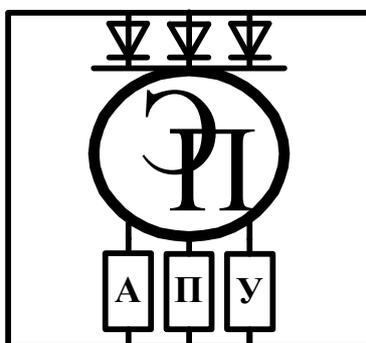


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 621.865.8
ББК 34.9
Р58

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «14» февраля 2023 г., протокол № 6

Составитель канд. техн. наук, доц. С. М. Фурманов

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Ответственный за выпуск	А. С. Коваль
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Моделирование и исследование следящего двухдвигательного электропривода (цикл работ).....	4
2 Лабораторная работа № 2. Изучение устройства управления шаговыми приводами.....	19
3 Лабораторная работа № 3. Изучение устройства и принципа работы преобразователя угловых перемещений ВЕ 178А и систем управления на его основе.....	23
4 Лабораторная работа № 4. Составление и отладка программ для устройств ЧПУ (цикл работ).....	29
5 Лабораторная работа № 5. Изучение устройства программируемого контроллера ОВЕН и разработка цикловой системы управления на его основе.....	37
6 Лабораторная работа № 6. Изучение электрооборудования и устройства программного управления промышленного робота ТУР-10...	42
Список литературы.....	48

1 Лабораторная работа № 1. Моделирование и исследование следящего двухдвигательного электропривода (цикл работ)

Цель работы

1 Определение статических ошибок при отработке траектории с постоянным периодом дискретизации по времени и с постоянным шагом квантования по уровню.

2 Разработка и исследование одноконтурной системы электропривода по скорости с ограничением тока якоря без применения регулятора тока.

3 Разработка и исследование двухконтурного следящего электропривода по положению.

4 Определение полосы пропускания электропривода по скорости, положению при различных моментах нагрузки ($M_c = 0$, $M_c = 0,5M_n$, $M_c = M_n$).

5 Определение добротности следящего электропривода путем подачи на вход системы линейно изменяющегося сигнала задания по положению при различных моментах нагрузки ($M_c = 0$, $M_c = 0,5M_n$, $M_c = M_n$), определение ЛАЧХ разомкнутой системы следящего электропривода.

6 Разработка и исследование двухдвигательного следящего электропривода при различных моментах нагрузки ($M_c = 0$, $M_c = 0,5M_n$, $M_c = M_n$) для определения контурной ошибки для случая одинаковых и разных добротностей электроприводов.

7 Разработка и исследование двухдвигательного следящего электропривода при различных моментах нагрузки ($M_c = 0$, $M_c = 0,5M_n$, $M_c = M_n$) для определения контурной ошибки для случая одинаковых и разных добротностей электроприводов при наличии люфта в механических передачах.

8 Оформление отчета по циклу лабораторных работ.

1.1 Определение статических ошибок при отработке траектории с постоянным периодом дискретизации по времени и с постоянным шагом квантования по уровню

В системах программного управления технологическими процессами металлообработки и в робототехнических комплексах (рисунок 1.1) исполнительные устройства отработывают заданную траекторию, которую в двумерном пространстве можно представить в виде функции $Y = F(X)$ (рисунок 1.2).

Реализация траектории осуществляется при помощи двух локальных исполнительных электромеханических систем (ЛИЭМС), реализующих функции $X = F_1(T)$, $Y = F_2(T)$, которые формируются устройством числового программного управления (ЧПУ) и через цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) поступают на эти системы.

Помимо уравнения траектории $Y = F(X)$, на основании параметров технологического процесса задаются начальная точка, скорость и направления отработки траектории.

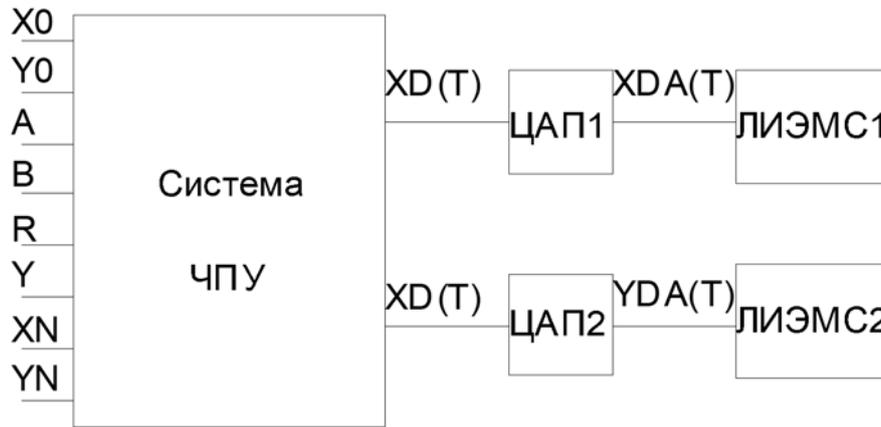


Рисунок 1.1 – Функциональная схема двухкоординатной системы ЧПУ

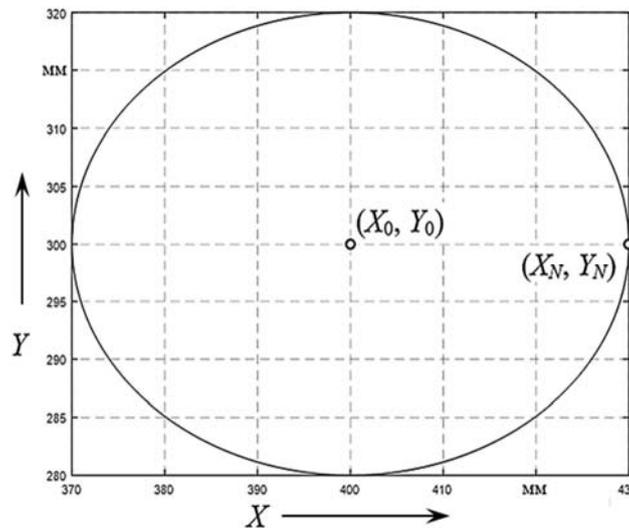


Рисунок 1.2 – Траектория движения в двухмерном пространстве

Система ЧПУ осуществляет дискретизацию сигналов $X(T)$, $Y(T)$ по уровню или по времени. При этом используется экстраполяция нулевого порядка. Уменьшение ошибки задания траектории может быть достигнуто путем увеличения разрядности ЦАП, что связано с повышением их сложности и стоимости, или за счет переменного периода дискретизации, что несколько усложняет реализацию системы ЧПУ.

Обобщенное уравнение замкнутой траектории имеет следующий вид:

$$\frac{(X - X_0)^2}{A^2} + \frac{(Y - Y_0)^2}{B^2} = R^2,$$

где X_0 , Y_0 – координаты центра, мм,
 A , B , R – параметры траектории, мм.

Параметры траектории, координаты центра и начальной точки заданы в таблицах 1.1–1.3 соответственно.

Таблица 1.1 – Параметры траектории

Параметр	Вариант (6-я цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A , мм	20	30	25	50	30	65	40	80	105	40
B , мм	10	10	25	50	20	45	40	30	70	15
R , мм	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 1.2 – Координаты центра и начальной точки

Координата	Вариант (5-я цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_0 , мм	40	150	250	100	300	400	450	100	250	150
Y_0 , мм	50	200	30	300	70	300	350	40	250	50
X_N , мм	60	120	250	150	300	445	410	100	250	110
Y_N , мм	50	200	5	300	80	300	350	10	320	50

Таблица 1.3 – Скорости обхода траектории

Скорость	Вариант (4-я цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V , мм/с	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Направление обхода при выполнении работы следует принять положительным (против часовой стрелки).

Среднее значение погрешности по обработке реальной траектории при экстраполяции по времени или по уровню можно определить по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum \left((X_{Pi} - X_{Ii})^2 + (Y_{Pi} - Y_{Ii})^2 \right)}{N}},$$

где X_P, Y_P – координаты реальной траектории;

X_I, Y_I – координаты идеальной траектории;

N – число расчетных точек.

Представить базовую траекторию в параметрическом виде. Произвести экстраполяцию полученных параметрических уравнений с постоянным и переменным шагом. Определить контурные ошибки при каждом из полученных видов экстраполяции.

При экстраполяции с постоянным шагом, шаг экстраполяции по времени составляет 0,005 с. При составлении траектории применяется 10-разрядный АЦП.

Приведём формулу движения точки к каноническому виду:

$$\begin{cases} X = X_0 \pm A \cdot \cos \Omega t; \\ Y = Y_0 \pm B \cdot \sin \Omega t. \end{cases}$$

В параметрических уравнениях траектории необходимо определить частоту синусоид. Для этого необходимо определить период оборота T , с:

$$T = \frac{\pi \cdot (A + B)}{V}.$$

На основании найденного времени движения определяем требуемую угловую частоту вращения Ω , рад/с:

$$\Omega = \frac{2 \cdot V}{(A + B)}.$$

Построим модель для задания траектории движения (рисунок 1.3).

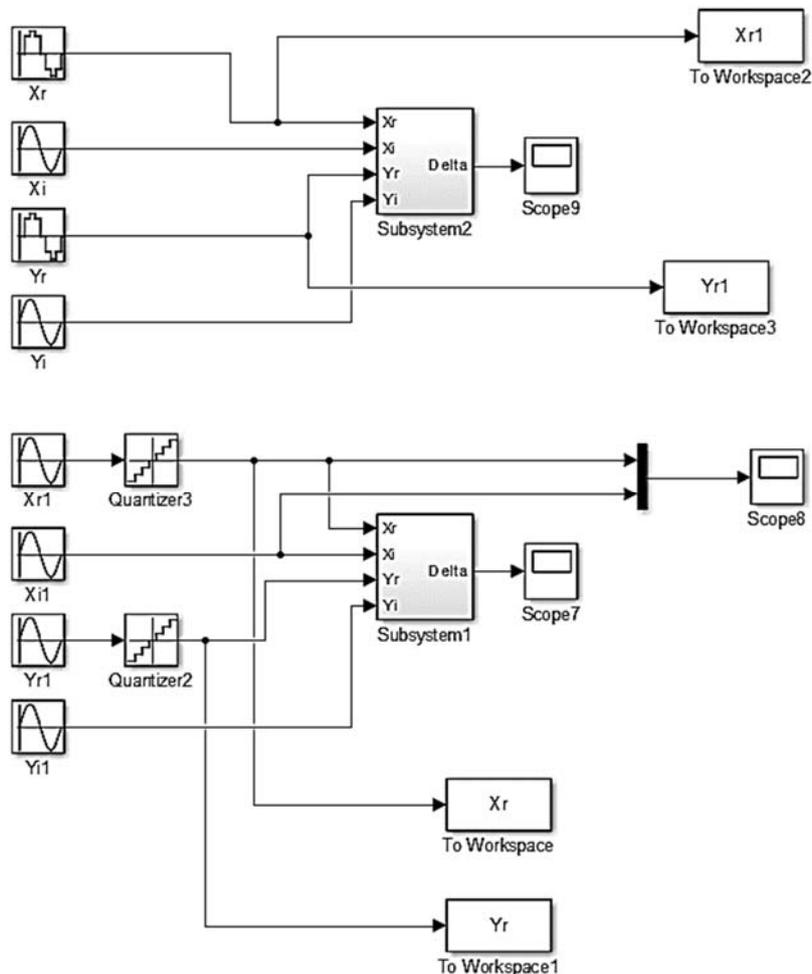


Рисунок 1.3 – Модель задания траектории движения

Построим модель для определения ошибки по времени и по уровню (рисунок 1.4).

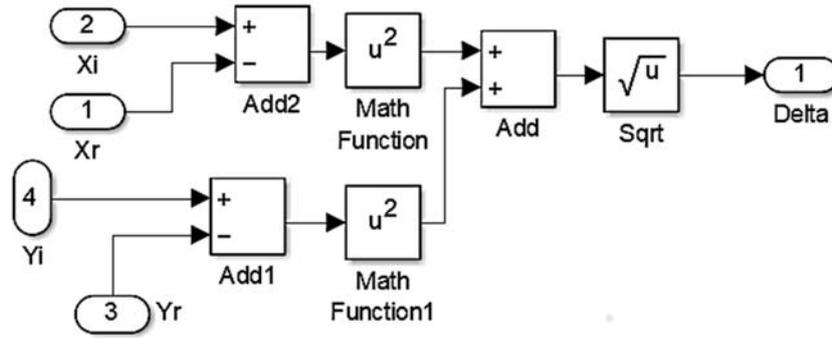


Рисунок 1.4 – Модель для определения ошибки

Определить максимальную ошибку при дискретизации по времени и по уровню и наиболее предпочтительную дискретизацию, имеющую наименьшую ошибку при обработке.

1.2 Разработка и исследование одноконтурной системы электропривода по скорости с ограничением тока якоря без применения регулятора тока

Исходные параметры электродвигателя постоянного тока (таблица 1.4):

- номинальная мощность $P_{2\text{ном}}$, Вт;
- номинальная частота вращения $n_{\text{ном}}$, об/мин;
- максимальная частота вращения $n_{\text{мах}}$, об/мин;
- коэффициент полезного действия η ;
- номинальное напряжение обмотки якоря $U_{\text{я ном}}$, В;
- момент инерции $J_{\text{дв}}$, кг·м²;
- число пар полюсов, p .

