

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,**  
**МЕХАНИКИ И ОПТИКИ»**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
**ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**«Разработка системы управления прецизионным**  
**поворотным столом»**

Автор Уткин Игорь Игоревич \_\_\_\_\_  
(Фамилия, Имя, Отчество) (Подпись)

Направление подготовки (специальность) 27.03.04 \_\_\_\_\_  
(код, наименование)

Квалификация бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, магистр)\*

Руководитель Быстров С.В., доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

**К защите допустить**

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Санкт-Петербург, 2018 г.

Студент Уткин И.И. Группа Р3440 Кафедра СУиИ Факультет СУиР  
(Фамилия, И,О.)

Направленность (профиль), специализация Управление в технических системах

---

Консультант (ы):

а) \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

б) \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

ВКР принята “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Оригинальность ВКР \_\_\_\_\_ %

ВКР выполнена с оценкой \_\_\_\_\_

Дата защиты “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Секретарь ГЭК \_\_\_\_\_  
(ФИО) (подпись)

Листов хранения \_\_\_\_\_

Демонстрационных материалов/Чертежей хранения \_\_\_\_\_

# Содержание

<b>Введение</b>	<b>6</b>
<b>1 Обзор существующих технических решений</b>	<b>8</b>
<b>2 Разработка функциональной схемы и ее описание</b>	<b>10</b>
<b>3 Выбор элементов и их статический расчет</b>	<b>12</b>
3.1 Выбор пьезоэлектрического двигателя . . . . .	12
3.2 Выбор углового датчика . . . . .	17
3.3 Выбор микросхемы со встроенным АЦП и ЦАП . . . . .	18
3.4 Выбор блока питания . . . . .	21
<b>4 Математическое моделирование системы</b>	<b>22</b>
4.1 Вывод зависимости линейного изменения пьезоэлемента и угло- вого перемещения ротора двигателя . . . . .	22
4.2 Математическая модель пьезодвигателя . . . . .	24
<b>5 Разработка структурной электрической схемы системы управления прецизионным поворотным столом</b>	<b>27</b>
<b>6 Синтез регулятора</b>	<b>28</b>
6.1 Построение модели пьезодвигателя и его оценка . . . . .	28
6.2 Синтез регулятора пьезодвигателя . . . . .	31

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

					<b>КСУИ.101.3440.001 ПЗ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Разработка системы управления прецизионным поворотным столом</b>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Уткин И. И				Д	4	59
Пров.		Быстров С. В.						
Н. контр.		Ведяков А. А.				Университет ИТМО Кафедра систем управления и информатики		
Утв.		Бобцов А. А.						

7	Учет особенностей цифровой реализации регулятора. Исследование динамики автоматической системы.	35
8	Разработка алгоритма управления системой	37
	Заключение	39
	Список использованных источников	41
	Приложение А Патент RU2596693C1	43
	Приложение Б Патент US6637737B1	47
	Приложение В Патент US7603930B2	49
	Приложение Г Патент US3615068A	51
	Приложение Д Патент US6806620B1	53
	Приложение Е Технические характеристики пьезодвигателя	55
	Приложение Ж Оптический инкрементальный датчик ЛИР-390А	56
	Приложение З Микроконтроллер ADuC7024	58
	Приложение И Листинг программы, описывающей параметры системы	59

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Введение

В настоящее время во всем мире взят курс на развитие нанотехнологий. Решается множество задач в этой сфере, в частности актуальна задача микроперемещений объекта. Решение данной задачи необходимо для усовершенствования устройств и приборов в областях машиностроения, медицины, электропромышленности, обработки драгоценных материалов и многих других областях. С помощью пьезоэффекта разработано множество различных систем, которые выполняют микроперемещения объектов.

Задачей системы управления прецизионным поворотным столом является точный поворот прецизионного стола на определенный угол для правильной обработки. От того, насколько точно повернется прецизионный стол, зависит качество изготавливаемого изделия. Например, для того чтобы придать драгоценному камню правильную форму, нужно, поворачивая на определенный угол, с высокой точностью его обработать.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка быстродействующей системы управления прецизионным поворотным столом, отвечающей требованиям технического задания, представленным в таблице 1

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ	Лист
						6

Таблица 1 – Требуемые исходные данные

Диапазон угловых перемещений	$0^{\circ} - 180^{\circ}$
Шаг угловых перемещений	$2'$
Время переходного процесса	0.1 с
Переходной процесс	Апериодический
Погрешность позиционирования	5%
Питание	220 В 50 Гц

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
КСУИ.101.3440.001 ПЗ					Лист 7				

# 1 Обзор существующих технических решений

В ходе проведенного библиографического и патентного поиска были найдены несколько зарубежных и один отечественный аналог устройства.

Одним из предложенных решений реализации прецизионного поворотного стола является патент предложенный Федеральным государственным унитарным предприятием "Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А.Пилюгина". Патент представлен в Приложении А. Изобретение относится к измерительной технике, к устройствам для задания и измерения углов ориентации изделий приборостроения при их изготовлении и контроле, и может быть использовано в любой другой области при необходимости точного задания и измерения углов. Недостатком устройства является невысокая грузоподъемность стола (до 2 кг) и наличие прецизионных механизмов, что приводит к повышению стоимости и сужает область применения устройства и не производится серийно.

Также было найдено изобретение компании Unova IP Corp (Приложение Б), которое в целом относится к устройству микропозиционирования заготовки для коррекции ошибок малой высоты и угла поворота в заготовке, поддерживаемой на приспособлении для станков, для производственных операций, таких как прецизионная обработка и сборка. Недостатками изобретения являются его габариты, узконаправленность и дорогой процесс подготовки изделия (Fixturing).

