000000	1-влево	2-скорость	3- вправо	А- автоматический режим	
1	2			3	

Рис. 4.3. Вигляд екрана при роботі з емулятором ПРК

У полі 1 таблиці вказана координата ПР та пройдений шлях по ній в імпульсах шляхового датчика (вісімкове число).

У полі 2 розміщена підказка керування рухами ПР за допомогою цифрових клавіш. Наприклад, щоб розпочати рух ПР вздовж координати X вліво необхідно натиснути та відпустити клавішу [1]; повторне натискування на ту ж клавішу зупинить розпочатий рух. Клавіші [2], [5], [8] здійснюють перемикання між низькою та високою швидкостями при русі вздовж відповідної координати.

У полі 3 зібрані підказки з використання клавіш загального призначення:

0 - встановлює понижені швидкості руху та здійснює загальне вимикання усіх двигунів ПР;

ВК - завершує роботу емулятора ПРК;

R - обнуляє лічильники шляху;

D - виводить на екран зміст лічильників шляху;

A - перехід до програми автоматичного керування ПР;

Три останні клавіші не слід використовувати під час руху ПР.

Особливості програми в тому, що:

- 1) можливий спільний рух за кількома координатами одночасно;
- 2) при спрацюванні датчиків початкових або кінцевих положень рух вздовж відповідної координати припиняється автоматично;
- 3) під час руху здійснюється контроль шляху, пройденого вздовж координат X , Y , Z .

УВАГА! Механізм руху координати Z не обладнаний датчиком нижнього положення ланки ПР. Саме тому можливий рух до упору, якого бажано не допускати. При наїзді на упор слід вимкнути двигуни руху координати Z вниз, натиснувши клавішу [7] або [0].

4.4. Техніка безпеки та дії при аваріях

Основною небезпекою для людини є рухомі частини робота, тому від моменту вмикання до моменту повного відключення ПР необхідно знаходитись поза зоною можливих рухів маніпулятора.

При виникненні аварійних ситуацій, пов'язаних з

небезпекою для людей, необхідно терміново вимкнути робот одним із наступних способів:

- 1) натиснути клавішу СБР на клавіатурі;
- 2) вимкнути тумблер "+5 В" на передній панелі блоку керування;
- 3) натиснути кнопку [O] на передній панелі блоку керування;
- 4) відключити автомат на передній панелі блоку керування;
- 5) вимкнути тумблер "Работа" на основі маніпулятора.

Способи 2, 3, 4 зберігають свою ефективність у будь-якому режимі роботи ПР та при виконанні будь-якої програми. Способи 1 та 5 ефективні при роботі ПР в автоматичному режимі за програмою заводу-виробника.

При аваріях, не пов'язаних з безпекою для людей (наприклад, помилка при захваті заготовки), необхідно користуватись способом 1.

4.5. Представлення чисел, адрес та команд

в ЕОМ "Електроника – 60М"

Для зручності спілкування людини з ЕОМ "Електроника - 60М" числа, адреси та команди прийнято представляти в вісімковій системі числення.

Розглянемо відповідності між двійковим (внутрішнє машинне представлення), десятковим (звичним для людини) та вісімковим представленням 16-розрядного слова.

У відповідності з рис. 4.4. для запису слова необхідні 6 вісімкових розрядів (0,...,5), при цьому старший розряд може бути 0 чи 1, а інші можуть приймати значення від 0 до 7.

(Верхній рядок – двійкова система, нижній вісімковий)

15	14	13	12	11	10	9	...	4	3	2	1	0
5		4			3			1			0	

Рис.4.4. Представлення чисел в мікро ЕОМ

Для переведу цілого десяткового числа у вісімкову систему числення необхідно послідовно ділити вихідне число та одержану частку на 8 до отримання частки, рівної 0. Шукане представлення є послідовність залишків від операцій ділення, записана у порядку, зворотному послідовності їх отримання. Приклад переведу десяткового числа 750 у вісімкове:

$$\begin{array}{r|l} 750 & 8 \\ \hline -72 & 93 \\ \hline 30 & \\ -24 & \\ \hline 6 & \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r|l} 93 & 8 \\ \hline -8 & 11 \\ \hline 13 & \\ -8 & \\ \hline 5 & \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r|l} 11 & 8 \\ \hline -8 & 1 \\ \hline 3 & \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r|l} 1 & 8 \\ \hline -8 & 0 \\ \hline 1 & \end{array}$$

Результат – вісімкове число 1356.

4.6. Управляюча програма-інтерпретатор URCP

Управляюча програма-інтерпретатор URCP призначена для програмування рухів ПР "Електроника НЦ ТМ-01" за допомогою кодів команд, які не потребують глибоких знань будови та роботи системи керування. Вказані коди будемо називати командами верхнього рівня.

Програма URCP написана на мові асемблера та розміщена у модулі ППЗП блоку керування ПР "Електроника НЦ ТМ-01".

Подібно до інтерпретатора алгоритмічної мови BASIC, програма інтерпретатор URCP зчитує команди керування роботом, оброблює та виконує їх покадрово. Формати кадрів та управляючих кодів представлені на рис. 4.5. Безперервна послідовність кадрів, яка завершується кодом "Кінець роботи", являє собою цикл роботи ПР.

1 кадр
2 кадр
: : :
ітій кадр
: : :
Кінець роботи

Код команди
Переміщення

Кількість імпульсів
шляхового датчика
(Вісімкове число)
Один імпульс – 0,2мм



	Резерв			Ланка Z	Ланка Y	Ланка X
	5	4	3	2	1	0
нема руху	-	-	-	0	1	-
вниз повільно	-	-	-	1	-	-
вниз швидко	-	-	-	2	-	-
вверх повільно	-	-	-	3	-	-
вверх швидко	-	-	-	4	-	-
нема руху	-	-	-	-	0	-
вперед повільно	-	-	-	-	1	-
вперед швидко	-	-	-	-	2	-
назад повільно	-	-	-	-	3	-
назад швидко	-	-	-	-	4	-
нема руху	-	-	-	-	-	0
праворуч повільно	-	-	-	-	-	1
праворуч швидко	-	-	-	-	-	2
ліворуч повільно	-	-	-	-	-	3
ліворуч швидко	-	-	-	-	-	4
кінець роботи	0	0	0	0	0	0

«-» – означає, що стан відповідного розряду не впливає на виконання даної команди.

Рис. 4.5. Формати кадрів та управляючих кодів

Приклад програми руху схвата ПР у горизонтальній площині вздовж квадрата зі стороною 100 мм:

Код команди	Коментар
000010	1 кадр. Рух вздовж координати Y (вперед)
000767	на 100 мм.
000001	2 кадр. Рух вздовж координати X (вправо)
000764	на 100 мм.
000030	3 кадр. Рух вздовж координати Y (назад)
000764	на 100 мм.
000003	4 кадр. Рух вздовж координати X (вліво)
000764	на 100 мм.
000000	Кінець роботи

Усі рухи запрограмовані на низьку швидкість для зменшення зносу гальм. Коди команд заносяться в комірки пам'яті мікроЕОМ починаючи з адреси 3000. Потім схват ПР виводиться в початкову точку за допомогою пульта ручного керування і після цього викликається управляюча програма - інтерпретатор URCP.

Для виклику інтерпретатора необхідно скористуватися командою А - АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ емулятора пульта ручного керування МСВЕ або набрати на клавіатурі команду 40000 G. На екрані з'явиться повідомлення:

РАБОТА В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ПОД
УПРАВЛЕНИЕМ ПРОГРАММЫ
ТЕКУЩИЙ КАДР: 0001

і робот почне виконувати програму рухів схвата. Дострокове завершення програми виникає, якщо від шляхового датчика не поступають імпульси або спрацює датчик кінцевого положення ланки ПР, про що на екран дисплею буде видано відповідне повідомлення.

Програма - інтерпретатор URCP допускає сумісний рух ланок X, Y, Z в будь-яких поєднаннях. У цьому випадку формат кадру повинен бути таким:

<код команди сумісного руху ланок маніпулятора>

<рух по осі X, якщо він передбачений в коді команди>

<рух по осі Y, якщо він передбачений в коді команди>

<рух по осі Z, якщо він передбачений в коді команди>

Приклад кадрів з командами сумісного руху:

1 кадр	000321	X вправо повільно, Y вперед швидко, Z вгору повільно
	000111	Величина переміщення по X 111 імпульсів датчика
	000222	Величина переміщення по Y 222 імпульси
...	000333	Величина переміщення по Z 333 імпульси
2 кадр	000021	X праворуч повільно, Y
	000111	величина переміщення по X 111 імпульсів
	000222	величина переміщення по Z 222 імпульси
...	000320	Y вперед швидко, Z вгору повільно
3 кадр	000222	величина переміщення по Y 222 імпульси
	000333	величина переміщення по Z 333 імпульси
...	000301	X праворуч повільно, Z
4 кадр	000111	величина переміщення по X 111 імпульсів
	000333	величина переміщення по Z 333 імпульси

4.7. Команди пультового терміналу

Команди пультового терміналу призначені для виконання операцій керування мікроЕОМ "Електроніка - 60М": занесення адреси, зчитування даних, занесення даних та ін. Раніше вже використовувалась одна з цих команд: G - пуск програми. Інші команди пультового терміналу представлено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Клавіша	КОМАНДА	ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ
/	Відчинити комірку	@ 1000/ відчинити комірку з адресою 1000
ВК	Зачинити комірку	@ 1000/ 123456 ОВС обнулити комірку 1000
ПС	Зачинити комірку і відчинити наступну	@ 1000/ 123456 ОПС обнулити комірку 1000 @001002/012345 та відчинити комірку 1002
—	Зачинити комірку і відчинити наступну	@ 1000/ 123456 0 обнулити комірку 1000 @000776/012345 та відчинити комірку 776
R	Регістр	@R4/ 000456 показати зміст регістра R4
G	Пуск	@ 1000 G пуск програми з адреси 1000
P	Продовження	покрокове виконання програми
ЗБ	Забій	3000/123456 1234553БЗБ66ВК записати в комірку 3000 код - 123466 з використанням двох невірних введених символів

Зв'язок з пультовим терміналом здійснюється процесором мікропрограмою в режимі зв'язку з пультовим терміналом. Про встановлення даного режиму свідчить знак "@" на екрані.

Якщо оператор вводить невірні команди, ЕОМ друкує знак "?" і з нового рядка - знову знак "@".

4.8. Програма виконання роботи

1. Ознайомитись з призначенням, загальною будовою та технічними даними ІІР "Електроніка НЦ ТМ -01".