Номинальный ток якоря $I_{\text{я ном}}$, А, определяется по формуле

$$I_{\text{я ном}} = \frac{P_{2\text{ ном}}}{\eta_{\text{ ном}} \cdot U_{\text{я ном}}}$$

Сопротивление якоря $R_{\text{я}}$, Ом, рассчитывается по формуле

$$R_{\text{я}} = \frac{1}{2} (1 - \eta) \frac{U_{\text{я ном}}}{I_{\text{я ном}}}$$

Номинальную угловую частоту вращения $\omega_{\text{ном}}$, рад/с, находят по формуле

$$\omega_{\text{ ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ ном}}}{30}$$

Коэффициент ЭДС и момента $C_{\text{ном}}$, В/(рад/с), определяется как

$$C_{\text{ ном}} = \frac{U_{\text{я ном}} - I_{\text{я ном}} \cdot R_{\text{я}}}{\omega_{\text{ ном}}}$$

Таблица 1.4 – Паспортные данные двигателей постоянного тока

Вариант	Тип ДПТ	$P_{2\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$n_{\text{мах}}$, об/мин	КПД, %	$R_{\text{о.я}}$, Ом	$U_{\text{я ном}}$, В	J , кг·м ²
1	2ПН90М	1,0	3000	4000	72,5	2,52	220	0,004
2	2ПН90L	1,3	3150	4000	78	1,3	220	0,005
3	2ПН100М	1,2	2200	4000	76,5	1,79	220	0,011
4	2ПН100М	2,0	3000	4000	79	0,8	220	0,011
5	2ПН100L	1,1	1500	4000	74	2,2	220	0,012
6	2ПН100L	1,7	2200	4000	78	1,17	220	0,012
7	2ПН100L	2,2	3150	4000	81	0,52	220	0,012
8	2ПН112М	1,5	1500	4000	70	1,77	220	0,015
9	2ПН112М	2,5	2200	4000	76	0,79	220	0,015
10	2ПН112М	3,6	3000	4000	79	0,42	220	0,015
11	2ПН112L	2,2	1500	4000	75	0,97	220	0,018
12	2ПН112L	3,4	2200	4000	78	0,41	220	0,018
13	2ПН112L	5,3	3000	4000	80	0,24	220	0,018
14	2ПН132М	1,6	750	2500	68,5	1,88	220	0,038
15	2ПН132М	25	1000	3000	73,5	1,08	220	0,038
16	2ПН132М	4,0	1500	4000	79	0,56	220	0,038
17	2ПН132М	7	2240	4000	83	0,23	220	0,038
18	2ПН132М	10,5	3000	4000	84	0,14	220	0,038
19	2ПН132L	1,9	750	2500	72	1,28	220	0,048
20	2ПН132L	3	1000	4000	75,5	3,38	220	0,048
21	2ПН132L	5,5	1500	4000	80,5	0,32	220	0,048
22	2ПН132L	8,5	2200	4000	84	0,17	220	0,048
23	2ПН132L	14	3150	4000	85	0,08	220	0,048
24	2ПН160М	3,0	750	3000	75,5	0,14	220	0,083
25	2ПН160М	4,5	1000	3000	79,5	0,41	220	0,083
26	2ПН160М	7,5	1500	4000	83	0,18	220	0,083
27	2ПН160М	13	2120	4000	85,5	0,08	220	0,083
28	2ПН160М	18	3150	4000	87	0,04	220	0,083
29	2ПН160L	4	800	2500	78,5	0,49	220	0,1
30	2ПН160L	6,3	1000	3000	81,5	0,28	220	0,1
31	2ПН160L	11	1590	4000	85,5	0,096	220	0,1
32	2ПН160L	16	2360	4000	86,5	0,04	220	0,1
33	2ПН160L	24	3150	4000	83	0,02	220	0,1
34	2ЛН180М	5,6	755	3000	78,5	0,08	220	0,2
35	2ПН180М	8,0	1060	3000	83	0,18	220	0,2
36	2ПН180М	15	1500	4000	85,5	0,08	220	0,2
37	2ПН180М	26	2240	3500	88	0,04	220	0,2
38	2ПН180М	37	3000	3500	89,5	0,02	220	0,2
39	2ЛН180L	7,1	750	2500	80,5	0,26	220	0,23
40	2ЛН180L	10	1000	3000	82,5	0,17	220	0,23

Сопротивление обмотки якоря приведено при температуре 15 °С (рабочая температура 75 °С). Все двигатели четырехполюсные, без компенсационной обмотки. Напряжение обмотки возбуждения – 220 В.

Номинальный момент на валу $M_{\text{НОМ}}$, Н·м, рассчитывается как

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{2\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}}.$$

Электромагнитный момент $M_{\text{э}}$, Н·м, находят по формуле

$$M_{\text{э}} = I_{\text{яНОМ}} \cdot C_{\text{НОМ}}.$$

Индуктивное сопротивление якорной цепи $L_{\text{я}}$, Гн, определяют по формуле

$$L_{\text{я}} = \frac{0,6 \cdot U_{\text{яНОМ}}}{p \cdot \omega_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{яНОМ}}}.$$

Постоянная времени якорной цепи $T_{\text{я}}$, с, рассчитывается по формуле

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}.$$

Максимальное значение тока якорной цепи $I_{\text{макс}}$, А, находят по формуле

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{яНОМ}}.$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя $T_{tp} = 0,01$ с.

Максимальное напряжение задания $U_z = 10$ В.

Коэффициент усиления тиристорного преобразователя

$$K_{tp} = \frac{U_{\text{яНОМ}} \cdot 1,1}{U_z}.$$

Определим параметры ПИД-регулятора скорости.

Коэффициент передачи датчика скорости

$$K_{ds} = \frac{U_z}{\omega_{\text{НОМ}}}.$$

Интегральная часть ПИД-регулятора

$$T_{rs} = \frac{C_{\text{НОМ}}}{2 \cdot T_{tp} \cdot K_{tp} \cdot K_{ds}}.$$

Пропорциональная часть ПИД-регулятора

$$K_{rs} = \frac{R_{я} \cdot J_{дв}}{2 \cdot T_{tp} \cdot K_{tp} \cdot K_{ds} \cdot C_{ном}}$$

Дифференцирующая часть ПИД-регулятора

$$t_{rs} = \frac{R_{я} \cdot J_{дв} \cdot T_{я}}{2 \cdot T_{tp} \cdot K_{tp} \cdot K_{ds} \cdot C_{ном}}$$

В процессе наладки параметры ПИД-регулятора могут корректироваться.

Построим математическую модель привода с обратной связью по скорости (рисунок 1.5) и подсистему программной модели – двигатель постоянного тока (рисунок 1.6). Введём ограничения в ПИД-регулятор от –10 до 10 В (рисунок 1.7).

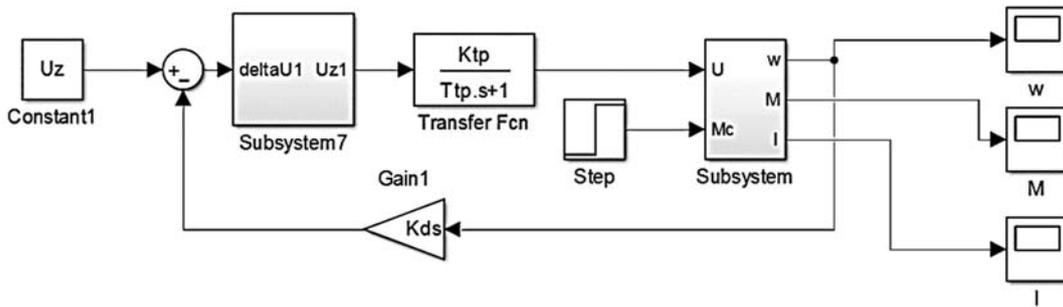


Рисунок 1.5 – Программная модель электропривода с обратной связью по скорости

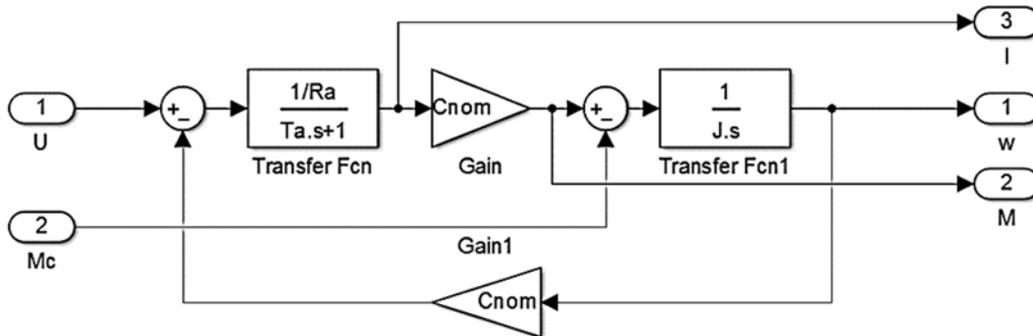


Рисунок 1.6 – Подсистема программной модели – двигатель постоянного тока

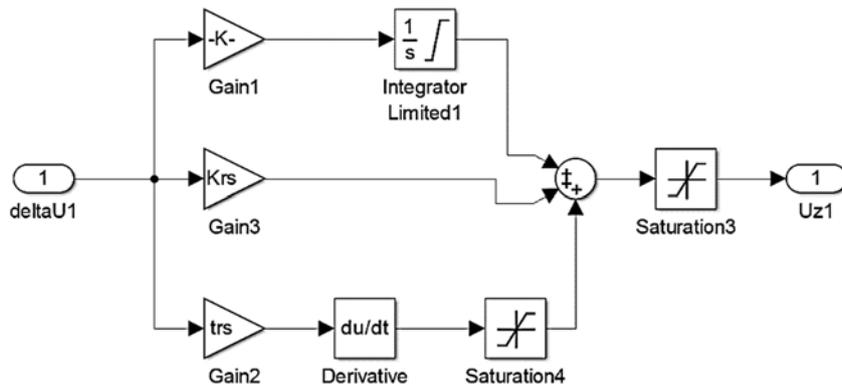


Рисунок 1.7 – Программная модель ПИД-регулятора

В результате моделирования электропривода с ПИД-регулятором скорости должны быть представлены:

- график переходного процесса угловой скорости;
- график переходного процесса тока якоря.

Используем релейный регулятор тока (рисунок 1.8) для ограничения тока в модели электропривода (рисунок 1.9).

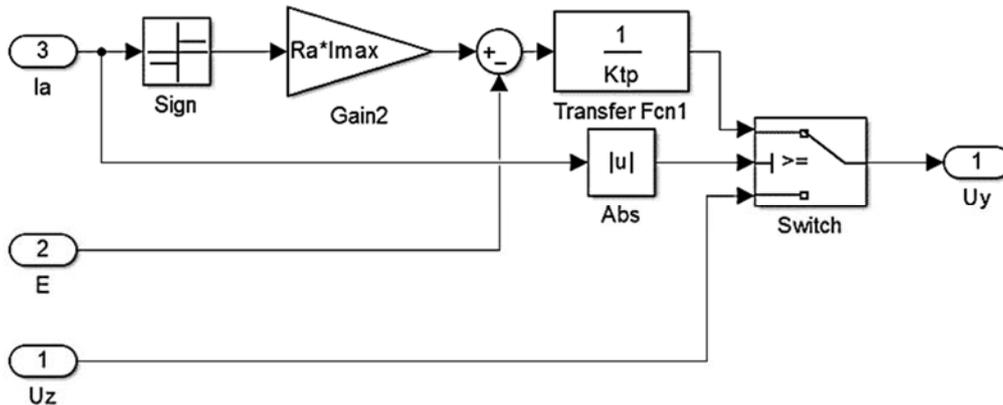


Рисунок 1.8 – Программная модель релейного регулятора тока

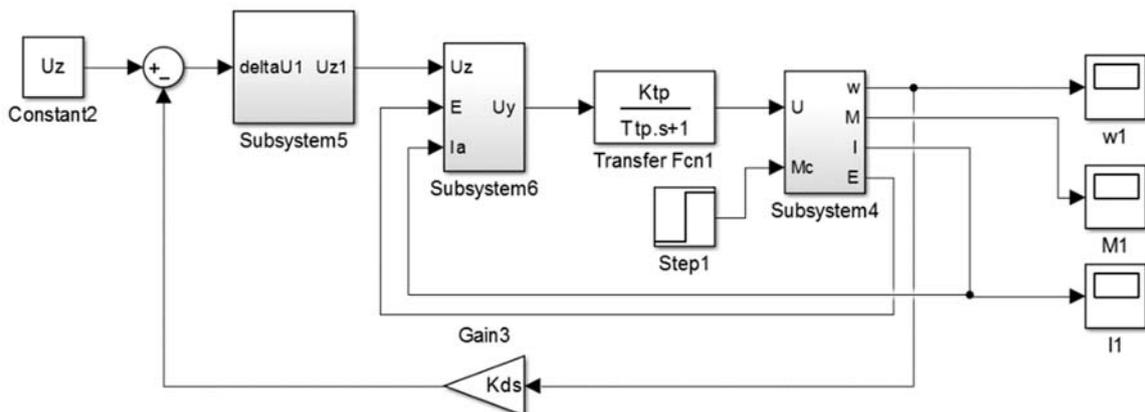


Рисунок 1.9 – Программная модель электропривода с обратной связью по скорости и релейным регулятором тока

В результате моделирования электропривода с обратной связью по скорости и релейным регулятором тока должны быть представлены:

- график переходного процесса угловой скорости;
- график переходного процесса тока якоря;
- ЛАЧХ и ЛФЧХ системы с замкнутым контуром скорости;
- ЛАЧХ и ЛФЧХ системы с разомкнутым контуром скорости;
- полоса пропускания замкнутой системы;
- график траектории задания и отработки траектории на частоте среза;
- зависимость фазового сдвига от нагрузки.

В результате моделирования также требуется определить:

- наиболее оптимальную постоянную времени для переходного процесса угловой скорости с наименьшим перерегулированием;

– влияние нагрузки на фазовый сдвиг и отклонение отработки траектории от траектории задания на частоте среза.

1.3 Разработка и исследование двухконтурного следящего электропривода по положению

Рассчитаем параметры следящего электропривода по положению.

Радиус приведения

$$\rho = \frac{V}{1000 \cdot \omega_{\text{НОМ}}}.$$

Пропорциональная часть регулятора положения

$$K_{rp} = \frac{K_{ds}}{2 \cdot 0,01 \cdot \rho}.$$

Построим двухконтурную следящую систему с обратными связями по скорости и положению (рисунок 1.10).