Изобретение, представленное в Приложении В от компании Sankyo Manufacturing Co Ltd. меньше и легче предыдущего изобретения. Данное изобретение относится к вращающимся настольным приборам. Его целью является достижение малогабаритного и легкого вращающегося настольного устройства, имеющего опору с возможностью вращения, которая поддерживает вращающийся

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

стол, и основание которое с возможностью поворота, которое поддерживает опору. Недостатки этого изобретения - габариты и большой шаг угловых перемещений.

Приведенное в Приложении Г изобретение компании ARDEL INSTRUMENT CO Inc относится к роторным позиционирующим устройствам и, в частности, к высокоточному ротационному столу. В настоящее время в исследовательских целях используется большое количество ротационных столов. Эти таблицы используются для поворота призмы, кристаллов, поли-резонаторов и т.п. в желаемые положения вращения. В большинстве приложений крайне важно, чтобы такое позиционирование выполнялось с большой точностью. Существенным недостатком этого изделия является механическая составляющая. При высокой эксплуатации шестерни будут изнашиваться.

Также было найдено изобретение (Приложение Д) от компании PI Ceramic GmbH Keramische Technologien und Bauelemente, которое относится к пьезоэлектрическому приводу, в частности для генерации вращательных и поступательных движений, которые могут выполняться непрерывно или ступенчато. Изобретению может использоваться в системах автоматизации, в технологии роботов, в качестве привода для таблиц микроскопа, для точного позиционирования различных типов координатных таблиц, в оптических и лазерных системах, а также во многих других устройствах, в которых требуется высокая точность.

Выполнив обзор существующих технических решений, можно сделать вывод, что большинство решений не подходят для данного технического задания дипломной работы за исключением последнего изобретения, компании PI Ceramic (приложение Д). Использование компанией пьезоэлектрического эффекта для генерации вращательных движений дает высокую точность позиционирования и быстродействие работы.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>пие Smart Ceramicse технология и Baasemente, которое относится к пьезоэлектрическому приводу, в частности для генерации вращательных и поступательных движений, которые могут выполняться непрерывно или ступенчато. Изобретению может использоваться в системах автоматизации, в технологии роботов, в качестве привода для таблиц микроскопа, для точного позиционирования различных типов координатных таблиц, в оптических и лазерных системах, а также во многих других устройствах, в которых требуется высокая точность.</p> <p>Выполнив обзор существующих технических решений, можно сделать вывод, что большинство решений не подходят для данного технического задания дипломной работы за исключением последнего изобретения, компании PI Ceramic (приложение Д). Использование компанией пьезоэлектрического эффекта для генерации вращательных движений дает высокую точность позиционирования и быстроедействие работы.</p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div>КСУИ.101.3440.001 ПЗ</div> <div>Лист 9</div>



Разработанная функциональная схема системы управления представлена на рисунке 2.1.

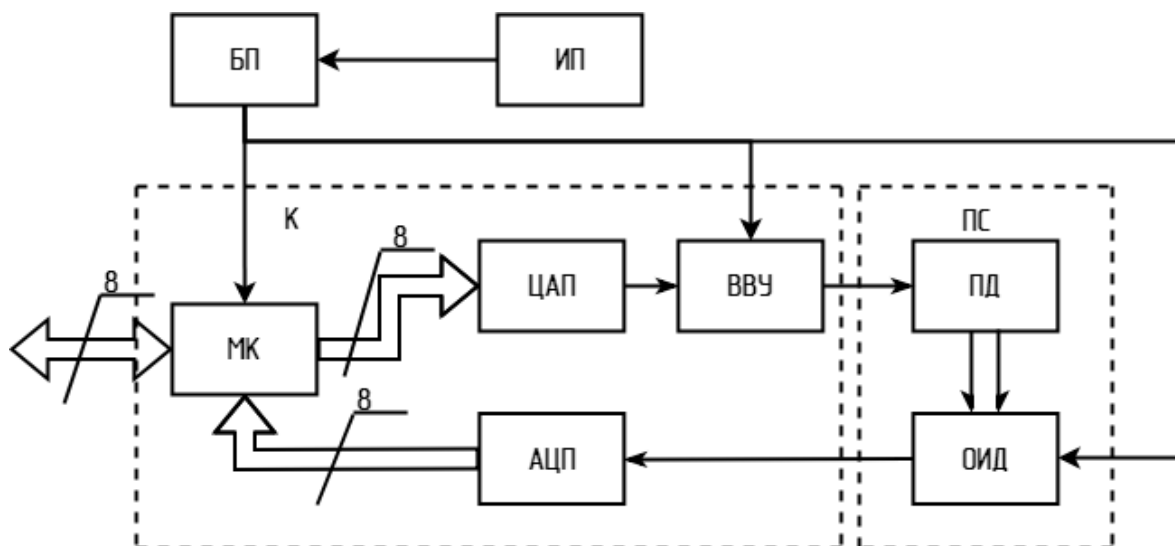


Рисунок 2.1 – Функциональная схема системы управления прецизионным поворотным столом: ИП - источник питания, БП - блок питания, ПС - прецизионный стол, ПД - пьезодвигатель, ОИД - оптический инкрементальный датчик, МК - микроконтроллер, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь, ВВУ - высоковольтный усилитель напряжения, К - контроллер, который управляет всей системой

Источником питания (ИП) является сеть 220 В 50 Гц. К ней подключен блок питания (БП), от которого питаются остальные элементы системы, Контроллер (К) и Оптический инкрементальный датчик (ОИД). Пьезодвигатель (ПД) управляется усиленным высоковольтным усилителем (ВВУ) сигналом микроконтроллера (МК), со встроенными ЦАП и АЦП, находящемся в контроллере (К). Любое угловое перемещение пьезодвигателя отслеживает оптический инкрементальный датчик. Данные об угловом перемещении с оптического инкре-

ментального датчика поступают на микроконтроллер. Далее вычисляется ошибка позиционирования, подается исправляющий ошибку позиционирования сигнал на пьезодвигатель через усилитель и передается информация о положении прецизионного стола через шину данных.

