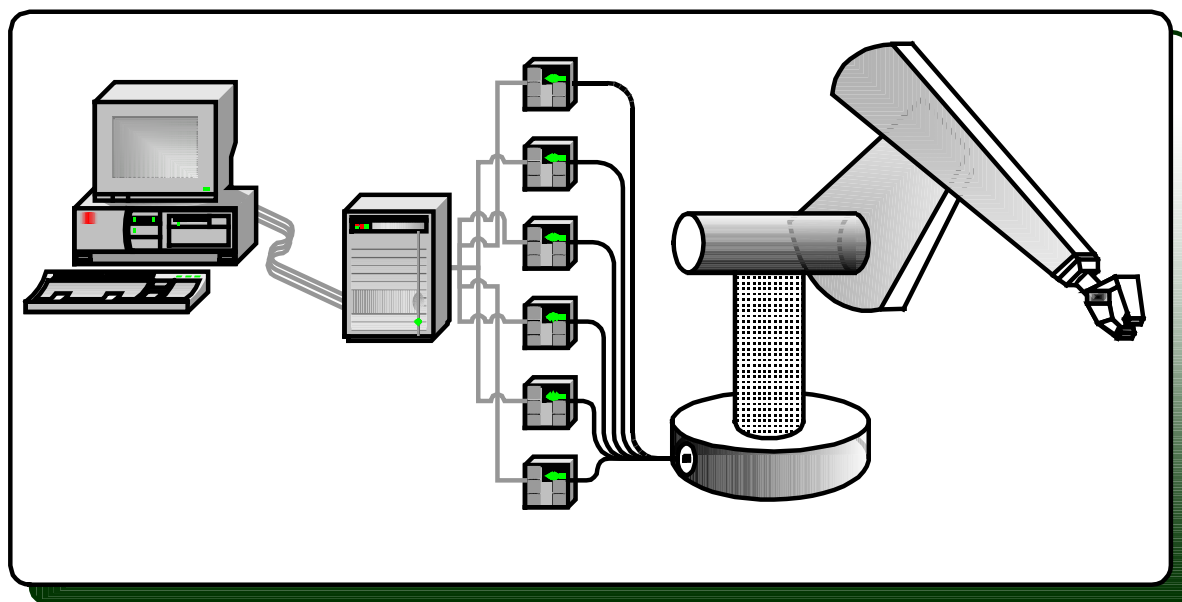


ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

И.Н. ЕГОРОВ, А.А. НАЗАРОВ, В.А. НЕМОНТОВ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ



ВЛАДИМИР 2002

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

И.Н. ЕГОРОВ, А.А. НАЗАРОВ, В.А. НЕМОНТОВ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторный практикум

Часть II

Владимир 2002

УДК 621.9

Е 30

Рецензенты:

Академик Российской академии инженерных наук,
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой приборостроения, автоматики и управления
Ковровской государственной технологической академии

Ю.М. Сазыкин

Академик электротехнической академии наук РФ,
доктор технических наук, профессор
Ковровской государственной технологической академии

В. К. Кутузов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Егоров И.Н., Назаров А.А., Немонтов В.А.

Е30 Автоматическое управление электроприводами: Лаб. практикум. Ч. 2 /
Владим. гос. ун-т, Владимир, 2002. 60 с.
ISBN 5-89368-332-3

Лабораторный практикум является второй частью работы по автоматическому управлению электроприводами робототехнических и мехатронных устройств автоматизированных комплексов. В первой части практикума рассмотрены промышленные электроприводы как автономные устройства. Вторая часть содержит описание лабораторных работ и необходимые для проведения занятий сведения о лабораторных установках и методике выполнения работ по компьютерному управлению электроприводами мехатронных и робототехнических устройств.

Третья часть лабораторного практикума будет посвящена исследованию следящих электроприводов на базе персональных аналоговых вычислительных компьютеров АВК-6.

Практикум подготовлен в соответствии с программой курсов «Электромеханические и мехатронные системы», «Приводы роботов», «Системы приводов», «Компьютерные системы управления», «Компьютерное управление мехатронными устройствами».

Предназначен для студентов специальностей 210200 «Автоматизация технологических процессов и производств», 210300 «Роботы и робототехнические системы», 071800 «Мехатроника», 072300 «Лазерная техника и лазерные технологии».

Табл. 5. Ил. 18. Библиогр.: 21 назв.

УДК 621.9

ISBN 5-89368-332-3

© Владимирский государственный
университет, 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Лабораторная работа №1.</i> Исследование компьютерной системы управления электроприводами промышленного робота «Электроника НЦТМ-01».....	4
<i>Лабораторная работа №2.</i> Изучение аналого-цифрового схемотехнического комплекса КСТ-4 для моделирования и исследования электроприводов постоянного тока.....	16
<i>Лабораторная работа №3.</i> Исследование системы автоматического управления двигателем постоянного тока	26
<i>Лабораторная работа №4.</i> Исследование системы автоматического управления двигателем постоянного тока с применением ПК для фиксации и обработки результатов эксперимента	28
<i>Лабораторная работа №5.</i> Исследование цифровой системы автоматического управления двигателем постоянного тока.....	31
<i>Лабораторная работа №6.</i> Исследование мультипроцессорной системы позиционного управления электроприводами промышленного робота РМ-01	33
<i>Лабораторная работа №7.</i> Исследование компьютерной системы позиционно-силового управления промышленным роботом РМ-01 с модулем технического оучувствления «ТОР-Б».....	52
Библиографический список	59

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА «ЭЛЕКТРОНИКА НЦТМ-01»

Цель работы. Ознакомление с конструкцией, принципом действия, структурой и экспериментальное исследование характеристик электрических элементов сервопривода постоянного тока промышленного робота «Электроника НЦТМ-01» с компьютерным управлением.

1. Краткие сведения о роботе «Электроника НЦТМ-01»

Промышленные роботы «Электроника НЦТМ-01» предназначены для обслуживания роботизированных ячеек токарной обработки, являющихся составной частью роботизированных технологических комплексов (РТК). Робот состоит из электромеханического манипулятора и системы управления.

Электромеханический манипулятор имеет пять степеней подвижности и два схвата, расположенных под углом 90° , один настраивается на захват заготовки, другой - детали. Приводы по всем степеням подвижности - электромеханические, привод схвата - пневматический.

Система управления выполнена на базе персонального компьютера типа IBM PC и свободно программируется на заданный цикл манипулирования деталями. Информация о партии деталей, поступающих на обработку, вводится в клавиатуры дисплея или поступает в систему управления от системы управления высшего уровня.

1.1. Техническая характеристика робота

1. Горизонтальное перемещение схватов по оси X - не менее 300 мм со скоростью не менее 50мм/с.
2. Горизонтальное перемещение схватов по оси Y - не менее 300 мм.
3. Вертикальное перемещение схватов по оси Z - не менее 160 мм со скоростью не менее 50 мм/с.
4. Угол поворота схватов в горизонтальной плоскости - 90° .
5. Рабочее перемещение каждого кулачка механизма захвата деталей - не менее 5 мм.
6. Питание от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

7. Роботы «Электроника НЦТМ-01» обеспечивают работу при подаче сжатого воздуха по ГОСТ 17433-80 под давлением $(3,4 - 5,98) \cdot 10^5$ Па.

8. Роботы «Электроника НЦТМ-01» обеспечивают непрерывную работу в автоматическом режиме в течение 50 ч, погрешность позиционирования - не хуже $\pm 0,5$ мм при максимальной производительности не менее 60 цикл/ч.

9. Система управления обеспечивает элементы адаптации к внешней среде:

- режим обучения по первой заготовке;
- прижим заготовки к торцу кулачков патрона станка;
- блокировку работы при наезде на препятствие.

10. Максимальная электрическая мощность - не более 0,85 кВт·А.

11. Номинальная грузоподъемность - 2×3 кг.

1.2. Устройство и работа манипулятора

Манипулятор конструктивно выполнен по модульному принципу, т.е. состоит из узлов, обеспечивающих заданные функции работы робота (рис.1):

A - механизм горизонтального перемещения (вдоль оси *X*);

B - механизм поворота (вокруг оси *Z*);

C - механизм горизонтального перемещения (вдоль оси *X* или *Y* в зависимости от состояния механизма *C*);

D - механизм вертикального перемещения (вдоль оси *Z*);

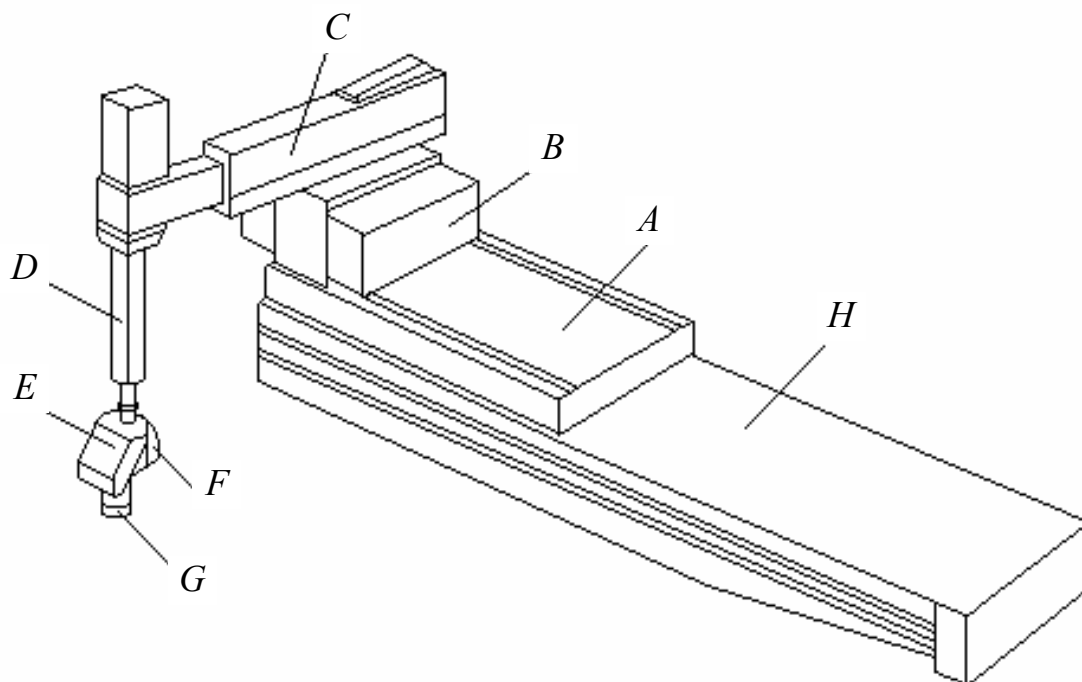


Рис. 1. Исполнительное устройство робота «Электроника НЦТМ-01»

E - механизм поворота (вокруг оси, расположенной под углом 45° к оси *Z*);
F - механизм захватного устройства I;
G - механизм захватного устройства II;
H - основание манипулятора.

Электромеханический манипулятор состоит из следующих основных узлов (рис. 2):

- механизм горизонтального перемещения 1 по оси *X*;
- механизм поворота 2;
- механизм горизонтального перемещения 9 по оси *Y*;
- механизм подъема 13;
- механизм захвата детали 20.

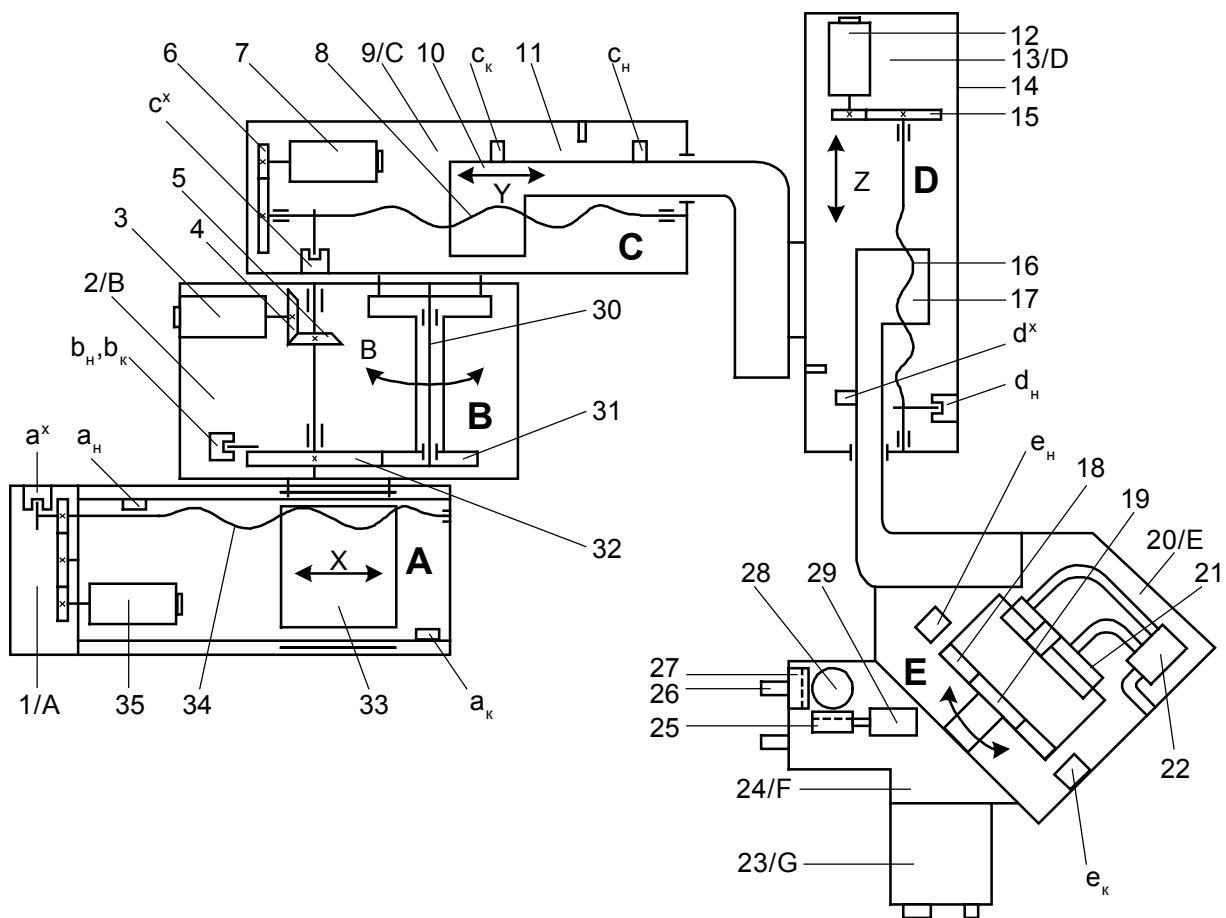


Рис. 2. Кинематическая схема промышленного робота «Электроника НЦТМ-01»

Механизм горизонтального перемещения 1 по оси X (механизм A):

- исполнительный орган - два электродвигателя постоянного тока типа ДПМ-35-Н2-02, напряжение питания - 24 В;
- режим работы – реверсивный;
- управление обеспечивает два уровня скорости;

-торможение динамическое, обеспечиваемое транзисторным ключом, и статическое, обеспечиваемое двумя фрикционными электромагнитными тормозами;

- датчики: датчик начального положения a_n ; датчик конечного положения a_k ; импульсный датчик пути a^x ; дискретность - 0,4 мм/импульс.

Механизм горизонтального перемещения 1 обеспечивает движение каретки 33 от электропривода 35 через шариковинтовую пару 34.

Механизм поворота 2 (механизм В):

- исполнительный орган - электродвигатель постоянного тока типа ДПР-72-Н1-03, напряжение питания - 24 В;

- режим работы – реверсивный;

- управление обеспечивает фиксацию механизма в двух положениях угла поворота: 0 и 90 градусов;

- датчики: датчик положения 0 градусов b_n ; датчик положения 90 градусов b_k .

Механизм поворота 2 закреплен на каретке 33 механизма горизонтального перемещения 1. Поворот стакана 30 осуществляется от электропривода 3 через зубчатые пары 4,5 и 32,31.

Механизм горизонтального перемещения 9 по оси Y (механизм С):

- исполнительный орган - два электродвигателя постоянного тока типа ДПМ-35-Н2-02, напряжение питания - 24 В;

- режим работы – реверсивный;

- управление обеспечивает два уровня скорости;

-торможение динамическое, обеспечиваемое транзисторным ключом, и статическое, обеспечиваемое двумя фрикционными электромагнитными тормозами;

- датчики: датчик начального положения c_n ; датчик конечного положения c_k ; импульсный датчик пути c^x ; дискретность - 0,4 мм/импульс.

Механизм горизонтального перемещения 9 закреплен на верхнем конце стакана 30 механизма поворота 2 и состоит из корпуса 11, в котором расположен ползун 10 с направляющими. Направляющие перемещаются на шарикоподшипниках, расположенных в корпусе 11. Верхние и два боковых подшипника смонтированы на эксцентриковых парах для устранения люфтов между ползуном и опорами качения. Перемещение ползуна осуществляется от электропривода 7, через зубчатую передачу 6 и шариковинтовую пару 8.

