

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**
Институт «Политехнический», факультет «Заочный энергетический»
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____/А.Н. Шишков/

“ ____ ” _____ 2018 г.

Разработка алгоритма функционирования электропривода подачи лазерной
установки для обрабатывающего центра

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ

ЮУрГУ-13.03.02.2018.576 ВКП

Руководитель проекта:
профессор, д.т.н.

_____/В.Л. Кодкин/

“ ____ ” _____ 2018 г.

Автор проекта:
студент группы ПЗ-576

_____/С.С. Елькин/

“ ____ ” _____ 2018 г.

Нормоконтролер:
доцент, к.т.н.

_____/А.Е. Бычков/

“ ____ ” _____ 2018 г.

Челябинск
2018 г.

АННОТАЦИЯ

Елькин С.С. Разработка алгоритма функционирования электропривода подачи лазерной установки для обрабатывающего центра. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ-576; 2018, 56 с., 21 ил., 16 табл., библиографический список – 7 наим., 1 лист чертежей ф. А3.

Согласно поставленному технического заданию в данном дипломном проекте рассматривается вопрос модернизации комплекса электроприводов перемещения в двух направлениях исполнительного механизма вертикально-фрезерного станка, включая некоторые элементы разработки конструкторской документации.

Дано представление об устройстве и назначении комплекса, представлены технические характеристики оборудования комплекса. Произведено описание проблематики совместной работы лазерной системы и фрезерного станка, ставшей причиной для написания выпускной квалификационной работы. Приведены методы устранения проблемы совместной работы систем, так же произведены исследования актуальности реализации методов.

Разработана функциональная схема, синхронизации работы комплекса систем, и на её основе составлена принципиальная схема. Произведён расчёт и выбор элементной базы системы. Разработан алгоритм работы системы на языке программирования «Ассемблер». Представлен перечень элементов.

					ЮУрГУ-			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>	<i>Разработка алгоритма функционирования электропривода подачи лазерной установки для обрабатывающего центра</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.	Елькин С.С.							
Провер.	Кодкин В.Л.						4	56
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.	Бычков А.Е.							
Утверд.	Шишков А.Н.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ	10
1.1 Фрезерный станок	10
1.2 Лазер.....	13
1.3 Устройство и назначение комплекса	15
2 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА (НЕИСПРАВНОСТЬ).....	19
2.1 Техническое задание	19
2.2 Результат пробного изготовления паза	20
2.3 Возможные методы устранения дефекта	21
2.3.1 Метод «Отладка программы ЧПУ»	22
2.3.2 Метод «Наложение маски»	22
2.3.3 Метод «Настройка сервоусилителя»	22
2.3.4 Метод «Синхронизация скорости»	22
3 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА «НАСТРОЙКА СЕРВОУСИЛИТЕЛЯ»	23
3.1 Подключение к персональному компьютеру.....	23
3.2 Исследование характеристик переходных процессов	23
3.3 Результат исследования, выводы.....	28
4 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА «СИНХРОНИЗАЦИЯ СКОРОСТИ».....	29
4.1 Синтез функциональной схемы	29
4.2 Расчёт и выбор оборудования.....	30
4.2.1 Выбор микроконтроллера	30
4.2.2 Выбор источника питания	30
4.2.3 Выбор дополнительных пассивных элементов	31
4.2.4 Выбор кварцевого резонатора.....	33

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись							

ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ

4.2.5	Выбор соединительных кабелей	35
4.2.6	Выбор периферийных устройств	36
4.2.7	Разработка блок схемы алгоритма	37
4.2.8	Листинг программы	38
4.3	Синтез электрической схемы	48
4.4	Анализ работы системы	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК		52
ПРИЛОЖЕНИЕ А		53
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....		55

ВВЕДЕНИЕ

В современных автоматизированных системах передвижение рабочих органов, выполняется с высокоточным позиционированием, скоростью и ускорением. Высокодинамичные характеристики движения рабочих органов обеспечиваются вентильными электродвигателями.

Вентильный электродвигатель — это синхронная машина, основанная на принципе частотного регулирования с самосинхронизацией, суть которой заключается в управлении вектором магнитного поля статора в зависимости от положения ротора. Вентильные двигатели (в англоязычной литературе BLDC или PMSM) часто называются бесколлекторными двигателями постоянного тока, так как питание инвертора двигателя осуществляется от сети постоянного напряжения. Конструктивно они напоминают синхронные двигатели переменного тока: магнитный ротор синхронно вращается в поле статора с трехфазными обмотками. Но скорость является функцией от тока и напряжения и реализована она с помощью коммутации фаз статора полупроводниковой схемой по сигналам от датчика положения ротора. Торможение и реверс двигателя осуществляется подачей управляющих импульсов на обмотки статора в обратной последовательности.

Основным отличием ВД от синхронного двигателя является его самосинхронизация с помощью датчика положения ротора, в результате чего у вентильного двигателя частота вращения поля пропорциональна частоте вращения ротора.

Статор имеет традиционную конструкцию и похож на статор асинхронной машины. Он состоит из корпуса, сердечника из электротехнической стали и медной обмотки, уложенной в пазы по периметру сердечника. Количество обмоток определяет количество фаз двигателя. Для самозапуска и вращения достаточно двух фаз — синусной и косинусной. Обычно вентильные двигатели трёхфазные, реже – четырёхфазные. По способу укладки витков в обмотки

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			7

применения этих двигателей являются приводы подач станков и технологические установки со временем цикла менее 1 секунды (например, производство упаковки, быстродействующие позиционные системы автоматических складов).

Электропривод на основе вентильных двигателей всё более широко используется в таких областях техники и промышленности, как приборная автоматика, станкостроение и робототехника, автоматизированные технологические линии, транспорт, аэрокосмическая техника, насосное и компрессорное оборудование и др.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			9

1 ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Фрезерный станок

Универсальный, консольный вертикально-фрезерный станок с числовым программным управлением (рисунок 1) предназначен для обработки плоских, фасонных поверхностей, нарезки зубьев, шлицов из металлов, пластмасс и других материалов с помощью различных фрезерных инструментов. Станок эффективно производит сверлильные и расточные работы. Устройство представляет собой универсальный агрегат с режущей фрезерной частью, которая фиксируется с помощью шпинделя установленном вертикально на регулируемом хоботе. При этом шпиндель возможно установить под углом по отношению к обрабатываемой детали.



Рисунок 1 – Внешний вид вертикально-фрезерного станка

Шпиндель оснащён двухступенчатой коробкой передач. Привод главного движения (шпинделя) осуществляется асинхронным трёхфазным двигателем с

короткозамкнутым ротором. Управление двигателем главного привода осуществляет преобразователь частоты.

Станок оснащён бесступенчатой механической подачей в продольном, поперечном и вертикальном направлениях. Хобот в продольном и стол в поперечных направлениях приводятся в движение при помощи шариковых передач, соединённых ремнями с трёхфазными вентильными двигателями переменного тока, технические характеристики которых представлены в таблице 3. Вертикальная подача осуществляется трёхфазным вентильным двигателем переменного тока, с техническими характеристиками, представленными в таблице 3.

Управление вентильными двигателями продольной и поперечной подачи осуществляется сервоусилителями, с основными характеристиками, приведёнными в таблице 4. Управление вентильным двигателем вертикальной подачи осуществляется сервоусилителем, с основными характеристиками, приведёнными в таблице 4.

Контроль положения рабочих органов (стол, консоль, хобот) осуществляется при помощи датчиков положения в виде линейных энкодеров закрытого типа.

Работа станка осуществляется как в ручном, так и в автоматическом режиме (по программе). Ввод программы осуществляется оператором с пульта управления блока числового программного управления.

Структурная схема фрезерного станка представлена на рисунке 2.

Основные технические характеристики станка представлены в таблице 1.

Схемы электрических подключений сервоусилителей представлены в приложении Б, рисунки Б.1 и Б.2.