[illegible]

### 3 Выбор элементов и их статический расчет

#### 3.1 Выбор пьезоэлектрического двигателя

В качестве пьезоэлектрического двигателя был выбран шаговый пьезоэлектрический двигатель вращения RSPA фирмы CERDAT TECHNOLOGIES RSPA30XS, который обладает следующими техническими особенностями:

- Высокая скорость до 70 мм/с. Это позволяет снизить время цикла и повысить производительность,
- Обладает усилием удержания в выключенном состоянии. Питание может быть отключено, когда двигатель пришел в положение,
- Выдерживает воздействие внешних сил (удары и вибрация). Идеально подходит для применений со сложными условиями эксплуатации,
- Не магнитный. Подходит для работы в системах МРТ и не генерирует магнитные поля,
- Высокое разрешение в нанометровом диапазоне по запросу,
- Срок службы – более 1млн циклов,
- Возможность работы при воздействии нескольких внешних факторов (вакуум, криогенные температуры и т.д.),
- Состоит из малого количества деталей.

Вращающиеся Шаговые Пьезоэлектрические актуаторы (Rotary Stepping Piezo Actuators - RSPA) являются пьезоэлектрическими двигателями с возможностью вращения 360 градусов. Они работают путем осуществления последовательных малых шагов. Двигатель блокируется в положении между каждым

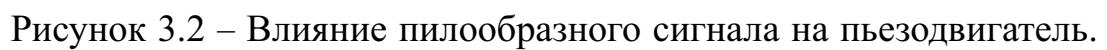
Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ				Лист
									12

шагом. При работе на большие перемещения, двигатель также может переключаться в режим тонкой подстройки. В этом случае ход пропорционален приложенному напряжению, что ведет к нанометровому разрешению и высокой скорости.

Работа данного пьезодвигателя основана на эффекте прерывистого движения (stick-slip effect). Основа привода – пьезоактуатор. На пьезоактуатор подается пилообразный сигнал с контроллера. В процессе нарастания напряжения импульса пьезоэлемент медленно «растягивается» и перемещает направляющую, т.к. толкающее усилие не превышает статической силы трения между направляющей и фрикционным элементом. При резком спаде напряжения происходит быстрое «укорачивание» пьезоактуатора, при этом направляющая остается на своём месте, т.к. усилие, развиваемое пьезоэлементом, превышает кинетическое трение, что приводит к проскальзыванию (рисунок 3.1). Сравнение толкающей силы с силой кинетического трения обусловлено тем, что в момент начала спада напряжения направляющая продолжает движение по инерции.

На рисунке 3.2 показано влияние пилообразного сигнала на пьезодвигатель.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	
Инв. № подл.	



Выбранный двигатель изображен на рисунке 3.3 так как он больше всего удовлетворяет техническому заданию. В таблице 3.1 представлены его технические характеристики

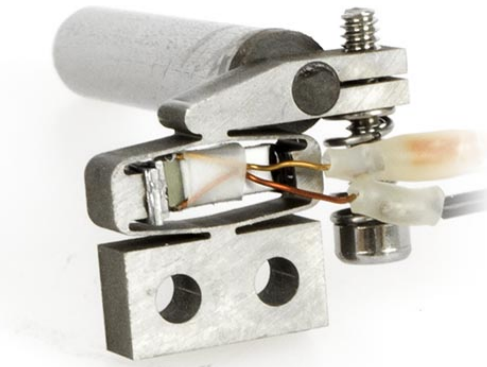


Рисунок 3.3 – Шаговый пьезодвигатель RSPA30XS

[illegible]

Таблица 3.1 – Техническая характеристика пьезодвигателя RSPA30XS

Характеристики	RSPA30XS	Единица измерения
Диапазон угловых перемещений	$> 2\pi$	рад
Минимальный шаг перемещения	0.1	мрад
Максимальная скорость	65	об/мин
Удерживающий момент при включенном питании	4	Н*мм
Максимальная нагрузка	150	г
Рабочая частота	1000.00	Гц
Емкость	0.05	мкФ
Диапазон напряжения	-20...150	В
Крутящий момент	13.3	Н*мм
Высота	10	мм
Диаметр	12	мм
Масса	3	г
Механические интерфейсы (полезная нагрузка)	Диаметр 2 мм * 4 мм длиной с валом с шириной 1 мм	

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

### 3.2 Выбор углового датчика

В отслеживания прецизионных перемещений пьезодвигателя был выбран инкрементальный угловой фотоэлектрический преобразователь перемещений (инкрементальный энкодер) ЛИР-390А компании СКБ ИС представленный в приложении Ж с техническими параметрами:



Рисунок 3.4 – Инкрементальный угловой фотоэлектрический преобразователь ЛИР-390А

- Напряжение питания, +5 В;
- Ток потребления не более, 120 мА;
- Выходной сигнал, ПИ (TTL);
- Интервал рабочих температур от 0 до 70°C;
- Класс точности  $\pm 5$  угловых секунд;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.101.3440.001 ПЗ				
				Лист
				17



- Момент трогания ротора,  $\leq 0.05$  Н\*м;
- Момент инерции ротора,  $6.0 * 10^{-5}$  кг\*м<sup>3</sup>.

По техническому заданию выбранный датчик сможет обеспечивать точное позиционирование прецизионного стола.

### 3.3 Выбор микросхемы со встроенным АЦП и ЦАП

Для реализации системы управления прецизионным поворотным столом выбрана контроллер ARM7024 компании Futurlec. В основе платы контроллера лежит микроконтроллер ADuC7024 от Analog Devices. Этот микроконтроллер рассчитан на скорость с пропускной способностью до 16,7 MIPS в сочетании с большой областью памяти вспышки 62kByte, подходящей для самых интенсивных встроенных приложений. 8 каналов высокоточных 12-разрядных аналого-цифровых преобразователей также включены для высокоточных приложений мониторинга. Выходы D / A также предусмотрены для дистанционного управления.