Механизм подъема 13 (механизм - D):

- исполнительный орган - два электродвигателя постоянного тока типа

ДПМ-35-Н2-02, ОСТ 160. 515.022-76, напряжение питания - 24 В;

- режим работы - реверсивный;
- управление обеспечивает два уровня скорости;
- торможение: динамическое, обеспечиваемое транзисторным ключом, и статическое, обеспечиваемое двумя фрикционными электромагнитными тормозами;
- датчики: датчик исходного положения d_n ; импульсный датчик пути d^x ; дискретность - 0,4 мм/импульс.

Механизм подъема 13 закреплен на переднем конце ползуна 10 механизма горизонтального перемещения 9 и состоит из корпуса 14 цилиндрической формы, в котором расположена штанга 17, перемещающаяся в шариковой втулке, закрепленной на нижнем конце механизма подъема.

Вертикальное перемещение штанги осуществляется от привода 12 через зубчатую передачу 15 и шариковинтовую пару 16.

Устройство ротации схватов 20 (механизм E):

- исполнительный орган - пневмоцилиндр 21, управляемый электропневматическим распределителем 22, напряжение - 24 В;
- скорость поворота регулируется дросселями;
- датчики: датчик начального положения e_n ; датчик конечного положения e_k ;

Механизм захвата детали состоит из двух схватов 23, 24 (F, G), которые имеют исполнительные органы - пневмоцилиндры 29, управляемые электропневматическим распределителем, напряжение - 24 В.

Механизм захвата детали закреплен на нижнем конце штанги механизма подъема 13 и состоит из схватов 23, 24, расположенных под углом 90° в подвижном корпусе. Ротация подвижного корпуса 20 происходит вокруг оси, расположенной под углом 45° к вертикальной оси штанги 17. Угол ротации схватов регулируется подвижными упорами, которые фиксируются после регулировки винтами. Скорость поворота регулируется дросселями.

Ротация осуществляется пневмоцилиндром 21 через зубчатую рейку 18 и зубчатое колесо 19. Каждый из схватов 23, 24 снабжен тремя подвижными кулачками 26, закрепленными на ползунах 27 с зубчатыми рейками. Перемещение кулачков 26 осуществляется от пневмоцилиндра 29, шток которого через червяк 25 и червячное колесо 28 связан с зубчатыми рейками ползуна 27.

Блок подготовки воздуха предназначен для очистки, насыщения парами масла и регулирования давления, поступающего из магистрали сжатого воздуха. Для очистки воздуха применяется фильтр - влагоочиститель (22-12×40

ГОСТ 17437-72), для насыщения сжатого воздуха парами масла - маслораспылитель (В44-13 ТУ2-053-1316-77), для регулирования давления сжатого воздуха - регулятор давления (БВ57-13 ТУ2-053-126-75). Для визуального наблюдения за величиной давления сжатого воздуха служит манометр (МТ-1-10 ТУ25-02-72-75).

Вся пневмоаппаратура смонтирована на металлическом каркасе и соединена между собой трубопроводом.

1.3. Устройство системы управления

Система управления состоит:

- из блока управления;
- компьютерной управляющей системы.

Блок управления (рис. 3) содержит:

- блок трансформаторов 1;
- ячейку стабилизации 2;
- ячейки инвертирования 3; 4; 5;
- коммутатор 6;
- транзисторные ключи 7, 8, 9, 10;
- ячейки усилителей 11, 12, 13;
- шасси 14.

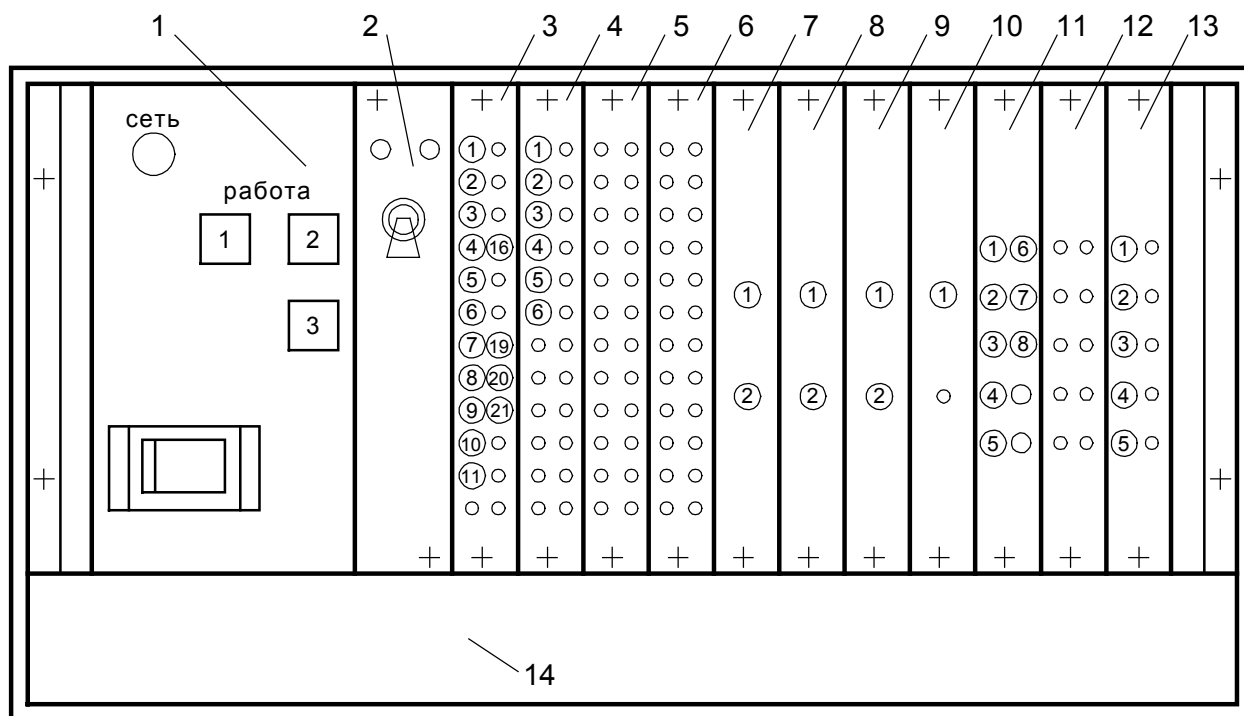


Рис. 3. Блок управления роботом «Электроника НЦТМ-01»

Блок трансформаторов предназначен для подачи сетевого напряжения. При подключении к сети загорается лампа СЕТЬ. При включении автоматического выключателя А-63МГУЗ подается напряжение 220 В на обмотки пускателей схемы защиты от внезапного исчезновения напряжения и разъем питания ПК.

Кнопкой РАБОТА 1 подается напряжение переменного тока 10В на ячейку стабилизации 2 и включается вентилятор. Кнопкой РАБОТА 2 подается напряжение постоянного тока 15 В и 24 В на схему управления. Кнопкой 3 снимается напряжение переменного тока 10 В, постоянного тока 15 В и 24 В.

Индикация информационных и управляющих сигналов на лицевой панели блока управления приведена в табл. 1.

Таблица 1

Состав блока индикации

Номер позиции (ячейки)	Номер индикатора	Наименование сигнала
3	1	Датчик a_n
	2	Датчик a_k
	3	Датчик a^x (счетный)
	4	Датчик c_n
	5	Датчик c_k
	6	Датчик c^x (счетный)
	7	Датчик d_n
	8	Датчик d^x (счетный)
	9	Датчик b_n
	10	Датчик b_k
	11	Датчик l_n
	16	Датчик l_k
	19	Сигнал от станка - патрон зажат
	20	Сигнал от станка - патрон разжат
	21	Сигнал от станка - конец обработки
4	1	D_n (вниз)
	2	D_o (вверх)
	3	C_n (вперед)
	4	C_o (назад)
	5	A_n (влево)
	6	A_o (вправо)
7	1	Перегрузка 1 двигателя механизма А
	2	Перегрузка 2 двигателя механизма А

Номер позиции (ячейки)	Номер индикатора	Наименование сигнала
8	1	Перегрузка 1 двигателя механизма <i>C</i>
	2	Перегрузка 2 двигателя механизма <i>C</i>
9	1	Перегрузка 1 двигателя механизма <i>D</i>
	2	Перегрузка 2 двигателя механизма <i>D</i>
10	1	Перегрузка механизма <i>B</i>
11	1	Схват заготовки зажать
	2	Схват заготовки разжать
	3	Схват детали зажать
	4	Схват детали разжать
	5	Ротация схватов (деталь горизонтальна) E_o
	6	Ротация схватов (деталь вертикальна) E_{II}
	7	<i>D</i> (тормоз)
	8	<i>C</i> (тормоз)
13	1	Команда станку “Деталь зажать”
	2	Команда станку “Деталь разжать”
	3	Команда станку “Пуск программы”
	4	Команда станку “Пуск шпинделя”
	5	Ответ станка

Компьютерная управляющая система

Состав компьютерной управляющей вычислительной системы на базе ПК *IBM PC* показан на рис. 4. Для организации взаимодействия ПК с блоком управления роботом используется шестнадцатиканальный блок связи, обеспечивающий приём/передачу 16-битных кодов.

Управление исполнительными приводами манипулятора осуществляется дискретными командами на включение/выключение соответствующих двигателей координат. Кодирование управляющей информации представлено в табл. 2. Адрес устройства ввода/вывода – &H320.

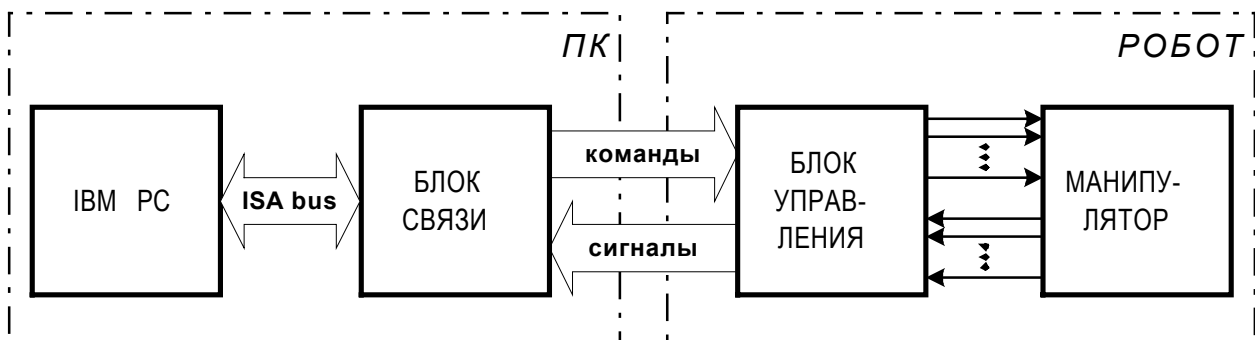


Рис. 4. Структурная схема системы управления

Коды команд управления манипулятором

Координата	Код	Направление движения	Скорость
<i>X (A)</i>	<i>FFCF</i>	→	Быстрая
	<i>FFAF</i>	←	Быстрая
	<i>FFDF</i>	→	Медленная
	<i>FFBF</i>	←	Медленная
<i>R (B)</i>	<i>FFFE</i>	↻	–
	<i>FEFF</i>	↺	–
<i>Y (C)</i>	<i>F3FF</i>	↗	Быстрая
	<i>F5FF</i>	↘	Быстрая
	<i>FBFF</i>	↗	Медленная
	<i>FDFE</i>	↘	Медленная
<i>Z (D)</i>	<i>FFF5</i>	↓	Быстрая
	<i>FFF9</i>	↑	Быстрая
	<i>FFFB</i>	↓	Медленная
	<i>FFF7</i>	↑	Медленная

1.4. Описание стенда и методика измерений

Стенд состоит из робота “Электроника НЦТМ-01” (в состав робота входят манипулятор, блок управления, персональный компьютер; манипулятор робота установлен на имитаторе токарного станка), коммутатора информационных сигналов и измерительного комплекса, в который входят осциллограф и частотомер.

Схема лабораторной установки представлена на рис.5.

Коммутатор осуществляет подключения соответствующих двигателей и датчиков к осциллографу и частотомеру. С помощью галетного переключателя ПРИВОД выбирается необходимый привод. Переключатель ДВИГАТЕЛЬ подключает к осциллографу двигатель в прямом и обратном направлениях движения. Переключатель ДАТЧИК подключает к осциллографу и частотомеру соответствующие датчики: Д_п- датчик перемещений; Д_н- датчик начала; Д_к- датчик конца. Выходы с датчиков начала и конца движения позволяют осуществлять автоматический пуск и остановку счета частотомера.

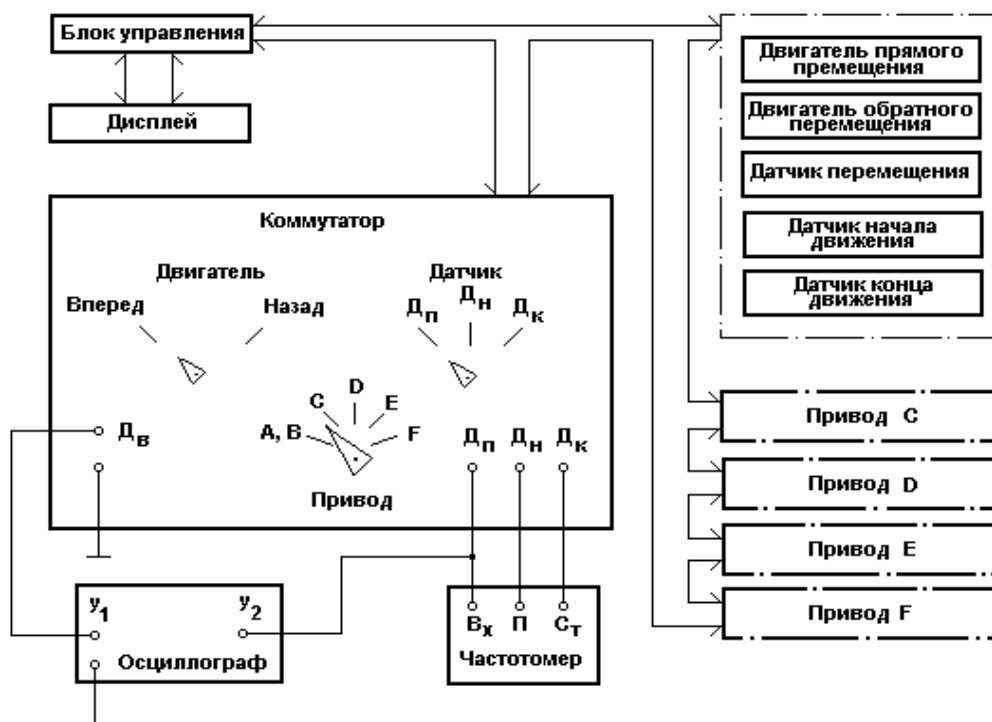


Рис. 5. Схема лабораторной установки

Для определения характеристик исполнительных элементов электроприводов следует использовать режим ручного управления. В этом режиме активация движения манипулятора осуществляется с клавиатуры ПК путем записи по адресу &H320 соответствующих шестнадцатеричных чисел – кодов управления. Перемещение возможно только по одной координате в выбранном направлении.

Электрическая постоянная времени исполнительного механизма определяется по переходной характеристике якоря двигателя:

$$T_{\text{э}} = U_{\text{уст}} / \text{tg} \alpha ,$$

где $U_{\text{уст}}$ - установившееся значение напряжения; $\text{tg} \alpha$ - тангенс угла наклона касательной к переходной характеристике в нулевой точке.

Электромеханическая постоянная времени определяется по переходной характеристике скорости исполнительного механизма. Скорость замеряется частотомером или считывается с изображения на экране осциллографа по сигналу с выхода цифрового датчика скорости:

$$T_{\text{эм}} = v_{\text{уст}} / \text{tg} \alpha_1 ,$$

где $v_{\text{уст}}$ - установившееся значение скорости;

$\text{tg} \alpha_1$ - тангенс угла наклона касательной к переходной характеристике в нулевой точке.

Крутизна статической характеристики датчика определяется соотношением

$$s = N/l,$$

где N - число импульсов, поступающих с цифрового датчика при перемещении механизма на расстояние l .

Скорость перемещения механизма определяется соотношением

$$v = L/t,$$

где L - расстояние, пройденное механизмом от одного концевого датчика до другого; t - время, за которое механизм проходит расстояние L .

Время t определяется по частотомеру, работающему в режиме измерения времени. Запуск частотомера осуществляется по сигналу с датчика начала, а останов - по сигналу с датчика конца.