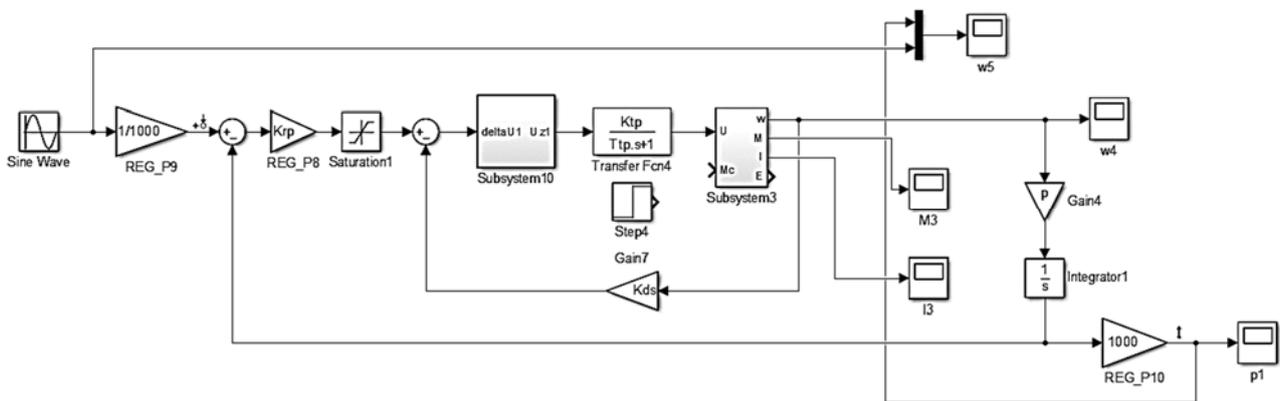


Рисунок 1.10 – Программная модель следящего электропривода с обратной связью по скорости и положению

В результате моделирования электропривода с обратной связью по скорости и положению должны быть представлены:

- графики задания и отработки системы позиционирования при синусоидальном сигнале задания при различных моментах нагрузки ($M_C = 0$, $M_C = 0,5M_{\text{НОМ}}$, $M_C = M_{\text{НОМ}}$);
- графики задания и отработки системы позиционирования при линейном сигнале задания при различных моментах нагрузки ($M_C = 0$, $M_C = 0,5M_{\text{НОМ}}$, $M_C = M_{\text{НОМ}}$);
- определение полосы пропускания электропривода по положению при различных моментах нагрузки ($M_C = 0$, $M_C = 0,5M_{\text{НОМ}}$, $M_C = M_{\text{НОМ}}$);
- определение добротности следящего электропривода путём подачи на

вход системы линейно изменяющегося сигнала задания по положению при различных моментах нагрузки;

– зависимость фазового сдвига и отклонения нарастающего сигнала от нагрузки;

– определение ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы позиционирования;

– определение ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутой системы позиционирования;

– оценка отклонения фактической траектории от траектории задания на частоте среза.

Добротность системы при заданной постоянной скорости V нарастания сигнала задания определяется по формуле

$$D = \frac{V}{\Delta},$$

где Δ – установившееся значение динамической ошибки отработки заданного положения, изменяющегося по линейному закону.

1.4 Разработка и исследование двухдвигательного следящего электропривода при различных моментах нагрузки для определения контурной ошибки для случая одинаковых добротностей электроприводов, а также при наличии люфта в механических передачах

Построим математическую модель для исследования двухдвигательного следящего ЭП при идеальном задающем входном сигнале (рисунок 1.11).

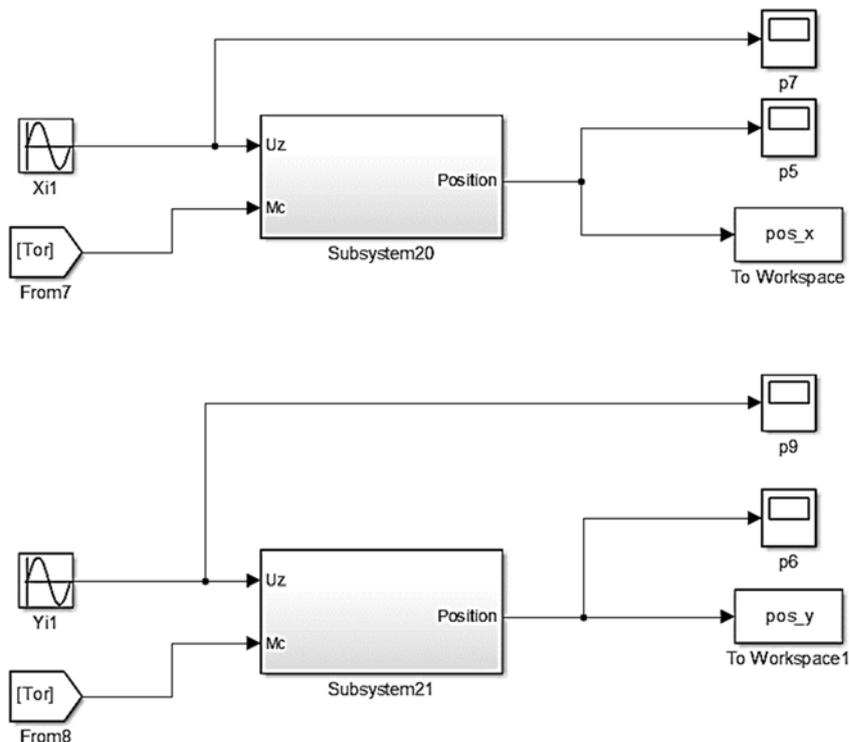


Рисунок 1.11 – Модель двухдвигательного следящего электропривода

Покажем траекторию обработки координат (рисунок 1.12) и зависимость отклонения траектории движения от угловой скорости задания (рисунок 1.13, *a*) и от нагрузки (рисунок 1.13, *б*).

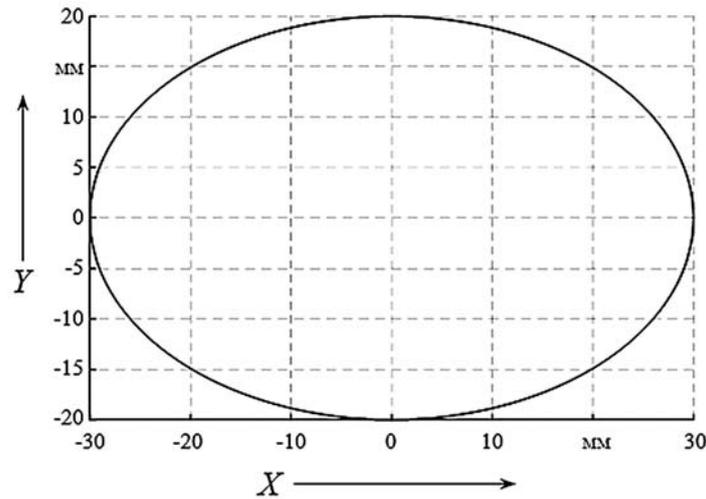


Рисунок 1.12 – Траектория обработки координат без нагрузки на заданной скорости

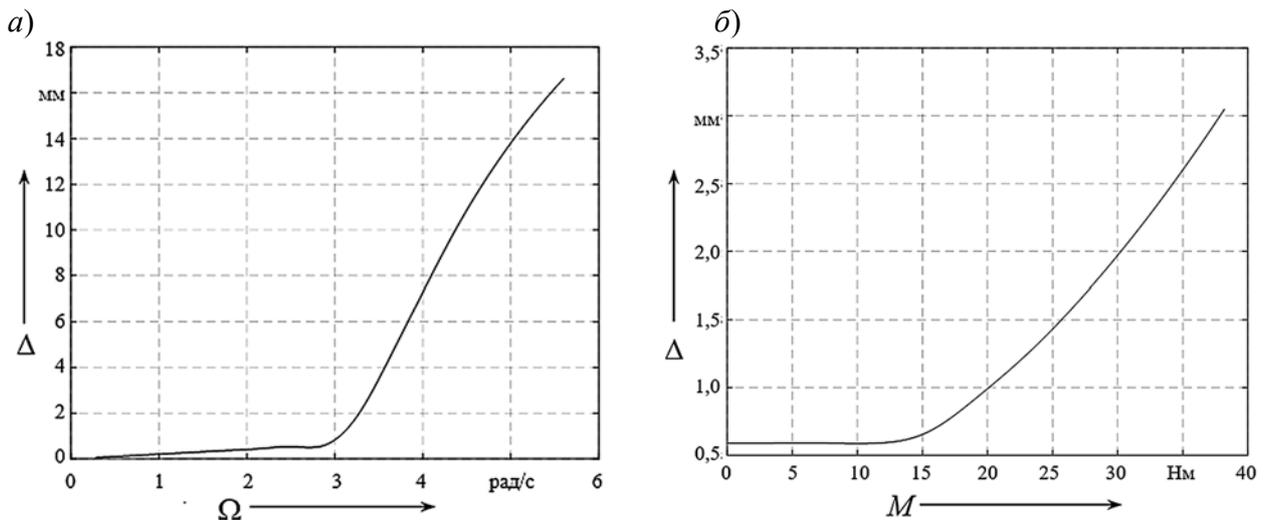


Рисунок 1.13 – Зависимость отклонения траектории движения от угловой скорости задания (*a*) и от нагрузки (*б*)

Подмодель следящего ЭП, реализующая зазор в механической части, показана на рисунке 1.14. Покажем изменение положения ЭП во времени, а также отработку координат от задающего сигнала с зазором на валу при $M_C = M_{ном}$ (рисунок 1.15, *a*, *б*).

Промоделируем систему двухдвигательного ЭП с задающим сигналом, дискретизированным по времени или уровню (рисунок 1.16).

Покажем ошибку в отработке координат между системой ЭП с идеальным заданием, дискретизированным по времени или по уровню (рисунок 1.17, *a*, *б*).

Требуется установить влияние на ошибку воспроизведения траектории степени дискретизации по времени/уровню и статического момента нагрузки. Определить способы корректировки данной ошибки.

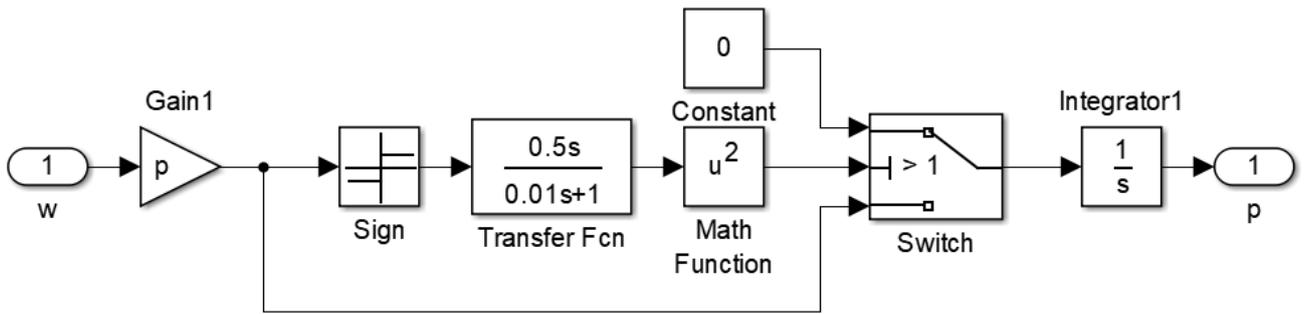


Рисунок 1.14 – Подмодель следящего ЭП, реализующая зазор в механической части

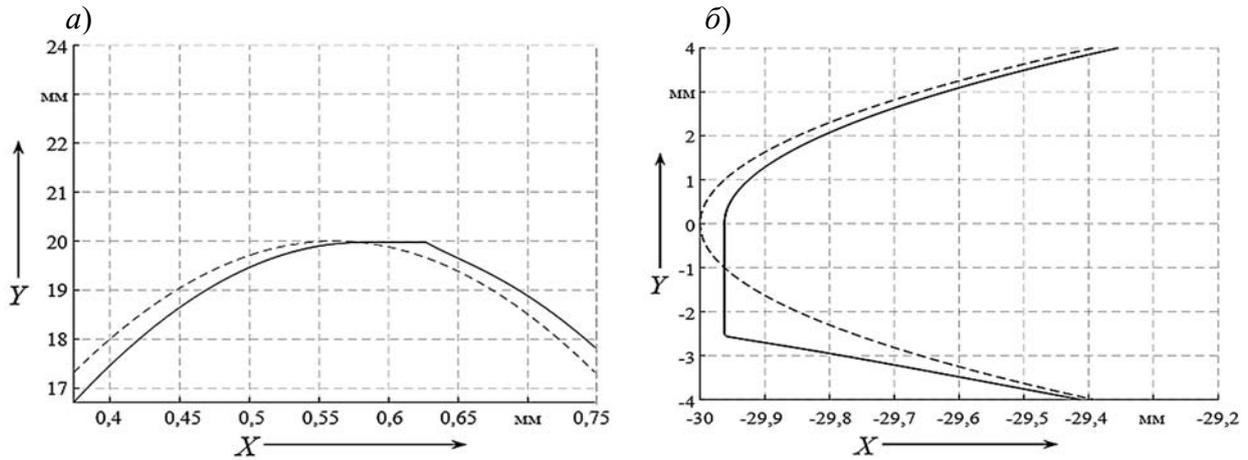


Рисунок 1.15 – Обработка координат от задающего сигнала двухдвигательного ЭП (а) и положение следящего ЭП с зазором на валу при $M_c = M_{ном}$ (б)

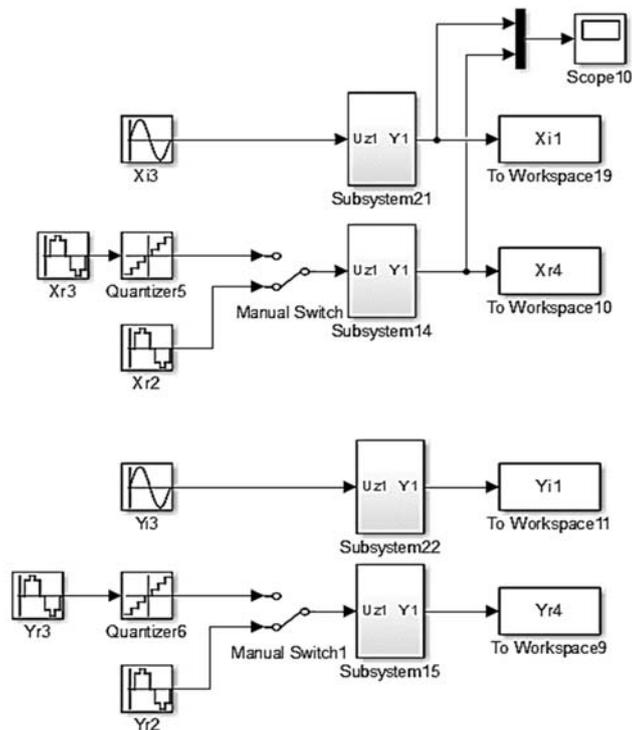


Рисунок 1.16 – Модель двухдвигательного электропривода с задающим идеальным дискретизированным по времени или уровню сигналом