Данная плата контроллера ADuC7024 - идеальное решение для встроенного приложения, где требуется высокоточный контроль и измерение данных. Большая область данных вместе с высокоскоростными аналого-цифровыми преобразователями делает его идеальным регистратором данных. Эта плата отлично подходит для управления пьезодвигателем и приема сигнала от углового датчика положения.

Все необходимые компоненты поддержки включены в плату, с светодиодом питания, регулятором напряжения 3,3 В, разъемом RS232 UART, разъемом LCD с регулировкой контрастности, а также переключателем сброса и загрузки для выполнения и загрузки программы. Программы можно загружать напрямую

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>аналого-цифровых преобразователей также включены для высокоточных приложений мониторинга. Выходы D / A также предусмотрены для дистанционного управления.</p> <p>Данная плата контроллера ADuC7024 - идеальное решение для встроенного приложения, где требуется высокоточный контроль и измерение данных. Большая область данных вместе с высокоскоростными аналого-цифровыми преобразователями делает его идеальным регистратором данных. Эта плата отлично подходит для управления пьезодвигателем и приема сигнала от углового датчика положения.</p> <p>Все необходимые компоненты поддержки включены в плату, с светодиодом питания, регулятором напряжения 3,3 В, разъемом RS232 UART, разъемом LCD с регулировкой контрастности, а также переключателем сброса и загрузки для выполнения и загрузки программы. Программы можно загружать напрямую</p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<p style="text-align: center;"><b>КСУИ.101.3440.001 ПЗ</b></p>
					<p style="text-align: right;">Лист</p> <p style="text-align: right;">18</p>

через стандартный порт RS232 на борту.

- Включает микроконтроллер Analog Devices ADuC7024 с внутренней; памятью памяти 64 КБ;
- Рабочая скорость до 40 MIPS;
- До 29 точек ввода / вывода с простым подключением стандартных заголовков;
- Соединение RS232 с MAX232;
- 10-канальный 12-разрядный А / D;
- 2-канальный 12-разрядный ЦАП;
- Встроенный регулятор 3.3V;
- Разъем JTAG для загрузки и отладки программы;
- Идеально подходит для точного мониторинга в реальном времени и применения высокоскоростных датчиков.

Архитектура микроконтроллера ADuC7024 компании Analog Devices представлена на рисунке 3.5, а его распиновка в приложении 3.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>– Идеально подходит для точного мониторинга в реальном времени и применения высокоскоростных датчиков.</p> <p>Архитектура микроконтроллера ADuC7024 компании Analog Devices представлена на рисунке 3.5, а его распиновка в приложении 3.</p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<p><i>КСУИ.101.3440.001 ПЗ</i></p>
					<p>Лист</p> <p>19</p>

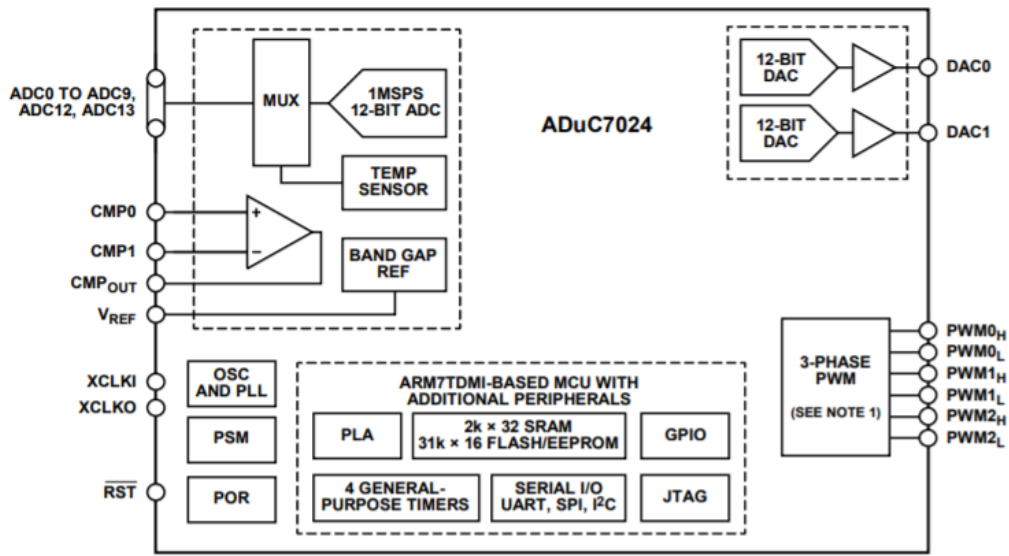


Рисунок 3.5 – Функциональная схема микроконтроллера ADuC7024

На рисунке 3.6 представлена контрольная панель, которая будет управлять пьезодвигателем относительно данных полученных с датчика угловых положений и сигнала, на какой угол нужно повернуться

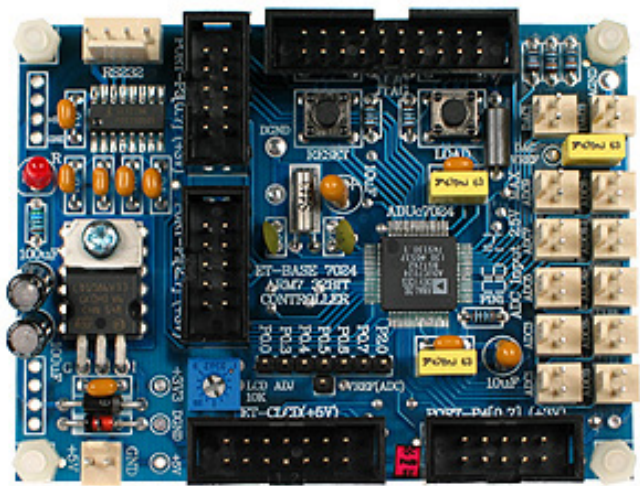


Рисунок 3.6 – Контрольная панель

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Инв. № подл.	Инв. № дубл.