*Программа ручного управления
(язык программирования – СИ)*

```

#include <conio,h>
#include <doc.h>
#define ADR 0x320
void main (void)
{
char ch;
outport (0 x 320, 0 x FFFF );
do
{
ch=getch( );
switch(ch)
{
case 'a' : outport (0 x 320, 0 x FFBF ); break ;
case 'd' : outport (0 x 320, 0 x FFDF ); break ;
case 'w' : outport (0 x 320, 0 x FDFF ); break ;
case 'x' : outport (0 x 320, 0 x FBFF ); break ;
case 'f' : outport (0 x 320, 0 x FFFB ); break ;
case 'c' : outport (0 x 320, 0 x FFF7 ); break ;
case 's' : outport (0 x 320, 0 x FFFF ); break ;
case 'o' : outport (0 x 320, 0 x FEFF ); break ;
case 'p' : outport (0 x 320, 0 x FFFE ); break ;
case 'A' : outport (0 x 320, 0 x FFAF ); break ;
case 'D' : outport (0 x 320, 0 x FFCF ); break ;
case 'W' : outport (0 x 320, 0 x F5FF ); break ;
case 'X' : outport (0 x 320, 0 x F3FF ); break ;
case 'F' : outport (0 x 320, 0 x FFF5 ); break ;
case 'C' : outport (0 x 320, 0 x FFF9 ); break ;
case 'S' : outport (0 x 320, 0 x FFFF ); break ;
case 'O' : outport (0 x 320, 0 x FEFF ); break ;
case 'P' : outport (0 x 320, 0 x FFFE ); break ;
}
}
while (ch!='q');
outport ( 0 x 320, 0 x FFFF );

```

2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и паспортными данными промышленного робота «Электроника НЦТМ-01».
2. Набрать и запустить программу управления роботом в ручном режиме.
3. Определить электрическую и электромеханическую постоянные времени исполнительного механизма приводов A , C и D (по заданию преподавателя).
4. Определить крутизну статической характеристики датчиков положения приводов A , C и D (по заданию преподавателя).
5. Определить скорость перемещения механизмов A , C и D (по заданию преподавателя) в режимах малой и большой скоростей.
6. Выполнить анализ полученных результатов, сделать выводы.

3. Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки.
2. Таблицы с результатами эксперимента.
3. Осциллограммы и графики экспериментальных характеристик.
4. Расчетные характеристики (согласно заданию).
5. Анализ результатов и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Каково назначение промышленного робота «Электроника НЦТМ-01»?
2. Какого типа двигатели использованы в приводах робота?
3. Какие датчики используются в роботе «Электроника НЦТМ-01»?
4. Как определяются электрическая и электромеханическая постоянные времени исполнительного механизма?
5. От чего зависят электрическая и электромеханическая постоянные времени исполнительного механизма?
6. Какой вид имеет статическая характеристика датчиков положения робота?
7. По какому закону осуществляется управление двигателями в роботе «Электроника НЦТМ-01»?

Лабораторная работа №2

ИЗУЧЕНИЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КСТ-4 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы. Ознакомление с конструкцией, принципом действия, способами формирования управляющих воздействий, методикой моделирования и исследования схемотехнических устройств электроприводов постоянного тока.

1. Комплекс схемотехнический КСТ-4

Комплекс КСТ-4 может использоваться автономно, совместно с ЭВМ (типа IBM PC) и с внешними устройствами. В автономном режиме реализуется аналоговое моделирование схемотехнических устройств с применением встроенных усилительных, преобразовательных, силовых и измерительных устройств. ЭВМ может работать в управляющем и регистрирующем режимах с применением специализированного программного обеспечения (программа ANSYS). В качестве внешнего устройства может использоваться реальный физический объект, имеющий аналоговый вход. При этом объект должен подключаться к клеммам на передней панели комплекса, выведенным параллельно нагрузке. Сигнал обратной связи, снимаемый с датчика объекта, может подаваться на входной сумматор, а также измеряться вольтметром и вводиться через АЦП в ЭВМ.

1.1. Состав комплекса

Комплекс содержит:

- панель управления для задания структурных связей моделируемого устройства;
- плату устройства связи с объектом (УСО);
- плату цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей (ЦАП и АЦП);
- набор аналоговых функциональных элементов.

Панель управления служит для задания структурных связей и параметров комплекса.

Панель управления (рис. 6) содержит следующие группы органов индикации и управления:

- переключатели, потенциометры и кнопки, с помощью которых задаются структура и параметры исследуемого электронного устройства;

- светодиоды индикации цифрового кода цифро-аналогового преобразователя, входящего в состав платы ЦАП и АЦП;

- средства измерения и индикации (вольтметр с переключателем входа, переключатель входа внешнего осциллографа, светодиоды индикации полярности сигнала, измеряемого вольтметром, измеритель тока).

При пользовании органами управления следует руководствоваться следующими общими правилами:

- соединение связей производится установкой соответствующих тумблеров в верхнее положение или установкой "ключиков" переключателей в сторону замыкания линии;

- увеличению коэффициентов передачи потенциометров соответствует вращение их ручек по часовой стрелке;

- контролируемые потенциометры снабжены кнопками, при нажатии на которые коэффициент передачи индицируется вольтметром

Элементы, представленные на лицевой панели, имеют следующие номинальные значения:

$R1 = 8,2 \text{ кОм};$	$R2 = 100 \text{ кОм};$	$R3 = 1 \text{ МОм};$	$C_{и} = 1 \text{ мкФ};$
$R4 = 25 \text{ кОм};$	$R5 = 1,1 \text{ МОм};$	$R6 = 1 \text{ МОм};$	$C_{во} = 50 \text{ мкФ};$
$R7 = 51 \text{ кОм};$	$R8 = 1 \text{ МОм};$	$R9 = 51 \text{ кОм};$	$C_{вд} = 2000 \text{ мкФ};$
$R10 = 51 \text{ кОм};$	$R11 = 102 \text{ кОм};$	$R_{но} = 1 \text{ кОм};$	$C_{ф} = 50 \text{ мкФ};$

$R_{нд} = 255 \text{ Ом}.$

Плата УСО совместно с платой ЦАП и АЦП обеспечивает связь комплекса с ПК при установке платы в свободный слот компьютера.

В УСО использован программно-управляемый ввод-вывод с условной передачей. При такой передаче до начала цикла обмена данными с ЭВМ осуществляется передача информации о состоянии УСО.

ЭВМ непрерывно анализирует эту информацию. По окончании преобразования аналогового входного сигнала в цифровой код АЦП выдает стробирующий импульс, поступающий на триггер УСО, что говорит о готовности УСО к циклу обмена данными с ЭВМ. Данные от ЭВМ поступают в восьмиразрядный параллельный регистр, состояние которого высвечивается линейкой светодиодов на лицевой панели КСТ. Фиксирование данных от ЭВМ в регистре происходит при появлении управляющего сигнала с дешифратора адреса. Выходной сигнал регистра поступает на вход ЦАП, где преобразуется в аналоговый сигнал задающего воздействия. ЦАП имеет смещенную статическую характеристику, позволяющую обойтись без знакового разряда. Нулевому значению цифрового кода соответствует выходной сигнал ЦАП, равный

- 10 В. Значению 127 соответствует нулевой выходной сигнал ЦАП, значению 255 - сигнал + 10 В.

Вход АЦП может быть подключен к выходу комплекса или к любой промежуточной точке моделируемой схемы посредством переключателя вольтметра. В аналого-цифровом преобразователе производится преобразование аналогового сигнала управляемой величины в восьмиразрядный цифровой код, поступающий затем в ЭВМ. АЦП имеет смещенную статическую характеристику, обратную по отношению к характеристике ЦАП.

Для согласования УСО с шиной ЭВМ предусмотрены шинный формирователь и буфер.

Плата функциональных аналоговых элементов включает в себя:

- задающее устройство;
- аналоговые сумматоры, реализованные на операционных усилителях $DA1, DA3$;
- интегрирующий элемент ($DA2$);
- функциональный генератор;
- переключаемый усилительно- нелинейный элемент ($DA4$);
- двуполярный усилитель мощности;
- выходной LC фильтр;
- нагрузочные резисторы $R_{но}, R_{нд}$;
- вольтметр;
- измеритель тока нагрузки.

Задающее устройство позволяет формировать двуполярный постоянный входной сигнал регулируемой амплитуды, принимать входной сигнал от ЦАП или подавать на вход комплекса сигналы, генерируемые внешними источниками сигналов. Амплитуда задающего воздействия $U_{вх}$ регулируется потенциометром $K_{вх}$ и устанавливается при подключении вольтметра к точке $U_{вх}$.

Аналоговые сумматоры, реализованные на операционных усилителях $DA1, DA3$, и интегрирующий элемент ($DA2$) позволяют реализовать регуляторы с пропорциональным и пропорционально-интегральным законами управления.

Функциональный генератор вырабатывает сигналы треугольной и синусоидальной формы в частотном диапазоне не уже 10 - 30000 Гц. Амплитуды сигналов имеют независимую регулировку.

Переключаемый усилительно-нелинейный элемент позволяет усиливать сигнал, коэффициент усиления устанавливается регулировкой K_y в верхнем

положении тумблера местной обратной связи элемента или реализовать гистерезисную характеристику с регулируемой шириной петли гистерезиса (устанавливается регулировкой K_y в нижнем положении тумблера местной обратной связи элемента).

Двуполярный усилитель мощности содержит комплементарную пару транзисторов с управляемыми генераторами тока и источником смещающего напряжения $U_{см}$. Нагрузка усилителя мощности может носить комплексный резистивно-индуктивно-емкостной характер и определяется положением тумблеров на панели управления.

Вольтметр с электронным переключением полярности позволяет измерять сигналы амплитудой до 10 В (что соответствует отклонению стрелки на полную шкалу). Следует иметь в виду, что показания вольтметра, присоединенного к контрольным точкам $U_{н}, +E_{в}, -E_{в}$, следует умножать на 3.

Измеритель тока нагрузки (как внутренней, так и внешней) преобразует токовый сигнал в пропорциональный ему сигнал напряжения. 10 В выходного напряжения измерителя тока соответствуют 200 мА тока нагрузки.

1.2. Устройство и работа комплекса

Комплекс КСТ-4 совместно со стендом для исследования системы автоматического управления двигателем постоянного тока (ДПТ) может работать в автономном режиме и режиме аналого-цифрового моделирования.

При работе в автономном режиме производится моделирование систем управления электроприводом с двигателем постоянного тока при использовании встроенных усилительных, преобразовательных, силовых и измерительных элементов КСТ-4. Задание структуры и параметров при моделировании осуществляется тумблерами, переключателями и потенциометрами на панели управления КСТ-4.

При аналого-цифровом моделировании компьютер может работать в управляющем и регистрирующем режимах с применением специализированного программного обеспечения (ANSYS). Ввод информации в компьютер может осуществляться как с выхода моделируемого привода, так и с промежуточных контрольных точек КСТ-4.

Стенд должен подключаться к клеммам на передней панели КСТ-4, выведенным параллельно нагрузке. Сигнал обратной связи по скорости или положению подается на входной сумматор КСТ-4 или измеряется вольтметром и вводится через АЦП в компьютер.

Панель управления стенда для исследования электропривода служит

для задания вида объекта и его структурных связей и содержит:

- наглядную кинематическую схему электропривода с двигателем постоянного тока и органами управления, позволяющими изменять его структуру и параметры (рис.7,а)

- мнемосхему устройства, включающую переключатель и потенциометр, с помощью которых задаются структура и параметры исследуемого устройства (рис. 7,б).

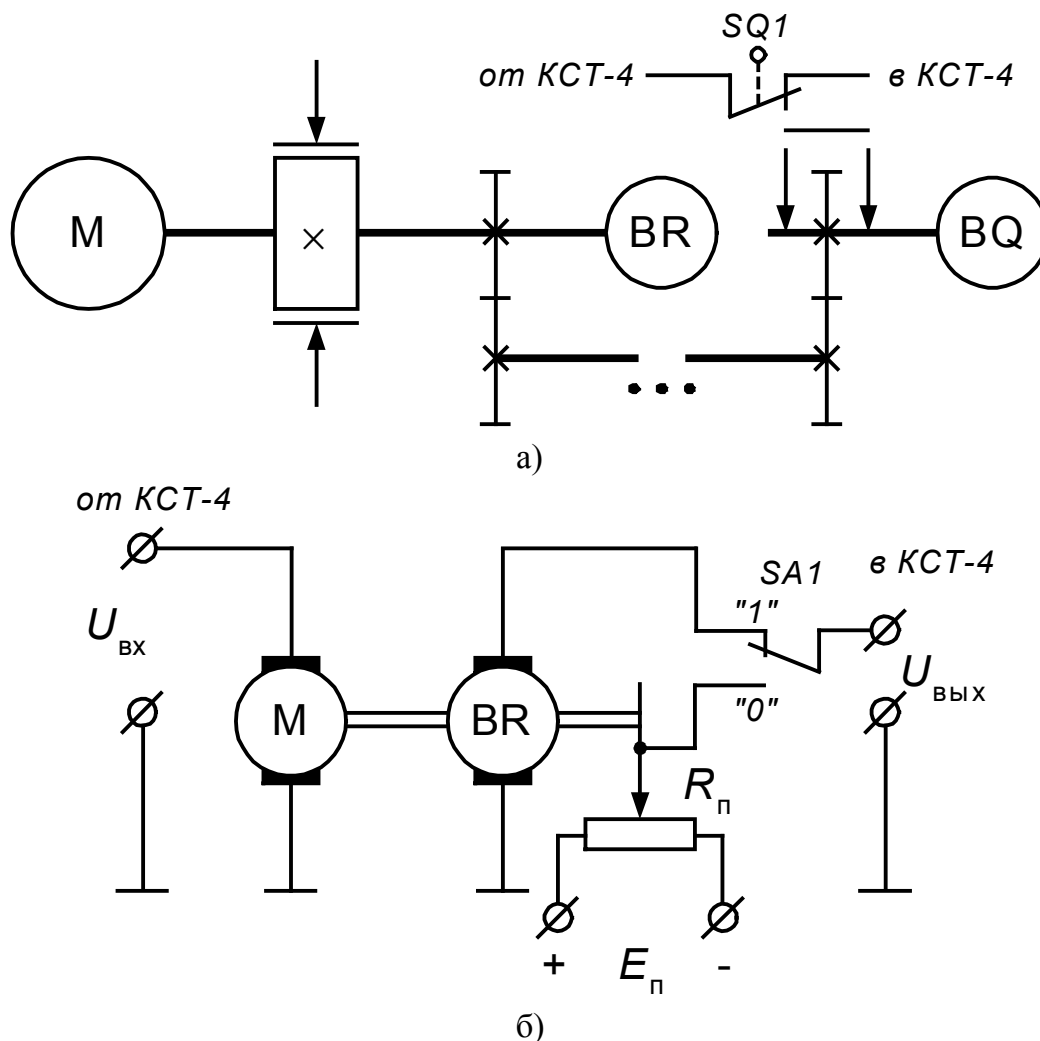


Рис. 7. Панель стенда для исследования электропривода:
а) кинематическая схема; б) мнемосхема.

Установка режимов работы электропривода производится переключателем SA1: «0» – режим позиционирования; «1» – режим управления скоростью.

Моделирование привода может быть реализовано в двух режимах: позиционирования и управления скоростью.

В первом случае выходным сигналом является сигнал, снимаемый с потенциометра $R_{п}$. Подсоединение потенциометра к кинематике привода осуще-

ствляется механически посредством фиксатора. Крайние положения потенциометра $R_{\text{п}}$ воспринимаются концевыми датчиками. Их срабатывание приводит к блокировке двигателя. Разблокирование происходит при подаче на вход системы управления напряжения противоположной полярности. Нагрузка на электропривод изменяется с помощью регулятора усилия.

Нагружение двигателя осуществляется за счет силы трения, возникающей между поверхностями тормозной муфты, расположенной на валу двигателя.

Во втором случае в режиме управления скоростью выходным сигналом стенда является сигнал тахогенератора. Нагружение привода осуществляется описанным выше способом. Потенциометр $R_{\text{п}}$ должен быть выведен из зацепления с приводом посредством фиксатора.

1.3. Методика измерения физических величин с помощью КСТ-4 при экспериментах с реальным объектом

Схемотехнический комплекс позволяет измерять и фиксировать в ОЗУ ЭВМ следующие физические величины:

1. Напряжение управляющего воздействия $U_{\text{н}}$, подаваемое на объект управления.
2. Ток, протекающий через исполнительный элемент объекта.
3. Сигнал, снимаемый с измерительного устройства объекта.

Возможно совмещение тока, напряжения и сигнала обратной связи на одном графике, что позволяет наглядно представить исследуемый процесс. Однако зафиксировать выходные переменные в одном эксперименте нельзя, так как комплекс имеет только один АЦП. Поэтому данные переменные фиксируются при наблюдении двух переходных процессов. При этом должна быть обеспечена повторяемость переходных процессов при постоянных начальных условиях и параметрах объекта управления.

Для реализации эксперимента по изучению параметров объекта управления следует настроить управляющую программу (ANSYS) и аппаратную часть комплекса КСТ-4 так, чтобы изменению задающего воздействия по одному из восьми вариантов (см. режим 4 программы ANSYS) соответствовало изменение управляющего воздействия, подаваемого на реальный объект управления. При этом необходимо обеспечить линейность преобразования цифрового кода в напряжение управляющего воздействия, а также необходимый коэффициент преобразования. В данном эксперименте код управляющего воздействия должен быть равен коду задающего воздействия. Для этого в

режиме 3 программы следует указать следующие значения коэффициентов алгоритма управления:

$$\begin{array}{lll} B0 = 1; & A1 = 0; & R0 = 0; \\ B1 = 0; & A2 = 0; & R1 = 0. \\ B2 = 0; & & \end{array}$$

При этом алгоритм управления будет представлен пропорциональным звеном с единичным коэффициентом передачи.