2. Вивчити порядок підготовки, вмикання та вимикання робота.
3. Увімкнути робот та запустити емулятор пульта ручного керування (набрати 42120G).
4. Виконати пробні рухи по трьом координатам,
5. Визначити ціну поділки шляхового датчика. Для цього:
 - 5.1. Відмітити положення захватного пристрою по координаті X.
 - 5.2. Обнулити лічильники переміщень (клавіша R).
 - 5.3. Перемістити захватний пристрій вздовж осі X на певну відстань.
 - 5.4. Виміряти переміщення лінійкою.
 - 5.5. Рахувати покази лічильника переміщень вздовж координати X (для цього натиснути клавішу D) та одержати його десятковий еквівалент.
 - 5.6. Розділити пройдений шлях у мм на кількість імпульсів.
 - 5.7. Повторити дослід для координат Y та Z.
6. Визначити максимальні переміщення координат X, Y, Z. Для цього:
 - 6.1. За допомогою клавіш 9, 6, 3 перемістити ланки ПР у початкове положення.
 - 6.2. Обнулити лічильники переміщень.
 - 6.3. Увімкнути рух вздовж X вліво та чекати автоматичну зупинку при досягненні датчика кінцевого положення "X слева".
 - 6.4. Увімкнути рух по Y вперед та чекати автоматичну зупинку при досягненні датчика кінцевого положення "Y впереди".
 - 6.5. Увімкнути рух по Z вниз і при наїзді на упор відключити рух натисканням на клавіші 0 чи 7.
 - 6.6. Рахувати покази лічильників переміщень, отримати їх десятковий еквівалент та, враховуючи ціну імпульсу, одержати результат в мм.
 - 6.7. Порівняти результати з паспортними даними та зробити висновки.
7. Ознайомитись з описом управляючої програми - інтерпретатора URCP.

8. Керування роботом за демонстраційною програмою з ППЗП:
 - 8.1. Викликати емулятор пульта ручного керування:42120 G.
 - 8.2. Вивести механізми ПР у початкове положення: 50-150 мм від датчиків кінцевих положень "X слева" та "Y зсади".
 - 8.3. Вийти з емулятора пульта ручного керування: ВК.
 - 8.4. Викликати інтерпретатор URCP з демонстраційною програмою переміщення схвата ПР у горизонтальній площині вздовж квадрата із стороною 100 мм: 40066 G.
 - 8.5. Спостерігати відпрацювання програми.
9. Програмування переміщень робота кодами інтерпретатора URCP:
 - 9.1. На основі одержаного у викладача завдання скласти програму в кодах інтерпретатора URCP.
 - 9.2. За допомогою команд пультового терміналу записати програму в комірки пам'яті ЕОМ, починаючи з адреси 3000.
 - 9.3. Викликати емулятор пульта ручного керування, набравши на клавіатурі 42120G та за його допомогою вивести ланки ПР у вихідне положення згідно із завданням.
 - 9.4. Виконати команду А-АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ емулятора для переходу до виконання програми переміщень інтерполятором URCP.
 - 9.5. Спостерігати відпрацювання роботом програми рухів, контролюючи відповідність рухів програмі.
10. Вимкнути робот.

4.9. Зміст звіту

1. Схема розміщення органів керування ПР "Электроника НЦ ТМ - 01".
2. Послідовність підготовки, вмикання та вимикання робота.
3. Зовнішній вигляд передньої панелі блоку управління з вказанням призначення індикаторів, що відображають стан механізмів ПР.

4. Результати дослідження з визначення ціни імпульса шляхового датчика.
5. Результати дослідження визначення максимальних переміщень механізмів.
6. Результати виконання завдання щодо керування роботом за допомогою демонстраційної програми з ППЗП.
7. Результати виконання завдання з програмування робота кодами інтерпретатора URCP. Привести програму та контур, намальований роботом.
8. Аналіз результатів та висновки.

4.10. Питання для самоперевірки

1. Призначення ПР "Електроника НЦ ТМ - 01".
2. Обґрунтуйте необхідність двох швидкостей переміщення позиційних механізмів.
3. Який вид представлення чисел, адрес та команд використовується в ЕОМ "Електроника НЦ ТМ- 01".
4. Яка ціна одного імпульса шляхового датчика при роботі програми URCP.
5. Які команди пультового терміналу були використані під час виконання роботи?

Лабораторна робота № 5

Тема: дослідження регульовальних властивостей двигуна постійного струму незалежного збудження в системі "генератор–двигун".

Мета роботи. здобути практичні навички щодо регулювання двигуна постійного струму незалежного збудження в системі «генератор – двигун»; одержати експериментальне підтвердження теоретичним положенням щодо роботи системи «генератор – двигун».

5.1. Теоретичні положення

Система "генератор – двигун" (Г–Д) являє собою агрегат, що складається з електромашинного перетворювача змінного струму в постійний і двигуна постійного струму незалежного збудження. Електромашинний перетворювач складається із двигуна змінного струму (звичайно трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором) АМ і генератора постійного струму Г незалежного збудження (рис. 5.1).

Обидві машини змонтовані на спільній базі, а їх вали механічно з'єднані за допомогою муфти. Обмотка збудження генератора підключена до мережі постійного струму через потенціометр RP2, яким можна змінювати величину струму збудження $I_{\text{в.з}}$. До виводів обмотки якоря генератора Г підключене коло якоря керованого двигуна М. Обмотка збудження двигуна отримує живлення від мережі постійного струму через реостат $r_{\text{рр}}$, що дозволяє регулювати струм збудження $I_{\text{в.д}}$. Частота обертання двигуна М, що працює в системі Г–Д, визначається наступним чином:

$$n = \frac{E_g - I_a (\sum r_{ar} + \sum r_{ad})}{k_r \Phi_a}, \quad (5.1)$$

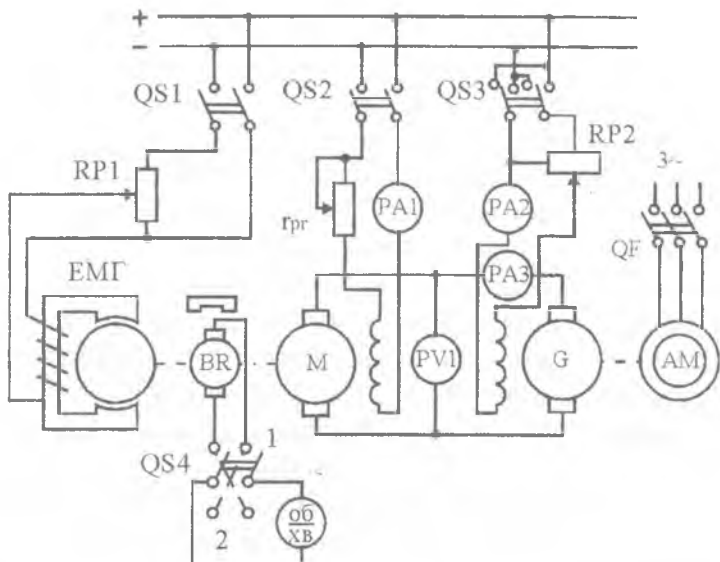


Рис. 5.1. Схема лабораторної установки для дослідження двигуна постійного струму в системі «генератор – двигун»

де E_z – ЕРС генератора G, В; I_a – струм у колі якорів генератора G і двигуна M, А; Σr_{ae} і Σr_{ad} – опір кола якоря генератора G і двигуна M, Ом; κ_e – постійний коефіцієнт; Φ_δ – основний магнітний потік двигуна M, Вб.

З виразу (5.1) очевидно, що регулювання частоти обертання двигуна M у системі Г–Д можливо двома способами: зміною ЕРС генератора E_z , тобто регулюванням струму збудження $I_{b.z}$, і зміною основного магнітного потоку двигуна Φ_δ , тобто регулюванням струму збудження $I_{b.d}$.

Зміна ЕРС генератора E_z допускається лише вбік зниження відносно номінального значення, що відповідає зменшенню частоти обертання якоря двигуна M вниз від номінального значення. Що ж стосується струму збудження

двигуна $I_{в.д.}$, то його можна змінювати тільки в напрямку зниження відносно номінального значення $I_{в.д.ном.}$, що відповідає збільшенню частоти обертання двигуна М відносно номінального значення. Таким чином, у двигуні незалежного збудження, що працює в системі Г–Д, можливі два види регулювання частоти обертання: вниз від номінальної (змінюю ЕРС генератора G) і вгору від номінальної (змінюю струму збудження двигуна М).

Застосування обох способів регулювання дозволяє одержати кратність (діапазон) регулювання частоти обертання двигуна М у системі Г–Д до 1:200.

Найбільша частота обертання обмежується умовами комутації та нестійкою роботою двигуна при малих значеннях потоку збудження. Найменша частота обертання обмежується двома причинами: незадовільними умовами охолодження двигуна М (якщо двигун самовентильюється) і нестійким обертанням якоря двигуна при занадто малих частотах обертання.

Робота двигуна М у системі Г–Д дає можливість уникнути застосування пускового реостата, тому що система Г–Д дозволяє плавно підвищувати напругу в колі якоря, не викликаючи значних кидків пускового струму.

На рис. 5.2 представлені механічні характеристики двигуна М у системі Г–Д. Ці характеристики прямолінійні та практично паралельні одна одній, що забезпечує електроприводу добрі регульовальні властивості. Графік $n = f(M)$, що перетинає вісь ординат у точці n_{0e} , являє собою природну механічну характеристику. Ця характеристика знята при номінальній напрузі в колі якоря двигуна М и номінальному струмі збудження $I_{в.д.ном.}$.

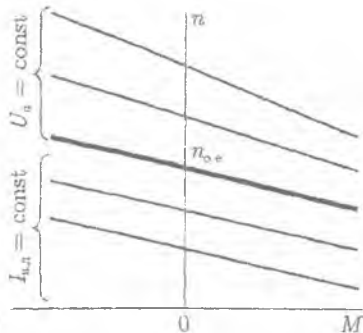


Рис. 5.2. Механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження в системі «генератор – двигун»

Гранична частота обертання двигуна М:

$$n_{0c} = \frac{E_{г, ном}}{k_e \Phi_0} \quad (5.2)$$

де $E_{г, ном}$ – ЕРС генератора G, що дорівнює номінальній напрузі в колі якоря двигуна М.

Прямі лінії, розташовані нижче природної характеристики, являють собою штучні механічні характеристики, зняті при номінальному струмі збудження $I_{в.д. ном}$, але при напругах кола якоря, менших за номінальну. Прямі лінії, розташовані вище природної характеристики, являють собою штучні механічні характеристики, зняті при номінальній напрузі якоря, але при значеннях струму збудження, менших за номінальний.

Паралельність і прямолінійність механічних характеристик двигуна М у системі Г–Д пояснюються тим, що дії реакції якоря у двигуні М и генераторі G взаємно компенсуються. Виключення становлять характеристики, що відповідають малим значенням струму збудження, коли магнітне поле двигуна М значно ослаблено.

Реверсування двигуна М здійснюють зміною напрямку струму в обмотці збудження генератора G за допомогою перемикача QS3 (див. рис. 5.1).