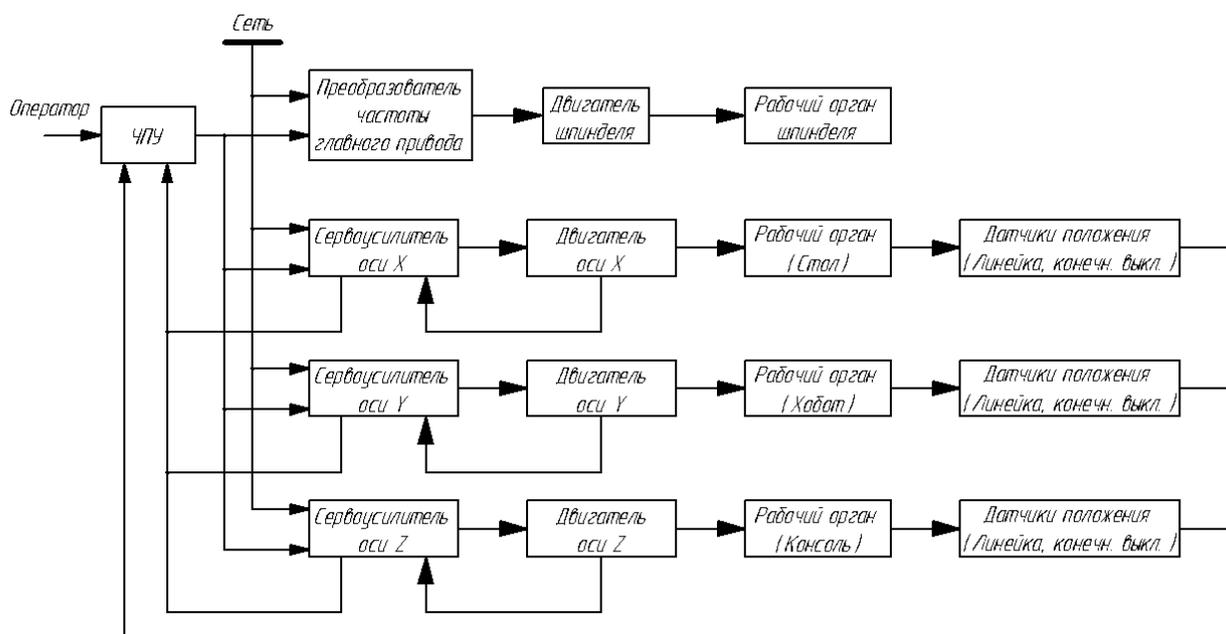


Рисунок 2 – Структурная схема фрезерного станка

Таблица 1 – Основные технические характеристики фрезерного станка

Наименование	Значение	Ед. изм.
Рабочая зона стола станка	1200x450	мм
Ход в продольном направлении стола	650	мм
Ход в поперечном направлении стола	480	мм
Ход в вертикальном направлении тола	475	мм
Передняя бабка хобота	0-510	мм
Максимальная нагрузка	400	кг
Подача		
Продольная	0-4000	мм/мин
Поперечная	0-4000	мм/мин
Вертикальная	0-1500	мм/мин
Дискретность перемещения	5	мкм
Ускоренная подача		
Продольная	4000	мм/мин
Поперечная	4000	мм/мин
Вертикальная	1500	мм/мин
Размеры		
Длина	2200	мм
Ширина	1800	мм
Высота	2000	мм
Максимально допустимая масса детали	400	кг

1.2 Лазер

Фемтосекундная лазерная система на иттербии построена на принципе усиления чирпированных импульсов и включает в себя волоконный задающий генератор фемтосекундных импульсов, волоконный стретчер, изолятор Фарадея, регенеративный усилитель с диодной накачкой, дополнительную ячейку Поккельса и компрессор импульсов. Все компоненты лазерной системы интегрированы в единый термостабилизированный корпус, что обеспечивает устойчивый режим работы и беспроблемную эксплуатацию. Дополнительная ячейка Поккельса позволяет понижать частоту следования импульсов до заданного значения, мгновенно включать/выключать излучение на выходе лазерной системы с помощью внешнего сигнала, а также формировать цуги излучения с заданным числом лазерных импульсов. Лазерная система комплектуется блоком преобразования излучения во вторую и четвертую гармоники, а также капиллярным компрессором Compulse, позволяющим сократить длительность импульса вплоть до 30 фемтосекунд с энергетической эффективностью >50%.

При обработке фемтосекундным лазером полностью отсутствуют побочные эффекты, связанные с нагревом материала, которые встречаются при обработке другими системами. Длительность фемтосекундного (10^{-15} с) лазерного импульса настолько мала, что при взаимодействии с материалом тепло не успевает распространиться в прилегающие участки. Такой тип взаимодействия является абляцией, индуцированной плазмой или «холодной абляцией», т.е. материал подвергается абляции путем прямого перехода материала в плазму. Скорость перехода на несколько порядков превышает скорость распространения теплового воздействия. Путём изменения входных значений тока накачки регенеративного усилителя (оптический блок) и частоты следования импульсов варьируется мощность на выходе лазерной системы при максимальном количестве энергии в импульсе.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись							

ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ

Таблица 3 – Технические характеристики вентиляльных приводов

Параметр	Обозначение	Ед. изм	Привод подачи	
			Оси «X,Y»	Ось «Z»
Номинальное напряжение переменного тока	U_H	В	480	480
Номинальная частота вращения	n_H	об/мин	3500	4000
Пусковой вращающий момент	M_0	Нм	3,42	11,6
Номинальный вращающий момент	M_H	Нм	2,81	7,65
Максимальный вращающий момент	M_{0max}	Нм	11,3	22,1
Номинальная мощность	P_H	кВт	1,03	3,20
Пусковой ток	I_{0rms}	А	2,74	9,4
Максимальный ток	I_{0max}	А	11	19,2
Постоянная вращающего момента	K_{Trms}	Нм/А	1,26	1,24
Постоянная напряжения	K_{Erms}	мВмин	80,9	79,8
Сопротивление обмотки фаза-фаза	R_{25}	Ом	7,78	1,06
Индуктивность обмотки фаза-фаза	L	мГн	26,8	5,70
Момент инерции ротора	J	кгсм ²	1,5	9,1
Число полюсов			10	10
Момент статического трения	M_R	Нм	0,026	0,058
Постоянная времени нагревания	t_{TH}	мин	17	28
Устройство обратной связи			резольвер, 2-полюсный, с полым валом	резольвер, 2-полюсный, с полым валом
Характеристики стояночного тормоза				
Стояночный тормоз			отсутствует	Есть
Тормозной момент при 120°C	M_{BR}	Нм	–	14,5

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
------	------	----------	---------

ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ

Лист

16

Продолжение таблицы 3

Параметр	Обозначение	Ед. изм	Привод подачи	
			Оси «X,Y»	Оси «Z»
Напряжение постоянного тока	U_{BR}	В	–	24 ±10 %
Электрическая мощность	P_{BR}	Вт	–	19,5
Момент инерции	J_{BR}	кгсм ²	–	0,173
Время отпущения	t_{BRH}	мс	–	115
Время наложения	t_{BRL}	мс	–	30
Типичный люфт		° мех.	–	0,31

Таблица 4 – Технические характеристики сервоусилителей

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Привод подачи	
			Оси «X,Y»	Оси «Z»
Номинальное напряжение сети	U_H	В	3 x 230 _{-10%} ... 480 ^{+10%}	3 x 230 _{-10%} ... 480 ^{+10%}
Номинальная частота сети	f	Гц	50	50
Номинальная мощность при длительном режиме работы	S_H	кВА	2	7
Номинальное выходное напряжение постоянного тока	$U_{ВЫХ}$	В	290 – 675	290 – 675
Номинальный ток нагрузки	I_{rms}	А	3 ±3%	10 ±3%
Максимальный ток нагрузки (≤ 5 с)	I_{max}	А	6 ±3%	20 ±3%
Тактовая частота выходного каскада		кГц	8 (16 при $U_{ВЫХ} = 400$ В)	8 (16 при $U_{ВЫХ} = 400$ В)
Порог защиты от перенапряжения		В	450 ... 900	450 ... 900
Максимальная индуктивная нагрузка		мГн	75	25
Минимальная индуктивная нагрузка		мГн	12	4
Коэффициент формы тока (при номинальных характеристиках и индуктивности минимальной нагрузки)			1,01	1,01
Полоса пропускания регулятора тока		кГц	> 1,2	> 1,2