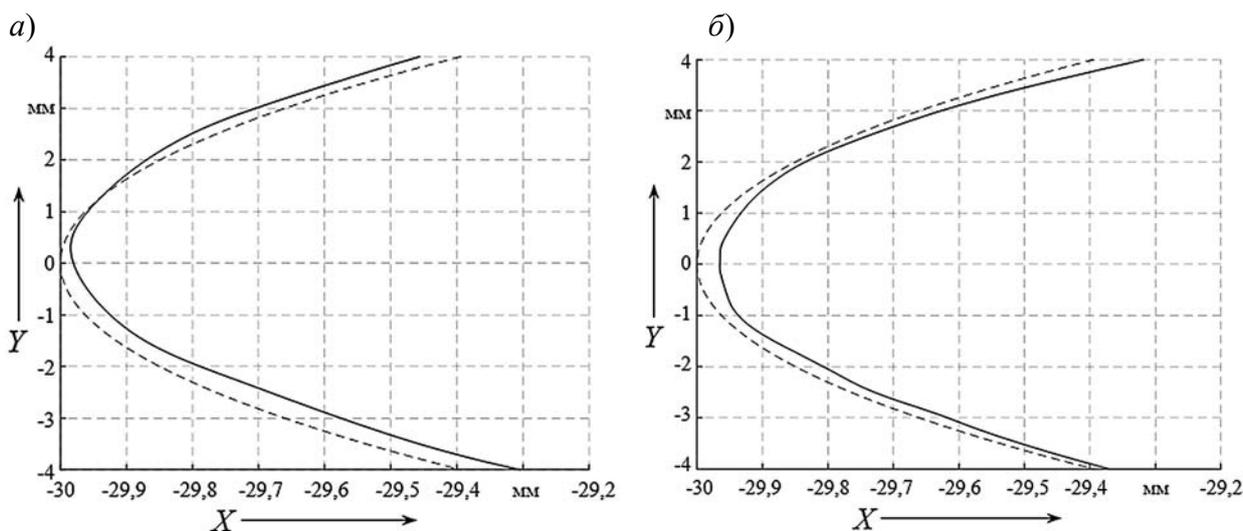


Рисунок 1.17 – Ошибка в обработке координат при дискретизации задающего сигнала ЭП по времени (а) и по уровню (б)

1.5 Содержание отчета

Отчет по циклу лабораторных работ оформляется на листах формата А4 и должен содержать титульный лист, цель работы, исходные данные в соответствии с вариантом.

Содержание каждого этапа работы.

1 Уравнение траектории в декартовой системе координат, параметрические уравнения траектории, модель для исследования электропривода в статическом режиме, графики аппроксимации при постоянном периоде дискретизации по времени и при постоянном шаге квантования по уровню, графики контурных ошибок при постоянном периоде дискретизации по времени и при постоянном шаге квантования по уровню, выводы о точности обработки траектории для двух случаев (численные значения ошибок).

2 Расчет регулятора скорости в соответствии с выбранным способом настройки (СО, МО) в зависимости от способа представления электродвигателя (передаточной функции электродвигателя), модель ограничения тока якоря, модель электропривода, графики переходных процессов на ступенчатые сигналы задания во всех четырех квадрантах (по току и скорости); переходной процесс по скорости не должен иметь вид затухающих колебаний.

3 Расчет регулятора положения в соответствии с выбранным способом настройки (СО, МО), модель следящего электропривода, графики переходных процессов на ступенчатый сигнал задания (по току, скорости и положению); переходной процесс по положению не должен иметь вид затухающих колебаний.

4 Зависимости полосы пропускания от момента нагрузки (в графическом или табличном виде) для электроприводов по скорости и положению для гармонического сигнала задания такой амплитуды, при которой не происходит ограничений регуляторов (0,1...0,5 от $U_{зад}$).

5 Зависимость добротности от момента нагрузки для следящего электропривода по положению для линейно изменяющегося сигнала задания по положению

(скорость не должна превышать номинального значения), ЛАЧХ разомкнутой системы следящего электропривода, выводы по анализу численных значений добротности и частоты среза разомкнутой системы.

6 Модель двухдвигательного электропривода; зависимость контурной ошибки от момента нагрузки для двухдвигательного электропривода при одинаковых и разных добротностях электроприводов.

7 Зависимость контурной ошибки от момента нагрузки для двухдвигательного электропривода при одинаковых и разных добротностях электроприводов при наличии люфта в механических передачах.

Контрольные вопросы

1 В чем заключается аппроксимация траектории при постоянном шаге дискретизации по времени? Как определяется шаг дискретизации по времени?

2 В чем заключается аппроксимация траектории при постоянном шаге дискретизации по уровню? Как определяется шаг дискретизации по уровню?

3 Как определяется контурная ошибка при обработке исходной траектории?

4 Как влияет передаточная функция электродвигателя (принятая в вашем случае) на передаточную функцию регулятора скорости?

5 Почему полоса пропускания (по скорости, положению) изменяется при изменении момента нагрузки, амплитуды гармонического сигнала?

6 Как связана полоса пропускания электропривода со скоростью обработки траектории? Почему при определении полосы пропускания регуляторы не должны находиться в насыщении?

7 Как влияет частота гармонического сигнала задания на точность обработки траектории, связать с контурной ошибкой?

8 Как влияет аппроксимация сигнала задания на точность обработки в зависимости от способа аппроксимации?

9 В каких областях траектории сказывается сильное влияние момента нагрузки и почему?

10 Какое влияние оказывает люфт в механической передаче на точность обработки траектории? Каким образом можно уменьшить влияние кинематических погрешностей на точность обработки траектории?

11 Какое влияние на точность обработки оказывает разная добротность электроприводов в двухдвигательном электроприводе?

12 На каких участках траектории ошибка обработки траектории принимает максимальное (минимальное) значение и почему?

2 Лабораторная работа № 2. Изучение устройства управления шаговыми приводами

Цель работы

1 Исследование режимов работы шагового электропривода на лабораторном стенде при «ручном управлении»:

- определение последовательности коммутации фаз двигателя в прямом и инверсном режимах;
- определение величины шага двигателя (в градусах);
- определение синхронизирующих моментов.

2 Изучение электрооборудования устройства программного управления шагового электропривода систем ЧПУ.

2.1 Принцип работы устройства управления шаговыми приводами

Устройства управления шаговыми приводами (УУШП) отличаются только количеством независимо управляемых приводов. Поэтому рассмотрим принцип работы УУШП по одной координате по структурной схеме (рисунок 2.1).

УУШП имеет два режима работы.

В режиме РАБОТА сигналы управления поступают из интерполятора, а в режиме ПРОВЕРКА сигналы управления формируются автономным генератором, расположенным в пульте управления.

Как известно, в СЧПУ информация, записанная в кодированном виде, преобразуется в последовательность командных импульсов с помощью интерполятора. Сигналы с выхода интерполятора поступают в зависимости от требуемого направления движения привода по каналам +ПРОГР или –ПРОГР.

Характеристики сигналов, поступающих из интерполятора:

- максимальная частота сигналов 0,8 кГц;
- напряжение при логическом «0» на входе 0,4 В;
- напряжение при логической «1» на входе от 2,2 до 4,5 В;
- полярность управления – положительная.

Для управления шаговым двигателем типа ШД-5Д1 необходимы сигналы:

- напряжение в состоянии «0» < 2,5 В;
- напряжение в состоянии «1» 48 В;
- максимальный ток в обмотке ШД 2,8 А.

Распределение импульсов, поступающих из интерполятора, по фазам шагового двигателя осуществляется коммутатором.

В режиме РАБОТА сигналы +ПРОГР или –ПРОГР из интерполятора поступают на вход коммутатора, а сигнал СБРОС поступает на плату контроля, где формируется сигнал СБРОС ПРИВОДА, который поступает на входы всех коммутаторов одновременно. По сигналу СБРОС ПРИВОДА каждый коммутатор УУШП устанавливается в исходное состояние, при котором включены первая и вторая фазы ШД.

Сигналы управления, сформированные в коммутаторе, поступают на плату потенциальных развязок, где формируются сигналы управления усилителями мощности, гальванически не связанные с сигналами коммутатора и интерполятора.

С выходов платы потенциальных развязок сигналы поступают в блоки усилителей мощности, где усиливаются до величины, необходимой для коммутации фазовых токов обмоток шагового двигателя.

С выходов блоков усилителей мощности усиленные сигналы через узлы форсировочных резисторов поступают на обмотки ШД.

Состояние фаз ШД контролируется с помощью ламп на пульте управления, которые включены параллельно форсировочным резисторам. Параллельно обмоткам ШД включены узлы демпфирующих цепей, которые служат для сглаживания перенапряжений, возникающих на обмотках ШД в моменты их отключения.

В выходных каскадах усилителей мощности формируются сигналы контроля состояния фаз ШД, которые через плату потенциальных развязок поступают на схему контроля, где формируется сигнал СБОИ КООРДИНАТЫ при неисправности или отказе любого из шести каналов управления фазами ШД.

Сигнал СБОИ КООРДИНАТЫ с коммутаторов поступает на плату контроля, где формируется общий сигнал СБОИ УУШП при отказе УУШП по любой из координат, который одновременно поступает в интерполятор и на пульт управления. Загорается лампа СБОИ УУШП.

При работе УУШП в режиме ПРОВЕРКА сигналы управления формируются на плате контроля и поступают в коммутатор по каналам +ПРОГР АВТОН или –ПРОГР АВТОН. Сигналы управления формируются из сигналов генератора или из сигналов триггера одиночных команд. Частота задающего автономного генератора может изменяться дискретно с помощью переключателя СКОРОСТЬ ПОДАЧИ на пульте управления.

В режиме РАБОТА частота вращения всех приводов определяется программой работы и сигналы управления поступают на вход коммутатора по каналам +ПРОГР или –ПРОГР.

Коммутатор предназначен для формирования сигналов управления усилителями из сигналов унитарного кода, поступающих с интерполятора, или из сигналов управления, поступающих с задающего генератора или триггера одиночных команд. Кроме того, схема коммутатора формирует сигналы СВОИ КООРДИНАТЫ и (0) КООРДИНАТЫ по сигналам контроля, поступающим с входов усилителей мощности.

С целью повышения надежности работы привода управление шаговым двигателем осуществляется по 12-тактной схеме с алгоритмом 2–3.

При принятом алгоритме управления при любом такте состояние выходов коммутатора, а следовательно, и состояние обмоток шагового двигателя может быть описано в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Состояние выходов коммутатора

Выход коммутатора	Уст «0»	ТАКТ											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	
Упр. 1 ф.	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Упр. 2 ф.	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Упр. 3 ф.	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Упр. 4 ф.	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Упр. 5 ф.	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
Упр. 6 ф.	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0

2.2 Содержание отчета

- 1 Титульный лист (при оформлении в тетради – один на тетрадь).
- 2 Название и цель работы.
- 3 Структурная схема УУШП.
- 4 Таблицы и графики результатов эксперимента и расчетов.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите назначение, состав, технические характеристики УУШП.
- 2 Поясните устройство и принцип действия шагового двигателя.
- 3 Используя структурную схему устройства, опишите взаимодействие основных УЗЛОВ УУШП в режиме РАБОТА.
- 4 Используя структурную схему устройства, опишите взаимодействие основных узлов УУШП в режиме ПРОВЕРКА.
- 5 Поясните работу коммутатора по принципиальной схеме и приведите временные диаграммы импульсов.
- 6 Опишите назначение и работу принципиальной электрической схемы КОНТРОЛЯ.
- 7 Опишите назначение и работу принципиальной электрической схемы пульта управления.
- 8 Дайте описание работы платы потенциальных развязок и приведите временные диаграммы импульсов.
- 9 Поясните работу узла форсировочных резисторов. Приведите необходимые диаграммы и графики.
- 10 Поясните назначение и принцип работы демпфирующих цепей в схеме.
- 11 Опишите работу блока усилителя мощности.
- 12 Приведите основные сведения об унитарном коде.

3 Лабораторная работа № 3. Изучение устройства и принципа работы преобразователя угловых перемещений ВЕ 178А и систем управления на его основе

Цель работы

- 1 Изучить устройство, принцип работы и основные технические характеристики преобразователя угловых перемещений ВЕ 178А (аналог ЛИР-158В).
- 2 Изучить схему электрическую принципиальную датчика.
- 3 Снять временные характеристики с выходов датчика (последовательности: синусная, косинусная, начальной установки).
- 4 Разработать схему электрическую принципиальную устройства для определения направления вращения.
- 5 Разработать схему электрическую принципиальную устройства для увеличения разрешающей способности датчика.
- 6 Разработать функциональную схему для преобразования последовательности импульсов в параллельный (последовательный) код.
- 7 Привести функциональную схему следящего электропривода на основе преобразователя «импульсная последовательность – напряжение».

3.1 Технические данные и характеристики преобразователя угловых перемещений ВЕ 178А

Преобразователь угловых перемещений фотоэлектрический ВЕ178А предназначен для использования в системах автоматического регулирования станков и для информационной связи по положению между исполнительными механизмами станка, промышленного робота и устройством числового программного управления (УЧПУ), а также в системах автоматического или автоматизированного контроля, регулирования и управления других областей техники.

Максимальную рабочую частоту вращения вала преобразователя определяют по формуле

$$H_{\max} = \frac{60 \cdot F_{\max}}{z},$$

где H_{\max} – максимальная частота вращения вала, об/мин.;

F_{\max} – максимальная частота выходных сигналов, Гц;

z – количество делений на растровом диске, т. е. количество периодов выходных сигналов U_1 и U_2 .

H_{\max} не должна превышать механически допустимую частоту 10000 об/мин.