Якщо двигун М працює в умовах навантажень, що різко змінюються, то на вал приводного двигуна АМ встановлюють маховик, що запасає кінетичну енергію в період зниження навантаження на двигун М та віддає її в період зростання навантаження.

У системі Г–Д можливо генераторне гальмування з рекуперацією (віддачею електроенергії в мережу). Це досягається тим, що при обертанні якоря двигуна М по інерції зменшують струм збудження генератора G і збільшують струм збудження двигуна М. При цьому знижується ЕРС генератора E_g і зростає проти ЕРС двигуна E_d . В результаті двигун М переходить у генераторний режим – момент на його якорі стає гальмівним, а генератор G відносно двигуна АМ переходить у режим двигуна. Що ж стосується двигуна АМ, то він переходить у генераторний режим і віддає енергію в мережу, тобто настає процес рекуперації. На рис. 5.2 цьому режиму відповідають механічні характеристики двигуна М, розташовані в другому квадранті осей координат.

Узагальнюючи сказане, відзначимо деякі *переваги* роботи двигуна в системі Г–Д:

1. широкий діапазон регулювання частоти обертання;
2. плавний пуск двигуна без застосування пускового реостата;
3. можливість гальмування із частковим поверненням енергії в мережу.

Недоліки системи:

1. громіздкість і висока вартість установки, складність її обслуговування, великий шум;
2. невисокий ККД системи, обумовлений добутком ККД всіх електричних машин:

$$\eta_{г-д} = \eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_{AM} \quad (5.3)$$

3. значна електромагнітна інерційність, що сповільнює перехідні процеси у двигуні, обумовлена великою індуктивністю обмотки збудження генератора, через яку здійснюються всі регулювання двигуном М при перехідних процесах (пуск, гальмування, реверсування).

5.2. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для дослідження двигуна постійного струму в системі Г–Д (див. рис. 5.1) складається з агрегату постійної швидкості, що представляє собою електромашинний перетворювач змінного струму в постійний, і досліджуваного двигуна постійного струму незалежного збудження М. Агрегат постійної швидкості складається із двох електричних машин: трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором АМ і генератора постійного струму незалежного збудження Г, вали яких механічно з'єднані муфтою. Коло якоря двигуна М приєднано до виводів кола якоря генератора Г. Обмотки збудження цих машин підключені до мережі постійного струму. При цьому обмотка збудження генератора включена у мережу через потенціометр РР2, що дозволяє регулювати струм збудження $I_{в,г}$ у широкому діапазоні, і через перемикач QС3, за допомогою якого можна змінювати напрямок струму в колі збудження. Обмотка збудження двигуна М підключається до мережі постійного струму рубильником QС2, а струм збудження в цій обмотці $I_{в,д}$ можна регулювати реостатом $r_{рг}$. Для механічного навантаження досліджуваного двигуна застосоване електромагнітне гальмо ЕМГ, обмотка якого включена в мережу постійного струму через рубильник QС1 і потенціометр РР1.

Для виміру частоти обертання двигуна М в установці застосований тахогенератор ВР з вимірювальним приладом

«об/хв». Перемикач QS4 дозволяє змінювати полярність напруги на вході приладу «об/хв» при зміні напрямку обертання двигуна М. Для вимірювання струму в колі якоря I_a слугує амперметр PA3, а для вимірювання напруги – вольтметр PV1. Обидва прилади повинні мати двосторонню шкалу, тому що полярність ЕРС генератора G може змінюватися. Амперметри PA1 і PA2 призначені для вимірювання струмів збудження двигуна М и генератора G. Амперметр PA2 повинен також мати двосторонню шкалу.

Пробний пуск установки. Перевірити положення всіх рубильників, автомата і перемикачів: вони повинні перебувати в положенні «Виключено». Потім включити QS2 і QS3 і поставити потенціометр RP2 у положення, що відповідає мінімальному значенню струму збудження генератора $I_{e,2}$, а реостат r_{r1} у положення, що відповідає номінальному значенню струму збудження двигуна $I_{в,д,ном}$. Включенням автомата QF запустити асинхронний електродвигун АМ і за допомогою RP2 плавно, щоб не викликати різких кидків струму якоря I_a , збільшити струм збудження генератора $I_{e,2}$, довівши його до номінального значення, що відповідає номінальній напрузі в колі якоря двигуна М. Потім перемикач QS4 поставити в положення, при якому прилад «об/хв» дасть значення частоти обертання.

Далі необхідно перевірити можливість регулювання частоти обертання двигуна М. З цією метою спочатку трохи зменшують напругу U_a (за допомогою RP2), спостерігаючи зменшення частоти обертання двигуна М, потім відновити номінальне значення цієї напруги та, зменшивши струм збудження $I_{в,д}$ (за допомогою r_{r1}), збільшити частоту обертання двигуна.

Потім перевірити можливість реверсування двигуна. Для цього відновити номінальне значення струму збудження $I_{в,д,ном}$ і за допомогою RP2 зменшити струм

збудження $I_{в2}$ до нуля. Перевести перемикач QS3 в інше положення, змінивши цим полярність напруги в колі збудження генератора G. Після зупинки якоря двигуна M перемкнути QS4 і потенціометром RP2 збільшити струм збудження до номінального значення.

5.3. Порядок виконання роботи

Зняття даних і побудова механічних характеристик.

Для одержання даних *природної* механічної характеристики двигуна M при основному режимі роботи виконати наступні кроки. Встановити у колі якоря номінальну напругу $U_{а,ном}$ і номінальний струм збудження $I_{в,д,ном}$ і, не включаючи електромагнітного гальма ЕМГ, зробити перший замір приладами, що відповідає режиму холостого ходу двигуна M. Потім, замикаючи рубильник QS1, включити електромагнітне гальмо ЕМГ і потенціометром RP1 поступово збільшити момент навантаження на валу двигуна M до величини $M_{2,ном}$, при якому струм якоря двигуна I_a стає номінальним. При цьому напругу в колі якоря U_a необхідно підтримувати номінальною. Зробити чотири-п'ять замірів через приблизно однакові інтервали моменту M_2 і показання приладів занести у таблицю 5.1. У такому ж порядку зняти дані *штучних* механічних характеристик $n = f(M_2)$ при напрузі в колі якоря $0,9U_{а,ном}$ і $0,75U_{а,ном}$ та номінальному струмі збудження $I_{в,д,ном}$ двигуна M.

Потім зняти дані штучних механічних характеристик при струмах збудження двигуна M: $0,9I_{в,д,ном}$ і $0,75I_{в,д,ном}$ при номінальній напрузі в колі якоря $U_{а,ном}$ двигуна M. Для кожної характеристики зняти по чотири-п'ять показань приладів і занести їх у таблицю 5.1. За даними цієї таблиці побудувати чотири-п'ять механічних характеристик $n = f(M_2)$ двигуна M на одній площині.

Кратність (діапазон) регулювання частоти обертання. Кратність регулювання частоти обертання

двигуна М при зменшенні напруги в колі якоря U_a визначають у такий спосіб. Створивши за допомогою реостата $r_{рг}$ номінальний струм збудження $I_{в.д.ном}$ і увімкнувши ЕМГ, встановити номінальний момент навантаження на валу двигуна $M_{2ном}$ при номінальній частоті обертання $n_{ном}$. Потім поступово зменшити напругу U_a до значення, при якому якір двигуна ще обертається рівномірно при номінальному моменті навантаження на його валу $M_{2ном}$. У цих умовах виміряти мінімальну частоту обертання n_{min} а потім визначити кратність регулювання наступним чином: $D_1 = n_{ном}/n_{min}$.

Відновити номінальну напругу на виводах кола якоря двигуна М при моменті навантаження $M_{2ном}$ і поступово зменшити струм збудження $I_{в.д}$ до значення, що відповідає найбільшій частоті обертання якоря двигуна М (але не більше граничної) n_{max} . При цьому момент навантаження на валу двигуна повинен мати значення, при якому струм у колі якоря стає номінальним $I_{а.ном}$. Кратність регулювання для цього випадку визначається як: $D_2 = n_{max}/n_{ном}$. Загальна кратність регулювання частоти обертання визначається як:

$$D = D_1 D_2 = n_{max} / n_{min}. \quad (5.4)$$

Таблиця 5.1

№ виміру	$U_a, В$	$I_{в.д}, А$	$I_{в.з}, А$	$I_a, А$	$n, об/хв$	$M_{2ном}, Н·м$
1						
2						
3						
4						
5						

Аналіз результатів лабораторної роботи.

Аналізуючи результати лабораторної роботи, необхідно зробити висновки щодо відповідності отриманих

механічних характеристик двигуна основним положенням теорії відносно механічних характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження в системі Г-Д. При цьому необхідно мати на увазі прямолінійність і паралельність цих характеристик. Якщо отримані в результаті дослідів механічні характеристики значно відрізняються від прямих ліній, то необхідно вказати на можливі причини, що викликали ці відмінності, а також пояснити причини непаралельності механічних характеристик (якщо це має місце).

Зробити висновок про кратність регулювання частоти обертання двигуна в режимах регулювання при мінах напруги в колі якоря і струму збудження.

5.4. Програма роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою, записати паспортні дані електричних машин і вимірювальних приладів: номінальну потужність $P_{ном}$, номінальну напругу $U_{ном}$, номінальний струм $I_{ном}$, номінальну частоту обертання $n_{ном}$, а також для машин постійного струму номінальні значення струмів збудження двигуна $I_{в.д.ном}$ і генератора $I_{в.г.ном}$.

2. Виконати пробний пуск установки, перевірити можливість регулювання частоти обертання та реверса двигуна.

3. Зняти дані і побудувати характеристики досліджуваного двигуна в основному режимі:

а) природну механічну характеристику при номінальній напрузі в колі якоря і номінальному струмі збудження двигуна;

б) штучні механічні характеристики при напругах у колі якоря: $U_{а.ном}$; $0,9U_{а.ном}$; $0,75U_{а.ном}$ і номінальному струмі збудження двигуна;

с) штучні механічні характеристики при значеннях струму збудження двигуна М: $I_{в.д.ном}$; $0,9I_{в.д.ном}$; $0,75I_{в.д.ном}$ і номінальній напрузі в колі якоря.

4. Визначити кратність (діапазон) регулювання частоти обертання двигуна:

а) при зниженні напруги в колі якоря та незмінному (номінальному) струмі збудження двигуна;

б) при зменшенні струму збудження двигуна та незмінній напрузі в колі якоря;

с) загальну кратність регулювання частоти обертання.

5. Скласти звіт і зробити висновки з виконаної роботи.