Продолжение таблицы 4

Параметр	Обо- значение	Ед. изм.	Привод подач	
			Оси «X,Y»	Оси «Z»
Падение остаточного напряжения при номинальном токе		В	5	5
Мощность потерь в состоянии покоя, выходной каскад заблокирован		Вт	15	15
Мощность потерь при номинально токе (включая мощность потерь блока питания без рассеяния тепла тормозов)		Вт	40	90
Встроенный тормозной резистор	R_{BR}	Ом	33	33
Интерфейс				
Аналоговые входы $\frac{1}{2}$ (разрешение 14/12 бит), постоянное напряжение, макс		В	± 10	± 10
Цифровые управляющие входы		В	18 – 30	18 – 30
Цифровые управляющие выходы, возбуждаемые высоким уровнем сигнала			Открытый эмиттер, макс. 30 В пост. тока, 10 мА	Открытый эмиттер, макс. 30 В пост. тока, 10 мА
Выход ВТВ/РТО, релейные контакты			макс. 30 В пост. тока, макс. 42 В пер. тока, 500 мА	макс. 30 В пост. тока, макс. 42 В пер. тока, 500 мА
Вспомогательное электропитание, с развязкой потенциалов без тормоза/вентилятора			20 – 30 В, 1 А	20 – 30 В, 1 А
Вспомогательное электропитание, с развязкой потенциалов с тормозом/вентилятором			24 В + 15%, 2,5 А	24 В + 15%, 2,5 А
Выходной ток тормоза, мин./макс.			0,15 А / 1,5 А	0,15 А / 1,5 А

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
------	------	----------	---------

ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ

Лист

18

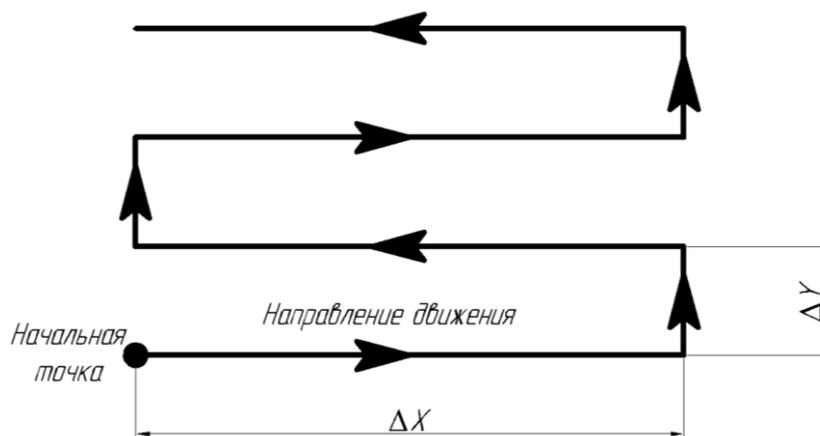


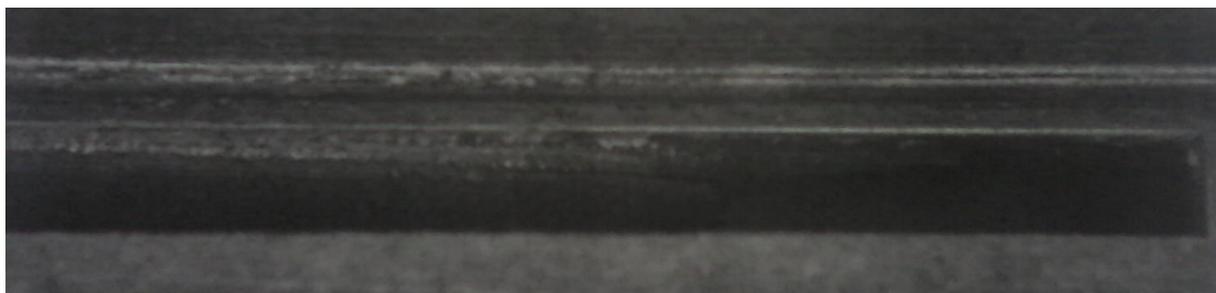
Рисунок 5 – Траектория движений обработки: ΔX – поперечное движение стола, ΔY – продольное движение хобота

Таблица 5 – Параметры обработки пазов

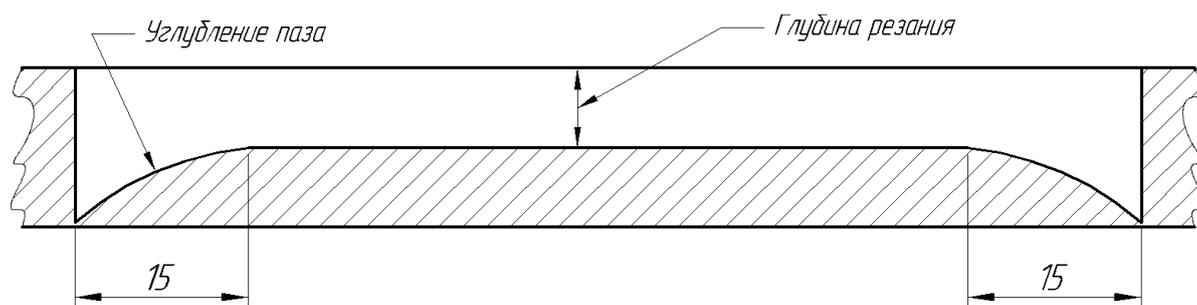
Параметр	Значение	Ед. изм
Источник лазерного излучения		
Частота импульсов	50	кГц
Ток накачки	10	А
Мощность лазерного излучения	5910	мВт
Стратегия обработки		
ΔX (длина)	400	мм
ΔY (шаг)	0,01	мм
Количество строк, N	20	
Количество повторений траектории	1	
Фокусное расстояние от нулевого уровня	+0,2	мм

2.2 Результат пробного изготовления паза

По результатам обработки пробной заготовки из стали 12Х18Н10Т ГОСТ5632, обнаружено увеличение высоты паза в начале и конце поперечного движения. На рисунке 4 изображено углубление паза в момент переходного процесса пуска двигателя. Глубина снятого металла в установившемся режиме движения стола за 1 проход 0,03 мм.



а)



б)

Рисунок 6 – Изменение глубины паза при пуске и торможении поперечного направления движения: а) снимок б) эскиз

2.3 Возможные методы устранения дефекта

Возможными методами борьбы, с недопустимым увеличением глубины при изготовлении паза в изделии, являются:

- Отладка работы программы ЧПУ;
- Наложение «маски»;
- Настройка сервоусилителя;
- Синхронизация скорости движения изделия с частотой следования импульсов лазерного луча.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись

ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ

Лист

21

(рисунок 8) продольной и поперечной подач, при заводских настройках сервоусилителя, приведённых в таблице 6.

Таблица 6 – Заводские настройки сервопривода подач

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Значение (поперечная подача)	Значение (продольная подача)
Ограничение скорости	<i>SpeedLimit</i>	об/мин	3500	3500
Формирование ошибки при скорости	<i>overspeed</i>	об/мин	4200	4200
Номинальный ток двигателя	<i>I_{rms}</i>	А	2,74	2,74
Среднеквадратичное значение импульсного тока	<i>I_{peak}</i>	А	5,48	5,48
Масштабирование заданного значения скорости аналогового входа 1	Scaling	об/мин/ 10 В	3011	3011
Постоянная времени фильтра аналогового входа 1	<i>T.setpoint</i>	мс	1	1
Уставка ускорения (рампы)	<i>Set.Ramp+</i>	мс	1	1
Уставка торможения (рампы)	<i>Set.Ramp-</i>	мс	1	1
Регулятор скорости				
Пропорциональный коэффициент	<i>K_P</i>		3,175	3,175
Постоянная времени интегрирования	<i>T_n</i>	мс	10	10
Пропорциональный канал для средних частот (подавление шумов)	<i>PID-T2</i>	мс	1	1
Коэффициент обратной связи по скорости	<i>T-Tah</i>	мс	0,4	0,4
Регулятор тока				
Пропорциональный коэффициент	<i>K_P</i>		1,872	1,872
Постоянная времени интегрирования	<i>T_n</i>	мс	0,6	0,6