Технические данные и характеристики датчиков приведены в таблице 3.1. Основные данные для подключения преобразователя приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Основные технические данные и характеристики датчика BE178A

Наименование параметров	Данные
Класс точности преобразователя по ГОСТ 26242–84	8
Количество выходных сигналов:	6
U_1 – основной	+
\bar{U}_1 – инверсный основному	+
U_2 – смещённый	+
\bar{U}_2 – инверсный смещённому	+
U_0 – начало отсчёта	+
\bar{U}_0 – инверсный начала отсчёта	+
Форма выходных сигналов	Прямоугольный
Длительность сигналов в долях периода основного сигнала	$0,25 \pm 0,125$
Уровень выходных сигналов при коммутируемом напряжении $E_K = 15$ В и токе нагрузки $I_H \leq 16$ мА	
В состоянии лог. «1» (верхний уровень), В, не менее	10
В состоянии лог. «0» (нижний уровень), В, не более	1,5
Количество периодов выходных сигналов за один оборот вала (z дискретность преобразователя):	
сигналов $U_1, \bar{U}_1, U_2, \bar{U}_2$	1000, 1024, 2500
сигналов U_0, \bar{U}_0	1
Габариты	$\varnothing 46 \times 88$ мм
Масса	0,33 кг

Таблица 3.2 – Основные данные для подключения преобразователя

Наименование параметров	Данные
Стабилизированное постоянное напряжение на электронную часть, В	$15 \% \pm 5 \%$
Стабилизированное постоянное напряжение на осветитель, В	$5 \% \pm 5 \%$
Потребляемая мощность, Вт, не более:	
электронной частью	1,8
осветителем	0,5
общая	2,3
Допускаемая пульсация напряжения, мВ, не более	5

3.2 Системы ЧПУ с импульсным датчиком и преобразователем «код – напряжение»

Программная АСУ ЭП одной координаты с импульсным датчиком положения для случая контурной обработки изделия содержит внутренний аналоговый контур регулирования скорости с регулятором РС и внешний цифровой контур регулирования положения. Сигнал ошибки по положению после преобразования его преобразователем «код – напряжение» (ПКН) в аналоговое напряжение воздействует на вход регулятора положения (РП).

Ошибка фиксируется реверсивным счетчиком (РСч) как разность числа программных импульсов, поступающих от интерполятора, и импульсов отработки с ДОС по положению. Интервалы между импульсами определяются характером

Аналогично образуется код рассогласования при задании движения «Назад». В этом случае импульсы задания проходят по входу H через СС на вход (–) реверсивного счетчика, а импульсы обратной связи через $H_{o.c}$ и СС на вход (+) РСч.

Схема синхронизации СС (рисунок 3.2) состоит из блоков синхронизации БС1–БС4, управляемых двумя последовательностями тактовых импульсов A и B , получаемых от генератора тактовых импульсов (ГТИ). При движении «Вперед» импульсы задания (ИЗ) от интерполятора проходят к реверсивному счетчику через блок БС1, а импульсы отработки от ФИО – через блок БС4.

На рисунке 3.2, б показана схема блока БС1. Схема блока БС4 полностью аналогична предыдущей, но в ней должны быть приняты обозначения, указанные в скобках. Если на рисунке 3.2, б входы B ($B_{o.c}$) заменить на входы «Назад», то получим схемы блоков БС2, БС3.

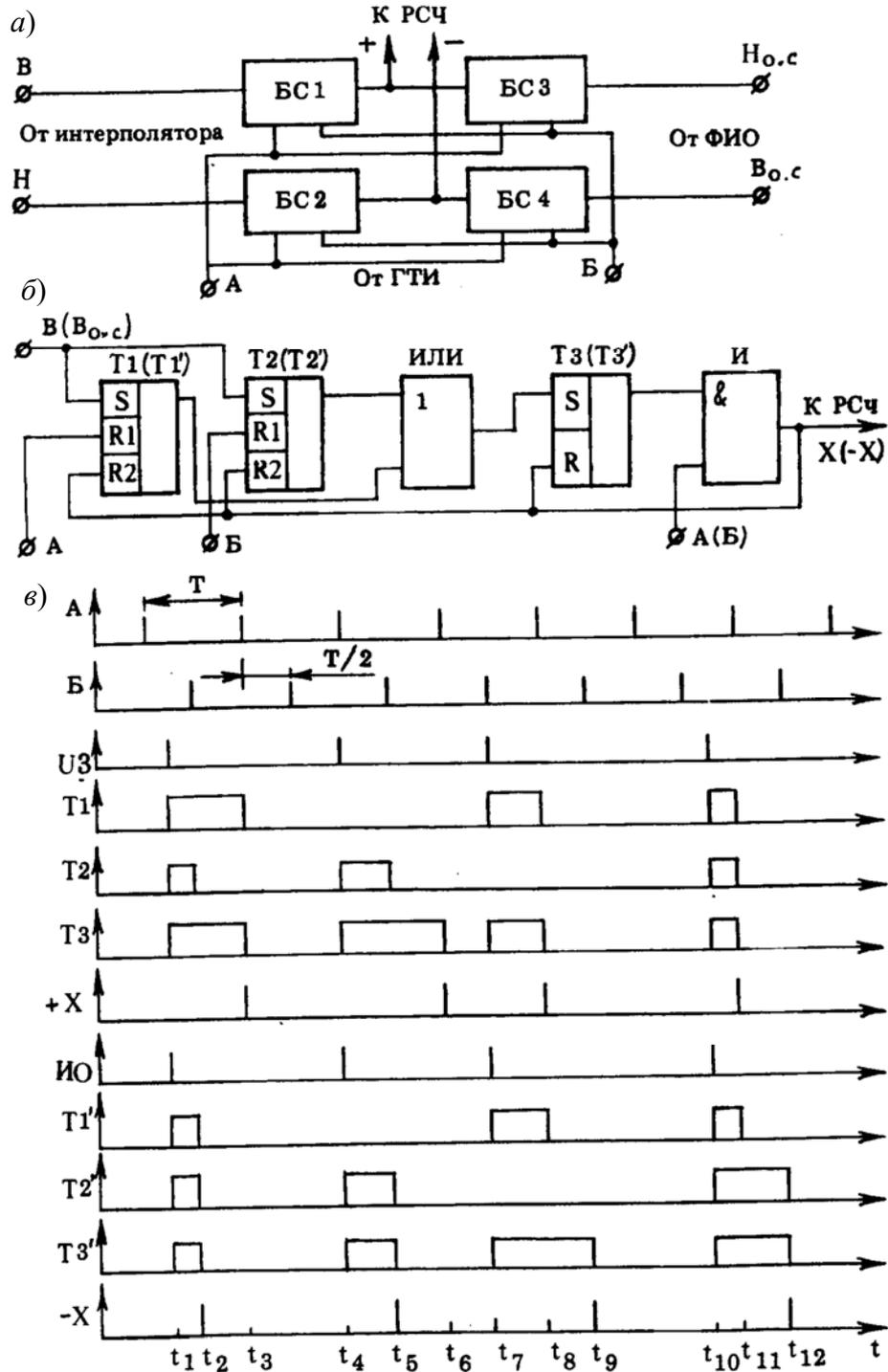
Выходные сигналы с триггеров Т1, Т2 проходят через схему ИЛИ и устанавливаются в состояние 1 триггер Т3 блока БС1. Аналогично в положение 1 устанавливается и триггер Т3' блока БС4. В результате схемы И в обоих блоках БС1 и БС4 оказываются открытыми потенциальными сигналами с триггеров Т3 и Т3'. Серии тактирующих импульсов A и B поступают от ГТИ равномерно с частотой $f_{т.и} = 1 / T$, значительно превышающей максимальную частоту импульсов задания f_z и импульсов отработки $f_{o.c}$. Серии импульсов A и B сдвинуты относительно друг друга на половину периода тактовых импульсов $T/2$ и поэтому никогда не совпадают во времени.

В рассматриваемом случае в момент t_2 появится импульс серии B и на выходе блока БС4 появится сигнал X , поступающий на вход вычитания реверсивного счетчика РСч. Одновременно по цепи обратной связи триггеры Т1', Т2' и Т3' будут переброшены в состояние 0. Триггер Т2 блока БС1 также устанавливается в положение 0 при появлении импульса серии B , но триггеры Т1 и Т3 остаются в положении 1. Когда в момент t_3 появится ближайший импульс серии A , на выходе блока БС1 сформируется импульс X , поступающий на вход сложения реверсивного счетчика. Таким образом, одновременно возникшие на входах СС импульсы задания и отработки поступают на соответствующие входы реверсивного счетчика со сдвигом во времени, равным сдвигу между импульсами серий A и B (то есть половине периода ГТИ).

На рисунке 3.2 показаны также случаи совпадения во времени в момент t_4 импульсов ИЗ, ИО и A , а в момент t_7 – импульсов ИЗ, ИО и B . Как видно, происходит разделение во времени импульсов X и $-X$, поступающих на входы сложения и вычитания РСч.

Так как импульсы последовательностей A и B сдвинуты друг относительно друга, одновременное поступление программных импульсов и импульсов отработки на РС4 исключается. Время запаздывания импульса на выходе по отношению к входному изменяется в пределах $\tau_3 = \Delta\tau \pm (\Delta\tau + 1/f_{т.и})$, где $\Delta\tau$ – собственное время запаздывания, обусловленное суммарным временем срабатывания элементов схемы. Время запаздывания уменьшается с повышением частоты тактовых импульсов $f_{т.и}$, которая выбирается на порядок выше максимального значения частоты программных импульсов $f_{пр}$ и импульсов отработки $f_{o.c}$. Поэтому оно

мало влияет на динамические характеристики электропривода, лишь незначительно увеличивая сумму малых постоянных времени. При реверсе возможен режим, когда от интерполятора импульсы идут уже по каналу $H(B)$, а ИО движется еще в направлении «Вперед» («Назад»). Тогда одновременно на один вход РСч работают БС1 и БС3 (БС2 и БС4).



a – структурная схема; *б* – схема блока БС1 (БС4); *в* – временные диаграммы

Рисунок 3.2 – Схема синхронизации

Система управления предусматривает определенную цену *ИЗ* и *ИО*. Поэтому код рассогласования выражает разность заданного и фактического перемещений РО $N_\delta = k(s_3 - s) = k \delta s$.

Преобразователь «код – напряжение» (ПКН) переводит код рассогласования в аналоговый сигнал U_δ в соответствии с характеристикой, приведенной на рисунке 3.1, б.

Преобразователь «код – напряжение» (ПКН) преобразует ошибку, вычисляемую РСч, в дискретном виде в управляющее напряжение постоянного тока $U_{П.К.Н}$ путем применения ЦАП.

Схема компенсации скоростной ошибки (ПЧН) формирует аналоговый сигнал, пропорциональный частоте входных импульсов, и представляет собой дискретно-аналоговый преобразователь типа «частота – напряжение». Задаваемая скорость по координате пропорциональна частоте входных импульсов. Поэтому для электропривода ПЧН выполняет роль формирователя сигнала, пропорционального входной скорости, т. е. производной от основной входной величины – перемещения. Система электропривода при этом становится комбинированной, содержащей, кроме основного замкнутого контура по пути, еще канал управления по входной скорости.

3.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист, цель работы;
- основные технические данные датчика, описание принципа действия;
- функциональную схему датчика с временными диаграммами;
- временные характеристики.

Контрольные вопросы

1 Опишите принцип работы импульсного датчика перемещения (ИДП). В чем заключаются достоинства и недостатки ИДП?

2 Как определить разрешающую способность ИДП? Как увеличить разрешающую способность ИДП, используя аппаратные средства?

3 Как определить требуемую разрешающую способность ИДП в зависимости от точности станка для передачи «винт – гайка»?

4 Как увеличить разрешающую способность ИДП в установленном режиме электропривода в 5 и более раз?

5 Как из импульсной последовательности получить аналоговый сигнал, пропорциональный частоте вращения?

6 За счет чего исключается возможность потери импульса с интерполятора или ИДП в следящем электроприводе?

7 Поясните принцип работы следящего электропривода, построенного на основе преобразователя «импульсная последовательность – напряжение». Какие функции в следящем электроприводе выполняет ИДП?

4 Лабораторная работа № 4. Составление и отладка программ для устройств ЧПУ (цикл работ)

Цель работы: изучить систему команд ЧПУ SINUMERIK; научиться составлять технологические программы для обработки деталей на токарном станке с ЧПУ.

4.1 Структура управляющих программ для устройств ЧПУ

Исходными данными при подготовке управляющих программ (УП) являются рабочий чертеж детали и технологическая карта. Текст готовой УП либо записывается на программноноситель, либо вводится в устройство ЧПУ с помощью клавиатуры и переключателей на пульте управления. От способа ввода УП в систему ЧПУ зависит только вид документа, в котором фиксируются результаты программирования.

Запись программы обработки осуществляется кадрами переменной длины, которые содержат информацию о технологических условиях обработки, длине перемещения и вспомогательных функциях. Порядок кадров определяется последовательностью обработки. Кадр состоит из информационных слов (команд), которые включают числовую информацию и символ, определяющий вид информации. При адресном способе задания символ предшествует числовой информации и выражает определенную операцию обработки информации по изготовлению детали. Для представления информации используются коды ISO или EIA.

Значения символов адресов, используемых при разработке управляющих программ, представлены в таблице 4.1 [2].

Таблица 4.1 – Значения символов адресов

Символ адреса	Значение символа
A, B, C	Угловое перемещение соответственно вокруг осей X, Y, Z
D	Угловое перемещение вокруг специальной оси, или третья функция подачи, или функция коррекции инструмента
E	Угловое перемещение вокруг специальной оси или вторая функция подачи
F	Функция подачи
G	Подготовительная функция
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
P, Q	Третьи функции перемещений, параллельных соответственно осям X и Y, или параметры коррекции инструмента
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z, или третья функция перемещения, параллельного оси Z, или параметр инструмента
S	Скорость главного движения
T	Функция инструмента
U, V, W	Вторые функции перемещений, параллельных соответственно осям X, Y, Z
X, Y, Z	Перемещения соответственно по осям X, Y, Z

Управляющую программу рекомендуется составлять таким образом, чтобы в кадре записывалась только изменяющаяся по отношению к предыдущему кадру информация. Каждая УП должна начинаться символом начала программы (% – для ISO или STOP – для EIA), после которого следует символ конца кадра, а затем кадр с соответствующим номером. Информация, расположенная до символа начала программы, а также в круглых скобках, устройством ЧПУ не воспринимается. Внутри скобок не должны применяться символ начала программы и символ главного кадра. После символа начала программы обязательно указывается числовая информация – номер УП, затем символ конца кадра. Номер управляющей программы чаще всего находится в пределах от 1 до 999.

В состав управляющей программы могут входить основная УП и подпрограммы. При размещении на одном носителе нескольких управляющих программ перед символом начала программы в основной программе допускается записывать еще один символ начала программы, например: % % .

Перед символом начала программы может быть записана любая информация, не содержащая этого символа (примечание по наладке станка, различные идентификаторы программы и т. п.).