5.5. Питання для самоперевірки

1. Що собою представляє система Г–Д?
2. Які способи регулювання частоти обертання можливі при роботі двигуна постійного струму незалежного збудження в системі Г–Д?
3. Які переваги та недоліки системи Г–Д?
4. Як буде змінюватися частота обертання двигуна в системі Г–Д при зменшенні струму збудження генератора?
5. Чому механічні характеристики двигуна М у системі Г–Д майже прямолінійні і паралельні?
6. Як змінити напрямок обертання якоря двигуна в системі Г–Д?
7. Чи зміниться напрямок обертання якоря двигуна, якщо поміняти полярність напруги в мережі постійного струму, що живить коло збудження двигуна М і генератора G?
8. Чи зміниться жорсткість механічних характеристик двигуна в системі Г–Д, якщо в коло якорів цих машин ввести додатковий резистор?

Лабораторна робота № 6

Тема: дослідження властивостей системи "перетворювач частоти-асинхронний двигун".

Мета роботи: здобути практичні навички в дослідженні властивостей системи "перетворювач частоти - асинхронний двигун"; одержати експериментальне підтвердження теоретичним положенням щодо роботи цієї системи.

6.1. Теоретичні положення

Система "перетворювач частоти – асинхронний двигун" (ПЧ-АД) становить основу сучасного електропривода змінного струму, тому що забезпечує електроприводу високі техніко-економічні параметри, надійність, простоту монтажу, налагодження і обслуговування.

При зміні частоти струму f_1 змінюється синхронна частота обертання поля статора ($n_1 = 60 f_1/p$), а отже, і частота обертання ротора n_2 .

З виразу максимального моменту асинхронного двигуна

$$M_{\max} \approx c U_1^2 / f_1^2, \quad (6.1)$$

впливає, що зміною частоти живлячої напруги f_1 змінюється величина максимального моменту двигуна, а отже і його перевантажувальній здатності $\lambda_m = M_{\max}/M_{\text{ном}}$. Тому, щоб зберегти перевантажувальну здатність двигуна на необхідному рівні, необхідно одночасно зі зміною частоти струму f_1 також змінювати і напругу U_1 що підводиться до обмотки статора. Характер одночасної зміни f_1 і U_1 залежить від форми графіка зміни статичного моменту навантаження в конкретному електроприводі. Якщо статичний момент M_c активний, тобто його величина

незмінна та частота обертання в електроприводі регулюється при дотриманні умови сталості моменту:

$$M_2 \approx 9,55P/n_2 = const, \quad (6.2)$$

то напругу живлення необхідно змінювати пропорційно зміні частоти:

$$U_1 \approx U_{1,ном} (f_1 / f_{1,ном}), \quad (6.3)$$

де $U_{1,ном}$, $f_{1,ном}$ — номінальні значення напруги і частоти струму живлення обмотки статора АД; U_1 і f_1 — фактичні значення напруги і частоти струму.

З (6.3) зрозуміло, що за умови сталості електромагнітного моменту—напруга U_1 живлення обмотки статора повинна регулюватися пропорційно зміні частоти f_1 , тобто —

$$U_1 / f_1 = const. \quad (6.4)$$

Форма механічних характеристик АД для цього випадку показана на рис. 6.1,а: у всьому діапазоні навантажень робочі ділянки характеристик залишаються жорсткими, а перевантажувальна здатність зберігається незмінною.

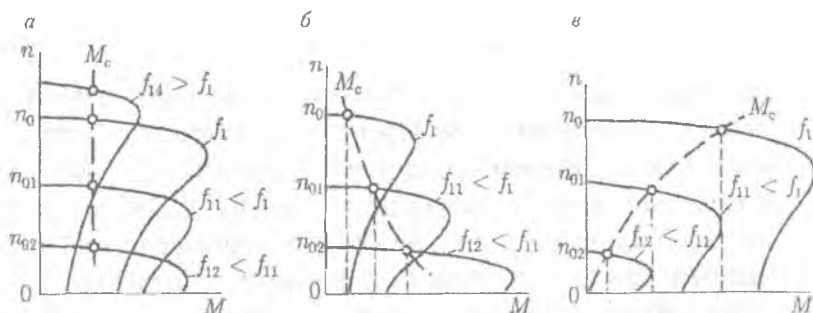


Рис. 6.1. Механічні характеристики асинхронного двигуна при умовах сталості моменту (а), сталості потужності (б) і вентиляторного навантаження (в)

Виключення становить регулювання частоти обертання вгору від номінальної при збільшенні частоти f_1 вище номінальної. Передбачуване при цьому зростання напруги U_1 понад номінальне значення неприпустиме за умов експлуатації двигунів. У цьому випадку збільшення частоти струму виконується без збільшення напруги. При цьому частота обертання збільшується, а максимальний момент M_{max} і перевантажувальна здатність двигуна зменшуються. Цьому режиму на рис. 6.1,а відповідає механічна характеристика при частоті струму $f_{14} > f_1$.

Споживана двигуном потужність змінюється пропорційно зміні частоти обертання двигуна n_2 .

Якщо ж графік статичного моменту навантаження M_c має вигляд, показаний на рис. 6.1,б, і регулювання частоти обертання електропривода відбувається за умови незмінної потужності двигуна, то дотримується умова сталості потужності, тобто

$$P = 0,105 M n_2 = const, \quad (6.5)$$

і напругу живлення необхідно змінювати відповідно до виразу:

$$U_1 \approx U_{1,ном} \sqrt{(f_1 / f_{1,ном})}, \quad (6.6)$$

тобто:

$$U_1 / \sqrt{f_1} = const. \quad (6.7)$$

Механічні характеристики АД для умови сталості потужності представлені на рис. 6.1,б. Електромагнітний момент у цьому випадку змінюється обернено пропорційно частоті обертання:

$$M = 9,55 P / n_2. \quad (6.8)$$

У випадку вентиляторного характеру навантаження, коли напругу U_1 живлення статора необхідно змінювати

пропорційно квадрату частоти змінного струму, маємо –

$$U_1^2 / f_1^2 = const . \quad (6.9)$$

Механічні характеристики такого частотного регулювання представлені на рис. 6.1, в.

Найбільше застосування в електроприводах із частотним регулюванням одержали тиристорні перетворювачі частоти ПЧ. Застосовувані в цей час ПЧ, укомплектовані проміжною ланкою постійного струму, досить досконалі й забезпечують роботу системи «ПЧ–АД» у всіх чотирьох квадрантах вісей координат, тобто вони допускають реалізацію всіх режимів роботи та гальмування електропривода.

Зазвичай, такий ПЧ складається з керованого випрямляча КВ і автономного інвертора АІ. Обидва блоки побудовані на тиристорах, для керування якими використовується система імпульсно-фазового керування СІФК (мал. 6.2). Керуючий сигнал U_y надходить на вхід СІФК із системи автоматичного керування (САК). Цей сигнал несе інформацію про значення напруги U_l і частоти f_l , які необхідно подати на обмотку статора двигуна, щоб забезпечити необхідний режим роботи електропривода.

На виході СІФК формуються сигнали U_u і U_f . Сигнал U_u подається на вхід керованого випрямляча КВ і визначає значення напруги постійного струму U_d , що подається на вхід автономного інвертора АІ, щоб на виході ПЧ забезпечити необхідне значення напруги U_l . Сигнал U_f надходить на вхід інвертора АІ та визначає необхідне значення частоти змінного струму f_l на виході ПЧ. Частотні перетворювачі з керованим випрямлячем, як проміжна ланка, забезпечують широкий діапазон регулювання частоти й напруги змінного струму.

Для одержання на виході ПЧ трифазної синусоїдальної напруги в інверторі АІ застосована модуляція імпульсів.

Існує два види модуляції: *широко-імпульсна* (ШИМ) і *частотно-імпульсна* (ЧІМ). Однак жоден зі способів модуляції не рятує перетворювач частоти від його головного недоліку — несинусоїдальності вихідної напруги. У результаті крім основної гармоніки із частотою f_1 вихідна напруга містить вищі гармоніки непарного порядку: третю гармоніку частотою $3f_1$, п'яту гармоніку частотою $5f_1$ і т.д.

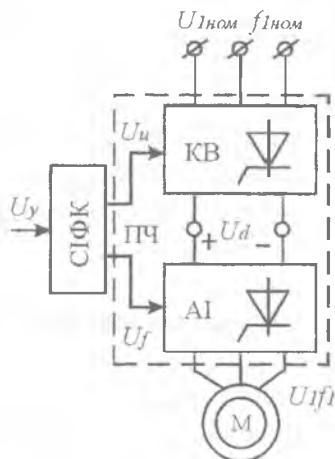


Рис. 6.2. Функціональна схема перетворювача частоти

Вищі гармоніки напруги є причиною виникнення у двигуні перенапруг, додаткових втрат, гальмуючих (паразитних) моментів, що в остаточному підсумку веде до погіршення експлуатаційних властивостей двигуна та викликає його надмірний перегрів. Застосування фільтрів, що згладжують, на виході ПЧ напругу, дає деяке зниження несинусоїдальності цієї напруги, але не ліквідує її повністю. Незважаючи на цей недолік, застосування ПЧ в електроприводі є прогресивним напрямком, що поліпшує техніко-економічні властивості регульованого електропривода. Тиристорні перетворювачі частоти

забезпечують плавну зміну частоти обертання АД як убік її підвищення, так і її зниження від номінального значення. Однак при зміні частоти змінного струму убік її збільшення відносно номінального значення, напруга живлення обмотки статора не повинна перевищувати номінального значення, тобто регулювання частоти обертання двигуна ведеться тільки зміною частоти змінного струму.

Крім ПЧ, що складається з керованого випрямляча й автономного інвертора, промисловість виготовляє перетворювачі частоти без керованого випрямляча, що називаються БПЧ - перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком. Перетворювачі БПЧ більш прості і дешеві ніж ПЧ, але несинусоїдальність вихідної напруги БПЧ досить значна, що стає причиною обмеження їх застосування. Крім того, БПЧ не дозволяють одержати на виході досить широкого діапазону зміни частоти.

6.2. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для дослідження системи ПЧ-АД (рис. 6.3) складається із трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором М1 и тиристорного перетворювача частоти ПЧ. Частота змінного струму f_1 на виході ПЧ у процесі її регулювання перебуває в певній функціональній залежності з напругою U_1 на виході ПЧ (див. рис. (6.1а); формули (6.7), (6.9)).