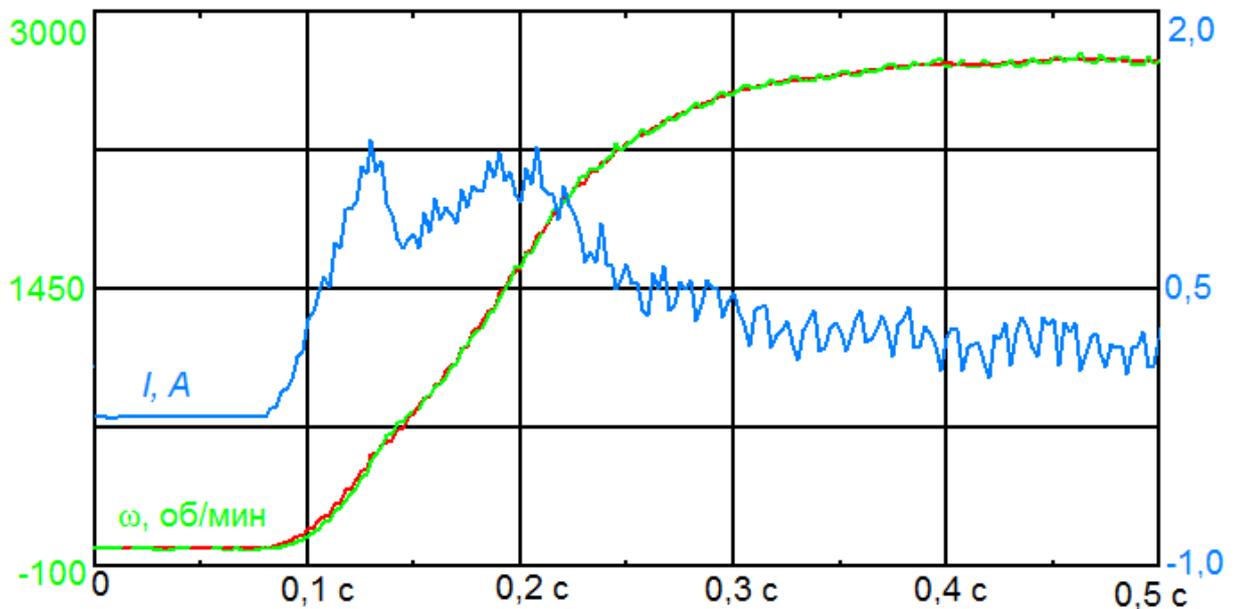


Рисунок 8 – Переходный процесс пуска сервопривода продольной и поперечной подачи. Красная линия – задание скорости, зелёная – действующая скорость, синяя – действующий ток

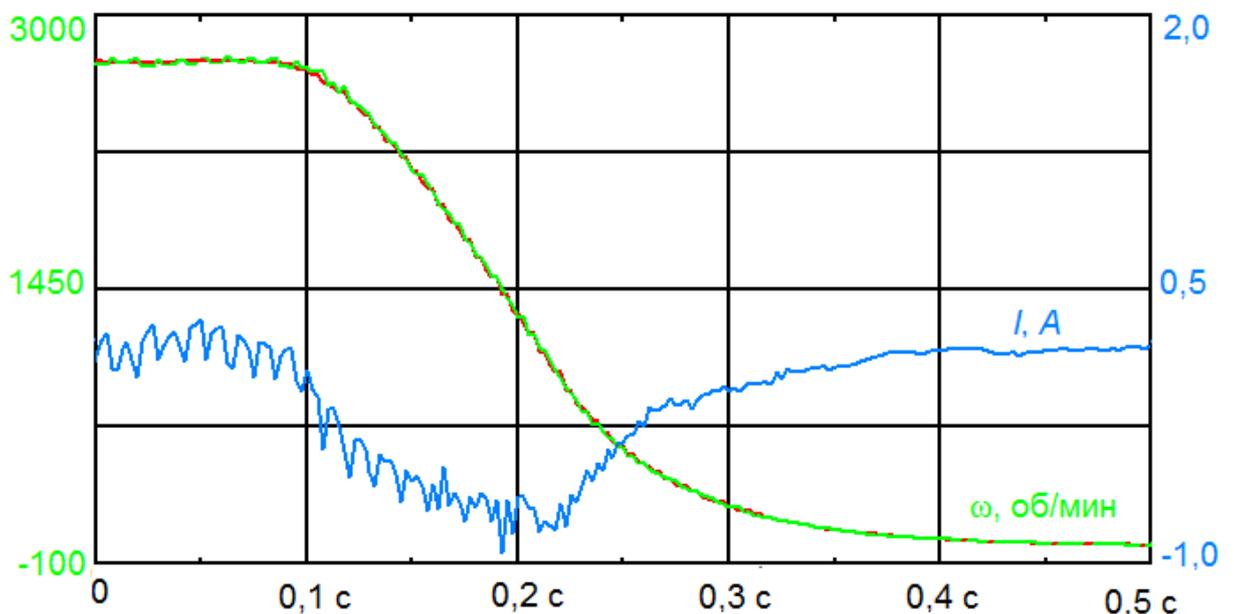


Рисунок 9 – Переходный процесс торможения сервопривода продольной и поперечной подачи. Красная линия – задание скорости, зелёная – действующая скорость, синяя – действующий ток

Осциллограммы переходных процессов отображают работу следящего привода с замкнутым контуром регулирования (рисунок 10). Регулятор

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись

положения производит сравнение расчётного значения скорости с фактической скоростью каждые 6 мс и определяет задание скорости.

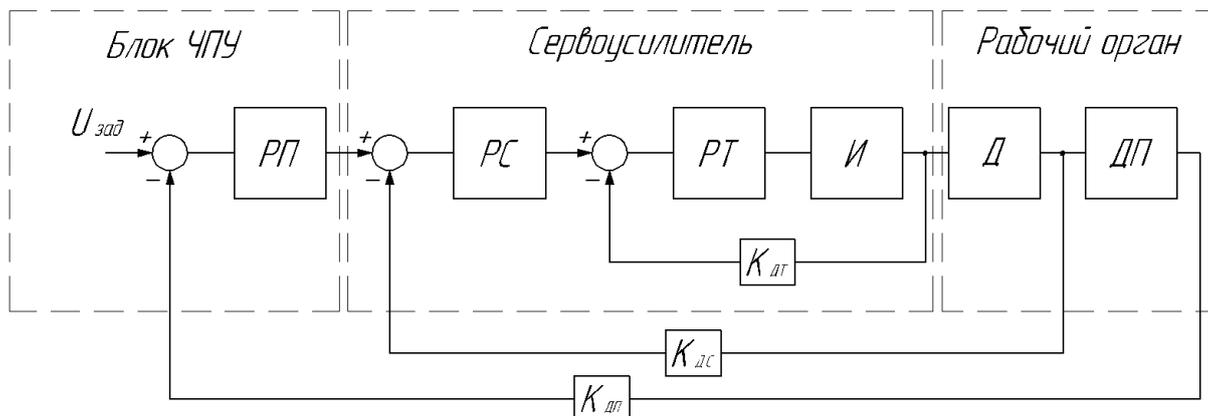


Рисунок 10 – Структурная схема системы управления приводов подач. РП – регулятор положения, РС – регулятор скорости, РТ – регулятор тока, И – инвертор, Д – двигатель, ДП – датчик положения, $K_{ДТ}$ – коэффициент усиления датчика тока, $K_{ДС}$ – коэффициент усиления датчика скорости, $K_{ДП}$ – коэффициент усиления датчика положения

Для определения динамических характеристик привода снимем осциллограмму (рисунок 12), без контура положения (рисунок 11) при ступенчатом задании скорости.