Коммутация функциональных элементов производится в соответствии с рис. 6. Необходимо задать следующие значения коэффициентов передачи:

$$\begin{array}{ll} K_{\text{вх}} = 1 ; & K_{\text{п}} = 0,1 ; \\ K_{\text{у}} = 0,1 ; & K_{\text{ос}} = 1 \end{array}$$

При этом суммарный коэффициент передачи цифровой и аналоговой частей комплекса, приведенный к внутренней программной переменной управляющего воздействия U , будет равен 20 В. Это означает, что при $U= 1$ на объект будет подаваться сигнал + 20 В, при $U= -1$ - сигнал - 20 В. Выполнение данного условия следует проконтролировать в режиме 7 программы (тест аппаратуры САУ), наблюдая с помощью встроенного вольтметра напряжение на нагрузке. При необходимости суммарный коэффициент передачи может быть подстроен или изменен с помощью потенциометра $K_{\text{ос}}$.

Для поочередного измерения тока нагрузки $I_{\text{н}}$ и управляемой величины Y следует два раза вызвать режим 8 (рабочий режим). В первом запуске необходимо задать директиву 1 (измерение тока нагрузки), предварительно подключив вход АЦП к выходу измерителя тока. Затем, подключив вход АЦП к вольтметру и установив переключатель вольтметра в положение измерения внешнего сигнала, сделать второй запуск. При этом необходимо задать в программе директиву 0 (измерение управляемой величины). После выполнения данных операций можно пронаблюдать графики и таблицы измеряемых величин. Следует иметь в виду, что график изменения тока нагрузки будет постоянно зафиксирован и может обновиться только при соответствующем запуске рабочего режима программы по директиве 1.

Для наблюдения физических величин в требуемом масштабе следует выполнить калибровку измерительного канала.

При калибровке учитываются коэффициенты передачи аналого-цифрового преобразователя (АЦП) потенциометра, включенного на его входе, коэффициент передачи измерителя тока, а также суммарный коэффициент передачи тракта измерения физической управляемой величины (например, час-

тоты вращения электропривода), куда входят коэффициент передачи датчика, передаточной цепи, связывающей его с объектом управления и нормирующего усилителя.

Основное допущение, принятое при калибровке, – предположение, что ЦАП, АЦП и измерительные усилители обладают линейными характеристиками с ограничением минимального и максимального уровней аналоговых сигналов. ЦАП и АЦП имеют по 8 двоичных разрядов. При максимальном значении цифрового кода, равном 255, на выходе ЦАП формируется напряжение + 10 В. При нулевом значении кода выходное напряжение отрицательно и равно - 10 В. Нулевому выходному напряжению соответствует цифровой код 127. Коэффициент преобразования АЦП регулируется с помощью потенциометра. Кроме того, могут регулироваться коэффициенты передачи других элементов, входящих в систему управления.

Операции калибровки производятся в режиме 9 программы ANSYS (обработка результатов эксперимента). Задав директиву «Ввод поправочных коэффициентов», можно пронаблюдать максимальные и минимальные значения результатов измерения напряжения управляющего воздействия, тока нагрузки и измеряемой физической величины, приведенных к диапазону измерения внутренних программных переменных от -1 до +1. Учитывая данные значения, следует ввести величины поправочных коэффициентов, позволяющие получить график и таблицы данных величин в удобном для наблюдения масштабе. Оцифровка графиков может относиться только к одной переменной Y . В исходном состоянии отметки на оси ординат соответствуют диапазону изменения программных переменных от -1 до +1. В случае, если для переменной Y будет введен поправочный коэффициент, отличный от единицы, то оцифровка графика автоматически изменится.

Поправочный коэффициент для измерения тока определяется следующим образом. Устанавливается напряжение на нагрузке, равное +20 В и подключается нагрузочный резистор $R_{нд}$, величина которого 255 Ом. Тогда величина тока, протекающего через измеритель тока, будет 78 мА.

Коэффициент передачи измерителя тока приблизительно равен 50 В/А. Поэтому на его выходе должно установиться напряжение 3,92 В. Это напряжение, пройдя через АЦП, должно преобразоваться в цифровой код. Коэффициент передачи входного потенциометра АЦП должен быть установлен в крайнее правое положение. Запустив режим 8 программы и указав директиву измерения тока, следует получить результаты измерения, зафиксированные в ЭВМ. В программе в режиме 9 обработки результатов эксперимента в дирек-

тиве 8 можно подобрать поправочный коэффициент, при котором будет индицироваться значение тока 0,078 А.

Подобным же образом определяется поправочный коэффициент и для измерения величины Y . Подав максимально возможное управляющее воздействие на объект управления, следует подключить вольтметр к гнезду ввода измеряемого сигнала, а вход АЦП – к вольтметру. Запустив режим 8 программы и указав директиву измерения управляемой величины Y , следует определить ее установившееся значение.

2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и составом комплекса КСТ-4 и стендом для исследования электропривода.
2. Ознакомиться с программой ANSYS и режимами её работы.
3. Настроить управляющую программу ANSYS в режиме 4.
4. Настроить в режиме 7 программы (тест аппаратуры САУ) суммарный коэффициент передачи системы.
5. Провести калибровку измерительного канала в режиме 9 программы (обработка результатов эксперимента).
6. Выполнить анализ полученных результатов, сделать выводы.

3. Содержание отчета

1. Схема комплекса КСТ-4 и исследовательского стенда.
2. Таблицы установленных коэффициентов системы.
3. Графики экспериментальных характеристик.
4. Анализ результатов и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Каково назначение комплекса КСТ-4?
2. Какого типа электропривод используется при исследованиях?
3. В каких режимах выполняется моделирование исследуемого электропривода?
4. Какие функции имеет программа ANSYS?
5. Как производится настройка управляющей программы?
6. Как выполняется калибровка измерительного канала?
7. Какой вид имеет статическая характеристика измерительного канала?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы. Изучение методов наблюдения сигналов в системе управления реальными объектами с аналоговым пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором. Изучение методов настройки пропорционально-интегрального регулятора.

1. Методика выполнения работы

1. Для выполнения лабораторной работы на схмотехническом комплексе КСТ-4 должна быть реализована схема стенда (см. рис. 6) по методике, изложенной в лабораторной работе № 2.

Устанавливаются следующие исходные значения коэффициентов:

$$\begin{aligned} K_{\text{вх}} &= 1; & K_{\text{ос}} &= 0,66; & K_{\text{и}} &= 0,5; \\ K_{\text{п}} &= 0,1; & K_{\text{у}} &= 0,1. \end{aligned}$$

Сигнал $U_{\text{н}}$ подается на вход лабораторного стенда. Выходной сигнал комплекса подключается к точке ввода сигнала обратной связи через резистор $R2$. Тумблер в цепи данного резистора должен быть разомкнут (отключена локальная обратная связь комплекса КСТ-4). Задающее воздействие должно поступать через резистор $R1$.

2. Переключатель выходного сигнала стенда следует поставить в верхнее положение (сигнал обратной связи снимается с тахогенератора).

3. Тумблер в цепи резистора $R5$ КСТ-4 следует поставить в нижнее положение (интегрирующий элемент отключен). Устойчивость системы управления анализируется, когда все ее элементы работают на линейных участках своих статических характеристик. Для операционных усилителей это соответствует диапазону изменения выходных сигналов от -10 В до $+10$ В. Для электродвигателя - участку от $+10$ В до $+25$ В. Положение рабочей точки на статической характеристике задается напряжением задающего воздействия $U_{\text{в}}$. Изменение суммарного коэффициента передачи осуществляется подстройкой потенциометров $K_{\text{п}}$ и $K_{\text{ос}}$. В области неустойчивого режима работы скорость электродвигателя будет изменяться периодически при постоянных значениях параметров системы и задающем воздействии.

4. Установившаяся ошибка управления определяется для нескольких значений суммарного коэффициента передачи, при котором сохраняется устойчивый режим работы.

5. Переход к пропорционально-интегральному алгоритму управления осуществляется подключением интегрирующего элемента (тумблер в цепи $R5$ КСТ-4 переводится в верхнее положение). При подключении следует сохранить регулировки, соответствующие устойчивому режиму работы пропорционального регулятора. Положительным эффектом ввода интегрирующего элемента является существенное уменьшение установившейся ошибки (выходной сигнал операционного усилителя $DA1$). Однако при этом может произойти потеря устойчивости системы. Подбором коэффициента передачи $K_{\text{и}}$ КСТ-4 следует добиться восстановления устойчивого режима работы. Подбор следует производить малыми шагами с интервалом времени, необходимым для реализации переходных процессов в приводе. Граничные значения коэффициентов определяются в момент потери устойчивости.

6. Оптимальные значения регулировок определяются по времени переходного процесса путем варьирования значений $K_{\text{п}}$ и $K_{\text{и}}$ КСТ-4. Переходный процесс наблюдается с помощью осциллографа по сигналу обратной связи (выход тахогенератора).

2. Порядок выполнения работы

1. Собрать и отрегулировать аналоговую систему автоматического управления скоростью электропривода с пропорциональным регулятором.

2. Определить граничное значение суммарного коэффициента передачи управляющего устройства, при котором сохраняется устойчивость.

3. Определить установившуюся ошибку управления, рассмотреть характер ее изменения при варьировании суммарного коэффициента передачи.

4. Задать пропорционально-интегральный алгоритм управления скоростью. Определить граничные значения регулировок, при которых сохраняется устойчивость системы.

5. Определить оптимальные значения регулировок пропорционально-интегрального регулятора, исходя из критерия минимизации времени переходного процесса.

7. Объяснить полученные результаты.

3. Содержание отчета

1. Схема аналоговой системы управления скоростью с пропорциональным регулятором.

2. Графики переходных характеристик системы при различных значениях суммарного коэффициента передачи управляющего устройства.

3. Графики изменения ошибки управления при варьировании суммарного коэффициента передачи.

4. Схема аналоговой системы управления скоростью с пропорционально-интегральным регулятором.

5. Графики переходных характеристик системы при различных значениях коэффициентов $K_{п}$ и $K_{и}$.

6. Анализ результатов и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Какие алгоритмы управления электроприводом вы знаете?

2. Каковы особенности пропорционального алгоритма управления?

3. Каковы особенности пропорционально-интегрального алгоритма управления?

4. Как влияет изменение суммарного коэффициента передачи управляющего устройства на устойчивость системы?

5. Как зависит время переходного процесса в системе от значений коэффициентов $K_{п}$ и $K_{и}$?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПК ДЛЯ ФИКСИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель работы. Изучение методов наблюдения переходных процессов в системе автоматического управления с использованием персонального компьютера.

1. Методика выполнения работы

1. Аппаратная часть комплекса собирается и регулируется аналогично методике, изложенной в лабораторных работах № 2, 3. В отличие от предыдущей работы следует установить переключатель сигнала задающего воздействия в верхнее положение, подключив выход ЦАП к входу потенциометра $K_{вх}$ КСТ-4. Вход АЦП следует подключить к вольтметру. Переключатель вольтметра устанавливается в положение измерения внешнего сигнала. Выходной сигнал стенда подается на вход вольтметра и аналогично преды-

дущей лабораторной работе через резистор R_2 на инвертирующий вход сумматора $DA1$.

2. Управляющая программа настраивается в соответствии с методикой измерения физических величин (см. лаб. работу № 2). Положение входного потенциометра АЦП подбирается таким образом, чтобы в ходе эксперимента принимаемая программная переменная Y была как можно большей, но не превышала значения $+1$. Учитывая показания вольтметра в установившемся режиме работы системы, соответствующее ему значение программной переменной и значение коэффициента преобразования измерительного устройства реального объекта управления, можно определить величину поправочного коэффициента для управляемой величины.

3. Для получения удовлетворительного качества переходного процесса настройку регулятора следует начинать с небольших значений коэффициентов передачи пропорциональной и интегральной ветвей. При этом необходимо обратить внимание на то, что потенциометр $K_{и}$ включен в цепи обратной связи интегрирующего элемента. Поэтому минимальному значению коэффициента передачи интегрирующей ветви будет соответствовать максимальное значение коэффициента передачи потенциометра $K_{и}$. Таким образом, при уменьшении $K_{и}$ быстродействие системы будет возрастать, но будет и расти колебательность. Поэтому, увеличивая коэффициент $K_{п}$, можно обеспечить необходимый запас устойчивости системы, добываясь величины перерегулирования не более 20 %. Настройку регулятора можно считать удовлетворительной, если при данном ограничении обеспечивается минимально возможное время переходного процесса.

4. При экспериментах с системой автоматического управления перемещения электропривода (системой позиционирования) следует иметь в виду, что управляемая величина (угол поворота потенциометра) имеет ограниченный диапазон значений. При достижении максимальных углов поворота потенциометра, во избежание его поломки, происходит автоматическое отключение управляющего воздействия, подаваемого на электродвигатель. Чтобы вывести электропривод из состояния блокировки, необходимо подать на электродвигатель напряжение, значение которого противоположно тому, при котором произошло отключение. Достигается это путем подачи на вход соответствующего задающего воздействия. Так как при управлении перемещением объект, а следовательно, и система в целом уже обладают астатизмом первого порядка, следует использовать только пропорциональный алгоритм управления. Интегрирующую ветвь при этом необходимо отключить.

2. Порядок выполнения работы

1. Подготовить управляющую программу ANSYS в соответствии с инструкцией пользователя. Подобрать поправочный коэффициент для отображения управляемой величины Y в реальном масштабе.

2. Собрать и отрегулировать систему автоматического управления скоростью электропривода аналогично лаб. работе № 3.

3. Произвести наблюдение и фиксирование переходного процесса с помощью ПК. Изменяя настройки регулятора и используя в качестве средства наблюдения персональный компьютер, подобрать оптимальные значения коэффициентов передачи пропорционально-интегрального и пропорционального регуляторов.

4. Собрать и отрегулировать систему автоматического управления перемещением электропривода с пропорциональным регулятором. Определить оптимальную настройку регулятора исходя из критерия минимального времени переходного процесса.

5. Исследовать влияние нагрузки электродвигателя на величину установившейся ошибки управления. Нагрузка электродвигателя создается путем подтормаживания вала электродвигателя регулятором усилия.

6. Объяснить полученные результаты.

3. Содержание отчета

1. Схема аналоговой системы управления скоростью с пропорционально-интегральным регулятором.

2. Таблица установленных значений параметров системы и регулируемых коэффициентов.

3. Распечатки с ПК переходных характеристик системы при различных значениях коэффициентов K_p и K_i управляющего устройства.

4. Распечатка с ПК оптимальной переходной характеристики с указанием установленных значений коэффициентов.

5. Распечатки с ПК графиков зависимостей ошибки управления от величины нагрузки на вал электродвигателя.

6. Анализ результатов и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Каким образом осуществляется наблюдение и фиксирование переходного процесса с помощью ПК?

2. В каких режимах работы используется программа ANSYS для наблюдения процессов в электроприводе?
3. Каковы особенности настройки коэффициентов $K_{\text{п}}$ и $K_{\text{и}}$ при использовании персонального компьютера как средства наблюдения?
4. Какие ограничения существуют при экспериментах с системой позиционирования?
5. Как зависит установившаяся ошибка в системе автоматического управления от величины нагрузки?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы. Изучение методов отладки цифровой системы автоматического управления двигателем постоянного тока (ДПТ).

1. Методика выполнения работы

1. Коммутация функциональных элементов КСТ-4 должна быть выполнена в соответствии с рис. 6 (лаб. работа № 2). Суммарный коэффициент цифровой и аналоговой части комплекса, приведенный к внутренней программной переменной управляющего воздействия U , должен иметь значение, B ,

$$K = \frac{U_{\text{н}}}{U} = 20.$$

Желательно произвести тест внешней аппаратуры (режим 7 программы ANSYS), выбрав в качестве сигнала обратной связи напряжение управляющего воздействия $U_{\text{н}}$, подаваемого на нагрузку, и убедиться в линейности статической характеристики аппаратной части.

2. В управляющей программе задать пропорционально-интегральный алгоритм управления (директива 2).

3. Переключатель выходного сигнала устанавливается в верхнее положение (выход тахогенератора). Выходной сигнал тахогенератора подключается к гнезду ввода внешнего сигнала вольтметра схемотехнического комплекса. Вход АЦП подключается к вольтметру.

Таким образом получаем контур цифровой системы автоматического управления с обратной связью:

ЭВМ ↔ ЦАП ↔ аналоговая часть КСТ-4 ↔ электродвигатель ↔ тахогенератор с усилителем ↔ стенд ↔ АЦП КСТ-4 ↔ ЭВМ.

4. Положение входного потенциометра АЦП подбирается таким образом, чтобы максимальной частоты вращения электродвигателя соответствовало значение программной переменной $Y=+1$.

Регулировка проводится в режиме 7 программы ANSYS (тест внешней аппаратуры) при задании программной переменной управляющего воздействия $U=1$.

5. Экспериментальный подбор коэффициентов передачи пропорционально-интегрального регулятора следует начинать с относительно небольших значений, например: $K_p = 0,5$; $K_i = 0,1$.