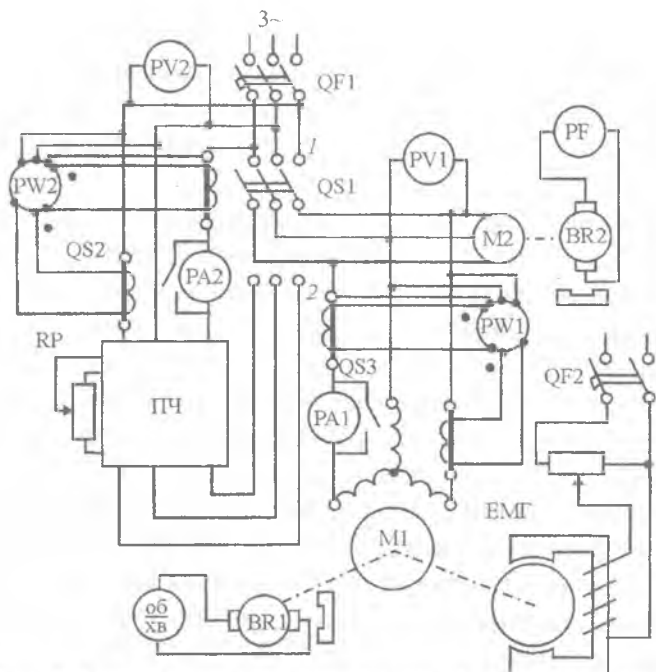


Рис. 6.3. Лабораторна установка для дослідження системи «перетворювач частоти — асинхронний двигун»

Регулювання частоти в установці здійснюється вручну за допомогою потенціометра RP. За допомогою перемикача QS1 двигун M може бути включений або в трифазну мережу (положення 1), або на вихід ПЧ (положення 2). Для виміру частоти обертання ротора двигуна в установці використаний тахогенератор BR1 з вимірювальним приладом «об/хв». Для виміру напруги, струму і потужності в установці застосовані два комплекти вимірювальних приладів. Один комплект, що містить вольтметр PV1, амперметр PA1 і двухелементний ваттметр PW1 із трансформаторами струму, включений у коло статора двигуна, а інший комплект аналогічних приладів (PV2, PA2, PW2) включений на вході ПЧ. Обидва комплекти

повинні бути однотипними, класу точності не нижче 1,0. Амперметри PA1 і PA2 облаштовані ключами QS2 і QS3, за допомогою яких ці прилади можна зашунтувати на момент пуску двигуна, зберігаючи їх від руйнування пусковим струмом.

Для контролю за частотою змінного струму f_1 обмотки статора двигуна M1, доцільне застосування трифазного синхронного реактивного мікродвигуна M2, вал якого механічно з'єднаний з валом тахогенератора BR2. Наприклад, для цього можна використати двигун серії ДРС. Частота обертання цього двигуна $n_1 = (f_1 60)/p$ точно слідує за змінами частоти f_1 основної гармоніки змінної напруги на виході ПЧ. Так само змінюється ЕРС на виході тахогенератора BR2. Шкала вольтметра, підключеного до тахогенератора, переградуйована в одиниці виміру частоти (Гц), тобто цей прилад використовується як частотомір PF.

Навантаження на валу двигуна M2 створюється електромагнітним гальмом ЕМГ, обмотка якого включається в мережу постійного струму через потенціометр і автомат QF2. Ознайомившись із лабораторною установкою і записавши паспортні дані всіх її пристроїв, треба автомати QF1 і QF2 і перемикач QS1 поставити в положення «виключено», а ключі QS2 і QS3 замкнути. Після цього, отримавши дозвіл викладача, зробити пробний пуск установки і перевірити можливість навантаження та регулювання частоти обертання двигуна.

6.3. Порядок виконання роботи

Зняття даних для побудови механічних характеристик двигуна. Поставивши перемикач QS1 у положення 1, включити автомат QF1. При цьому двигун M1 підключається безпосередньо до мережі. Потім розімкнути ключ QS2 і автоматом QF2 включити ЕМГ, попередньо поставивши потенціометр у крайнє праве положення.

Переміщуючи повзунок цього потенціометра вліво, збільшити навантаження на вал двигуна, поки струм у колі статора (амперметр PA1) не досягне номінального значення. Записавши показання приладів, поступово знизити навантаження двигуна аж до холостого ходу. При цьому через приблизно однакові інтервали струму I_1 зробити чотири-п'ять вимірювань комплекту приладів №1 у колі двигуна M1 і занести їх до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

№ виміру	U_1 , В	I_1 , А	f_1 , Гц	n_2 , об/хв	M_2 , Н·м	P_2 , Вт	P'_1 , под	P_1 , Вт	$\cos \varphi_1$	η

Виконати наступні розрахунки:
потужність живлення двигуна (Вт)

$$P_1 = P'_1 k_T C_w, \quad (6.10)$$

де k_m – коефіцієнт трансформатора струму; C_w – ціна поділки ваттметра, Вт/под;

корисна потужність двигуна – потужність на валу (Вт)

$$P_2 = 0,105 M_2 n_2, \quad (6.11)$$

де M_2 – навантажувальний момент, Нм; n_2 – частота обертання ротора, об/хв;

ККД двигуна

$$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\%, \quad (6.12)$$

коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi_1 = P_1 / (\sqrt{3} U_1 I_1). \quad (6.13)$$

Потім відключають автомати QF1 і QF2, переводять перемикач QS1 у положення 2 і приступають до зняття даних механічних характеристик двигуна при його живленні від ПЧ.

Включити автомат QF1. Встановити на виході ПЧ частоту струму 50 Гц і, створивши за допомогою ЕМГ номінальне навантаження на двигун, поступово знизити її до холостого ходу двигуна. Чотири показання приладів комплектів №1 і №2 занести у таблицю 6.2. Дослід повторити при частотах струму на виході ПЧ 40, 30 і 20 Гц. Виконати необхідні розрахунки за формулами (6.10) – (6.13), результати занести в таблицю 6.3. Тут U_c , I_c , P_c , $\cos\varphi_c$ і η_c – відносяться до параметрів мережі на вході ПЧ (комплект приладів № 2). Дослід повторити при частотах 40, 30 і 20 Гц.

Таблиця 6.2

№ виміру	U_1 , В	I_1 , А	f_1 , Гц	n_2 , об/хв	M_2 , Н·м	P'_1 , под	U_c , В	I_c , А	P'_c , Вт

Таблиця 6.3

№ виміру	P_1 , Вт	P_c , Вт	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_c$	η_1	η_c

За даними таблиці 6.1, 6.2 і 6.3 в одній координатній площині побудувати механічні характеристики асинхронного двигуна в його основному режимі для всіх виконаних дослідів.

Аналіз результатів лабораторної роботи.

У висновках по виконанню лабораторної роботи необхідно:

1. Проаналізувати побудовані механічні характеристики відповідно до теоретичних положень про властивості системи ПЧ–АД: пряmolінійність і паралельність механічних характеристик при різних частотах струму в колі статора асинхронного двигуна. При

цьому потрібно мати на увазі, що деякий розкид точок при побудові характеристик неминучий і є наслідком похибки вимірів при виконанні дослідів. Вказати, яка кратність (діапазон) регулювання частоти обертання двигуна була отримана при дослідженні лабораторної установки.

2. Вказати, який функціональний зв'язок між частотою струму і напругою на виході ПЧ застосованого у лабораторній установці та для якого виду навантаження.

3. Порівняти енергетичні показники системи: споживану потужність, коефіцієнт потужності й ККД при живленні двигуна МІ безпосередньо від мережі та при живленні двигуна від ПЧ при частоті струму 50 Гц. При виявленні розбіжностей в значеннях цих параметрів необхідно пояснити причину.

4. Порівняти перераховані в пункті 3 енергетичні показники при роботі двигуна МІ від ПЧ при різних частотах змінного струму. Пояснити, у чому причина їхньої розбіжності.

5. Узагальнюючи результати виконаного експериментального дослідження, перелічити основні переваги і недоліки системи ПЧ–АД у порівнянні із системою Г–Д для двигуна постійного струму незалежного збудження.

6.4. Програма роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою, записати паспортні дані пристроїв і вимірювальних приладів, що використовуються у лабораторній установці.

2. Виконати пробний пуск установки, перевірити можливість регулювання частоти обертання двигуна при змінах частоти струму на виході ПЧ.

3. Зняти дані для побудови механічної характеристики

асинхронного двигуна при його живленні безпосередньо від мережі (без ПЧ).

4. Зняти дані для побудови механічних характеристик двигуна при його живленні від ПЧ при частотах змінного струму: 50, 40, 30 і 20 Гц.

5. Побудувати механічні характеристики асинхронного двигуна за даними п. 3 і 4 в одній координатній площині.

6. Порівняти значення ККД і коефіцієнта потужності двигуна й всієї системи при живленні двигуна безпосередньо від мережі і від ПЧ при різних частотах змінного струму.

7. Скласти звіт і зробити висновки про виконану роботу.

6.5. Питання для самоперевірки

1. Які способи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів застосовуються в електроприводах?

2. Чому при регулюванні частоти обертання зміною частоти змінного струму необхідно одночасно змінювати напругу?

3. Поясніть принцип роботи тиристорного перетворювача частоти з керованим випрямлячем і автономним інвертором.

4. Чому напруга на виході ПЧ несинусоїдальна і який вплив цього явища на роботу системи ПЧ-АД?

5. Який функціональний зв'язок між частотою струму й напругою застосовано в досліджуваній лабораторній установці та для якого виду навантаження електропривода?

6. Чим обмежується регулювання частоти змінного струму вище номінальної?

Лабораторна робота № 7

Тема: дослідження замкнутої системи електричного привода з внутрішнім зворотним зв'язком за швидкістю.

Мета роботи: визначення дослідним шляхом регульовальних властивостей електропривода зі зворотним зв'язком за швидкістю, та здобуття практичних навичок у побудові простої сучасної схеми електропривода і її дослідженні.

7.1. Основні положення

У будь-якій автоматичній системі розрізняють заплановане (передбачуване) значення керованого параметра та дійсне значення цього параметра. Розімкнута система автоматичного керування не забезпечує точної відповідності між цими параметрами через неминучий вплив на систему випадкових (непередбачених) чинників.

У замкнутих системах крім *прямого каналу впливів*, через який передається задавальний сигнал, що задає керування U_y , що несе інформацію про заплановане значення параметра, є *каналом зворотного зв'язку*, яким передається сигнал, що несе інформацію про дійсне (фактичне) значення параметра, і *названий сигналом зворотного зв'язку* U_{oc} . Зворотний зв'язок – це вплив на вхід автоматичної замкнутої системи фізичної величини (сигналу зворотного зв'язку), пропорційної вихідній величині регульованого параметра. Сигнал зворотного зв'язку звичайно отримують за допомогою пристрою, що називається датчиком зворотного зв'язка ДЗЗ. Однак у розглянутій схемі такий датчик відсутній, а як сигнал зворотного зв'язку використовується ЕРС обмотки якоря двигуна – противоЕРС. Відомо, що величина цієї ЕРС

пропорційна частоті обертання двигуна постійного струму

$$E_a = c_e \Phi n. \quad (7.1)$$

Таким чином, у розглянутій схемі двигун М крім свого основного призначення як об'єкт регулювання використовується також і як датчик зворотного зв'язку, виробляючи сигнал $U_{oc} = E_a$, тобто таким чином здійснюється у системі внутрішній зворотній зв'язок за швидкістю.