### 3.4 Выбор блока питания

По техническому заданию необходимо заданное напряжения сети 220 В 50 Гц подать на блок питания.

Также необходимо учесть, что для пьезодвигателя, датчика и микроконтроллера требуется напряжение 5 В. Мощность контроллера – 7.5 мВт, мощность датчика - 25 мВт. Суммарная мощность равна 32.5 мВт.

LRS-35-5 подходит заданным параметрам. Данный источник имеет следующие технические параметры:

- Выходное напряжение, В - 5;
- Выходной ток, А - 7;
- Мощность, Вт - 35.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ	Лист
						21

## 4 Математическое моделирование системы

### 4.1 Вывод зависимости линейного изменения пьезоэлемента и углового перемещения ротора двигателя

Рассмотрим схему на рисунке 4.1 выбранного пьезодвигателя со всеми необходимыми обозначениями, которая описывает шаг пьезодвигателя.

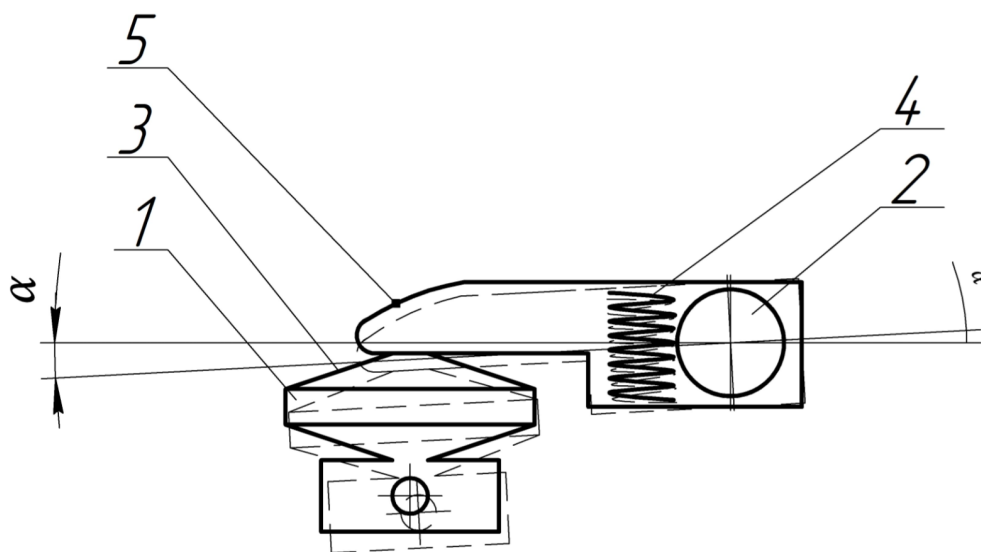


Рисунок 4.1 – Схема пьезодвигателя: 1 - пьезоэлемент, 2 - ротор, 3 - усиливающая пьезоэлемент конструкция, 4 - инерционный механизм, 5 - корпус двигателя

При подаче сигнала, длина пьезоэлемента (1) начинает меняться. Усиливающая изменения длины пьезоэлемента конструкция (3) воздействует на корпус двигателя (5), тем самым поворачивая ротор (2) на определенный угол  $\alpha$ . Когда длина пьезоэлемента начинает опять меняться инерционный механизм (4) будет контролировать, чтобы ротор не вернулся в первоначальное положение, тем

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.101.3440.001 ПЗ				
				Лист
				22

самым после каждого изменения длины пьезоэлемента ротор будет поворачиваться на определенный угол, "шагать". Также пьезодвигатель таким способом может поворачиваться на полный угол.

Рассмотрим изменение длины пьезоэлемента. Из технической характеристики описанной в приложении Е следует, что шаг двигателя равен 0.2 мрад, также длина радиуса  $r$  равна 5 мм.

Из рисунка 4.2 видно, что для поворота ротора на угол  $\alpha$  нужно переместиться на длину дуги  $L$ . Так как угол шага очень мал, будем рассматривать сектор ABC как треугольник.

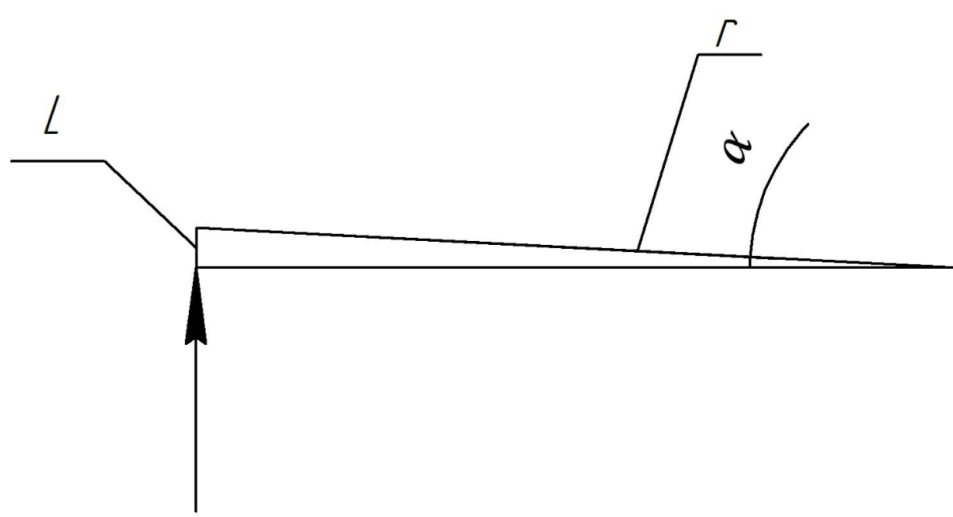


Рисунок 4.2 – Схема устройства

Тогда справедливы следующие уравнения:

$$L = r * \sin\alpha,$$

$$\sin\alpha \approx \alpha,$$

$$L = r * \alpha,$$

$$L = 0.005 * 0.002 = 0.00001.$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

В системе представленной на рисунке 4.1  $L$  - это линейное перемещение конструкции (2). Составим уравнение, показывающее зависимость изменения длины пьезоэлемента и поворота ротора на определенный угол.

$$L = K_{\text{усил}} * x, \quad (4.1)$$

где

$x$  - перемещение;

$K_{\text{усил}}$  - коэффициент усиления конструкции.