При недостаточных значениях данных коэффициентов будет наблюдаться замедленный переходный процесс, как правило, без перерегулирования.

Запас устойчивости такой системы будет велик, однако быстродействие понижено. Следует убедиться в наличии астатизма первого порядка. При постоянном задающем воздействии (например: $y(t) = 1(t) \cdot 0,5$) установившаяся ошибка должна стремиться к нулю.

В реальной системе эта ошибка составляет одну - две единицы младших разрядов АЦП или эквивалентное им значение программной переменной. Постепенно увеличивая значение коэффициента K_i можно уменьшить время переходного процесса. Возрастание колебательных свойств компенсируются увеличением коэффициента K_p . Достаточно быстродействующая система с линейным пропорционально-интегральным регулятором неизбежно будет иметь перерегулирование. Для данной лабораторной работы следует ограничиться значением ($\sigma < 20\%$) и с учетом этого ограничения добиться минимального времени переходного процесса. Полученные значения K_p и K_i будут результатом настройки системы.

2. Порядок выполнения работы

1. Подготовить управляющую программу ANSYS для реализации пропорционально-интегрального алгоритма управления.

2. Произвести тест аппаратуры САУ и корректировку АЦП.

3. Подобрать поправочные коэффициенты для отображения управляемой величины в реальном масштабе.

4. Подготовить и отрегулировать систему для управления скоростью электропривода.

5. Подобрать коэффициенты передачи цифрового пропорционально-интегрального регулятора по критерию минимального времени переходного процесса.

3. Содержание отчета

1. Схема цифровой системы управления с пропорционально-интегральным алгоритмом управления.
2. Таблица поправочных коэффициентов.
3. Распечатки с ПК переходных характеристик системы при различных значениях коэффициентов передачи цифрового пропорционально-интегрального регулятора.
4. Анализ полученных результатов и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Каким образом настраивается программа ANSYS для реализации цифровых алгоритмов управления?
2. Какой вид имеет контур цифровой системы автоматического регулирования с обратной связью?
3. Как в цифровом виде определяется пропорционально-интегральный алгоритм управления?
4. Какие ограничения существуют при экспериментах с системой позиционирования?
5. Каков алгоритм подбора коэффициентов передачи цифрового пропорционально-интегрального регулятора?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА РМ-01

Цель работы. Ознакомление с конструкцией, принципом действия, структурой и экспериментальное исследование характеристик электроприводов промышленного робота РМ-01, знакомство с методикой программирования и приобретение практических навыков настройки робота по заданной программе.

1. Техническое описание промышленного робота РМ-01

Робот РМ-01 представляет собой универсальный электромеханический промышленный робот с управлением от ЭВМ. Робот состоит из двух основных частей: манипулятора («руки») модели PUMA-560 и устройства управления (УУ) модели «Сфера-36».

1.1. Манипулятор и системы координат

Манипулятор «PUMA-560» имеет шесть степеней подвижности (суставов), звенья манипулятора соединяются друг с другом в суставах и вращаются вокруг осей, идущих через центры суставов. Суставы манипулятора и степени их подвижности показаны на рис. 8.

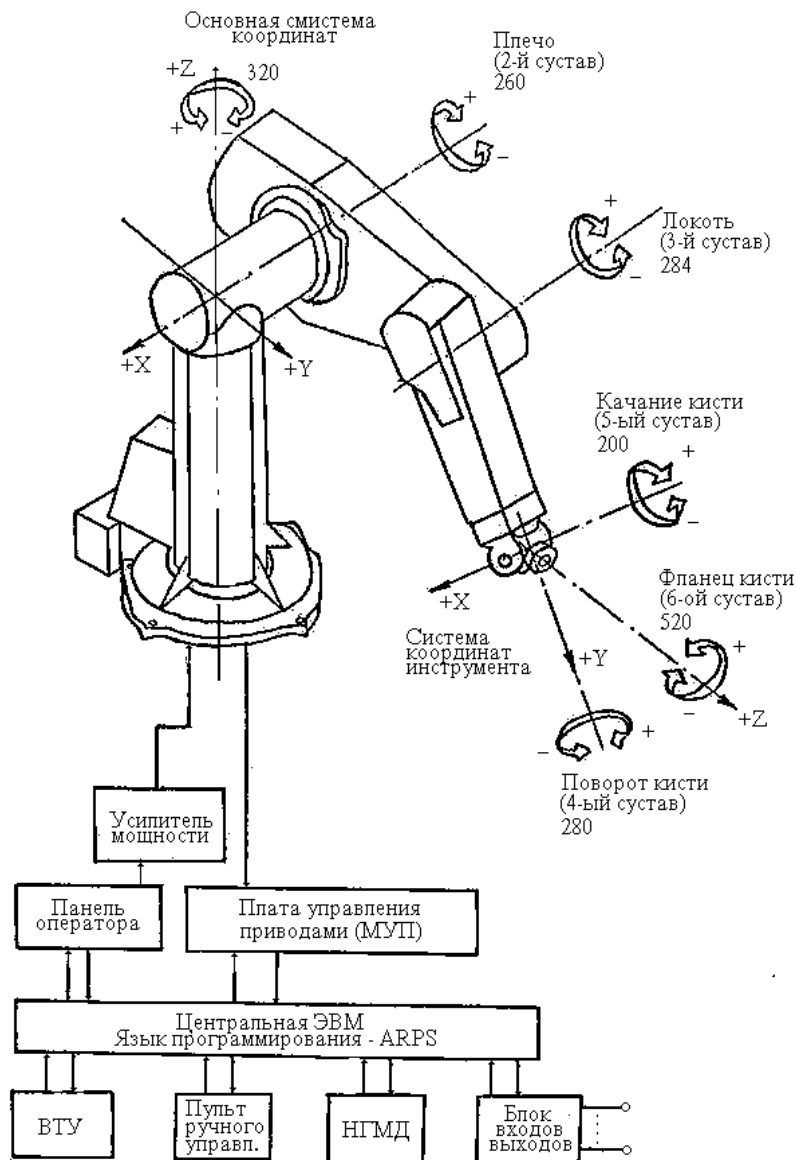


Рис. 8. Манипулятор «PUMA-560»

Каждое звено имеет свой следящий привод постоянного тока. Трансмиссия осуществляется через зубчатые редукторы. Текущее положение манипулятора определяется в отношении известного исходного (абсолютного) положения. Для управления движением манипулятора необходимо постоянно контролировать положение и скорость движения звеньев. Для этого на вал каждого серводвигателя установлены потенциометр и импульсный фотоэлектрический датчик. Сигналы от датчиков индицируют положения звеньев, а скорость вычисляется на основе этих сигналов. Серводвигатели оснащены электромагнитными тормозами, которые включаются при выключении питания двигателей. При этом манипулятор блокируется в том положении, в котором он стоял в момент выключения питания двигателей.

Двигатели первого и второго суставов передают вращение через систему цилиндрических передач: первой степени подвижности - передача одноступенчатая, второй - двухступенчатая. Передача от двигателей третьей, четвертой, пятой, шестой ступеней - двухступенчатая, осуществляется через упругие муфты, промежуточные валы и систему цилиндрических и конических зубчатых колес.

Схват манипулятора снабжен пневмоцилиндром, осуществляющим сжатие и разжатие губок схвата.

Для удобства программирования и обучения манипулятор имеет две системы координат, в отношении которых он движется: основную (базовую) и систему координат инструмента (рис. 9).

Основная система координат состоит из трех перпендикулярных друг к другу осей (X , Y , Z), пересекающихся в плече манипулятора.

В ручном режиме *WORLD*, нажимая кнопки X , Y и Z ручного управления, пользователь может перемещать инструмент прямолинейно по указанным осям.

Система координат инструмента также состоит из трех осей, но оси пересекаются не в плече, а во фланце кисти. Систе-

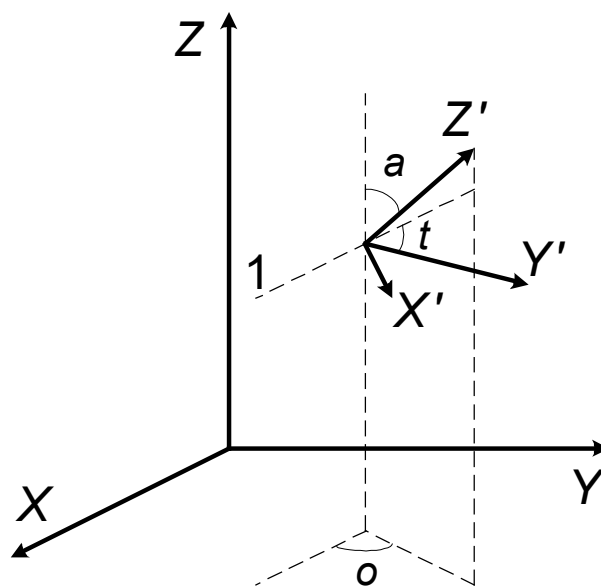


Рис. 9. Углы ориентации захватного устройства

ма координат движется вместе с фланцем при работе манипулятора. В ручном режиме *TOOL*, нажимая кнопки X, Y, Z (1, 2, 3), пользователь может перемещать конец инструмента по осям системы координат инструмента.

Положение инструмента однозначно определяется позицией координатной точки в основной системе координат и ориентацией инструмента в данной точке. Позиция координатной точки определяется расстоянием от нее до начала координат по осям X, Y, Z , а ориентация инструмента - углами θ, α, τ (рис. 9).

Угол θ - это угол между осью X основной системы координат и проекцией оси Z' системы координат инструмента на плоскость XU основной системы координат.

Угол α - это угол между осью Z основной системы координат и осью Z' системы координат инструмента.

Угол τ - это угол между осью Y' системы координат инструмента и линией l , образованной пересечением плоскости, параллельной $X'Y'$ и плоскости, параллельной XU и проходящей через координатную точку.

1.2. Устройство управления электроприводами робота РМ-01 «Сфера – 36»

Устройство управления «Сфера-36» предназначено для контурно-позиционного управления многозвенным манипулятором с электродвигателями постоянного тока в качестве исполнительных элементов и привода звеньев манипулятора и дискретного управления комплектом вспомогательных устройств при организации робототехнического комплекса.

Основные технические данные приведены в табл. 3.

«Сфера-36» представляет собой иерархическую мультипроцессорную систему, структура которой приведена на рис. 10. Одна из микроЭВМ является ведущей, или главной, и находится на верхнем уровне управления, а остальные микроЭВМ являются периферийными, или ведомыми. МикроЭВМ верхнего уровня решает тактические задачи управления роботом, а микроЭВМ нижнего уровня обеспечивает программную реализацию алгоритма управления следящими приводами манипулятора. Каждая ведомая ЭВМ управляет одним приводом.

Ведущая ЭВМ решает следующие задачи:

- интерпретацию операторов управляющей программы робота,
- решение обратной задачи кинематики,

Таблица 3

Технические характеристики устройства управления электроприводами «Сфера-36»

Параметр	Норма
Дискретность задания перемещений, мм	0,1
Режим работы	Программный, пультовой
Методы программирования	Аналитический, обучение
Тип устройства для ввода данных	Накопитель на гибком магнитном диске
Скорость ввода данных, бод	2400
Вид и максимальная длина носителя данных, К слов	Дискета, 33
Емкость памяти ОЗУ статического типа, К слов:	
центрального процессора	12
процессора привода	1
Состав внешней периферии	Канал связи с ЭВМ, видеотерминальное устройство, пульт ручного управления, НГМД
Число одновременно управляемых степеней подвижности	6
Типы измерительных преобразователей перемещений	Потенциометрические, фотоэлектрические
Число каналов связи с технологическим оборудованием:	
на вход	32
на выход	32
Параметры выходных сигналов управления технологическим оборудованием:	
максимальное напряжение, В	24
максимальный ток (постоянный), А	2
Параметры сигналов от технологического оборудования:	
напряжение, В	24±4
ток при напряжении 24 В, не менее, мА	15
род тока	постоянный, переменный
Максимальные значения токов управления двигателями степеней подвижности промышленного робота, А:	
1, 2, 3	7,5±0,3
4, 5, 6	3,7±0,3
Напряжение питания приводов, В	+ 40 ^{±8} ₁₀
Время хранения информации в ОЗУ при отключении (пропадании) напряжения питающей сети, ч, не менее	120
Потребляемая мощность, Вт, не более	1200
Напряжение питания, В	220 ⁺²² ₋₃₃
Частота, Гц	50±1

- интерполяцию и формирование задающих сигналов для микроЭВМ нижнего уровня,
- связь с микроЭВМ нижнего уровня,
- связь с технологическим оборудованием и электроавтоматикой роботизированного технологического комплекса (РТК),
- связь с оператором с помощью клавиатуры терминального устройства пульта ручного управления и кнопочного пульта,
- отображение необходимой информации на экран дисплея и индикаторную панель,
- связь с периферийным оборудованием, в частности с накопителем на гибких магнитных дисках (НГМД), на которых хранятся программы для робота,
- редактирование управляющей программы.

Для решения указанных задач микроЭВМ верхнего уровня использует специализированную систему, которая либо хранится на гибком диске и загружается в оперативную память в начале работы РТК, либо «прошита» в постоянной памяти микроЭВМ и запускается на выполнение при включении питания системы.

МикроЭВМ нижнего уровня решает следующие задачи:

- по данным, полученным от ЭВМ верхнего уровня и значениям сигналов, полученным с датчиков обратной связи привода исполнительного устройства, формирует сигнал управления исполнительным двигателем;
- рассчитывает положение и скорость вала исполнительного двигателя по показаниям импульсного датчика,
- следит за превышением допустимых значений тока, сигнала ошибки и выдает сигнал для ЭВМ верхнего уровня о возникшей аварийной ситуации.

Связь между микроЭВМ верхнего и нижнего уровней осуществляется двумя способами. При нормальной работе системы ЭВМ верхнего уровня имеет возможность прямого доступа к памяти процессоров нижнего уровня.

Периферийные ЭВМ связи друг с другом не имеют и могут обмениваться данными только через центральный процессор по его инициативе.

Каждый модуль структурной схемы является конструктивно законченным устройством, и объединяется в блок модулей (БМ).

Логический аппарат верхнего уровня управления состоит из модуля центрального процессора (МЦП), оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), модуля последовательного интерфейса (МПИ), модуля аналогового ввода (МAB), модуля ввода-вывода (МВВ), модуля связи (МС).

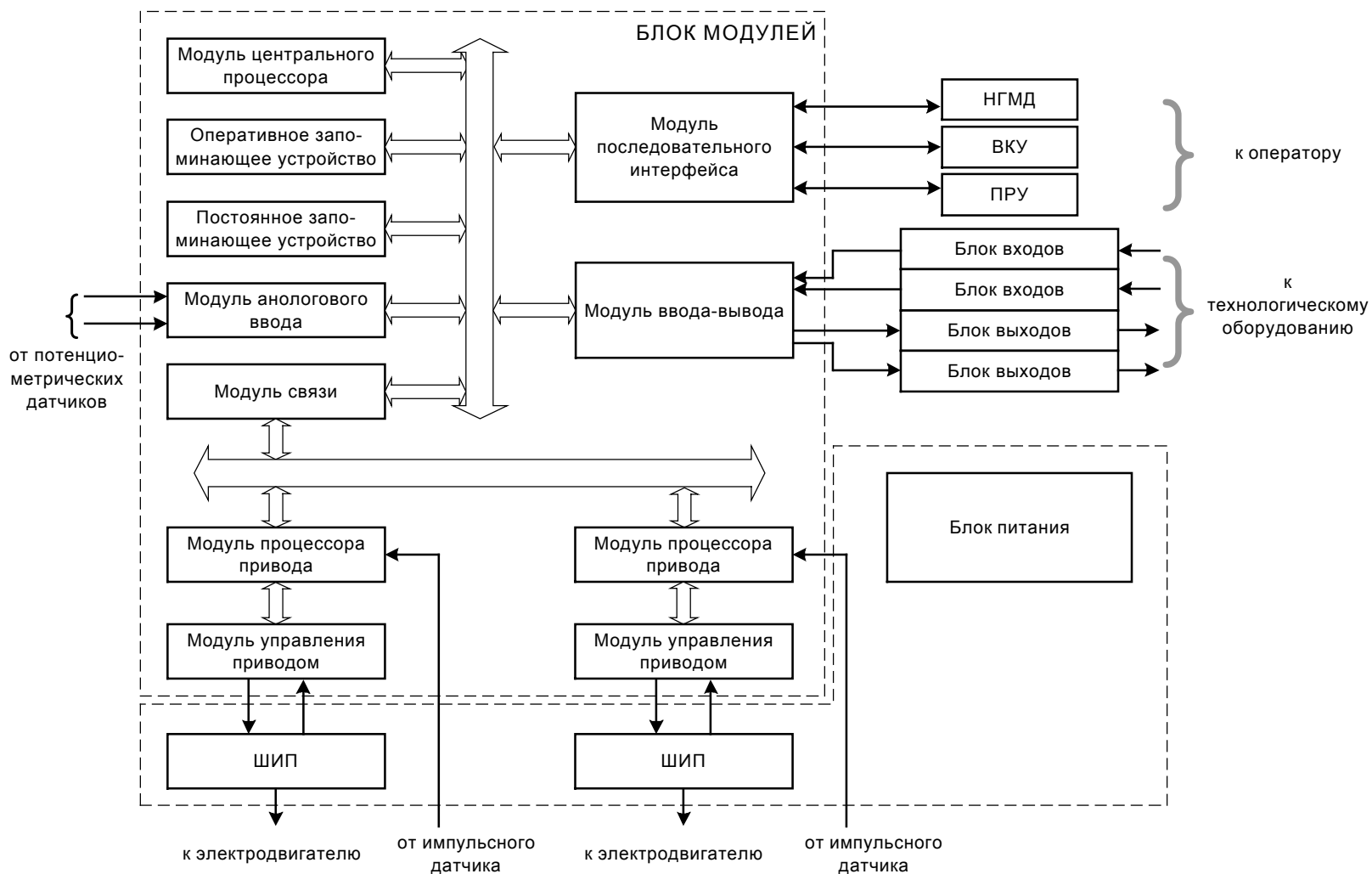


Рис. 10. Структура устройства управления электроприводами робота РМ-01 «Сфера – 36»

Модуль центрального процессора (МЦП) собран на основе МПК БИС серии K1801. Модуль последовательного интерфейса (ПИ) служит для подключения к магистрали периферийного оборудования микроЭВМ. Этот модуль имеет четыре последовательных канала, к которым подключены накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД), видеотерминальное устройство (ВТУ), пульт ручного управления (ПРУ).