Структурна схема розглянутого електропривода (рис. 7.1) включає наступні елементи: регулятор Р, елемент порівняння ЕП, керований перетворювач КП, двигун М і робочий орган РО (навантаження на вал двигуна), що представляє собою елемент виробничого механізму, що приводиться в рух двигуном.

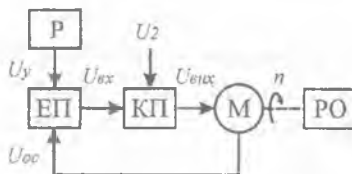


Рис. 7.1. Структурна схема замкнутої системи електропривода зі зворотним зв'язком по швидкості

Електрична енергія при напрузі U_2 надходить у керований перетворювач КП з мережі, а потім подається в енергетичний канал (коло якоря) двигуна М. Режим роботи перетворювача КП визначається входним сигналом U_{ex} , що подається на вхід КП. Значення цього сигналу визначається різницею значень керуючого сигналу U_y , що надходить від регулятора, і сигналом від'ємного зворотного зв'язка U_{oc} , що надходить від датчика зворотного зв'язку (у цьому випадку від двигуна М):

$$U_{ax} = U_y - U_{oc}. \quad (7.2)$$

На рис. 7.2 пунктиром обведені елементи принципової схеми електропривода, що відповідають елементам структурної схеми цього електропривода (див. рис. 7.1).

7.2. Опис лабораторної установки

Схема лабораторної установки для дослідження замкнутої системи електропривода зі зворотним зв'язком за швидкістю наведена на рис. 7.2.

Величина керуючого сигналу U_y визначається положенням повзунка потенціометра RP (регулятор P). Елементом порівняння схеми є діод VD2, тому що струм через цей діод визначається різницею напруг $U_y - U_{oc}$. Струм через діод VD1 проходить лише в позитивні напівперіоди напруги U_2 . При малих частотах обертання якоря двигуна, коли противоЕРС якоря (сигнал зворотного зв'язка) досить мала, робота двигуна нестійка та супроводжується «гойданнями» двигуна. З метою усунення цього явища потенціометр RP іноді шунтують конденсатором С (на схемі рис. 7.2 показаний пунктиром).

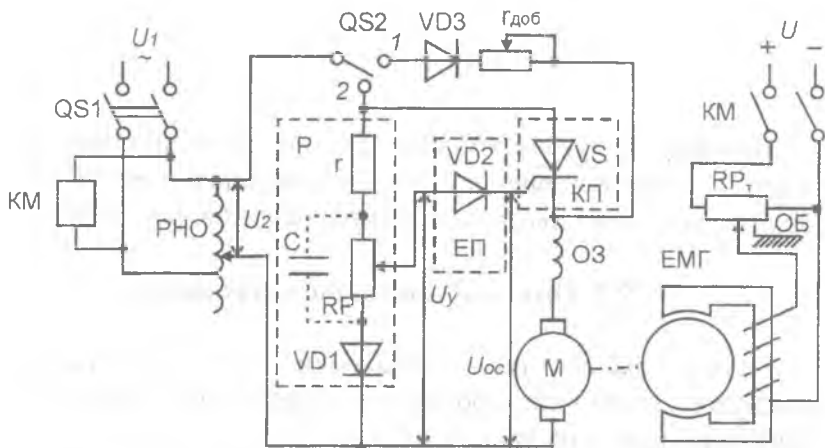


Рис. 7.2. Схема лабораторної установки замкнутої автоматичної системи електропривода зі стабілізацією частоти обертання двигуна постійного струму

Елементи схеми електропривода вибирають залежно від паспортних даних двигуна М. Наприклад, якщо в якості М застосувати універсальний колекторний двигун типу УЛ072 номінальною потужністю 180 Вт, напругою постійного струму 110 В, номінальним струмом 2,48 А і номінальною частотою обертання 2700 об/хв, то в схемі слід використати тиристор КУ202К, резистор $r = 2$ кОм (2 Вт), змінний резистор $RP = 4,7$ кОм (2 Вт) і два діоди Д-207. При необхідності, для усунення «гойдання» у схему можна включити електролітичний конденсатор $C = 5$ мкФ (50 В). Застосування двигуна іншої потужності потребує включення в схему елементів з іншими параметрами.

Використання в досліджуваному електроприводі двигуна послідовного збудження виправдане тим, що такі двигуни мають «м'яку» механічну характеристику, тому стабілізація частоти обертання в них є актуальною та дає уяву про ефективність досліджуваної схеми електропривода. Для зменшення пульсацій струму в колі

якоря двигуна можливе включення в схему дроселя L .

За допомогою ключа QS2 змінюється режим роботи лабораторної установки. При положенні 1 цього ключа двигун M працює безпосередньо від мережі змінного струму в режимі однополуперіодного випрямлення діодом VD3, а змінний резистор $\Gamma_{\text{доб}}$ дозволяє встановити номінальну частоту обертання при мінімально допустимому навантаженні. При положенні 2 ключа QS2 двигун M включається в автоматичну систему стабілізації електропривода.

Включення лабораторної установки в мережу здійснюється ключем QS1. При цьому одночасно включається котушка контактора КМ, контакти якого підключають до джерела постійного струму електромагнітне гальмо ЕМГ, що створює навантаження на валу двигуна. Це запобігає включенню в мережу двигуна послідовного збудження без необхідного навантаження на валу. Потенціометр електромагнітного гальма RP_T повинен мати обмежувач ОБ, що виключає його нульове положення, при якому навантаження на валу двигуна відсутнє.

7.3. Порядок виконання роботи

Механічні характеристики електропривода. Після ретельного вивчення лабораторної установки слід поставити ключ QS2 у положення 1 і зняти дані для побудови механічної характеристики відповідно до п. 2а «Програма роботи», тобто без тиристора VS. Для цього включають рубильник QS1, встановлюють регулятором напруги РНО необхідну напругу живлення U_2 і за допомогою резистора $\Gamma_{\text{доб}}$ і потенціометра електромагнітного гальма ЕМГ встановлюють номінальну частоту обертання двигуна при навантаженні на валу $M_2 = 0,25M_{\text{ном}}$. Після цього за допомогою ЕМГ поступово збільшують навантаження на вал двигуна до $M_{\text{ном}}$,

одночасно вимірюючи частоту обертання. Всього необхідно зробити 4 – 5 вимірів і занести їх у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

M_2 , Нм					
n , об/хв					

За отриманим даними будуть природну механічну характеристику двигуна (рис. 7.3, графік 4).

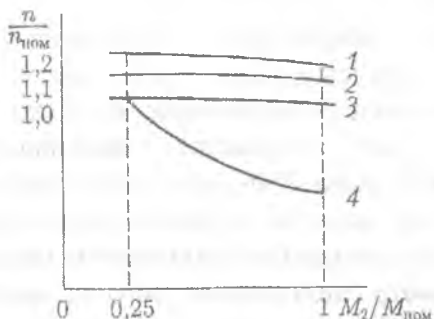


Рис. 7.3. Механічні характеристики електропривода за схемою рис 7.2

Потім ключ QS2 переводять у положення 2 і знімають дані механічних характеристик двигуна при його живленні через тиристор VS відповідно до п. 2б «Програма роботи». Для цього повзунок потенціометра RP ставлять у положення, при якому частота обертання двигуна при мінімально допустимому навантаженні на валу дорівнювала б номінальному значенню $n_{ном}$. Потім електромагнітним гальмом ЕМГ поступово збільшують навантаження на вал електродвигуна до номінального значення навантажувального моменту.

Приблизно через однакові інтервали навантажувального моменту M_2 вимірюють частоту обертання якоря двигуна. Роблять не менш чотирьох вимірів і заносять їх у табл. 7.2.

Досліди повторюють при частотах обертання $n_{0,25} = 1,1 n_{ном}$ і $n_{0,25} = 1,2 n_{ном}$, результати вимірів заносять у табл. 7.2 і будують три механічні характеристики електропривода в різних режимах його роботи (рис. 7.3, графіки 1, 2 і 3).

Для кількісної оцінки ефективності досліджуваної схеми електропривода з внутрішнім зворотним зв'язком за швидкістю потрібно вирахувати значення зміни частоти обертання (%) якоря двигуна від номінальної до мінімальної:

$$\Delta n = ((n_{0,25} - n_{min}) / n_{0,25}) \cdot 100. \quad (7.3)$$

Таблиця 7.2

Номер виміру	$n_{0,25} = n_{ном}$		$n_{0,25} = 1,1 n_{ном}$		$n_{0,25} = 1,2 n_{ном}$	
	$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	$n, \text{об/хв}$	$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	$n, \text{об/хв}$	$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	$n, \text{об/хв}$
1						
2						
3						
4						
	$\Delta n_1 = \dots$		$\Delta n_2 = \dots$		$\Delta n_3 = \dots$	

Розрахунок Δn слід зробити для всіх режимів дослідження електроприводу.

Аналіз результатів лабораторної роботи.

Звіт про виконану роботу повинен містити принципову схему електропривода, специфікацію елементів цієї схеми та висновки про ефективність застосування зворотного зв'язку за швидкістю. При цьому слід вказати, у якому з досліджених трьох режимів роботи стабілізація частоти обертання найбільш близька до ідеальної ($n = \text{const}$), тобто порівняти величини Δn для цих режимів між собою та з величиною Δn для режиму роботи двигуна без зворотного зв'язку (рис. 7.3, графік 4).

7.4. Програма роботи

1. Ознайомитися з лабораторним стендом, записати паспортні дані двигуна й інших елементів схеми.

2. Зібрати схему за рис. 7.2. Після перевірки схеми викладачем включити електропривод, зняти дані й побудувати механічні характеристики електропривода $n = f(M_2)$ при його роботі:

а) без зворотного зв'язка при однонапівперіодному випрямленні змінного струму при частоті обертання якоря двигуна $n_{0,25} = n_{ном}$ з мінімально припустимим навантаженням $M_2 = 0,25M_{ном}$;

б) с негативним зворотним зв'язком по частоті обертання для трьох її значень при мінімально допустимому навантаженні на валу двигуна $M_2 = 0,25M_{ном}$:

$$n_{0,25} = n_{ном}; n_{0,25} = 1,1n_{ном}; n_{0,25} = 1,2n_{ном}.$$

3. Використовуючи результати дослідів п. 2, визначити номінальну зміну частоти обертання електропривода при скиданні навантаження від номінальної до $0,25M_{ном}$ для кожної механічної характеристики.

4. Скласти звіт і зробити висновки з виконаної роботи.

7.5. Питання для самоперевірки

1. Який параметр двигуна використовується як сигнал зворотного зв'язку в розглянутому електроприводі?
2. Поясніть призначення всіх елементів розглянутого електропривода.
3. Яким чином можна усунути можливу нестійкість роботи електропривода при малій частоті обертання?
4. Чи зміниться ефект стабілізації частоти обертання двигуна при збільшенні частоти обертання, що задається потенціометром RP ?