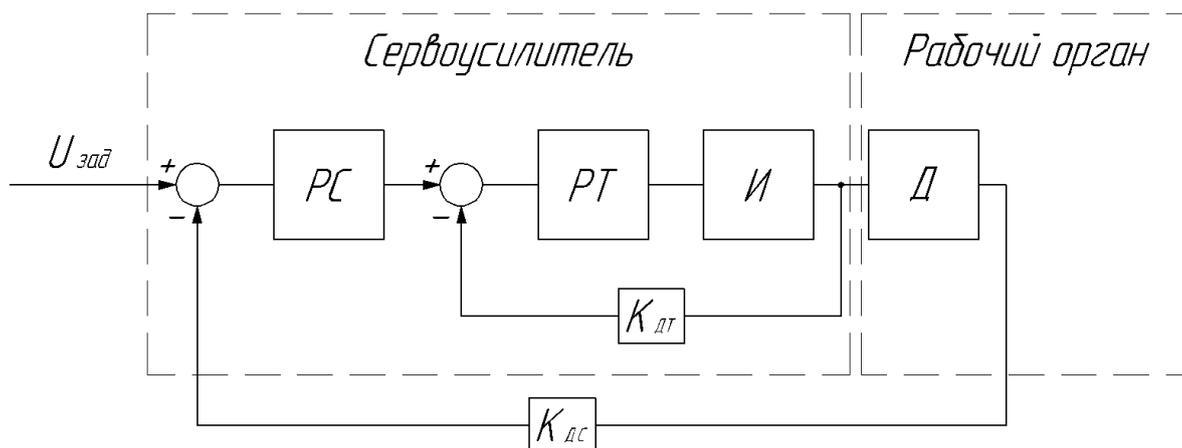


Рисунок 11 – Структурная схема системы управления приводом без контура положения

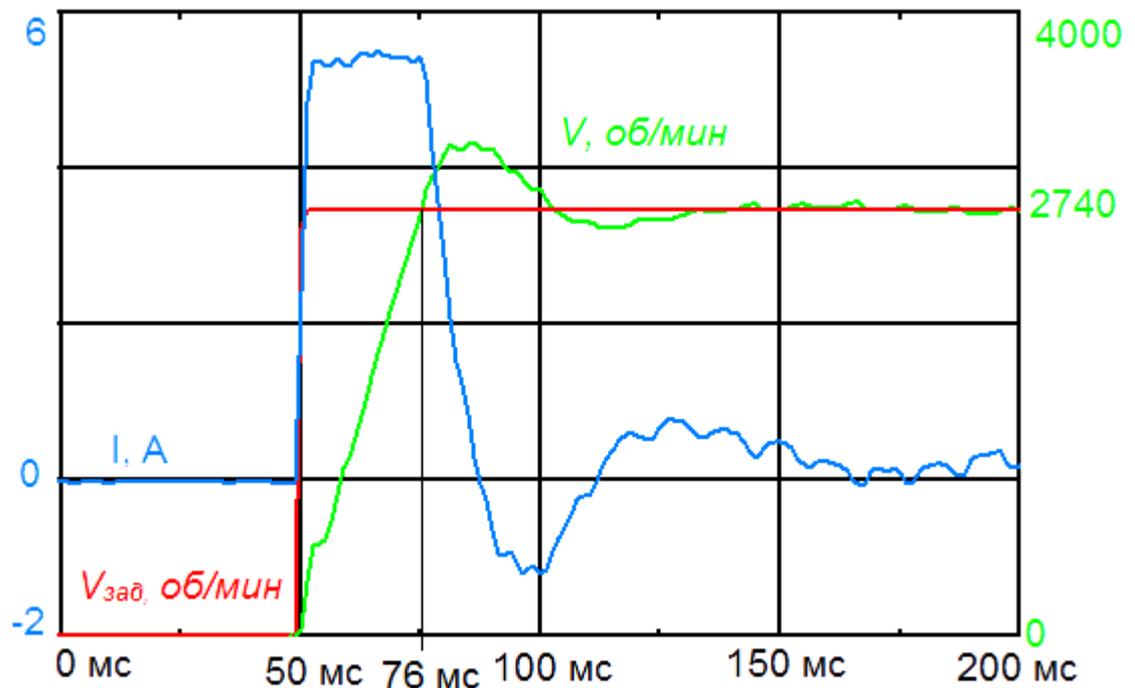


Рисунок 12 – Осциллограмма поведения привода без контура положения

Угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $\Delta\omega$ – приращение скорости;

Δt – приращение времени.

Реакция привода на ступенчатое задание скорости (см. рисунок 12) позволяет сделать вывод о том, что из-за ограничения тока, ускорение двигателя на участке времени 53 мс, уменьшается.

Угловое ускорение привода с ограничением тока определим по формуле (1):

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2740 \text{ об/мин}}{26 \text{ мс}} = 11035,85 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Прогнозируемое ускорение без ограничения по току (рисунок 12) определим по формуле (1):

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2740 \text{ об/мин}}{15 \text{ мс}} = 19128,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

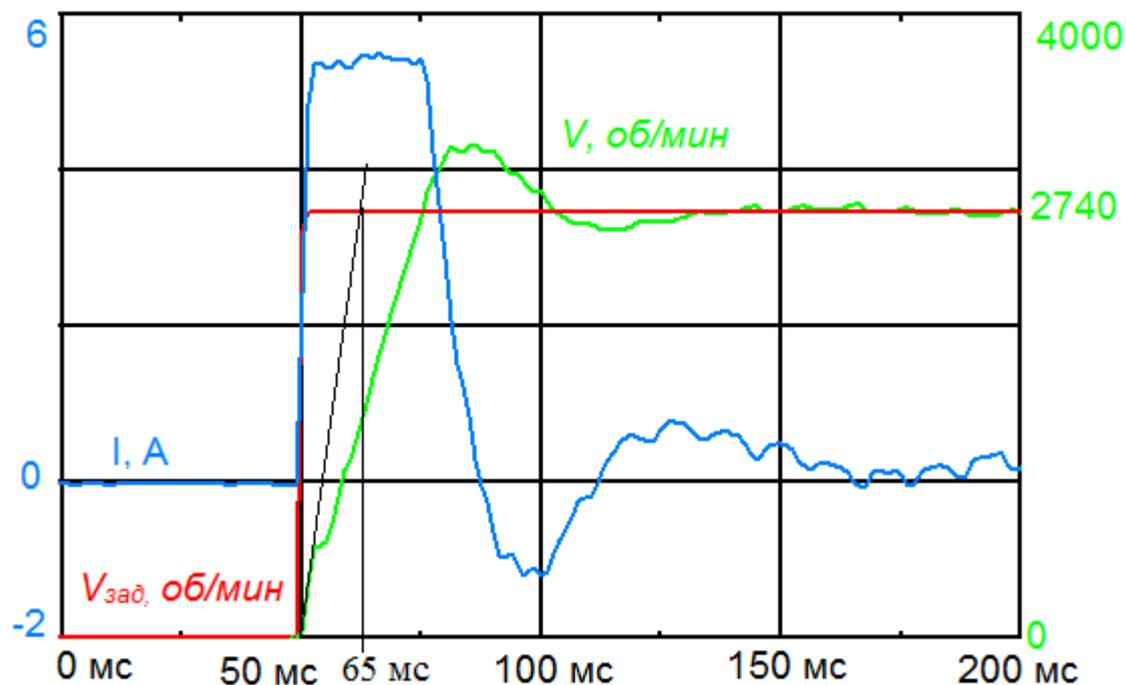


Рисунок 13 – Осциллограмма прогнозируемого ускорения

3.3 Результат исследования, выводы

В результате исследования электропривода установлено, что минимальное время разгона превышает 26 мс, при этом необходим ток двигателя существенно больше значения длительно-допускаемого характеристиками сервоусилителя. Вместе с тем даже при таком разгоне, не избежать погрешности глубины паза в 10 мкм, что недопустимо по требованию технологии.

Таким образом электропривод способный обеспечить выполнение технологии лазерной обработки должен быть существенно более быстродействующим, чем на станке. В связи с этим наиболее целесообразным представляется синхронизация процесса разгона с изменением количества импульсов.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА «СИНХРОНИЗАЦИЯ СКОРОСТИ»

4.1 Синтез функциональной схемы

Принцип работы системы синхронизации заключается в постоянном опросе скоростей электроприводов подач, значения которых передаются на аналого-цифровые преобразователи микроконтроллера, который в свою очередь обрабатывая данные формирует широтно-импульсную модуляцию пропорциональную вектору скорости двигателей. Работа лазера возможна только при наличии сигнала «разрешение» для возможности работы приводов подач без лазерного излучения, а также отключение лазерной системы при аварийных ситуациях. Функциональная схема системы синхронизации представлена на рисунке 14.