Модули оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) служат для хранения операционной системы УУ, а также констант параметров робота.

Модуль аналогового ввода (МAB) используется при запуске РТК для целей начальной установки нулей датчиков обратной связи. Модуль ввода - вывода (МВВ) осуществляет связь с блоками ввода-вывода релейных сигналов управления электроавтоматикой и технологическим оборудованием РТК. Часть входов - выходов задействована для связи с кнопочным пультом и индикаторной панелью.

Логический аппарат нижнего уровня управления включает в себя шесть комплектов следующих модулей: модуль процессора привода (МПП); модуль управления приводом (МУП).

Модуль связи (МС) осуществляет связь двух магистралей системы. Всего в УУ промышленным роботом РМ-01 шесть модулей процессора привода (МПП), однако конструкция УУ позволяет подсоединить к магистрали еще два МПП, которые могут быть использованы для расширения функциональных возможностей системы.

Модуль процессора привода содержит процессор микроЭВМ нижнего уровня, а также его оперативную и постоянную память. Модуль управления приводом (МУП) соединяется с модулем процессора привода, служит для преобразования сигналов с импульсных датчиков обратной связи в двоичный код, а также для преобразования кодов ошибки привода в сигнал широтно-импульсной модуляции (ШИМ), который усиливается широтно-импульсным преобразователем (модулем ШИП) и подается в цепь якоря исполнительного электродвигателя.

Верхний уровень управления предназначен для решения следующих задач: расчет алгоритмов планирования траектории движения схвата многозвенного манипулятора и формирования программ движения каждого звена манипулятора;

логическая обработка информации о состоянии устройств, входящих в состав робототехнического комплекса и синхронизации работы универсального промышленного робота с этими устройствами;

обеспечение диалогового режима работы оператора с УУ посредством ВТУ;

обмен информацией с внешней ЭВМ;

запись-чтение, долговременное хранение программ пользователя посредством НГМД;

обеспечение режима ручного управления манипулятором посредством ПРУ;

диагностика работы УУ;

калибровка местоположения звеньев манипулятора.

Периферийные процессоры нижнего уровня управления устройства программно реализуют регуляторы положения и скорости привода.

Сигнал абсолютного значения положения звена манипулятора формируется на выходе потенциометрического датчика ПД, сигнал которого преобразуется в код преобразователями в МАВ и используется в качестве сигнала грубого отсчета в режиме калибровки манипулятора.

Нижний уровень управления предназначен для решения задачи регулирования параметров движения (положение, скорость) звеньев манипулятора в соответствии с программами движения, формируемыми верхним уровнем управления, и представляет собой следящие электроприводы. Управляющая часть следящих электроприводов размещена в СУ и содержит, кроме логического аппарата управления нижнего уровня, шесть модулей широтно-импульсного преобразователя для формирования мощных сигналов непосредственного управления электродвигателями.

Исполнительная часть следящих электроприводов - электродвигатели постоянного тока, а также фотоимпульсные датчики для измерения параметров движения звеньев манипулятора и потенциометрический датчик ПД для калибровки звеньев манипулятора установлены на манипуляторе и в состав УУ не входят.

На рис. 11 приведена структурная схема следящего привода одного звена манипулятора.

МУП осуществляет первичную аппаратную обработку сигналов, поступающих от фотоимпульсного датчика, и формирование сигналов управления широтно-импульсного преобразователя (ШИП).

С фотоимпульсного датчика (ФИД) поступает три последовательности импульсов при вращении вала датчика.

Первая последовательность импульсов дает один (индексный) импульс на каждый оборот вала датчика и используется при калибровке местоположения

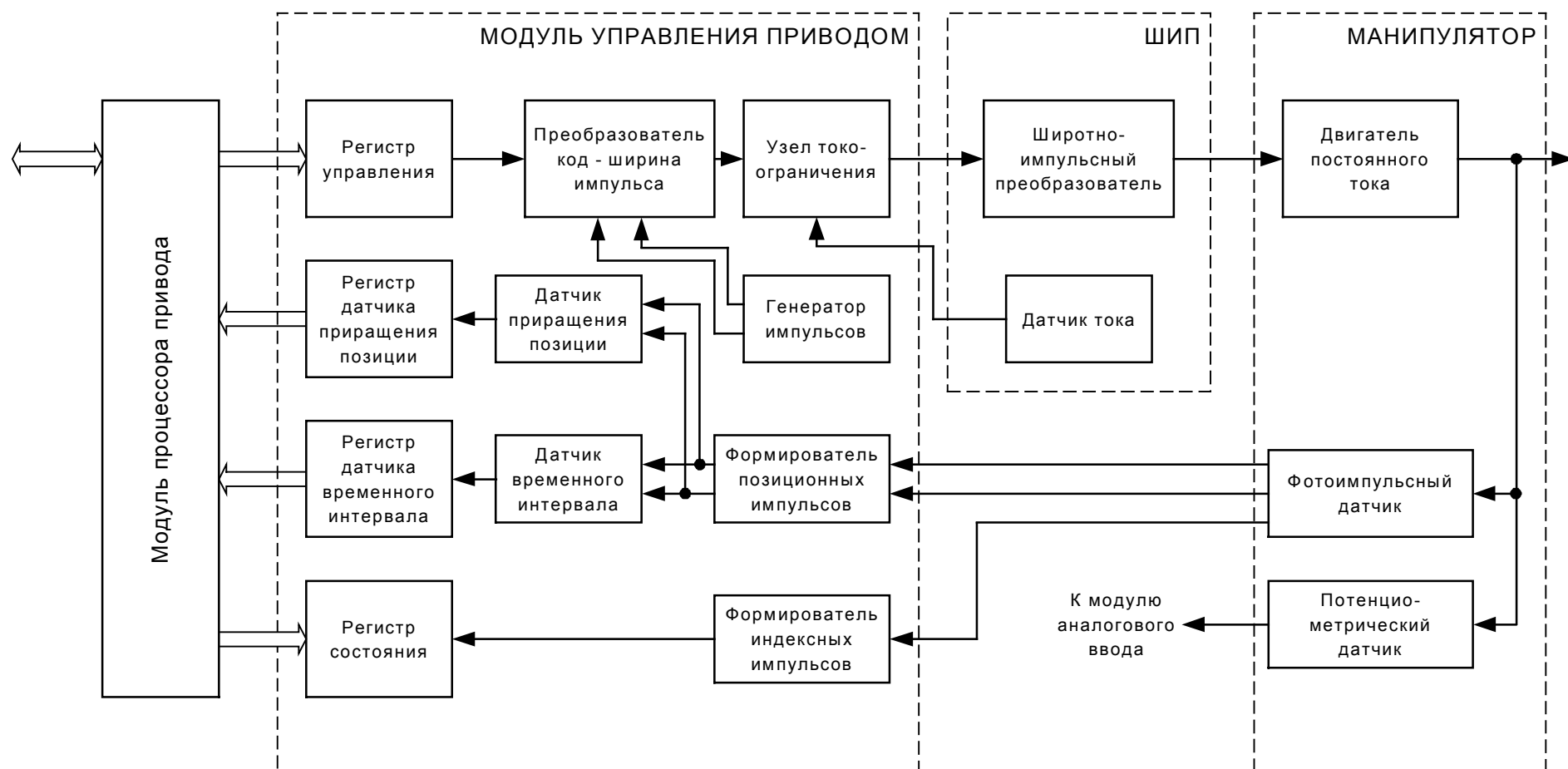


Рис. 11. Структурная схема следящего привода одного звена манипулятора

звена манипулятора совместно с информацией потенциометрического датчика (ПД).

Вторая и третья последовательности импульсов имеют одинаковую частоту, но сдвинуты относительно друг друга на $1/4$ периода (рис. 12).

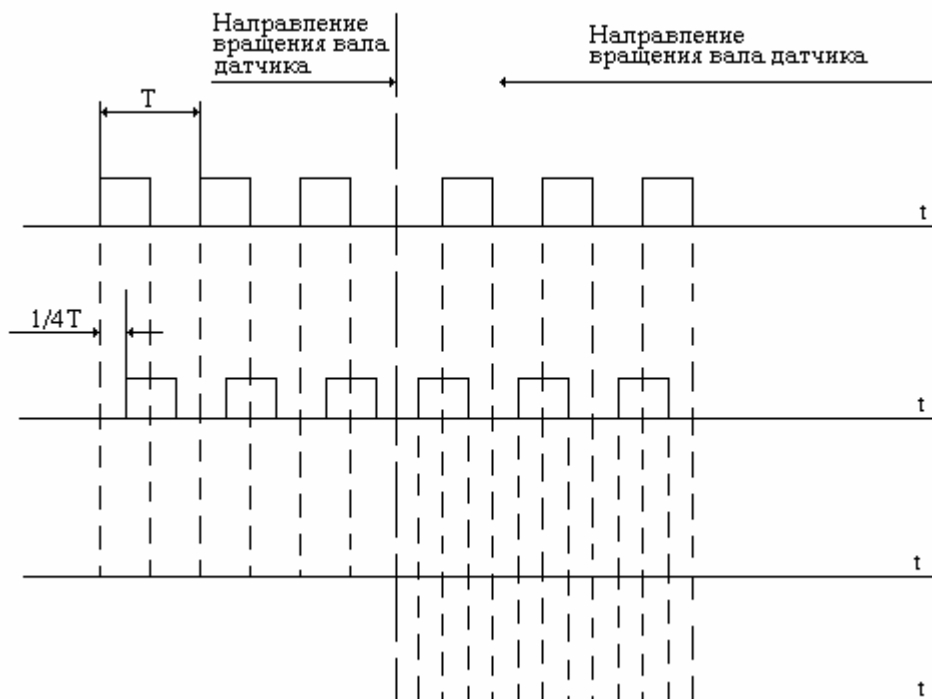


Рис. 12. Диаграмма работы формирователя позиционных импульсов

В результате логической обработки импульсов второй и третьей последовательностей, осуществляемой ФПИ, формируются короткие позиционные импульсы учетверенной частоты, которые распределяются на разные выходы в зависимости от направления вращения вала датчика. Генератор импульсов (ГИ) формирует три последовательности импульсов с частотами f_1, f_2, f_3 .

Частота f_1 используется в схеме датчика временного интервала (ДВИ) для измерения времени между двумя позиционными импульсами. В результате формируется код длительности временного интервала, который используется для вычисления абсолютного положения звена манипулятора.

Датчик приращения позиции (ДПП) формирует код действительного приращения положения с учетом направления вращения вала электродвигателя. Этот код используется для вычисления абсолютного положения звена манипулятора.

МПП выполняет функции программной реализации алгоритма управления следящего электропривода.

С верхнего уровня в МПП поступает программа движения звена манипулятора в виде последовательности кодов заданий абсолютных положений звена манипулятора, следующих с периодом цикла расчета программы верхнего уровня управления.

МПП периодически осуществляет считывание кодов длительности временного интервала и приращения позиции через регистр датчика временного интервала (РДВИ) и регистр датчика приращений позиций (РДПП), расчет программы регуляторов скорости, положения и записывает в РУ результат расчета в виде кода управления.

Преобразователь «код-ширина импульса» (ПКШИ) преобразует код управления в широтно-импульсный сигнал посредством частоты f_2 от ГИ. Частота f_3 ГИ определяет частоту широтно-модулированного сигнала.

Устройство токоограничения (УТО) формирует по информации от датчика тока (ДТ) сигнал, который блокирует прохождение широтно-модулированного сигнала на ШИП при превышении током якорной цепи двигателя заданной величины. ДТ размещен в модуле ШИП в виде резистора, включенного последовательно в цепь якоря электродвигателя.

Структурная схема ШИП представлена на рис. 13 состоит из четырех транзисторных ключей КТ1-КТ4 и резистора R_T датчика тока.

Управление ключами осуществляется сигналами, которые поступают с модуля управления приводом. Ключи КТ3 и КТ4 определяют знак выходного напряжения, а ключи КТ1, КТ2 - величину выходного напряжения, которая пропорциональна ШИМ-сигналу.

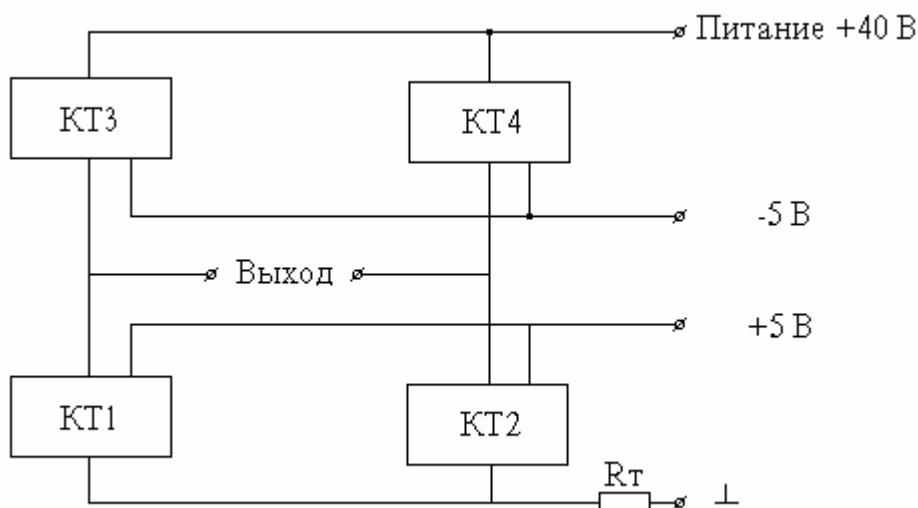


Рис. 13. Структурная схема ШИП

Питание цепей управления ключей КТ1, КТ2, КТ3, КТ4 осуществляется от источника питания привода. Датчик тока R_T включен в цепь питания ШИП. Напряжение с датчика подается в МУП для работы схемы ограничения тока.

Для питания силовых цепей следящих электроприводов постоянным напряжением предназначен блок питания привода (БПП). Кроме того, в блоке находятся цепи управления схватом манипулятора, электромагнитами тормозов и индикацией питания привода.

1.3. Режим ручного управления манипулятором

Пульт ручного управления изображен на рис. 14.

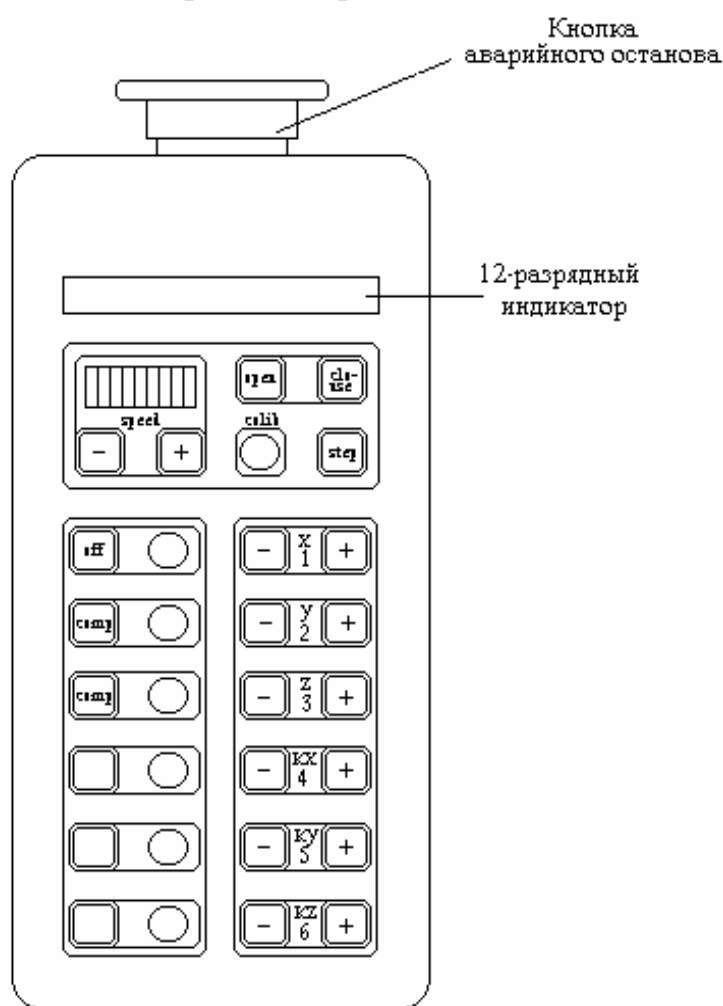


Рис. 14. Пульт ручного управления

Кнопка аварийной остановки расположена на торце пульта ручного управления. При нажатии кнопки выполнение программы немедленно прерывается, манипулятор плавно останавливается, управление передается на ЭВМ, питание приводов отключается.