Из характеристик пьезоэлемента  $K_{\text{усил}} = 2$ . Тогда уравнение 4.1 принимает вид:

$$L = 2 * x.$$

## 4.2 Математическая модель пьезодвигателя

Будем рассматривать исполнительное пьезоэлектрическое устройство как упругую механическую систему с одной степенью свободы. В этом случае математическая модель может быть получена на основе уравнения баланса сил в пьезоактуаторе:

$$F_y = F_O + F_{\mathbb{A}} + F_d + F_B, \quad (4.2)$$

где

$F_y = C_p x$  - усилие упругой деформации ПД;

$F_O = K_O U_p$  - усилие, вызванное обратным пьезоэффектом;

$$F_{\text{Д}} = -m \frac{d^2 x}{dt^2} - \text{динамическое усилие в ПД;}$$

$F_d = -K_d \frac{dx}{dt}$  - демпфирующее усилие, обусловленное механическими потерями;

$F_B$  - внешнее воздействие.

Из уравнения 4.3, при нулевом внешнем воздействии можно составить передаточную функцию для пьезодвигателя:

$$W_v(s) = \frac{K_u}{T_us + 1}, \quad (4.5)$$

$$K_u = \frac{U_{pm}}{U_m} - \text{коэффициент усиления;}$$
 $U_{pm}$  - максимальное напряжение ПД;

$U_m$  - максимальное напряжение управления;

$T_u = RC$  - Постоянная времени ВВУ;

$R$  - Выходное сопротивление ВВУ;

$C$  - емкость ПД.



Так как  $W_{pz}$  и  $W_v$  соединены последовательно, получаем итоговую передаточную функцию:

$$W_{pz}(s) = \frac{K_0 \cdot K_u}{(T_u s + 1)(ms^2 + K_d s + C_p)}. \quad (4.6)$$

Из уравнения 4.3 можно представить структурную схему пьезодвигателя изображенную на рисунке 4.3), выходным параметром которой является изменения длины пьезоэлемента. В приложении И представлен Листинг программы, описывающей параметры системы.

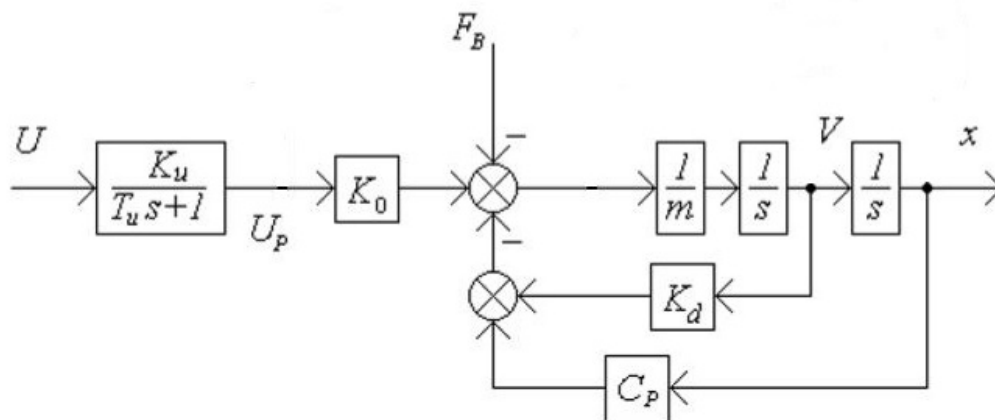


Рисунок 4.3 – Структурная схема пьезодвигателя

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.101.3440.001 ПЗ				
				Лист
				26

**5 Разработка структурной электрической схемы  
системы управления прецизионным поворотным  
столом**

Структурная электрическая схема системы управления прецизионным поворотным столом представлена на рисунке 5.1.

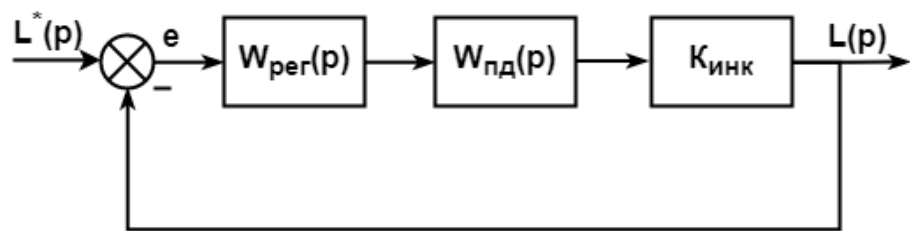


Рисунок 5.1 – Структурна электрическая схема системы управления:  $W_{\text{рег}}(p)$  - передаточная функция регулятора,  $K_{\text{инк}}$  - коэффициент передачи инкрементального датчика,  $W_{\text{пд}}(p)$  - передаточная функция пьезодвигателя

Для увеличения точности работы устройства в система применена обратная связь по перемещению.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

## 6 Синтез регулятора

### 6.1 Построение модели пьезодвигателя и его оценка

В соответствии с техническим заданием требуется рассчитать регулятор, с коотрым система управления имела бы следующие показатели качества:

- Диапазон угловых перемещений  $0^\circ - 180^\circ$ ;
- Допустимая погрешность 5%.