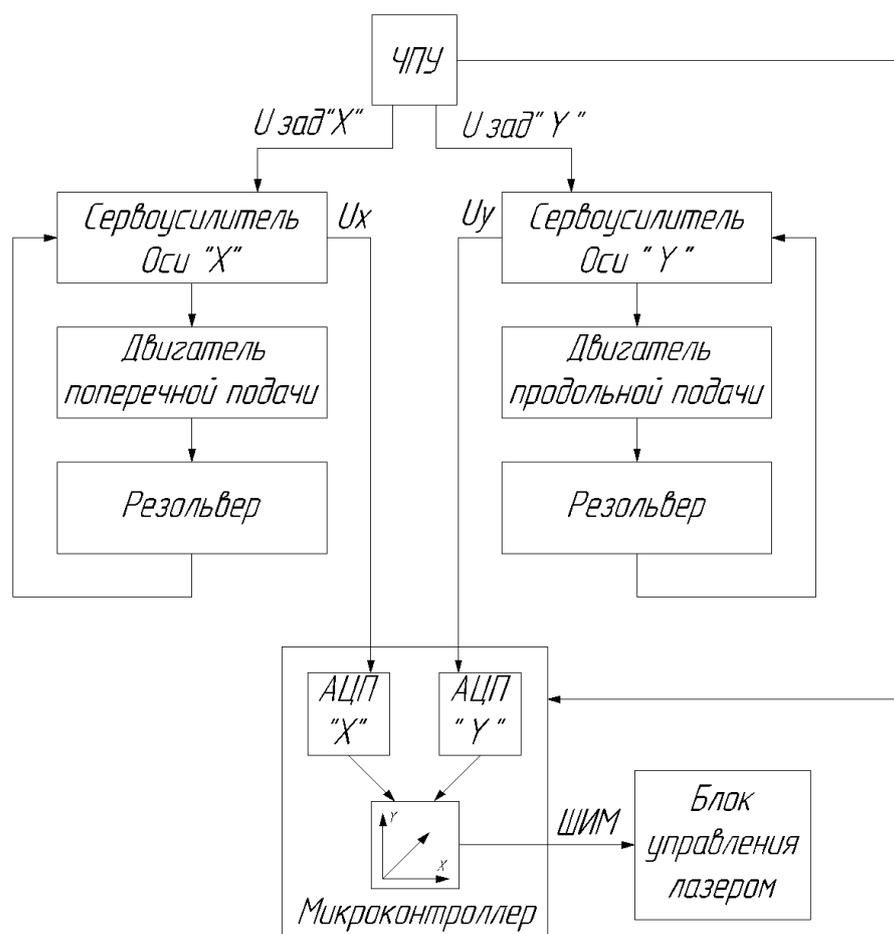


Рисунок 14 – Функциональная схема метода синхронизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись

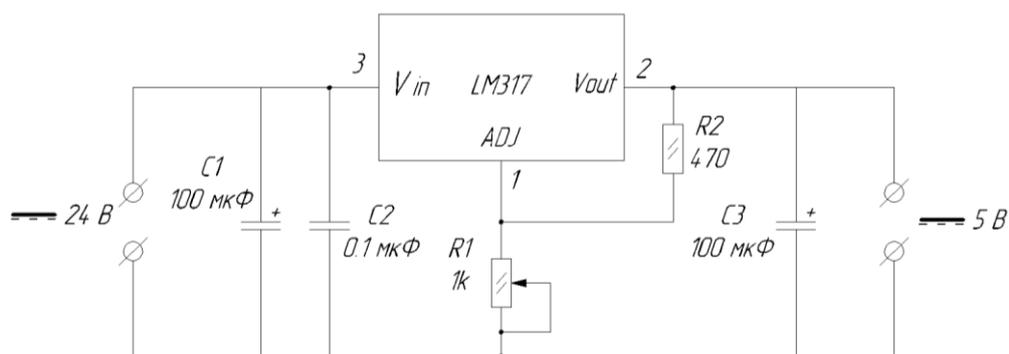


Рисунок 15 – Типовая схема подключения микросхемы *LM317*

Таблица 8 – Основные технические характеристики микросхемы *LM317*

Параметр	Значение	Ед. изм
Напряжение входа, V_{IN}	3 – 40	В
Напряжение выхода, V_{OUT}	1,25 – 37	В
Ток нагрузки, I_O	0,01 – 1,5	А
Рабочая температура	0 – 125	°С
Отклонение выходного напряжения	$0,003 \cdot V_{OUT}$	В
Защита от перегрева	есть	
Защита от короткого замыкания	есть	
Внутреннее ограничение по току	есть	

4.2.3 Выбор дополнительных пассивных элементов

Для индикации напряжения на выходе микросхемы *LM317* выберем зелёный светодиод *GNL-3014GC* с техническими характеристиками, представленными в таблице 9.

Таблица 9 – Основные технические характеристики светодиода *GNL-3014GC*

Параметр	Значение	Ед. изм
Обратное напряжение, V_R	5	В
Обратный ток, I_R	10	мкА
Прямой ток, I_F	30	мА
Рабочая температура	-40, + 80	°С
Отклонение выходного напряжения	$0,003 \cdot V_{OUT}$	В
Длина волны	565	нм

Номинальное сопротивление токоограничивающего резистора в цепи индикации напряжения:

$$R = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}}, \quad (2)$$

$$R = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = \frac{5}{0,01} = 500 \text{ Ом.}$$

Выбираем резистор *CF-25* с характеристиками, приведёнными в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики резистора *CF-25*

Параметр	Значение
Номинальное сопротивление, Ом	470
Точность, %	5
Номинальная мощность, Вт	0,25

Номинальное сопротивление резистора в цепи ввода информации микроконтроллера определим по формуле (2):

$$R = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = \frac{5}{0,01} = 500 \text{ Ом.}$$

Выбираем резистор *CF-25* с характеристиками, приведёнными в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики резистора *CF-25*

Параметр	Значение
Номинальное сопротивление, Ом	470
Точность, %	5
Номинальная мощность, Вт	0,25

Согласно паспортным данным на кварцевый резонатор, выбираем керамический конденсатор К10-17А М47 с характеристиками, приведёнными в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики конденсатора К10-17А

Параметр	Значение
Номинальная ёмкость, пФ	20
Точность, %	10
Номинальное напряжение, В	50

4.2.4 Выбор кварцевого резонатора

Для равномерной регулировки лазерных импульсов пропорционально скорости необходимо определить частоту кварцевого резонатора так, чтобы частота следования импульсов была кратна предделителю таймера, на котором реализована широтно-импульсная модуляция.

Частота кварцевого резонатора:

$$f_{clk} = n \cdot f_{имп}, \quad (3)$$

где n – предделитель таймера;

$f_{имп}$ – частота следования импульсов лазерного излучения.

По формуле (3) определим максимально возможную частоту кварцевого резонатора:

$$f_{clk} = n \cdot f_{имп} = 256 \cdot 50000 = 12,8 \text{ МГц.}$$

Максимально допустимое время цикла программы микроконтроллера:

$$t_{max} = \frac{\omega_{АЦПmin}}{\varepsilon_1}, \quad (4)$$

где $\omega_{АЦПmin}$ – минимальная скорость, определяемая аналого-цифровым преобразователем;

ε_2 – ускорение привода на первом участке аппроксимации рисунок 16.