Режим управления от ЭВМ (COMP). Управление манипулятором осуществляется либо прикладной программой, либо пользователем с клавиатуры дисплея. В данном режиме кнопки пульта ручного управления за исключением кнопки останова, не влияют на работу манипулятора.

Ручное управление в основной системе координат (WORLD). При управлении с помощью пульта ручного управления, движения фланца кисти манипулятора осуществляются в основной системе координат (см. рис. 9). Для управления манипулятором используются кнопки управления степенями подвижности. Их порядок сверху вниз: основные оси X , Y , Z , вращение фланца кисти вокруг основных осей RX , RY , RZ .

Ручное управление по степеням подвижности (JOLNT). Для управления манипулятором используются кнопки управления степенями подвижности. Их порядок сверху вниз: сочленение 1, сочленение 2, ..., сочленение 6.

Отключение приводов степеней подвижности (FREE). После выбора режима «*FREE*» нажатием кнопок управление приводом степени подвижности либо отключается (+), либо включается (-). При отключении привода следует поддержать соответствующее звено, чтобы рука манипулятора не упала. Отключенный привод звена не управляется от ЭВМ, а звено можно двигать вручную в разные положения.

Ручное управление в системе координат инструмента (TOOL). Обеспечивает движение фланца кисти в системе координат инструмента (см. рис. 9).

Индикатор скорости движения (*SPEED*) показывает значения скорости инструмента. Если светится один элемент, то скорость инструмента приблизительно 1,9 мм/с; 2 - 3,8 мм/с; 3 - 7,5 мм/с; 4 - 5,0 мм/с; 5 - 30,0 мм/с; 6 - 60,0 мм/с; 7 - 120,0 мм/с; 8 - 240,0 мм/с.

Прибавление и убавление скорости (*SPEED+*) и (*SPEED-*) на один шаг происходит при кратковременном нажатии соответствующих кнопок.

Ручное управление срабатыванием захватного устройства осуществляется кнопками «*OPEN*» и «*CLOUSE*».

Запись информации о текущем положении манипулятора в режиме обучения «TEACH» (поточечное обучение). Манипулятор перемещают с помощью пульта ручного управления в желаемое положение. При нажатии кнопки «*STEP*» координаты данной точки запишутся в ОЗУ системы управления; в программу запишется команда перемещения манипулятора в данную точку, и счетчик индекса точки прибавится на единицу.

На 12-разрядный индикатор в кодах *ASCII* выводится информация о работе робота и сообщения об ошибках. Ниже перечислены возможные сообщения:

NOKIA AOX - высвечивается кратковременно при запуске. АО обозначает номер модификации, X - номер версии программного обеспечения пульта ручного управления.

NO CONTROL - высвечивается пока не произведена начальная установка управления от ЭВМ (путем ответа на вопрос “Zero memory (Y, N or AUTOSTART?)”).

ARM PWR OFF - питание приводов манипулятора отключено.

MANUAL MODE - возможно управлять роботом с помощью пульта ручного управления.

COMP MODE - манипулятор управляется от ЭВМ. Невозможно ручное управление манипулятором за исключением кнопок останова.

LIMIT STOP X - сустав X перемещен до крайнего положения.

TOO CLOUSE - заданная точка находится слишком близко к манипулятору.

TOO FAR - заданная точка находится вне рабочей зоны робота.

TEACH MODE - активизирован режим обучения I. Манипулятор перемещается по произвольным траекториям.

STEACH MODE - активизирован режим обучения II. Манипулятор перемещается по прямолинейным траекториям.

PROGRAM RUN - программа выполняется.

WAIT - выполнение программы прервано со стойки управления, (переключатель в положении ОСТАНОВ).

ERROR - на пульте ручного управления одновременно нажаты кнопки, образующие недопустимую комбинацию.

FATAL ERROR - неисправность в системе управления.

1.4. Режим автоматического управления манипулятором

<p>ПРЕЖДЕ, ЧЕМ ЗАПУСТИТЬ РОБОТ, УБЕДИТЕСЬ, ЧТО В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ РОБОТА НЕТ ПРЕПЯТСТВИЙ!!!</p>

Поверните главный выключатель СЕТЬ на панели оператора в положение 1. Загорится красная лампочка «СУ 0», запустятся вентиляторы стойки. Затем нажмите зеленую кнопку «СУ 1». Через 3 - 5 секунд включится система управления. На индикаторе пульта ручного управления появится текст “NOKIA A02” (версия программного обеспечения пульта ручного управления), а затем - “NO CONTROL”.

На дисплее высветится текст:

NOKIA ARPS/M B04.RM-01
Zero memory (Y, N) or AUTOSTART?

После знака «?» набрать на клавиатуре *Y* или *N*, а затем нажать кнопку *RETURN*, в дальнейшем обозначаемую (*Cr*). Если ответить *Y*, то это вызовет стирание информации в ОЗУ, а ответ *N* оставляет содержимое ОЗУ без изменения. После того, как ответ будет дан, перед курсором выведется символ «>». Это означает, что система готова принимать новые команды. Одновременно на индикаторе пульта ручного управления выводится “*ARM PWR OFF*”. Светодиод “*CALIB*” на пульте ручного управления будет светиться, пока робот не будет откалиброван. Затем следует нажать зеленую кнопку «ПИТАНИЕ ПРИВОДА». На индикаторе пульта ручного управления выводится “*COMP MODE*”. Это означает, что манипулятор управляется от ЭВМ.

Убедитесь, что в радиусе 20 см от инструмента нет препятствий, после чего произведите калибровку, набирая на клавиатуре *CA* (*Cr*). После того, как калибровка произведена, на дисплее выводится *Ok*

Для проверки правильности калибровки наберите на клавиатуре
GO READY (*Cr*).

Манипулятор переместится в специальное положение *READY* (вертикальное положение), и тогда успешность калибровки можно определить визуально.

Останов работа выполняется одним из следующих способов:

- набрать с клавиатуры команду *ABORT* (*Cr*), при этом манипулятор остановится в конце текущего шага программы;
- установить систему управления в состоянии ожидания, поворачивая выключатель на панели управления в положение **ОСТАНОВ**;
- нажать кнопку останова на торце пульта ручного управления или кнопку на пульте;
- нажать красную кнопку «ПИТАНИЕ ПРИВОДА 0», питание приводов должно быть обязательно выключено перед выключением питания всей системы управления;
- выключить питание системы управления нажатием кнопки «СУ-0» на панели оператора;
- выключить сетевое питание, поворачивая главный переключатель (**СЕТЬ**) на панели управления в положение 0.

1.5. Программирование в системе управления

Программа создается, редактируется, просматривается и запускается в среде операционной системы ОС АРПС обычными для ОС командами *EDIT*, *RUN* и др. При этом допускается одновременная обработка одной УП и создание новой. Многие команды монитора и инструкции, используемые ОС, например, определяющие правила работы с файлами, каталогами и другие функции, аналогичны обычным ОС и далее не рассматриваются. Наиболее интересны режимы, команды и инструкции, используемые для управления движением манипулятора.

После того, как УП создана на языке программирования, она транслируется в режиме компиляции *COMP*. Режим интерпретатора при работе с дисковой ОС невозможен из-за большого времени доступа к диску.

Систему координат (СК) можно задать с ППУ режимами *WORLD* (свободная СК), *TOOL* (СК схвата), *JONT* (режим автономного задания положений звеньев), *FREE* (приводы ИМ отключены и оператор может перемещать звенья вручную). В режиме *WORLD* задаются линейные координаты схвата или инструмента X , Y , Z и углы ориентации R_x , R_y , R_z . Положение самой свободной СК может быть изменено только инструкцией *BASE*. В режиме калибровки *CAL* звенья робота автоматически устанавливаются в положение, принятое за исходное. Координаты звеньев в этом положении грубо задаются потенциометрическими датчиками и корректируются по нуль-метке импульсных датчиков положения. Управление движением манипулятора производится путем задания позиций в рабочей области ПР. Эти позиции могут быть заданы с использованием переменных положений, которые бывают трех типов: простое положение, сложное положение, прецизионная точка.

Простое положение может быть задано в базовой СК (*WORLD*) или СК схвата (*TOOL*). Сложным положением называется положение рабочей точки, определяемое относительно некоторых других положений. Прецизионной точкой называется положение, определяемое абсолютными значениями обобщенных координат. Для определения положения транспортирующих звеньев используется понятие файла (рамки) - это определяемая пользователем рабочая плоскость манипулятора, проходящая через три положения.

Для изменения положения схвата манипулятора используются команды:

- CHANGE* - оператор может ввести новое положение;
- HEKE* - фактическое положение манипулятора;
- WHERE* - вывод информации о положении манипулятора;
- LTEACH* - обучение с записью положения.

Позиция - это номер точки, который соответствует положению схвата манипулятора в одной из СК, определяемое шестью переменными.

Основными командами определения позиций являются следующие:

FRAME (позиция 1) - (позиция 2, позиция 3, позиция 4) - фрейм, характеризуемый позицией 1, есть плоскость, проходящая через позиции 2, 3, 4;

FRAME (позиция 1) - (позиция 2) - значения переменных положения позиции 2 присваивается переменными положения позиции 1;

FRAME (позиция 1) - переменные положения: координат X , Y позиции 1 сдвигаются на величину, указанную аргументами;

DISTANCE (позиция 1 позиция 2) - расстояние между позициями 1 и 2.

Основными командами задания движения являются:

GO (позиция 1) - перемещение в точку, заданную позицией 1, с интерполяцией в обобщенных координатах;

GOS (позиция 1) - перемещение в позицию 1 по прямой в декартовой СК.

Команды *GO* и *GOS* употребляются с различными расширениями, например:

GONEAR (позиция 1) (расстояние) - переместится на требуемое расстояние к позиции 1;

GOSOPEN (позиция 1) - переместится в позицию 1, предварительно открыв схват.

Пример управляющей программы для робота РМ-01

1. *GOS NEAR PART, 50* Движение по прямой в точку на расстоянии 50 дискрет от позиции.
2. *GO PART* Движение в позицию.
3. *CLOUS* Зажим схвата.
4. *GOS NEAR, 150* Движение по прямой в точку на расстоянии 150 дискрет от позиции.
5. *GOS NEAR BOX, 50* Движение по прямой в точку на расстоянии 50 дискрет от позиции.
6. *GO BOX* Движение в позицию.
7. *OPEN* Разжим схвата.

Команды *MOVE* аналогичны командам *GO*, но в аргументе указывается смещение относительно конца предыдущего участка траектории, например:

MOVE 10, 50, 20 - переместить руку в СК X , Y , Z с интерполяцией в обобщенных координатах на расстояние, указанное в аргументе.

Скорость перемещения схвата задается командами:

MAXSPEED - максимальная скорость,

SPEED % - масштабный коэффициент заданной скорости.

В системе управления полностью реализован второй уровень языка программирования - уровень задания траектории схвата в рабочей зоне робота. Пример программы соответствует фрагменту УП, в котором робот берет предмет, обозначенный идентификатором *BOX*. Предварительно эти позиции должны быть определены командами *HEPE PART* в *HEPE BOX*.

2. Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство, принцип действия, конструкцию и основы программирования системы управления.

2. Визуально освоить систему управления «Сфера-36». Точно знать функциональное назначение клавишей, блоков и пультов.

3. Набрать программу изменения положения схвата манипулятора согласно приведённому примеру.

4. Изменить параметры регулятора положения и регулятора скорости в соответствии с заданием преподавателя.

5. Вывести на экран ВТУ информацию об изменении координат приводов степеней подвижности при различных параметрах регуляторов.

3. Содержание отчета

1. Структурная схема устройства управления и следящих приводов робота РМ-01.

2. Качественные кривые изменения координат приводов при различных параметрах регуляторов положения и скорости приводов манипулятора.

3. Анализ полученных результатов и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Каким образом построена структура устройства управления и следящих электроприводов?

2. Какой принцип положен в основу формирования программного обеспечения регуляторов положения и скорости приводов робота?

3. Какой принцип работы ШИП? Приведите функциональную схему устройства.

4. Как организованы обратные связи по току, скорости и положению? Назовите типы датчиков обратных связей.

5. Как работает устройство токоограничения?

6. Как выполняется режим калибровки исполнительного устройства робота?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННО-СИЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ РМ-01 С МОДУЛЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ «ТОР-Б»

Цель работы. Изучение системы технического очувствления роботов «ТОР-Б» на базе системы управления «Сфера 36» робота РМ-01. Получение навыков разработки программно-алгоритмического обеспечения управления движением робота с силомоментным очувствлением.

1. Устройство и работа системы «ТОР-Б»

1.1. Основные технические данные системы «ТОР-Б»

В основе работы системы «ТОР-Б» лежит принцип измерения и контроля силового взаимодействия ПР с объектами внешней среды с последующим выбором требуемой последовательности движения.

Система «ТОР-Б» состоит из следующих функциональных узлов (рис. 15):

- преобразователя силомоментной информации (ПСИ);
- усилителя тензотермического (УТМ);
- модуля ввода сенсорной информации (МВСИ).

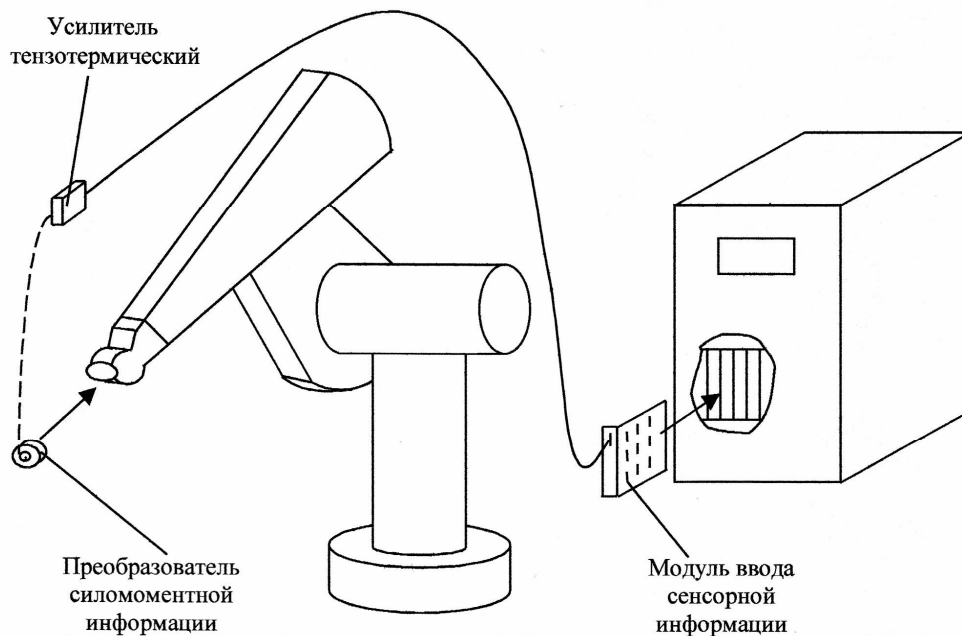


Рис. 15. Система «ТОР-Б» в составе робота РМ-01

Система «ТОР-Б» представляет собой аппаратно-программный комплекс, построенный на основе тензометрических элементов, аппаратуры аналого-цифрового преобразования и языка программирования высокого уровня *ARPS*. Основные технические данные системы приведены в табл. 4.

Таблица 4

Технические характеристики системы «ТОР-Б»

Наименование параметра	Значение
Число измеряемых компонент усилий	3
Диапазон измерения, Н·м: силы момента M_x момента M_y	0,05-50 0,001-50 0,001-50
Габаритные размеры преобразователя, не более, мм: диаметр толщина	80 45
Масса преобразователя, кг, не более	0,4
Напряжение электропитания, В	+5; ± 12
Ток потребления: от источника +5В, А не более от источника ± 12 В, мА, не более	2,5 40
Наработка на отказ, ч, не менее	1000
Время восстановления, мин, не более	30
Средний срок службы, лет, не менее	8

1.2. Устройство и работа составных частей системы «ТОР-Б»

Преобразователь силомоментной информации. В основе работы ПСИ лежит способ непосредственного измерения упругих деформаций чувствительного элемента с помощью тензорезисторов.

Схема компонент сил ПСИ приведена на рис. 16.