Составим подель пьезодвигателя в системе Matlab.

Схема моделирования двигателя изображена на рисунке 6.1 , а график его переходного процесса с коэффициентом усиления и без, представлены на рисунках 6.2 и 6.3. В качестве сигнала будет использоваться ступенчатое воздействие для дальнейшего синтеза регулятора.

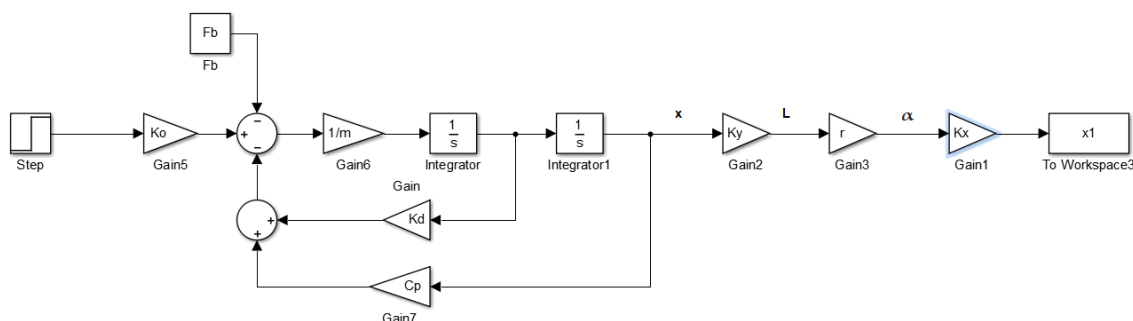


Рисунок 6.1 – Схема моделирования пьезодвигателя

Коэффициент  $K_x$  был выбран таким образом, что устоявшееся значение было равно 1.  $K_x = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}}$ .

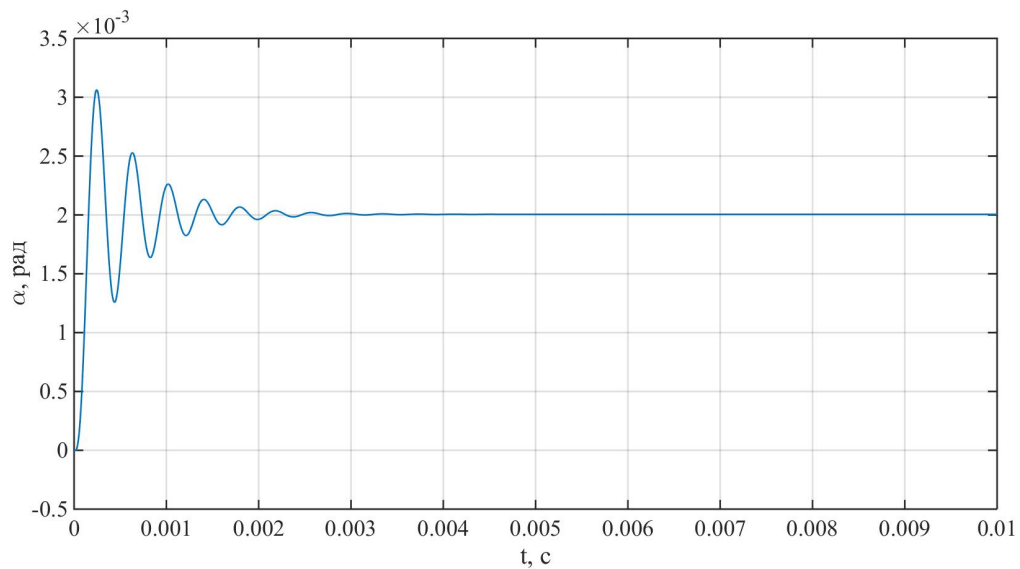


Рисунок 6.2 – График переходного процесса пьезодвигателя без коэффициента усиления

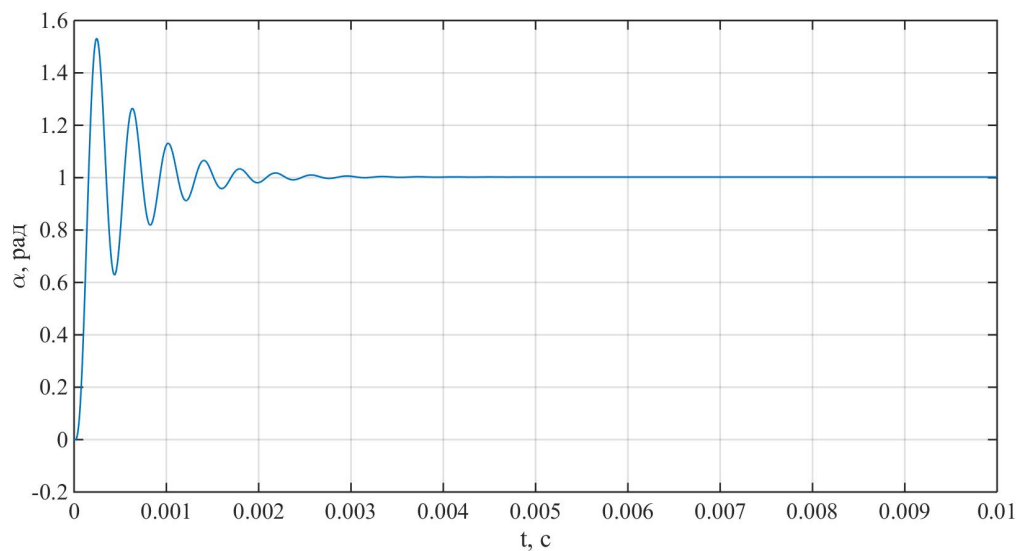


Рисунок 6.3 – График переходного процесса пьезодвигателя с коэффициентом усиления