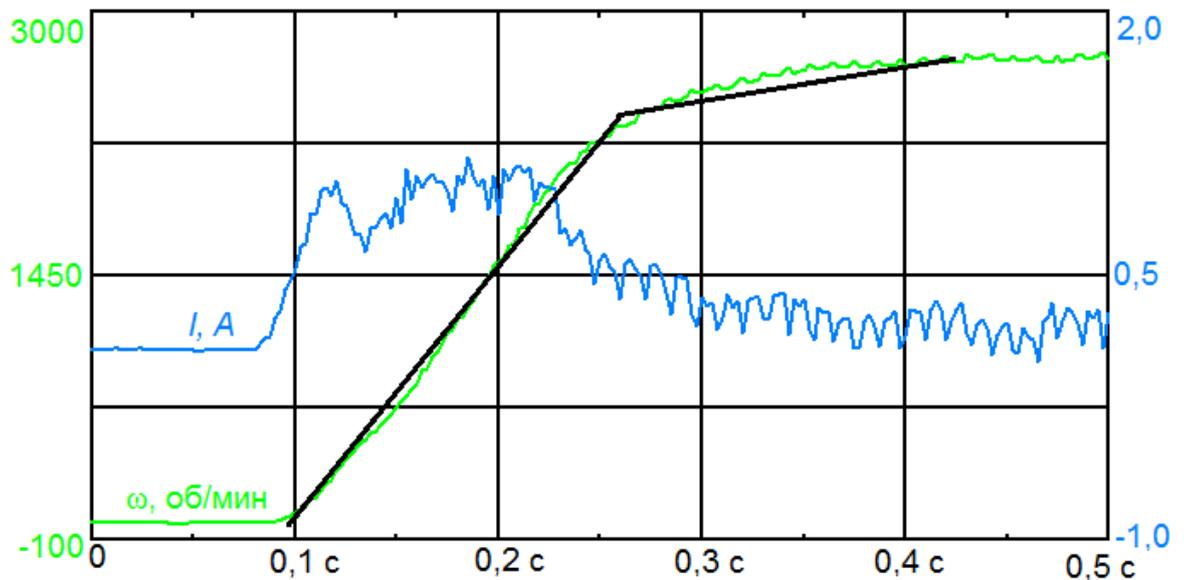


Рисунок 16 – Аппроксимация переходного процесса пуска привода

Минимальная скорость, определяемая 8-разрядным аналого-цифровым преобразователем:

$$\omega_{\text{АЦП}min} = \frac{\omega_{\text{дв}}}{c}, \quad (5)$$

где $\omega_{\text{дв}}$ – заданная скорость двигателя;

c – вершина счёта таймера в режиме быстрый ШИМ.

Ускорение привода на первом участке аппроксимации (см. рисунок 16):

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0}, \quad (6)$$

По формулам (4 – 6) определим максимально допустимое время цикла микроконтроллера:

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0} = \frac{2350 \frac{\text{об}}{\text{МИН}} - 0 \text{ об/МИН}}{265 \text{ мс} - 90 \text{ мс}} = 1406 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\text{АЦП}min} = \frac{\omega_{\text{дв}}}{c} = \frac{2742,8}{256} = 10,71 \frac{\text{об}}{\text{МИН}};$$

4.2.7 Разработка блок схемы алгоритма

Блок схемы алгоритма программы представлены на рисунках 17, 18.

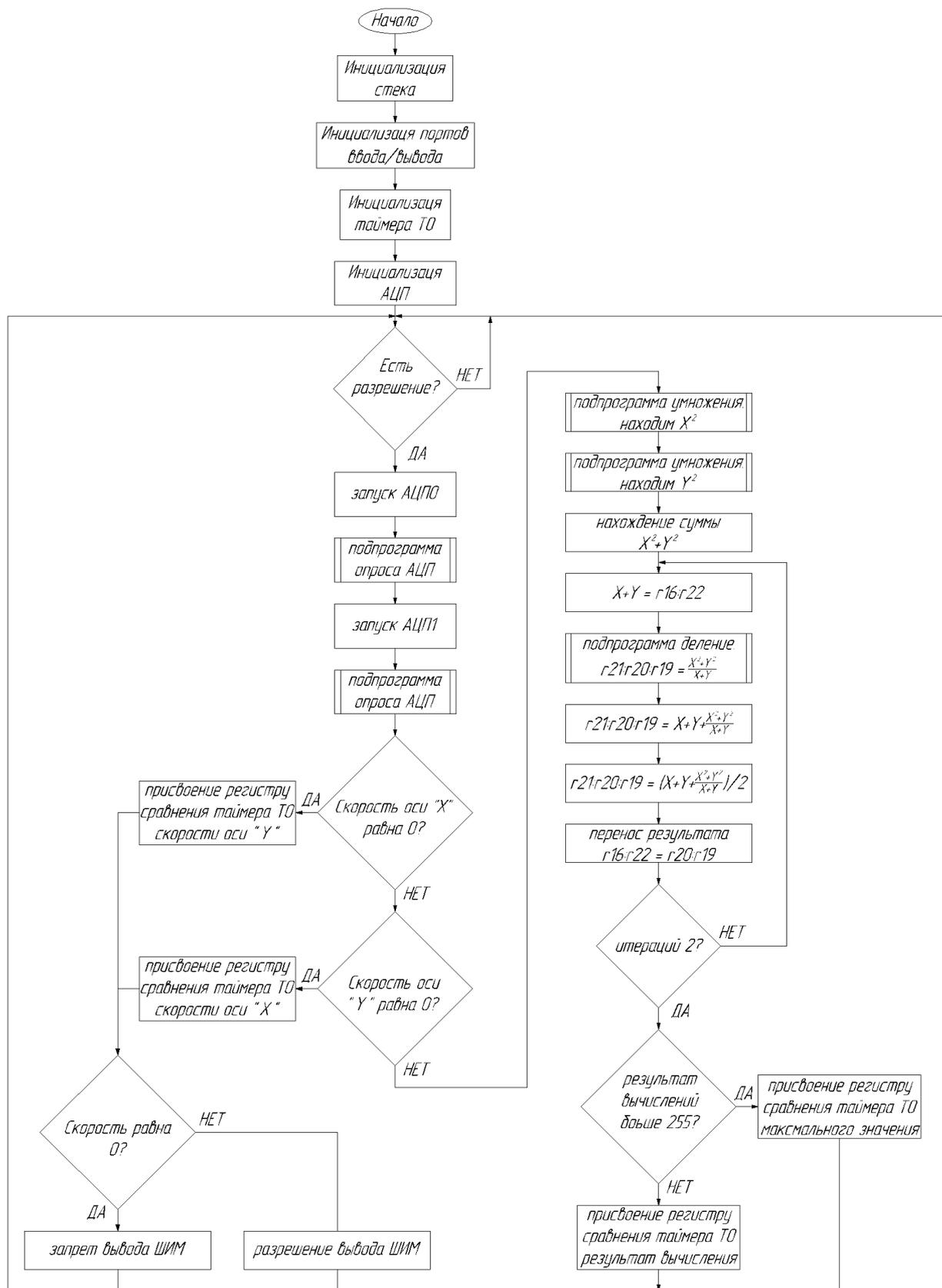


Рисунок 17 – Блок схема алгоритма работы программы синхронизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись

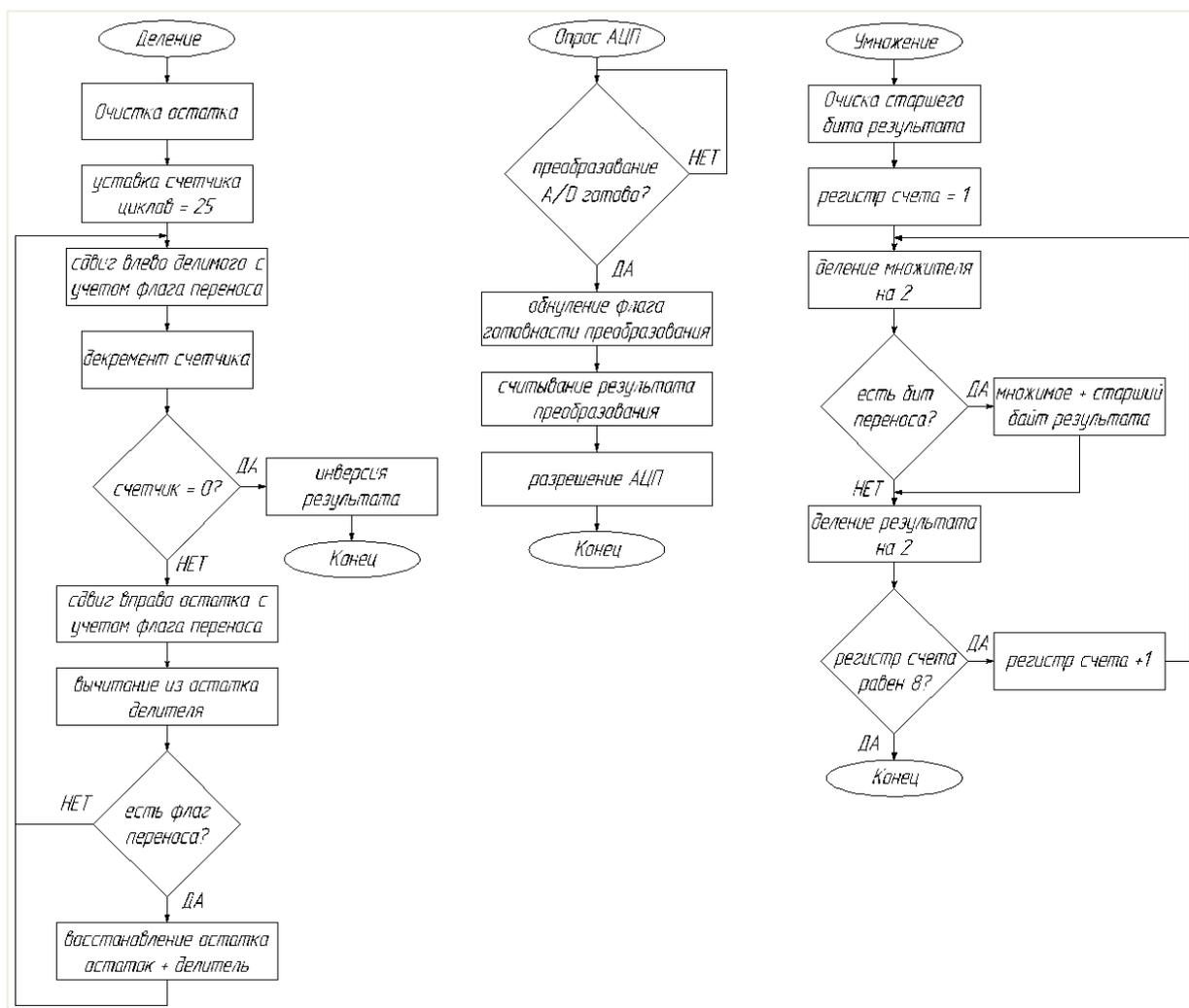


Рисунок 18 – Продолжение блок схемы алгоритма работы программы синхронизации

4.2.8 Листинг программы

Программа разработана для микроконтроллера *ATtiny24*, опорным напряжением для аналого-цифрового преобразователя является источник питания микроконтроллера «*V_{CC}*», результат АЦПО сохраняется в регистре общего назначения «*r21*», результат АЦП1 сохраняется в регистре общего назначения «*r22*», результат вычислений скорости рабочих органов станка записываются в регистр общего назначения «*r22*» и выводится в регистр сравнения таймера *T0* работающего в режиме быстрой широтно-импульсной модуляции, результат работы таймера выводится на неинвертирующий вывод микроконтроллера *PB2*, разрешение работы программы определяется сигналом логической «1» на входе микроконтроллера *PA7*.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
------	------	----------	---------


```

mov r28, r20

mov r29, r21

ldi r30, 1           ; начальное значение цикла итераций

iteration:

rcall division

add r19, r22         ; младший байт

adc r20, r16         ;  $X + Y + (X^2 + Y^2) / (X + Y)$ 

adc r21, r17         ; старший байт

lsr r21              ; деление на 2

ror r20

ror r19

mov r22, r19         ; сохранение результата итерации

mov r16, r20

mov r19, r27         ; восстановление значения суммы квадратов

mov r20, r28

mov r21, r29

cpi r30, 2           ; количество итераций 2?

breq end             ; если да, то передай результат в регистр сравнения ШИМ

inc r30              ; увеличение счётчика «количество итераций»

rjmp iteration

end:                 ; завершение расчёта, определение результата

```


mul_m2:

ror r18

ror r17

bcc mul_m3

add r18,r16

mul_m3:

ror r18

ror r17

bcc mul_m4

add r18,r16

mul_m4:

ror r18

ror r17

bcc mul_m5

add r18,r16

mul_m5:

ror r18

ror r17

bcc mul_m6

add r18,r16

mul_m6:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			45


```

rol r25 ; сдвиг остатка с учётом флага переноса

rol r26 ; сдвиг остатка с учётом флага переноса

sub r24, r22 ; остаток = остаток - делитель

sbc r25, r16

sbc r26, r17

brcc div_1 ; при отсутствии флага переноса иди на метку div_1

add r24, r22 ; если результат отрицательный

adc r25, r16 ; восстановление остатка

adc r26, r17

rjmp div_1

```

Com:

```

com r19 ; инверсия результата

com r20 ; инверсия результата

com r21 ; инверсия результата

ret

```


Блок управления лазером необходимо настроить на работу «by level, Polarity = normal», что позволит работать лазеру по принципу «есть сигнал – есть излучение, нет сигнала – нет излучения».

Для определения фактической скорости, значение аналогового выхода «Analog Out 1» сервоусилителей продольной и поперечной подач необходимо установить «v_act».

С учётом вышеизложенного составлена схема электрическая принципиальная, представленная на чертеже 13.03.02.2018.576.02Э3

4.4 Анализ работы системы

При помощи интегрированного симулятора «AVR Studio» произведена проверка и отладка работоспособности программы синхронизации по шагам. А также в системе автоматизированного проектирования «Proteus Design Suite» создана модель системы синхронизации (рисунок 18) и произведена отладка её в реальном времени.

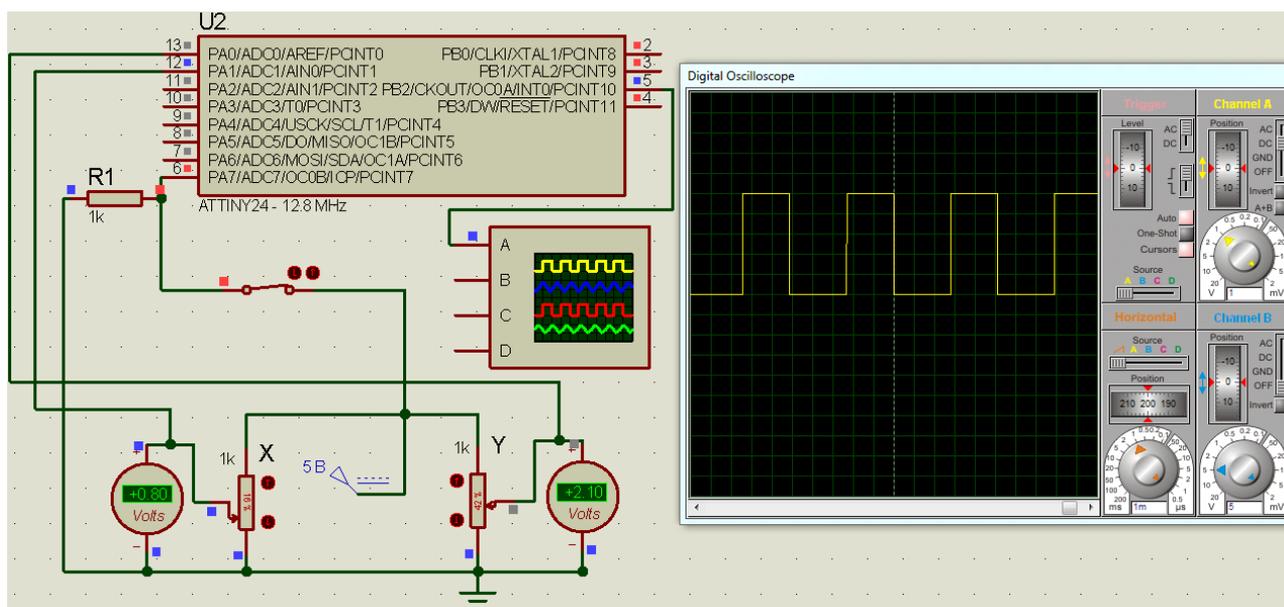


Рисунок 19 – Модель системы синхронизации в программной среде «Proteus»

По результатам моделирования в различных средах автоматизированного проектирования, можно сказать, что разработанная система синхронизации на базе микроконтроллера работоспособна и готова к реализации.

В связи с тем, что проект, разработки алгоритма функционирования электропривода подачи лазерной установки для обрабатывающего центра, находится в стадии утверждения на его реализацию, отладка работы системы на оборудовании не производилось.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.576.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			50