Управляющая программа должна заканчиваться символом конца программы или символом конца информации.

Состав кадра. Кадр включает номер кадра, одно или несколько информационных слов и знак конца кадра (ПС). Последовательность расположения информации в кадре программы называется форматом кадра. Формат определяет структуру кадра для конкретного станка с ЧПУ. Слово «Номер кадра» служит для обозначения элементарного участка УП, является вспомогательной информацией и должно всегда стоять в начале кадра. Последовательность остальных слов, содержащихся в кадре, может быть произвольной. Однако для удобства написания и отладки УП информационные слова в кадре рекомендуется записывать в приведенной последовательности: слово (слова) «Подготовительная функция»; слова «Размерные перемещения», которые рекомендуется записывать в последовательности символов: X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C; слова «Параметр интерполяции или шаг резьбы» I, J, K; слово (слова) «Функция подачи»; слово «Функция главного движения»; слово (слова) «Функция инструмента»; слово (слова) «Вспомогательная функция».

Например:	<u>N20</u>	<u>G0 X100 Y200 M3</u>	<u>ПС</u>
	Номер кадра	Слова	Конец кадра

Номер кадра задается адресом N и целым десятичным числом. Рациональна последовательная нумерация кадров. Однако допускаются любые переходы номеров и должна соблюдаться только их неповторяемость в пределах одной УП. При нумерации вставляемых в программу в процессе ее редактирования новых кадров во избежание ранее установленной последовательности их номеров практикуется запись новых кадров с использованием более высоких разрядов десятичных чисел. В главном кадре программы вместо адреса N предусмотрена запись символа «:».

Программное слово кадра состоит из буквы адреса и нескольких цифр, означающих содержание слова.

Например: X - 1250
 Адрес Содержание слова

В состав кадра могут входить слова разной длины, однако при этом необходимо записывать только те цифры, которые несут информацию.

Знак «+» записывать необязательно. Вся информация о длине пути без знака считается положительной. Место записи знака – между буквой адреса и первым числом. Знак «-» записывается всегда.

При необходимости в программе могут быть обозначены кадры, которые при считывании пропускаются. Эти кадры помечаются специальным знаком «/».

4.2 Подготовительные и вспомогательные функции

Подготовительные функции определяют режим работы устройства ЧПУ (задаются адресом G и двухзначным десятичным числом). В общем случае все подготовительные G-функции, используемые для программирования систем ЧПУ SINUMERIK, делят на группы: команды, определяющие характер перемещения; команды задания единиц скорости резания и подачи; команды выбора плоскостей интерполяции; команды коррекции режущих инструментов; команды перемещения и положения заготовки в процессе обработки и др. [2].

Большинство подготовительных функций действуют до тех пор, пока они не заменяются или не отменяются другой функцией из той же группы. Однако некоторые из них (например, G4, G8, G9, G63, G92 и др.) действуют только в том кадре, в котором указаны. Подготовительные функции записываются в кадре в порядке возрастания их кодовых номеров. В одном кадре не может быть более одной подготовительной функции из каждой группы.

Вспомогательные функции M предназначены для сообщения соответствующих команд исполнительному органу станка или устройству ЧПУ. Часть M-функций имеет предопределенное назначение. Свободные M-функции используются для управления вспомогательными устройствами.

Большинство вспомогательных функций являются приоритетными при обработке конкретного кадра УП, т. е. выполняются до начала перемещений, запрограммированных в этом же кадре. Их действие заканчивается после отмены команды или замены на команду аналогичного назначения. Имеются, однако, вспомогательные функции, которые выполняются после отработки заданных в кадре перемещений (например, M0, M1, M2, M5, M9, M20, M30 и др.). В кадре программы в порядке возрастания кодовых номеров может быть записано несколько команд разным исполнительным органам станка или устройству ЧПУ.

Функция подачи F определяет результирующую скорость подачи рабочего органа станка. Единица измерения скорости подачи задается соответствующей подготовительной функцией (G70 – указание размеров в дюймах, G71 – в метрической системе измерения).

Команда под адресом S определяет значение либо постоянной скорости резания (если используется подготовительная функция G96), либо постоянной частоты вращения шпинделя (если используется G97).

Функция инструмента T предназначена для выбора инструмента. Различные положения режущих кромок инструмента в системе координат станка задаются с помощью коррекции инструмента D.

Дополнительная функция H в системах ЧПУ SINUMERIK используется для передачи информации на программируемый логический контроллер (PLC), чтобы обеспечить определенные переключения входов и выходов при реализации циклов электроавтоматики.

Адреса G, M, H могут быть использованы в одном кадре не более 10 раз.

Различают модальные и покадровые адреса. *Модальными* называются адреса, которые сохраняют свою значимость на протяжении программы до тех пор, пока по тому же адресу не будет запрограммировано новое значение. Адреса, которые сохраняют свое значение только в кадре, в котором они были запрограммированы, называют *покадровыми*.

4.3 Кодирование размерных перемещений

Слова «Размерное перемещение» предназначены для задания геометрической информации и записываются в кадре с использованием следующих адресов: X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, I, J, K, A, B, C, D, E. Все размерные перемещения могут задаваться в абсолютных значениях или приращениях. Способ задания определяется одним из следующих слов «Подготовительная функция»: G90 – «Абсолютный размер»; G91 – «Размер в приращениях».

Числа, стоящие после слов «Размерные перемещения», означают либо координаты опорных точек траектории инструмента – абсолютные размеры, либо перемещения координат этих точек – размеры в приращениях. Размеры записываются целыми числами с учетом дискретности их задания для конкретных устройств ЧПУ.

При формообразовании детали траектория инструмента может включать участки перемещений на быстром ходу, а также участки линейной, круговой и параболической интерполяции, которые обрабатываются на рабочей подаче. Характер перемещения рабочего органа задается в кадре соответствующей подготовительной функцией G0 (быстрое позиционирование), G1 (линейная интерполяция), G2, G3 (круговая интерполяция), G6 (параболическая интерполяция), если она была запрограммирована перед этим с адресами размерных перемещений (X, Y, Z и т. п.).

В связи с тем что начальная точка каждого из участков траекторий режущего инструмента (за исключением начального) является одновременно и конечной точкой предыдущего участка, в кадрах УП задается только информация о конечных точках.

Кроме координат опорных точек траектории, необходимо задавать плоскости системы координат, в которых осуществляется обработка. Плоскость выби-

рают в начале управляющей программы. Выбор плоскости осуществляется соответствующими G-командами. Плоскость XU задается командой G17, плоскость XZ – командой G18, плоскость YZ – командой G19. При фрезеровании (рисунок 4.1, а) ось Z является осью вращения инструмента, а плоскостью, в которой осуществляется интерполяция, является плоскость XU (G17). При токарной обработке (рисунок 4.1, б) ось Z является осью вращения заготовки. Формообразование детали (интерполяция) производится в плоскости XZ (G18).

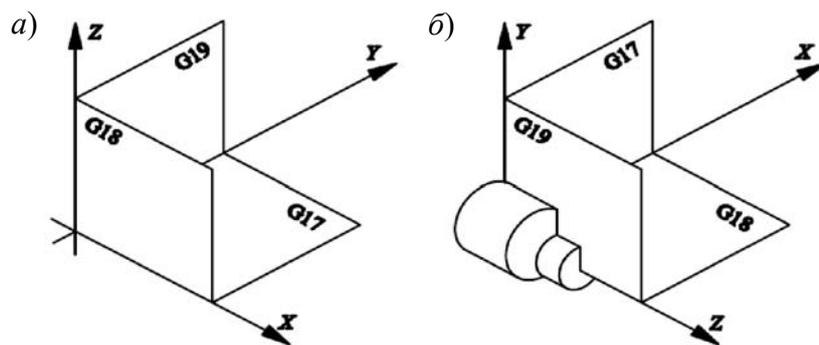


Рисунок 4.1 – Схема выбора плоскости обработки при фрезеровании (а) и точении (б)

Позиционирование (перемещение по прямой линии на скорости быстрого хода) задается в кадре подготовительной функцией G0 и координатами конечной точки перемещения под соответствующими адресами в абсолютных размерах G90 или приращениях G91.

Для задания линейной интерполяции (перемещение по прямой с запрограммированной скоростью) в кадре должны быть указаны:

- подготовительная функция G1;
- координаты конечной точки интерполяции под соответствующими адресами, заданные в абсолютных размерах G90 или в приращениях G91;
- скорость подачи под адресом F.

Для задания круговой интерполяции в кадре УП указываются:

- направление обхода дуги (G2 или G3), G2 – круговая интерполяция по часовой стрелке, G3 – круговая интерполяция против часовой стрелки;
- проекции радиус-вектора I, J, K , проведенного из начальной точки интерполяции p_0 в центр кривизны: I – проекция радиус-вектора на ось X , J – на ось Y , K – на ось Z ;
- координаты конечной точки интерполяции p_k в относительных G91 или абсолютных G90 размерах.

Полное описание системы ЧПУ «SINUMERIK» приведено в литературе [2].

4.4 Индивидуальные задания

Индивидуальные задания приведены на рисунке 4.2, а–г. Исходные данные к рисункам представлены в таблицах 4.2–4.5.

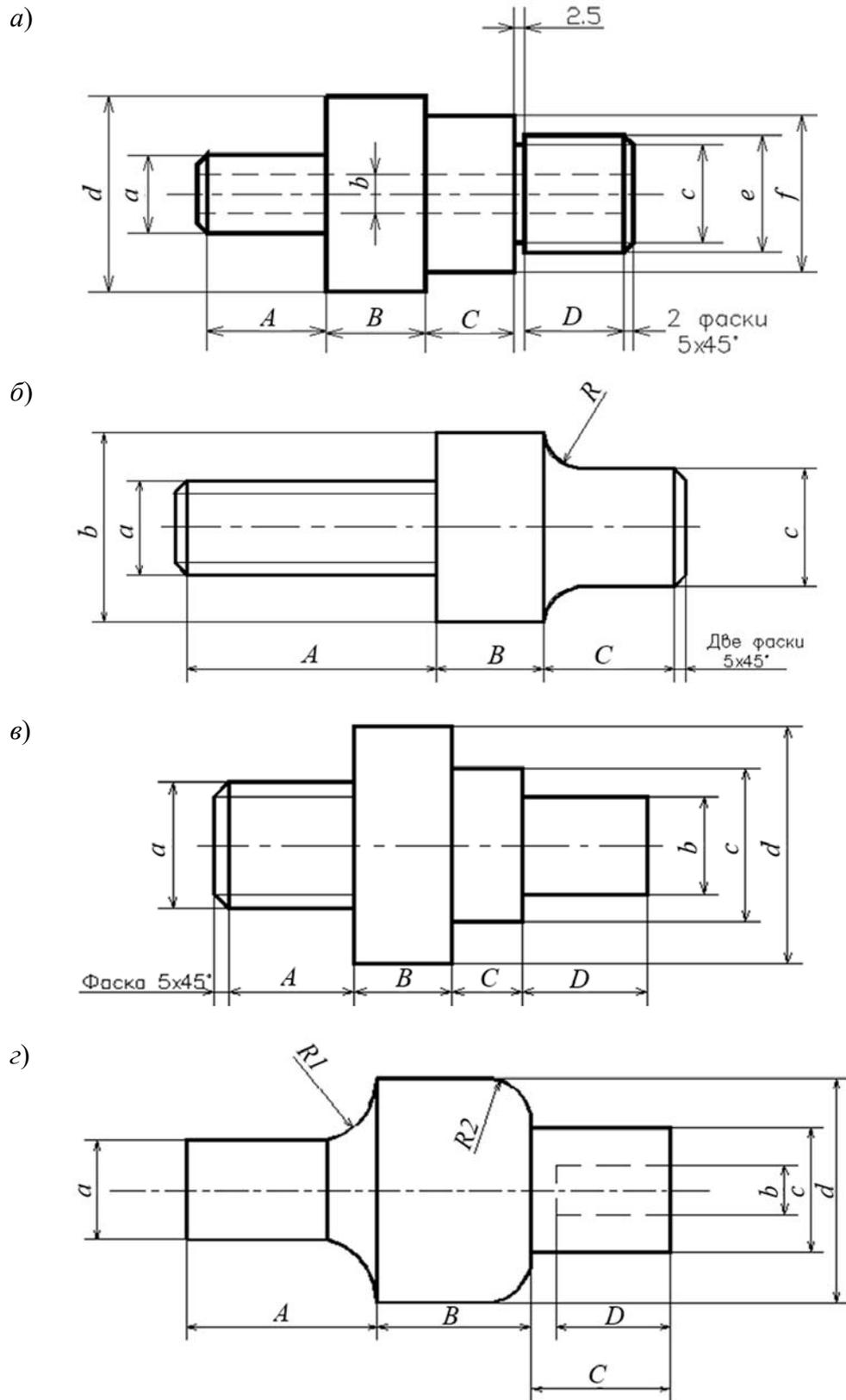


Рисунок 4.2 – Чертежи деталей для индивидуальных заданий

Таблица 4.2 – Исходные данные к рисунку 4.2, а

Номер варианта	Размер, мм									
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	18	5,6	20	40	M22	26	16	18	22	40
2	22	4	24	42	M24	28	54	81	95	42
3	32	6,3	34	52	M36	40	30	41	35	51
4	16	3,5	18	36	M20	24	36	54	30	44
5	27	8	29	47	M31	35	22	81	12	33
6	25	5,6	27	45	M29	33	35	32	19	74
7	31	8	33	51	M35	39	61	16	21	45
8	29	6	31	59	M33	37	58	24	35	80
9	24	8	26	44	M28	32	32	38	44	35
10	35	7,5	37	55	M39	43	18	27	50	25

Таблица 4.3 – Исходные данные к рисунку 4.2, б

Номер варианта	Размер, мм						
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>R</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
1	M18	30	25	8	54	24	41
2	M22	40	35	10	32	25	43
3	M42	68	60	12	65	26	45
4	M32	65	58	6	48	23	47
5	M23	54	46	14	74	21	49
6	M24	67	57	11	54	27	42
7	M16	42	38	13	26	28	44
8	M26	58	42	9	35	29	46
9	M25	57	47	15	64	31	48
10	M30	84	70	22	78	33	50

Таблица 4.4 – Исходные данные к рисунку 4.2, в

Номер варианта	Размер, мм							
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	M16	12	18	26	22	41	16	8
2	M18	13	18	28	95	43	54	10
3	M20	15	19	27	35	45	30	12
4	M24	22	27	33	30	47	36	6
5	M26	20	25	29	12	49	22	14
6	M28	30	33	41	19	42	35	11
7	M30	27	34	40	21	44	61	13
8	M22	34	38	44	35	46	58	9
9	M31	35	39	51	44	48	32	15
10	M25	33	37	55	50	50	18	22

Таблица 4.5 – Исходные данные к рисунку 4.2, *z*

Номер варианта	Размер, мм									
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	8	12	22	40	5	6	24	25	18	8
2	10	13	27	51	7	8	25	35	81	10
3	12	14	26	53	9	10	26	60	41	12
4	6	15	25	65	11	12	23	58	54	6
5	14	16	24	45	13	14	21	46	81	14
6	11	17	26	32	15	16	27	57	32	11
7	13	18	31	42	17	18	28	38	16	13
8	9	19	31	47	19	20	29	42	24	9
9	15	20	35	52	21	22	31	47	38	15
10	22	21	30	58	23	24	33	70	27	22

4.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах формата А4 и должен содержать титульный лист, цель работы.