Конструктивно ПСИ представляет собой узел цилиндрической формы (рис. 17), который корпусом 4 крепится к фланцу ПР. К корпусу крепится упругий элемент 1, на звенья которого наклеены фольговые тензодатчики. В геометрическом центре упругого элемента закреплен фланец 3, присоединительные размеры которого соответствуют присоединительным размерам ПР. На фланце имеется буртик, ограничивающий деформацию упругого элемента, и тем самым предотвращающий поломку ПСИ при его перегрузке. Все элементы ПСИ закрыты крышкой 2.

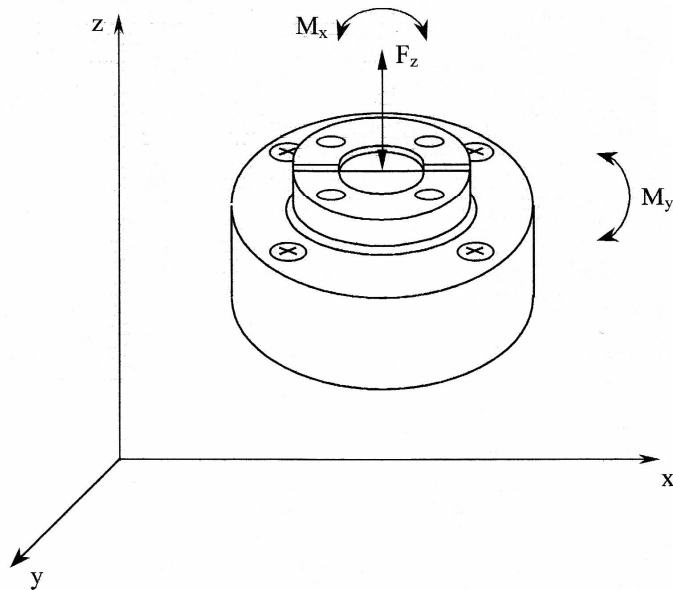


Рис. 16. Схема компонент сил преобразователя силомоментной информации

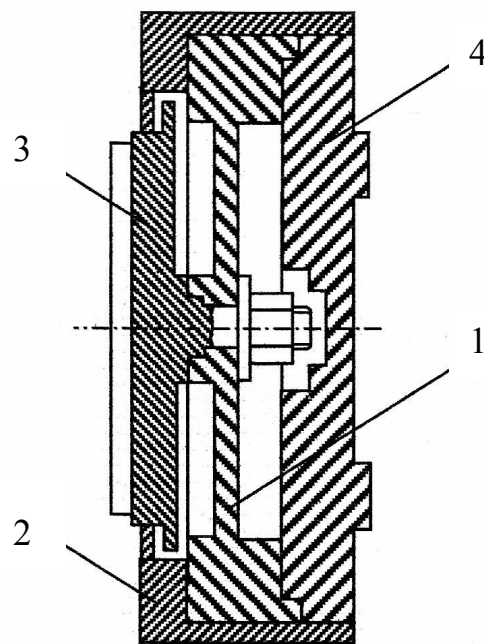


Рис. 17. Конструкция преобразователя

Упругий элемент изготовлен из алюминиевого сплава повышенной упругости и для стабилизации характеристик прошел технологическую тренировку.

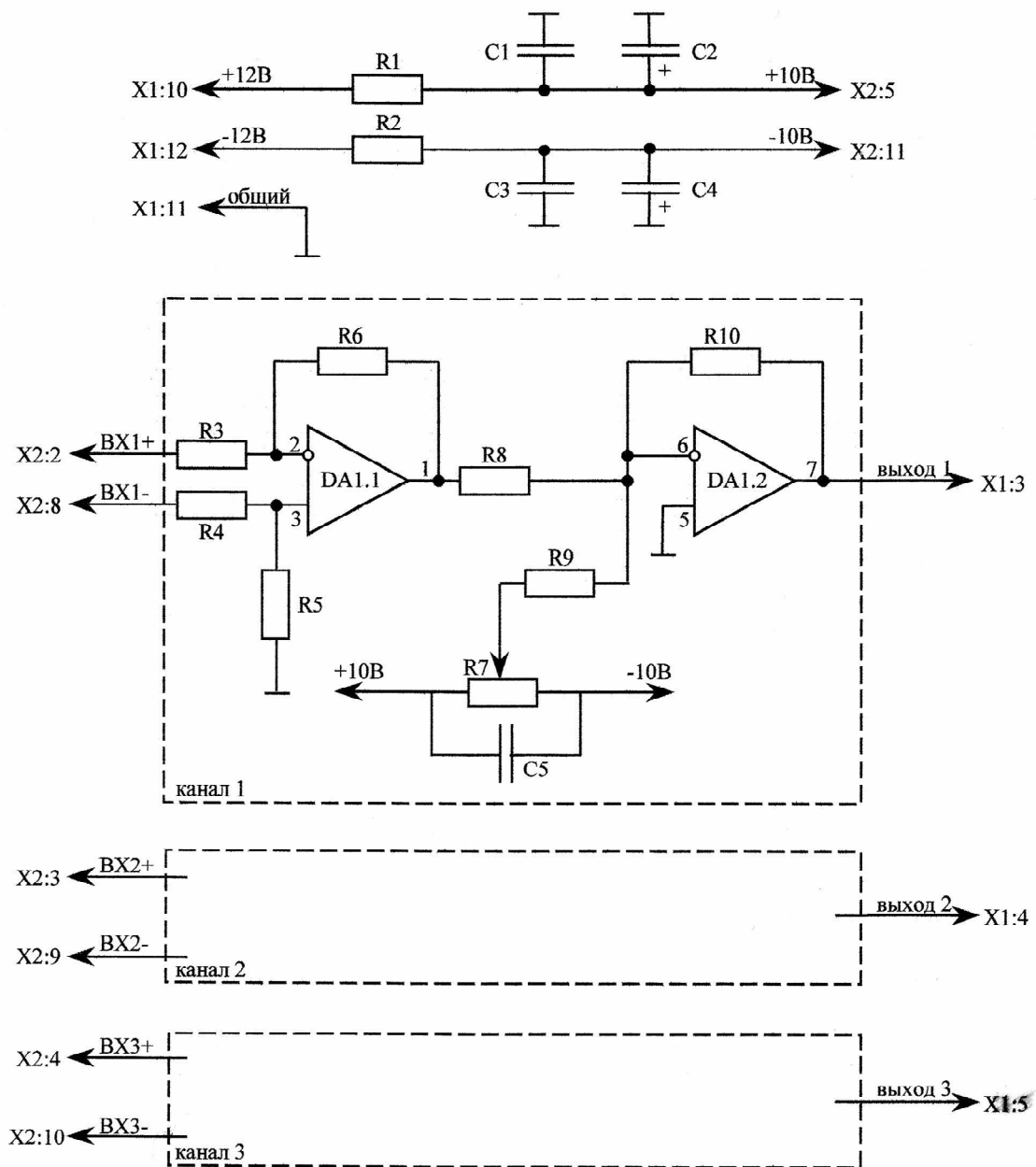
Деформация упругого элемента определяется по изменению сопротивлений тензорезисторов, наклеенных с двух сторон упругого элемента и соединенных в три мостовые схемы.

Усилитель тензометрический предназначен для преобразований дифференциальных сигналов с выходов измерительного моста ПСИ в напряжение в диапазоне $0 \dots 5$ В с возможностью регулировки средней точки, то есть напряжения на выходе усилителя при ненагруженном ПСИ, что необходимо для компенсации разбросов сопротивлений тензорезисторов, входящих в измерительный мост.

Схема электрическая принципиальная усилителя приведена на рис. 18. Усилитель имеет три канала для трех компонент усилий, каждый канал двухкаскадный.

Первый каскад построен по схеме вычитающего усилителя на элементах $DA1.1$, $R3$, $R4$, $R5$, $R6$ с коэффициентом усиления $K_{y1}=10$ для измерения изгибающих моментов и $K_{y1}=20$ для измерения осевого усилия.

Второй каскад построен по схеме инвертирующего сумматора на элементах $DA1.2$, $R8$, $R9$, $R10$ с коэффициентом усиления $K_{y2}=50$.



R1,R2	МЛТ 0,5 – 33 Ом
R3,R4	C2 – 29В – 10к ±0,1%
R5,R6	C2 – 29В – 100к ±0,1%
R7	СП5 – 2ВА – 10к
R8	МЛТ – 0,125 – 2к ±5%
R9,R10	МЛТ – 0,125 – 33к ±5%
C1,C3,C5	к10–17н90 – 0,15мкФ
C2,C4	к50–35–47мкФ×16В
DA1, DA2	к1401УД3
X1	РП15–15ШК
X2	РГ2Н–1–23

Рис. 18. Схема электрическая принципиальная усилителя

Таким образом, общий коэффициент усиления схемы $K_y=500$ для изгибающих моментов и $K_y=1000$ для осевого усилия.

Резистор $R7$ служит для регулировки средней точки.

Элементы $R1, R2, C1...C5$ образуют простейший RC - фильтр питания. Усилитель и измерительные мосты питаются от источников устройства управления напряжением ± 12 В.

Конструктивно усилитель размечен в корпусе, закрепленном на руке ПР. Корпус закрыт крышкой.

Модуль ввода сенсорной информации (МВСИ) предназначен для преобразования аналогового сигнала, поступающего с усилителя, в цифровой код.

1.3. Описание программного обеспечения

Все пользовательские программы, позволяющие работать с системой «ТОР-Б» могут быть выполнены на языке программирования ПР *ARPS*, позволяющего осуществлять адресацию к плате интерфейса по шине центрального процессора. Адресация выполняется с использованием специальных групп входа-выхода в сочетании с оператором *INGROUP* и командой *OUTGROUP*.

Восьмеричные адреса регистров и специальные группы входов-выходов АЦП приведены в табл. 5.

Таблица 5

Формат регистров управления

Адрес	Группа	Бит	Значение
176630-616	Регистр состояния	0	Запуск АЦП
		9	Выбор канала:
		10	00 - M_x ; 01 - M_y ; 11 - F_z
176632-614	Регистр данных	0...16	Код данных

Чтение информации с каналов ПСИ осуществляется в два этапа:

1. Запуск АЦП и выбор требуемого канала командой

OUTGROUP - 616 = 1 - канал M_x ;

OUTGROUP - 616 = 257 - канал M_y ;

OUTGROUP - 616 = 513 - канал F_z .

2. Непосредственное чтение информации оператором *INGROUP*, например:

SET G2 = *INGROUP* - 614,

причем число $G2$ имеет десятичную форму представления.

В состав программного обеспечения системы «ТОР-Б» входят пользовательское ПО и тестовое ПО. Пользовательское ПО включает программу измерения размеров прямоугольной детали *DOG* и программу сортировки деталей по весу *SORT*. В состав тестового ПО входят программы проверок работоспособности каналов преобразователя силомоментной информации (ПСИ), являющегося составной частью системы «ТОР-Б»: *ZEROFZ*, *INFFZ* и т.д. Тестовое ПО хранится в файле с именем *TEST.P* Пользовательское ПО хранится в файлах с именами *SORT.P* и *SORT.L*

В состав ПО входят следующие программы:

ZEROFZ, *ZEROMX*, *ZEROMY* – программы определения относительного нуля соответственно каналов F_z , M_x , M_y ;

INFFZ, *INFMX*, *INFMY* – программы определения показаний ПСИ по всем трем каналам относительно нулевой точки.

2. Порядок выполнения работы

1. Включить систему «ТОР-Б»:

– произвести подготовку системы «ТОР-Б» к работе согласно разделу 2 «Подготовка к работе» технического описания и инструкции по эксплуатации ГРИВ.467863.001 ТО;

– включить УУ согласно разд. 5 «Порядок работы» инструкции по эксплуатации 3.623.017 ИЭ;

– выполнить калибровку ПР:

>*CAL*

– приступить к работе через 10 минут после включения УУ.

2. Выполнить тестовое программное обеспечение:

– вставить магнитный диск в накопитель;

– набрать на клавиатуре

>*LO TEST.P*

Произойдет загрузка тестового ПО в ОЗУ УУ.

Если на экране терминала появится сообщение

>*MEMORY FULL*,

то необходимо очистить память ОЗУ УУ:

>*ZERO MEMORY*

> *ARE YOU SURE (Y,N) Y*

и повторно загрузить тестовое ПО.

3. Последовательно запустить на выполнение программы *ZEROFZ*, *ZEROMX*, *ZEROMY*:

>RU {имя программы}

4. Последовательно запустить на выполнение программы *INFFZ*, *INFMX*, *INFMY* в бесконечном цикле:

>RU (имя программы}, -1

5. В случае успешного выполнения тестовых программ на экране ВТУ появится индикация величин усилий в трёх каналах.

6. Нагружая ПСИ усилием в положительном и отрицательном направлении по соответствующему каналу, убедиться в изменении цифровой информации на экране терминала. Определить диапазон измерения.

7. Выполнить пользовательское программное обеспечение:

– вставить магнитный диск в накопитель;

– набрать на клавиатуре

>LO SORT

Произойдет загрузка пользовательского ПО в ОЗУ УУ.

8. Запустить на выполнение программу, предварительно обучив робот движению по опорным точкам траектории.

3. Содержание отчета

1. Технические характеристики системы «ТОР-Б».
2. Структурная схема автоматической системы управления с позиционной и силовой обратными связями.
3. Качественные кривые зависимостей показаний измерительной системы от величины приложенного усилия (в трёх каналах).
4. Текст управляющей программы с комментариями.
5. Анализ полученных результатов и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Для каких целей используется контроль силового взаимодействия промышленного робота с объектами внешней среды?
2. Каково назначение системы «ТОР-Б»?
3. Какие компоненты усилий позволяет определять система «ТОР-Б»?
4. Каким образом используется информация об усилиях, возникающих при взаимодействии робота с объектами внешней среды при автоматическом управлении манипулятором?

Требования к оформлению отчетов по лабораторным работам

Отчет оформляется на листах формата А4 или в отдельной тетради, графики на миллиметровой бумаге в рукописном или печатном виде (компьютерный набор выполняется шрифтом Times, 14 кегль, одинарный интервал).

Титульный лист содержит наименование дисциплины, номер и название лабораторной работы, фамилию автора и номер группы, дату выполнения работы.

Отчет должен содержать сведения о выполнении всех заданий на проведение экспериментальных и теоретических исследований с краткими выводами по каждому из них.

Отчет оформляется после выполнения лабораторной работы и представляется преподавателю в начале следующего лабораторного занятия.

Библиографический список

1. Автоматизированное проектирование следящих электроприводов и их элементов / Под ред. В.Ф.Казмиренко. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Ахетмжанов А.А., Кочемасов А.В. Следящие системы и регуляторы: Учебное пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. - Л.: Энергоиздат, 1982.
4. Бессекерский В.Н., Изранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. - М.: Наука, 1987.
5. Борцов Ю.А., Поляков Н.Д., Путов В.В. Электромеханические системы с адаптивным и модульным управлением. - Л.: Энергоиздат, 1984.
6. Бочаенко И.Н., Бемянский А.Д., Новоселов Б.В. Проектирование систем со сложными кинематическими цепями. - Киев: Техника, 1996.
7. Герман-Галкин С.Г., Лебедев В.Д., Марков Б.А., Чичерин Н.И. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями. - Л.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Гольц М.Е., Гудзенко А.В., Осетров В.М. и др. Быстродействующие электроприводы постоянного тока с широтно-импульсным преобразователем. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. Егоров И.Н. Электроприводы манипуляционных роботов с силомоментным чувствлением: Учеб. пособие. - Владимир, 1990.

10. Егоров И.Н., Назаров А.А., Немонтов В.А. Автоматическое управление электроприводами: Лаб. практикум. Ч. 1 / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2000.
11. Ключев В.И. Теория электропривода. Учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
12. Крутько П.Д., Максимов А.И., Скворцов Л.Н. Алгоритмы и программы проектирования автоматических систем. - М.: Радио и связь, 1988.
13. Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Бочаенко И.Н. Проектирование многоканальных систем оптимального управления. - Киев: Техника, 1993.
14. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. Следящие электроприводы станков с ЧПУ. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
15. Ломака М.В., Медведев И.В. Микропроцессорное управление приводами. - М.: Машиностроение, 1990.
16. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. - М.: Машиностроение, 1990.
17. Подураев Ю.В. Основы мехатроники. – М.: МГТУ «Станкин», 2000.
18. Робототехника и ГАП: В 9 кн. Кн.2. Приводы робототехнических систем. Учеб. пособие для вузов / Под ред. И.М.Макарова. - М.: Высш. шк., 1986.
19. Тихомиров Э.Л., Васильев В.В., Коровин В.Г., Яковлев В.А. Микропроцессорное управление электроприводами станков с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1990.
20. Фанштейн В.Г., Фанштейн Э.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
21. Черноруцкий П.С., Сибрин А.П., Жабреев А.С. Следящие системы автоматических манипуляторов / Под ред. Г.С.Черноруцкого. - М.: Наука, 1987.

Учебное издание

ЕГОРОВ Игорь Николаевич
НАЗАРОВ Алексей Александрович
НЕМОНТОВ Владимир Александрович

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторный практикум
Часть II

Редактор А.П. Володина
Корректор В.В. Гурова

ЛР № 020275. Подписано в печать 29.06.02.

Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,61. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.