Лабораторна робота № 8

Тема: дослідження тиристорного електричного привода постійного струму типу ЭТО1.

Мета роботи: вивчити побудову електропривода ЭТО1, отримати експериментальне підтвердження його регульовальним і стабілізуючим властивостям та здобути навички в складанні схеми та регулюванні електропривода.

8.1. Основні положення

Особливості замкнутих систем автоматичного електропривода викладені в лабораторній роботі № 7 у розділі 7.1 «Основні положення».

Нереверсивний однофазний тиристорний електропривод постійного струму типу ЭТО1 призначений для надання руху робочим органам механізмів та плавного регулювання їхньої частоти обертання. Електропривід ЭТО1 виконаний за системою «керований перетворювач-двигун» із застосуванням негативного зворотного зв'язка за частотою обертання якоря.

8.2. Опис лабораторної установки

Електропривід (рис. 8.1) складається з керованого тиристорного перетворювача КТП, дроселя L1, двигуна постійного струму незалежного збудження М и задатчика швидкості ЗШ. Крім того, у схемі використовується однофазний регулятор напруги РНО та електромагнітне гальмо ЕМГ. Два останніх пристрої не є елементами електропривода ЭТО1, а застосовані в схемі для дослідження електропривода згідно заданої програми.

Керований тиристорний перетворювач КТП складається

з напівпровідникового підсилювача ПП (рис. 8.2), системи імпульсно-фазового керування СІФК, блоку живлення БЖ і блоку силових вентилів БСВ, що перетворює змінну напругу мережі 220В у регульовану випрямлену напругу. Основні елементи БСВ: некерований однофазний випрямний міст VD1 – VD4, тиристор VS і тахометричний міст (рис. 8.3).

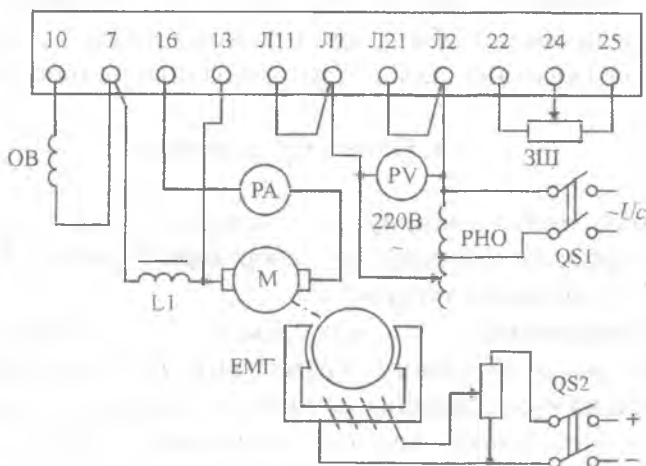


Рис. 8.1. Схема включення тиристорного електропривода ЭТО1

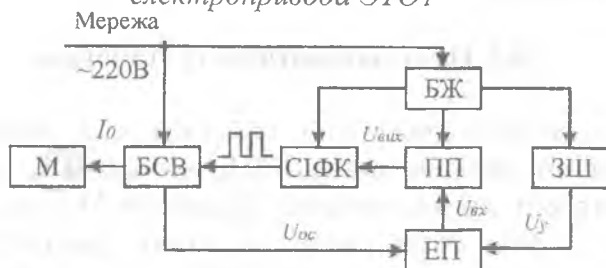


Рис. 8.2. Структурна схема електропривода ЭТО1

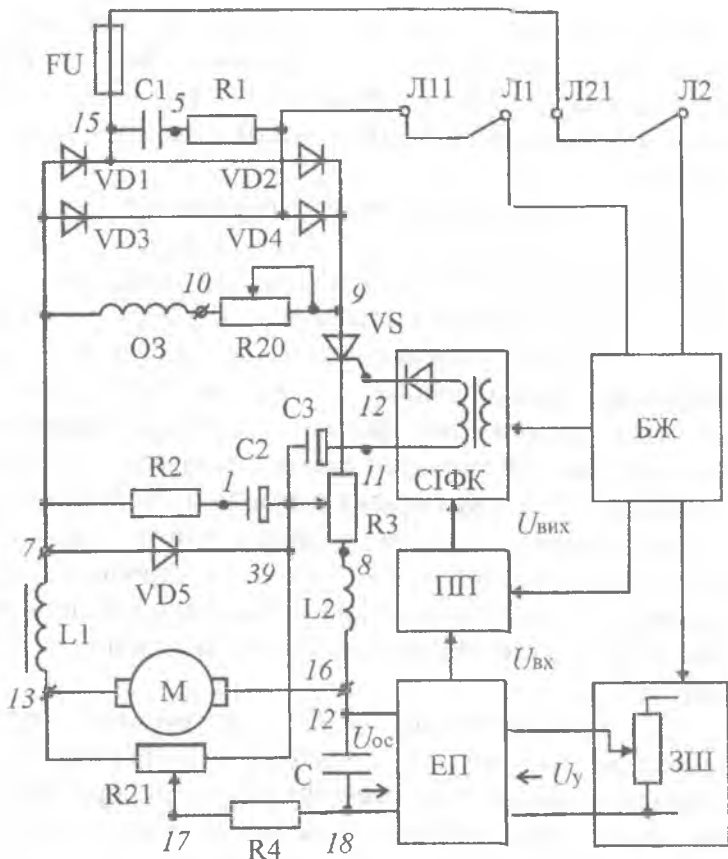


Рис. 8.3. Принципова схема блоку силових вентилів БСВ електропривода ЕТО1

Напівпровідниковий підсилювач ПП являє собою однокаскадний підсилювач постійного струму, що підсилює керуючий сигнал. Система імпульсно-фазового керування СІФК складається з генератора пилкоподібної напруги, формувача імпульсів прямокутної форми, призначених для вмикання тиристора VS. Блок живлення БЖ слугує для створення постійної напруги, необхідної для електроживлення блоків, що здійснюють керування

електропривода: ПП, СІФК та задатчика швидкості ЗШ. Цей блок складається із трьохобмоткового силового трансформатора (одна первинна обмотка та дві вторинні), двох некерованих випрямних мостів і двох конденсаторних фільтрів.

Від ЗШ на вхід елемента порівняння ЕП подається керуючий сигнал U_y . ЕП створює на вході напівпровідникового підсилювача ПП напругу U_{ax} . Після підсилення цей сигнал перетворюється в напругу $U_{ввх}$, що діє на систему імпульсно-фазового керування СІФК. У результаті цього впливу на виході СІФК з'являються імпульси прямокутної форми позитивної полярності та певної фази α . Ці імпульси надходять на керуючий електрод тиристора VS блоку силових вентилів БСВ. Зміни величини U_{ax} впливають на фазу α прямокутних імпульсів, що керують тиристором VS, що в остаточному підсумку призводить до зміни середнього значення вихідної напруги блоку БСВ, тобто до зміни напруги, що живить коло якоря двигуна.

В електроприводі ЕТОІ застосовано від'ємний зворотний зв'язок за частотою обертання. Сигнал зворотного зв'язку U_{oc} , значення якого пропорційно частоті обертання якоря двигуна, подається на елемент порівняння ЕП, так що напруга U_{ax} , що надходить за вхід підсилювача ПП, визначається різницею двох сигналів: сигналу керування U_y від задатчика швидкості ЗШ і сигналу зворотного зв'язку U_{oc} :

$$U_{ax} = U_y - U_{oc} \quad (8.1)$$

Наявність від'ємного зворотного зв'язку за частотою обертання сприяє стабілізації частоти обертання двигуна і забезпечує його усталену роботу при змінах навантаження.

Блок силових вентилів БСВ (див. рис. 8.3) має два виходи: некерований (точки 7 і 9) для живлення обмотки

збудження ОЗ двигуна та керований (точки 7 і 11) для живлення кола якоря двигуна. Некерований діод VD5, так само як і дросель L1, сприяє зменшенню пульсацій випрямленої напруги.

До блоку БСВ включається також тахометричний міст. Плечі цього моста утворюють змінні резистори R3 і R21 і обмотка якоря двигуна. В одну діагональ моста (точки 13 і 11) підводиться напруга постійного струму, що живить коло якоря двигуна, з іншої діагоналі (точки 18 і 16) знімається напруга сигналу зворотного зв'язку U_{oc} .

Вхід блоку силових вентилів БСВ має два види захисту: коло R1 - C1 захищає блок від перенапруг з боку живильної мережі, а запобіжник FU захищає блок від перевантаження і короткого замикання. У зв'язку з тим що тиристор VS включений в коло постійного струму (після випрямляючого моста VD1 – VD4), при зниканні керуючого імпульса тиристор може не закритися. Пояснюється це тим, що пульсації струму через наявність дроселя L1 і обмотки якоря, що має значну індуктивність, набагато ослаблені і по закінченні позитивного напівперіоду струм у колі не спадає до нуля. У результаті тиристор може виявитися некерованим. Для виключення цього небажаного явища в схемі БСВ застосовані кола R2 - C2 і R3 – C3, які створюють негативний імпульс напруги відносно анода тиристора, чим забезпечується його закриття із закінченням кожної напівхвилі напруги в колі двигуна.

8.3. Порядок виконання роботи

Підготовка електропривода до роботи. Після складання схеми електропривода за рис. 8.1 і перевірки її викладачем необхідно зробити наступне:

а) задатчик швидкості ЗШ поставити в положення, що відповідає мінімальній частоті обертання;

б) включити рубильник QS1, встановити регулятором РНО на вході керованого тиристорного перетворювача КТП напругу 220В і залишити включеним електропривод на 15 хвилин при мінімальній частоті обертання якоря двигуна;

в) повертаючи ручку задатчика швидкості ЗШ із одного крайнього положення в інше, перевірити можливість регулювання частоти обертання двигуна;

г)

встановити номінальну частоту обертання і, включивши рубильник QS2, за допомогою електромагнітного гальма ЕМГ навантажити двигун до номінального значення струму якоря двигуна.

Переконавшись у працездатності електропривода, перевірити вплив зворотного зв'язка за частотою обертання на стійкість електропривода. Для цього розмикають коло зворотного зв'язку, відключивши резистор R21 від клемі I3 (при цьому тахометричний міст розмикається). Потім задатчиком швидкості ЗШ змінюють частоту обертання двигуна та, включивши рубильник QS2, перевіряють стійкість роботи електропривода при навантаженні двигуна.