В ходе выполнения работы необходимо представить:

- индивидуальное задание (чертеж детали);
- рабочий чертеж детали с указанием опорных точек;
- таблицу координат опорных точек в соответствии с последовательностью их прохождения (таблица 4.6);
- текст управляющей программы обработки детали.

Таблица 4.6 – Координаты опорных точек

Опорная точка	Координата опорных точек			
	Абсолютные значения		Приращения	
	мм	Дискреты	мм	Дискреты
<i>T1</i>				
<i>T2</i>				
...				
<i>Tn</i>				

Контрольные вопросы

1 Что является исходными данными при подготовке управляющих программ (УП) для устройств ЧПУ?

2 Какую информацию содержат кадры переменной длины при записи программы обработки?

3 Опишите значения символов адресов, используемых при разработке управляющих программ.

4 Что входит в состав управляющей программы?

5 Опишите состав кадра и последовательность расположения информационных слов в кадре.

6 Для чего предназначены подготовительные и вспомогательные функции?

7 Чем отличаются модальные и покадровые адреса?

8 Как осуществляется кодирование размерных перемещений? Какие участки перемещений может включать траектория инструмента при формообразовании детали?

9 Как выбирают плоскости системы координат при фрезеровании и при токарной обработке?

10 Как задаются линейная и круговая интерполяции?

5 Лабораторная работа № 5. Изучение устройства программируемого контроллера ОВЕН и разработка цикловой системы управления на его основе

Цель работы

1 Изучить назначение, технические характеристики, состав и конструкцию контроллера.

2 Изучить устройство контроллера, назначение органов управления.

3 Изучить варианты подключения контроллера к компьютеру.

4 Изучить меры безопасной работы, порядок установки и подготовки контроллера к работе.

5 Изучить схему подключения исполнительных устройств и датчиков управляемого объекта к контроллеру.

5.1 Краткие теоретические сведения

Структура и устройство ПЛК. Первые программируемые логические контроллеры (ПЛК) появились в 1970-х гг. и предназначались для использования в сфере промышленной автоматике для решения технологических задач, которые описывались преимущественно логическими уравнениями. Это позволило ПЛК заменять в системах управления блоки релейной автоматике и устройства жесткой логики на интегральных микросхемах малой и средней степени интеграции. Название – программируемый логический контроллер – происходит от английского названия Programmable Logic Controller (PLC).

Сегодня ПЛК – это специализированное микропроцессорное устройство с широкими функциональными возможностями. Специальное проблемно-ориентированное программное обеспечение ПЛК позволяет не только реализовать алгоритмы программно-логического управления, но и осуществлять регулирова-

ние в замкнутых системах автоматического управления, производить сбор, обработку, хранение и передачу информации. Конструкция ПЛК дает возможность эксплуатировать устройство в производственных условиях.

Кроме этого, ПЛК отличается универсальностью структуры, программируемостью и возможностью решения определенного класса задач при управлении технологическим объектом в режиме реального времени.

ПЛК имеет конечное количество входов и выходов, к которым подключены датчики и исполнительные устройства, обеспечивающие связь с технологическим объектом управления. На рисунке 5.1 приведена структурная схема ПЛК.

Принцип работы ПЛК несколько отличается от «обычных» микропроцессорных устройств. Программное обеспечение универсальных контроллеров состоит из двух частей. Первая часть – это системное программное обеспечение. Проводя аналогию с компьютером, можно сказать, что это операционная система, т. е. управляет работой узлов контроллера, взаимосвязью составляющих частей, внутренней диагностикой. Системное программное обеспечение ПЛК расположено в постоянной памяти центрального процессора и всегда готово к работе. По включению питания ПЛК готов взять на себя управление системой уже через несколько миллисекунд.



Рисунок 5.1 – Структурная схема ПЛК

Вторая часть программного обеспечения – это программа управления, которая разрабатывается при проектировании системы управления технологическим объектом и хранится в перепрограммируемой памяти. Управляющая программа может изменяться в процессе эксплуатации оборудования, например, при модернизации технологической установки.

ПЛК работают циклически по методу периодического опроса входных данных. Рабочий цикл ПЛК включает четыре фазы:

- 1) опрос входов;
- 2) выполнение пользовательской программы;
- 3) установку значений выходов;
- 4) выполнение вспомогательных операций (диагностики, подготовки данных для отладчика, визуализации и т. д.).

Выполнение первой фазы осуществляется системным программным обеспечением. После чего управление передается прикладной программе, той программе, которую вы сами записали в память, по этой программе контроллер делает то, что вы пожелаете, а по ее завершении управление опять передается си-

стемному уровню. За счет этого обеспечивается максимальная простота построения прикладной программы – ее создатель не должен знать, как производится управление аппаратными ресурсами. Необходимо знать, с какого входа приходит сигнал и как на него реагировать на выходах.

Очевидно, что время реакции на событие будет зависеть от времени выполнения одного цикла прикладной программы. Определение времени реакции – времени от момента события до момента выдачи соответствующего управляющего сигнала – поясняется на рисунке 5.2.

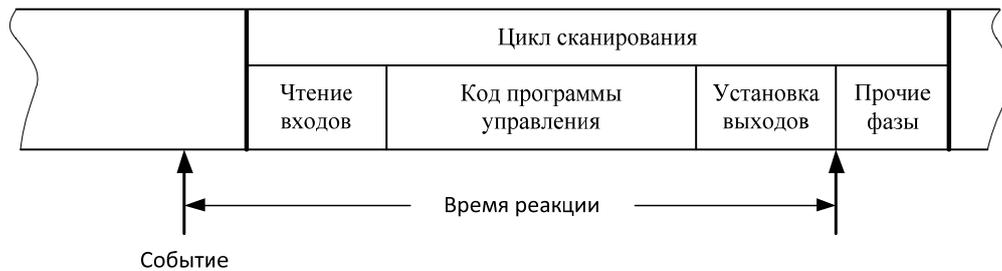


Рисунок 5.2 – Рабочий цикл ПЛК

Обладая памятью, ПЛК в зависимости от предыстории событий способен реагировать по-разному на текущие события. Возможности перепрограммирования, управления по времени, развитые вычислительные способности, включая цифровую обработку сигналов, поднимают ПЛК на более высокий уровень в отличие от простых комбинационных автоматов.

Рассмотрим входы и выходы ПЛК. Существует три вида входов: дискретные, аналоговые и специальные.

Один дискретный вход ПЛК способен принимать один бинарный электрический сигнал, описываемый двумя состояниями – включен или выключен. Все дискретные входы (общего исполнения) контроллеров обычно рассчитаны на прием стандартных сигналов с уровнем 24 В постоянного тока. Типовое значение тока одного дискретного входа (при входном напряжении 24 В) составляет около 10 мА.

Аналоговый электрический сигнал отражает уровень напряжения или тока, соответствующий некоторой физической величине, в каждый момент времени. Это может быть температура, давление, вес, положение, скорость, частота и т. д.

Поскольку ПЛК является цифровой вычислительной машиной, аналоговые входные сигналы обязательно подвергаются аналого-цифровому преобразованию (АЦП). В результате образуется дискретная переменная определенной разрядности. Как правило, в ПЛК применяются 8–12-разрядные преобразователи, что в большинстве случаев, исходя из современных требований по точности управления технологическими процессами, является достаточным. Кроме этого, АЦП более высокой разрядности не оправдывают себя в первую очередь из-за высокого уровня промышленных помех, характерных для условий работы контроллеров.

Стандартные дискретные и аналоговые входы ПЛК способны удовлетво-

рить большинство потребностей систем промышленной автоматики. Необходимость применения специализированных входов возникает в случаях, когда непосредственная обработка некоторого сигнала программно затруднена, например, требует много времени.

Наиболее часто ПЛК оснащаются специализированными счетными входами для измерения длительности, фиксации фронтов и подсчета импульсов.

Например, при измерении положения и скорости вращения вала очень распространены устройства, формирующие определенное количество импульсов за один оборот, – поворотные шифраторы. Частота следования импульсов может достигать нескольких мегагерц. Даже если процессор ПЛК обладает достаточным быстродействием, непосредственный подсчет импульсов в пользовательской программе будет весьма расточительным по времени. Здесь желательно иметь специализированный аппаратный входной блок, способный провести первичную обработку и сформировать необходимые для прикладной задачи величины.

Вторым распространенным типом специализированных входов являются входы, способные очень быстро запускать заданные пользовательские задачи с прерыванием выполнения основной программы, – входы прерываний.

Дискретный выход также имеет два состояния – включен и выключен. Они нужны для управления электромагнитными клапанами, катушками, пускателями, световыми сигнализаторами и т. д. В общем сфера их применения огромна и охватывает почти всю промышленную автоматику.

Конструктивно ПЛК подразделяются на моноблочные, модульные и распределенные. Моноблочные имеют фиксированный набор входов выходов

В модульных контроллерах модули входов-выходов устанавливаются в разном составе и количестве в зависимости от предстоящей задачи.

В распределенных системах модули или даже отдельные входы-выходы, образующие единую систему управления, могут быть разнесены на значительные расстояния.

Языки программирования ПЛК. Для составления управляющих программ контроллеров используются специализированные технологические языки, доступные инженерам и технологам, максимально упрощающие процесс программирования. За последние десятилетия появилось множество технологических языков, которые соответствуют стандарту МЭК-61131-3, разработанному Международной электротехнической комиссией, концентрирующей все передовое в области языков программирования для систем автоматизации технологических процессов. Этот стандарт требует от различных изготовителей ПЛК предлагать системы программирования, являющиеся одинаковыми по организации программирования, по структуре программы и по действию команд.

Стандарт специфицирует пять языков программирования:

- 1) Sequential Function Chart (SFC) – язык последовательных функциональных блоков;
- 2) Function Block Diagram (FBD) – язык функциональных блоковых диаграмм;
- 3) Ladder Diagrams (LD) – язык релейных диаграмм;

4) Statement List (ST) – язык структурированного текста, язык высокого уровня. Напоминает собой Паскаль;

5) Instruction List (IL) – язык инструкций, это типичный ассемблер с аккумулятором и переходом по метке.

Язык LD, или язык релейно-контакторных схем (РКС,) похож на электрические схемы релейной автоматики. Поэтому инженерам, не знающим языков программирования, не составит труда написать программу.

Язык FBD напоминает создание схем на логических элементах.

В каждом из языков есть свои минусы и плюсы. Поэтому при выборе специалисты основываются главным образом на личном опыте, хотя большинство программных комплексов дают возможность переконвертировать уже написанную программу из одного языка в другой. Так как некоторые задачи изящно и просто решаются на одном языке, на другом придется столкнуться с некоторыми трудностями.

Наибольшее распространение в настоящее время получили языки LD, ST и FBD.

Большинство фирм-изготовителей ПЛК традиционно имеют собственные фирменные наработки в области систем инструментального программного обеспечения. Например, такие как система программирования Concept фирмы Schneider Electric или Step 7 фирмы Siemens.

Программный комплекс CoDeSys. Комплекс CoDeSys, разработанный фирмой 3S, – это универсальный инструмент программирования контроллеров на языках МЭК, не привязанный к какой-либо аппаратной платформе и удовлетворяющий всем современным требованиям.

Основные особенности:

- полноценная реализация МЭК языков;
- встроенный эмулятор контроллера позволяет проводить отладку проекта без аппаратных средств. Причем эмулируется не некий абстрактный контроллер, а конкретный ПЛК с учетом аппаратной платформы;
- встроенные элементы визуализации дают возможность создать модель объекта управления и проводить отладку, т. е. дают возможность создавать человеко-машинный интерфейс (HMI);
- широкий набор сервисных функций, ускоряющих работу программиста.

5.2 Содержание отчета

- 1 Титульный лист, название и цель работы.
- 2 Объект управления и тип цикловой системы управления.
- 3 Назначение и основные технические параметры контроллера.
- 4 Схемы подключения питания, исполнительных устройств и датчиков к контроллеру.

Контрольные вопросы

- 1 Какие имеются модификации изучаемого контроллера?
- 2 Чем определяется длительность рабочего цикла контроллера?
- 3 Какие датчики и исполнительные устройства могут подключаться к каналам ввода-вывода контроллера?
- 4 Что происходит при нажатии кнопки Сброс?
- 5 Что означает безопасное состояние выходов?
- 6 Каким образом можно определить состояния контроллера?
- 7 Где размещается управляющая программа пользователя?
- 8 Для чего предназначена Retain-память?
- 9 Какие языки используются для программирования контроллера?
- 10 Какие способы программирования предусмотрены в контроллере?
- 11 Какие устройства контроллера можно использовать в управляющих программах?
- 12 Какие интерфейсы обмена информацией имеются в контроллере?

6 Лабораторная работа № 6. Изучение электрооборудования и устройства программного управления промышленного робота ТУР-10

Цель работы

- 1 Изучение технической документации на электрооборудование промышленного робота ТУР-10.
- 2 Изучение технической документации на систему программного управления роботом.
- 3 Разработка функциональной схемы электрооборудования, находящегося на промышленном роботе.
- 4 Разработка функциональной схемы системы числового программного управления роботом ТУР-10.

6.1 Требования к приводам промышленных роботов

В приводах промышленных роботов регулирование осуществляется тем же способом, что и в приводах подачи станков с ЧПУ, – изменением питающего напряжения при неизменном магнитном потоке.

По сравнению с электроприводами подач приводы промышленных роботов характеризуются:

- меньшим номинальным вращающим моментом на валу электродвигателя ($M_{ном} < 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$);
- меньшей номинальной мощностью на валу двигателя ($P_{2ном} < 1 \text{ кВт}$);
- высокой максимальной частотой вращения ($n_{max} > 6000 \text{ об/мин}$);

- меньшим диапазоном регулирования ($D < 1000$);
- высокой перегрузочной способностью ($M_{\max} / M_{\text{ном}} \geq 3 \dots 4$).

Требования к динамическим характеристикам в электроприводах промышленных роботов не столь жестки, как в электроприводах подачи, однако время пусков на большие скорости одинаковы. Последнее особенно важно, т. к. промышленный робот работает в режиме частых пусков и торможений и время этих переходных процессов существенно влияет на его производительность.

Особенность электроприводов роботов состоит и в том, что к ним предъявляются очень жесткие требования в отношении массогабаритных и энергетических характеристик электродвигателя. Это диктуется необходимостью перемещения рабочего органа промышленного робота вместе с двигателем.

6.2 Программирование промышленных роботов

Для программирования роботов необходимо задать в трехмерном пространстве требуемую траекторию движения точки на руке манипулятора, характеризующей положение охвата либо закрепленного в нем технологического инструмента.

В настоящее время известны следующие виды программирования:

- аналитическое (текстовое);
- обучением (Play-back);
- ручное (teach-in);
- речевым методом.

При речевом методе ввода информации система обучается распознаванию произносимых будущим пользователем робота ключевых слов и чисел. Наиболее простым является программирование обучением. Основная идея способа заключается в организации с помощью оператора однократного образцового выполнения технологической операции с одновременной записью в ЗУ сигналов, характеризующих текущие значения координат звеньев манипулятора. Программирование обучением явилось результатом роботизации операций окраски и обработки поверхности. Инструмент, например краскопульт, устанавливается в захвате манипулятора, перемещаемом оператором в соответствии с требуемым циклом движений. При этом последовательность текущих значений координат по каждой из степеней подвижности звеньев манипулятора запоминается; таким образом в ЗУ могут быть записаны тысячи точек, определяющих траекторию движения. Такой способ обычно используется при контурном управлении, где требуется точное воспроизведение траектории – сварка, окраска pulverизатором, шлифовка, снятие облоя и т. д.

При использовании метода обучения возникают определенные требования к конструкции робота: приводы манипуляторов должны допускать свободные перемещения выходных валов. Оператор должен иметь высокую квалификацию в области выполнения технологических операций, но от него не требуется знаний в программировании и вычислительной технике.

К достоинствам метода относится возможность учитывать особенности ма-

стерства оператора, которые трудно описать аналитическим путем. При перемещении охвата в соответствии с требуемой траекторией учитываются возможные зазоры в кинематических узлах манипулятора, упругие свойства элементов его кинематики, что сделать практически невозможно при аналитическом задании программы. Перемещая схват в процессе обучения, оператор может учесть возможные изменения внешней среды, например подвижность детали, находящейся на конвейере. Может быть сочетание такого робота с системой технического зрения (СТЗ), которая применяется для распознавания силуэтов или других отличительных признаков различных деталей по мере их появления в рабочей зоне робота. С помощью программы распознается деталь, определяются ее координаты и вызывается из памяти соответствующая подпрограмма движений манипулятора. При использовании ПР требуется программировать последовательность движений, переводящих схват манипулятора в строго определенные позиции в пространстве. При этом траектория движения при переходе из одной точки в другую может быть произвольной.

При ручном программировании управление звеньями манипулятора осуществляется оператором с помощью задающей рукоятки или кнопочного пульта. Сигналы задающего устройства в режиме ручного управления проходят по каналу «ввод – управление» и обрабатываются приводами. Одновременно с обработкой перемещений производится запись в ЗУ данных о состоянии датчиков обратных связей. При использовании данного способа не предъявляется особых требований к конструкции манипулятора и его приводов.

Приращения координат по каждой из степеней свободы определяются путем подсчета числа импульсов унитарного кода за фиксированный интервал времени T_n . Эти приращения координат записываются в память, а затем переносятся на программоноситель в форме БЦК в виде кадров с постоянной длительностью последующего воспроизведения, равной $m_i T_n$. Масштаб времени m_i , обычно принимаемый меньше единицы, необходим потому что обучение, как правило, выполняется в замедленном темпе. Помимо приращений координат, в кадре может быть информация о включении или выключении механизмов манипулятора, времени перехода от одного шага программы к другому, значении скорости перемещения, усилия захвата и т. д.

Рассмотрим схему централизованного обучения с записью программы в ОЗУ (рисунок 6.1).

Система управления привода руки манипулятора работает в двух режимах:

- 1) при обучении, когда ее координаты устанавливаются оператором;
- 2) при автоматическом воспроизведении записанной программы.

При обучении (переключатель режимов ПР в положении 1) рука перемещается в любое положение с помощью переключателя пульта ручного управления. При этом сигналы кодового датчика положения, соответствующие текущему положению руки, записываются в ЗУ на магнитной ленте или диске. Кодовое значение требуемой координаты руки записывается нажатием кнопки на пульте управления. Перемещение захвата изображается с помощью устройства цифровой индикации (УЦИ). Так как в настоящее время широко распространены комплектные электроприводы с аналоговыми системами управления, то на рисунке

показан цифроаналоговый преобразователь. При прямом цифровом управлении электроприводом надобность в этом преобразователе отпадает.

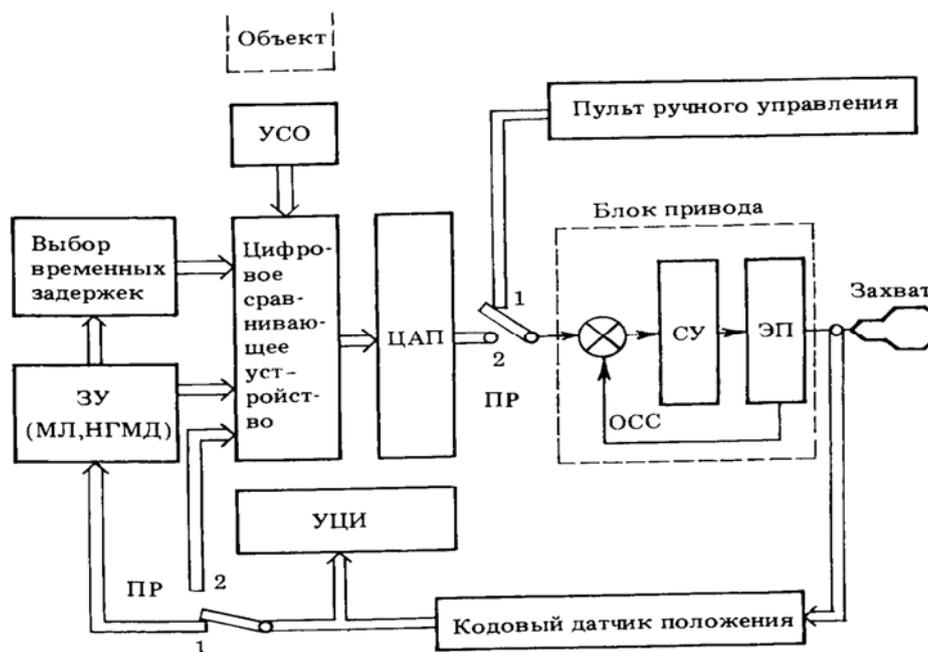


Рисунок 6.1 – Схема обучения работы

При воспроизведении (ПР в положении 2) управление движением осуществляется позиционным устройством ЧПУ в соответствии с командами на выходе блока памяти, где записаны координаты звеньев манипулятора для каждой заданной позиции. В ЗУ записываются также команды управления захватом, скоростью движения, временными задержками при переходе к очередному шагу программы, а также команды передачи и считывания сигналов, поступающих от обслуживаемого объекта. Переход к следующему циклу программы производится при совпадении заданного и отработанного кодов положения и окончании времени задержки перехода.

Недостатки методов ручного программирования и программирования обучением заключаются в следующем:

1) программирование может оказаться слишком трудоемким для ряда операций, таких как операции сборки, сортировки, сварочные операции (например, сварка кузовов автомобилей), которые требуют обучения позиционированию в сотнях точек, что, в свою очередь, связано со значительными затратами времени квалифицированного персонала;

2) зависимость процесса обучения, а в последующем производительности и точности работы робота от квалификации оператора;

3) процесс обучения происходит непосредственно с участием самого робота, который на это время исключается из производственного цикла;

4) жесткость сформированной программы делает невозможным оперативное ее изменение в условиях эксплуатации – для этого требуется переобучение робота (например, в условиях гибких автоматизированных производств (ГАП), где используются сотни роботов, невозможно произвести их переобучение во

время переналадки производства, т. е. теряется смысл гибкости);

- 5) невозможность использования информации сенсорных датчиков;
- 6) сложность контроля программы.

Несмотря на перечисленные недостатки, около 90 % роботов, используемых в промышленности, программируются одним из приведенных методов.

Аналитический метод программирования основан на определении координат опорных точек траектории движения схвата в пространстве. Символическое описание операций и данных задается в форме последовательности чисел. Простейшей единицей программной информации является число, которое соответствует элементарной операции, выполняемой роботом. Как и при ЧПУ станками, назовем это число словом. Такими операциями являются открытие-закрытие захвата, перемещение одного звена манипулятора, останов отработки движения на определенное время, выдача сигналов на объект управления. Разрядность числа операции зависит от ее характера. Например, для операции «включить – выключить» достаточно одного бита, позиционирование в заданные координаты занимает 10...15 бит.

Группа слов, характеризующих несколько элементарных операций и имеющих законченный характер, составляет содержание кадра. В свою очередь, кадры могут объединяться в подпрограмму, определяющую законченную, часто повторяющуюся последовательность движений робота.

Манипулятор в отличие от станка с ЧПУ обладает подвижностью (маневренностью) суставов, что позволяет схвату достигать одной и той же точки при различном положении звеньев, т. е. при различных характеристических координатах по каждой из степеней подвижности.

Положение охвата в пространстве задается шестимерным вектором

$$C = (x_c, y_c, z_c, \theta_1, \theta_2, \theta_3),$$

где x_c, y_c, z_c – координаты конца схвата;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – углы наклона, характеризующие положение элементов кинематики манипулятора.

При определении опорных точек возникает проблема, заключающаяся в том, что оператор должен точно описать последующую точку траектории с помощью координат системы. Это, в свою очередь, требует точной оценки пространственной траектории, что весьма трудоемко.

В зависимости от условий внешней среды различают аналитическое программирование явное и с использованием модели внешней среды. При явном аналитическом программировании все данные о кинематическом и динамическом состоянии робота и окружающего пространства формулируются программистом в явном виде.

В случае аналитического программирования с использованием модели внешней среды система программирования имеет модель окружающего пространства, которая содержит сведения о положении и ориентировании объектов, их геометрии, взаимосвязях. По мере необходимости эта информация вызывается операционной системой. Наличие модели окружающего пространства дает

возможность пользователю выполнять преимущественно проблемно-ориентированное программирование без постоянного обращения к геометрическому состоянию робота.

В целом аналитическое программирование представляет собой более комплексное и потому более гибкое решение проблемы программирования. Можно выделить следующие особенности аналитического программирования:

- 1) возможность коррекции программы на любой стадии ее подготовки или отладки;
- 2) коррекция модели окружающего пространства в реальном времени с помощью эффективного объединения сенсорных систем, дифференцирования реакции на случайно возникающие изменения состояния процесса или на аварийную ситуацию;
- 3) подготовка программ производится в автономном режиме (off-line), т. е. использование производственных мощностей производится более рационально;
- 4) наличие удобной программной документации;
- 5) возможность моделирования технологического процесса и отладки программы с помощью модели.

Система аналитического программирования робота включает язык пользователя, на котором составляется программа, и исполнительную систему, функционирующую в реальном времени и обеспечивающую выполнение написанной программы после ее трансляции. Отдельные системы объединяются в централизованную структуру, т. е. в интегрированный пакет математического обеспечения, содержащий компилирующую программу, интерпретирующую программу, системы взаимодействия с внешней средой, программу тестов и имитирующую программу.

6.3 Содержание отчета

Отчет по циклу лабораторных работ оформляется на листах формата А4 и должен содержать следующее:

- титульный лист, цель работы;
- основные технические характеристики и режимы работы промышленного робота ТУР-10;
- основные технические характеристики и режимы работы системы числового программного управления;
- структурно-функциональная схема силовой части промышленного робота и системы управления;
- структурно-функциональная схема системы числового программного управления.

Контрольные вопросы

- 1 Из каких основных частей состоит промышленный робот?
- 2 Какие электроприводы применяются на работе и каковы их функции?

- 3 Какие требования предъявляются к электроприводам робота?
- 4 Какие требования предъявляются к электроприводу схвата?
- 5 Какие существуют системы программирования роботов и в чем их суть?
- 6 Какие системы координат применяются для описания движения робота?
- 7 Для чего нужна модель окружающей среды при обучении робота?
- 8 Поясните, как происходит обмен информацией между информационными датчиками (на роботе) и системой ЧПУ.
- 9 Какими датчиками должен оснащаться робот при использования нестационарной модели окружающей среды?

Список литературы

- 1 **Петренко, Ю. Н.** Программное управление технологическими комплексами в энергетике: учебное пособие / Ю. Н. Петренко, С. О. Новиков, А. А. Гончаров. – Минск: Вышэйшая школа, 2013. – 407 с.
- 2 **Каштальян, И. А.** Программирование и наладка станков с числовым программным управлением: учебно-методическое пособие / И. А. Каштальян. – Минск: БНТУ, 2015. – 135 с.
- 3 Общие сведения о CoDeSys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3s-software.ru/publications>. – Дата доступа: 06.05.2023.
- 4 Каталог продукции фирмы «ОВЕН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog>. – Дата доступа: 16.05.2023.
- 5 Основы робототехники: учебное пособие / Е. Е. Ступина [и др.]. – Новосибирск: Сибпринт, 2019. – 160 с.
- 6 **Козырев, Ю. Г.** Промышленные роботы. Основные типы и технические характеристики: учебное пособие / Ю. Г. Козырев. – Москва: КНОРУС, 2019. – 560 с.