Перевірка діапазону регулювання частоти обертання. Включають електропривід у мережу, задатчиком швидкості ЗШ встановлюють найбільшу частоту обертання, потім замикають рубильник QS2, навантажують двигун за допомогою ЕМГ до номінального значення струму якоря й вимірюють частоту обертання n'_{max} . Не знімаючи навантаження, встановлюють мінімальну частоту обертання n'_{min} . Виміряні значення частот обертання заносять у табл. 8.1 і, порівнюючи їх з аналогічними значеннями частот обертання n_{max} і n_{min} , зазначеними в паспорті електропривода, визначають відхилення знятих даних від паспортних:

для максимальної

$$\Delta n_{max} = ((n_{max} - n'_{max}) / n_{max}) \cdot 100$$

(8.2)

і мінімальної

$$\Delta n_{\min} = ((n_{\min} - n'_{\min}) / n_{\min}) \cdot 100 \quad (8.3)$$

частот обертання двигуна.

Вимірювання номінальної потужності електропривода при максимальній частоті обертання.

За допомогою ЗШ встановлюють максимальну частоту обертання і навантажують двигун до номінального струму навантаження. Потім, вимірюючи частоту обертання n_2 і момент навантаження M_2 на валу двигуна, визначають потужність електропривода (Вт):

$$P_{\text{ном}} = 0,105 M_2 n_2.$$

і отримане значення заносять у табл. 8.1.

(8.4)

Таблиця 8.1

Параметр електропривода	Вимірні дані	Паспортні дані	Відхилення вимірних даних від паспортних
Діапазон регулювання частоти обертання, об/хв	$n'_{\max} = \dots$ $n'_{\min} = \dots$	$n_{\max} = \dots$ $n_{\min} = \dots$	$\Delta n_{\max} = \dots \%$ $\Delta n_{\min} = \dots \%$
Номінальна потужність при максимальній частоті обертання, Вт	$P'_{\text{ном}} = \dots$	$P_{\text{ном}} = \dots$	$(P'_{\text{ном}} / P_{\text{ном}}) 100 = \dots \%$
Коливання частоти обертання при зміні струму якоря, %	$\gamma'_{0,08} = \dots$ $\gamma'_{\text{ном}} = \dots$	± 5 ± 10	$\gamma'_{0,08} - 5 = \dots$ $\gamma'_{\text{ном}} - 10 = \dots$

Перевірка коливання частоти обертання при зміні струму якоря двигуна. Установивши частоту обертання двигуна $n_2 = 0,08 n_{\text{ном}}$ при навантаженні на валу, що відповідає струму якоря $I_a = 0,1 I_{\text{ном}}$, збільшують навантаження двигуна до значення струму якоря $I_{\text{ном}}$. При

цьому вимірюють частоту обертання n_2 . За отриманими даними визначають відхилення частоти обертання при $I_{НОМ}$ відносно спочатку встановленої n_2 (%):

$$\gamma_{0,08} = ((n_2 - n_{2,ном}) / n_2) \cdot 100. \quad (8.5)$$

Встановлюють частоту обертання $n_{НОМ}$ при навантаженні, що відповідає струму якоря $I_a = 0,1I_{НОМ}$, і повторюють дослід, визначивши частоту обертання при номінальному навантаженні електродвигуна n'_2 . Результати заносять у табл. 8.1 і визначають відхилення частоти обертання від початково встановленої $n_{НОМ}$ (%):

$$\gamma_{ном} = ((n_{ном} - n'_2) / n_{ном}) \cdot 100. \quad (8.6)$$

Аналіз результатів лабораторної роботи.

Параметри електропривода, отримані дослідним шляхом, порівняти із відповідними параметрами, зазначеними в паспорті електропривода, і зробити висновки щодо відповідності дослідних даних електропривода його паспортним даним для кожного параметра окремо.

Звіт з виконаної роботи повинен містити структурну схему електроприводу ЕТО1 і принципову схему блоку силових вентилів БСВ, табл. 8.1 і висновки за результатами порівняння дослідних даних з паспортними даними електропривода.

8.4. Програма роботи

1. Ознайомитися з електроприводом ЕТО1 і записати його паспортні дані та дані двигуна.

2. Зібрати схему електропривода за рис. 8.1 і після перевірки її викладачем випробувати електропривод у роботі.

3. Провести випробування електроприводу з метою практичної перевірки наступних параметрів:

а) діапазону регулювання частоти обертання;

б) номінальної потужності електропривода при максимальній частоті обертання;

в) коливання частоти обертання при зміні струму якоря двигуна від $0,1$ до $1,0I_{a_{ном}}$ при частотах обертання якоря $0,08n_{ном}$ і $n_{ном}$.

4. Скласти звіт і зробити висновки з виконаної роботи.

8.5. Питання для самоперевірки

1. Яке призначення й взаємодія блоків електропривода ЭТО1?

2. З якою метою в електроприводі застосований від'ємний зворотний зв'язок за частотою обертання?

3. Поясніть призначення всіх елементів принципової схеми блоку силових вентилів БСВ.

4. Які елементи складають плечі тахометричного моста і від чого залежить значення сигналу зворотного зв'язку за частотою обертання?

5. Які заходи застосовані в блоці БСВ для закриття тиристора після кожної позитивної напівхвилі напруги?

Додаток

Літерні коди елементів і пристроїв електричних схем

Код групи елементів	Приклади кодів пристроїв і елементів
A – Пристрої	AK – Блок-реле
B – Перетворювачі неелектричних величин в електричні, і навпаки	BK – Тепловий датчик BL – Фотоелемент BR – Тахогенератор
C – Конденсатори	–
E – Елементи різні	EK – Нагрівальний елемент EL – Лампа освітлювальна
F – Розрядники, запобіжники, пристрої захисту	FA – Дискретний елемент захисту за струмом FU – Запобіжник плавкий FV – Розрядник
G – Генератори, джерела живлення	GB – Батарея акумуляторна
H – Пристрої сигнальні	HL – Лампа сигнальна HA – Дзвінок
K – Реле, контактори, пускачі	KA – Реле струму KH – Реле вказівне KK – Реле електротеплове KM – Контактор, магнітний пускач KT – Реле часу KV – Реле напруги KL – Реле проміжне
L – Котушки індуктивності, дроселі, реактори	LL – Дросель люмінесцентної лампи
M – Двигуни електричні	–
P – Прилади та пристрої вимірювальні	PA – Амперметр PV – Вольтметр PW – Ватметри PF – Частотоміри PR – Омметр
Q – Вимикачі і роз'єднувачі у силових колах	QF – Вимикач автоматичний QS – Роз'єднувач

Закінчення додатку

R – Резистори	RK – Терморезистор RP – Потенціометр RS – Шунт вимірювальний
S – Пристрої комутаційні в колах керування, сигналізації і вимірювальних приладах	SA – Вимикачі та перемикачі SF – Вимикачі автоматичні SB – Вимикачі кнопкові SL – Вимикачі, що спрацьовують від рівня SP – Вимикачі, що спрацьовують від тиску SQ – Вимикачі, що спрацьовують від положення SR – Вимикачі, що спрацьовують від частоти обертання SK – Вимикачі, що спрацьовують від температури
T – Трансформатори, автотрансформатори	TA – Трансформатор струму вимірювальний TV – Трансформатор напруги вимірювальний
U – Перетворювачі електричних величин в електричні	UZ – Випрямляч, інвертор, перетворювач частоти
V – Прилади напівпровідникові та електровакуумні	VD – Діод VT – Транзистор VS – Тиристор VL – Прилад електровакуумний
X – З'єднання контактні	XA – Струмознімачі, контакти повзункові XP – Штир XS – Гніздо XT – З'єднання роз'ємне XN – З'єднання нероз'ємне
Y – Пристрої механічні з електромагнітним приводом	YA – Електромагніт YC – Муфта електромагнітна YB – Гальмо електромагнітне

Література

1. Ганэ В.А., Степанов В.Л. Расчет следящих систем. - Минск: ВШ, 1990. - 230 с.
2. Дубровный В.А. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования (в двух частях). - К.: Наукова думка, 1981. - 694 с.
3. Кишнев В.Б., Иванов В.А. и др. Технические средства автоматики. - М.: Металлургия, 1981. - 240 с.
4. Коровин Б. Г., Прокофьев Г. И., Рассудов Л.Н., Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами. - Л.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Подлипенский В.С., Петренко В.Н. Электромагнитные и электромашинные устройства автоматики. - К.: Вища школа, 1987. - 592 с.
6. Промышленные приборы и средства автоматизации. Справочник под ред. Черенкова. - Л.: Машиностроение, 1987. - 847 с.
7. Родионов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.В. Технические средства АСУ ТП. - М.: Высшая школа, 1989. - 263 с.
8. Смирнова В.И., Разинов В.И. Проектирование и расчет автоматизированных приводов. — М.: Машиностроение, 1990. - 365 с.
9. Штейнберг Ш.Е., Хвилевский Л.О., Ястребенский М.А. - Промышленные автоматические регуляторы. - М.: Энергия, 1973. - 568 с.
10. Технические описания и инструкции по обслуживанию и эксплуатации промышленных изделий : промышленных роботов – КБР – 249 и «Электроника НЦ ТМ-01» ; устройств управления – ЭЦПУ - 6030 и микро ЭВМ «Электроника - 60М»; тиристорных преобразователей постоянного тока – ПТОР -230-10-Б и ЭТО1; тиристорного преобразователя частоты – ПЧ .
11. Казаков В.П., Швець В.І. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Автоматизований електропривід і локальні системи управління». – Ж.: ЖІТІ , 1999.– 76 с.
12. Кацман М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому приводу . – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

Зміст

Стор.

Загальні положення	3
Лабораторна робота № 1. Дослідження промислового регулятора швидкості обертання двигуна постійного струму.....	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження сельсинного вимірювального пристрою.....	20
Лабораторна робота № 3. Дослідження циклової системи програмного керування роботів.....	26
Лабораторна робота № 4. Вивчення режимів керування промислового робота "Електроника НЦ ТМ-01" та робота з ним.....	35
Лабораторна робота № 5. Дослідження регулювальних властивостей двигуна постійного струму незалежного збудження в системі "генератор–двигун".....	52
Лабораторна робота № 6. Дослідження властивостей системи "перетворювач частоти–асинхронний двигун".....	63
Лабораторна робота № 7. Дослідження замкнутої системи електричного привода з внутрішнім зворотним зв'язком за швидкістю.....	74
Лабораторна робота № 8. Дослідження тиристорного електричного привода постійного струму типу ЭТО1.....	82
Додаток. Літерні коди елементів і пристроїв електричних схем...	92
Література	94

В.І. Швець, Д.М. Шостачук, М.В. Богдановський

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з курсу «Автоматизований електропривід»
для студентів спеціальності «Автоматизоване управління
технологічними процесами»

Методичні вказівки видано редакційно-видавничим
відділом ЖДТУ

Підписано до друку 17.06.2008р. Формат 60x84 1/16. Папір
офсетний.

Гарнітура Times New Roman Ум.друк.арк. 4,0.
Наклад 100 прим. Зам. №

Редакційно-видавничий відділ
Житомирського державного технологічного університета
10005, м.Житомир, вул.. Черняхівського, 103