Установившееся значение без коэффициента усиления переходного процесса  $X_{уст} = 2 * 10^{-3}$  м. По виду переходного процесса можно сделать вывод,

Инв. № подл.	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Подп. и дата							
	Взам. инв. №												
Изм.					Лист								
Лист					29								
№ докум.					Копировал								
Подп.					Формат А4								
Дата													

t, с	α, рад
0.0000	0.00
0.0003	1.35
0.0005	0.65
0.0007	1.25
0.0010	0.85
0.0012	1.15
0.0015	0.95
0.0018	1.05
0.0020	1.00
0.0025	1.00
0.0030	1.00
0.0040	1.00
0.0050	1.00
0.0060	1.00
0.0070	1.00
0.0080	1.00
0.0090	1.00
0.0100	1.00

Рисунок 6.3 – График переходного процесса пьезодвигателя с коэффициентом усиления

Установившееся значение без коэффициента усиления переходного процесса  $X_{уст} = 2 * 10^{-3}$  м. По виду переходного процесса можно сделать вывод,

					КСУИ.101.3440.001 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

что модель пьезоактуатора содержит две составляющие – апериодическую и колебательную. Из формулы 4.1 следует что:

$$L = 2 * 5 * 10^{-6} = 10 * 10^{-6},$$
$$\alpha = \frac{L}{r} = 0.002 \text{ мрад} = 1'.$$

где

$\alpha$  - угол поворота ротора при одном шаге.

Полученное значение полностью удовлетворяет поставленному в техническом задании, а также повторяет заявленное значение шага в технической характеристике.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ					Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Формат А4

$T_d$  - постоянная времени, характеризующая инерционные свойства реально-го дифференцирующего звена.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ	Лист
						32

На рисунке 6.4 видно, как изменилась переходная функция системы с регулятором.

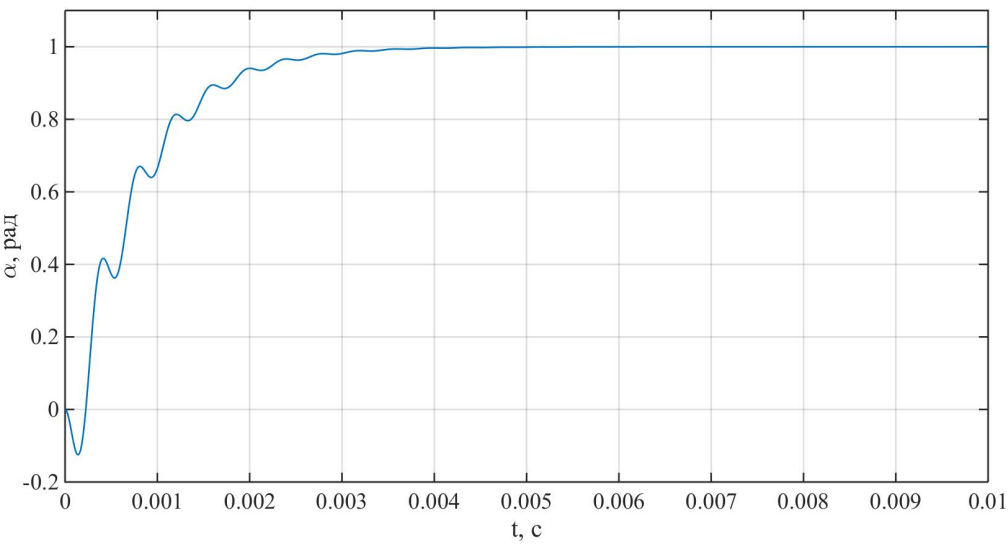


Рисунок 6.4 – График переходного процесса системы с регулятором

Из графика видно, что время переходного процесса  $t_{\pi} = 0.0035\text{с}$ , что удовлетворяет требованиям технического задания. На рисунке 6.5 значение ошибки не превышает 0.5%, так как колебания стремятся к нулю.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата



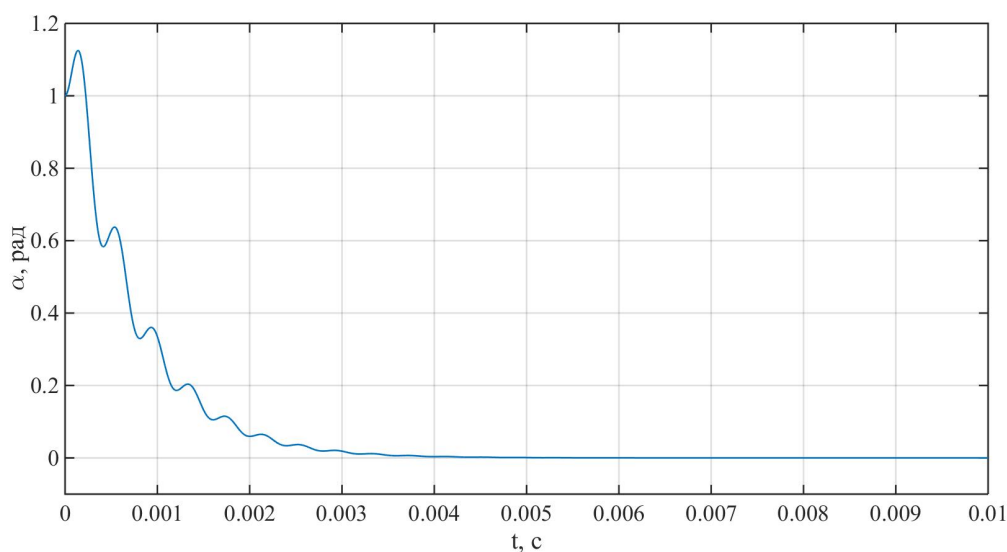


Рисунок 6.5 – График переходного процесса системы с регулятором

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



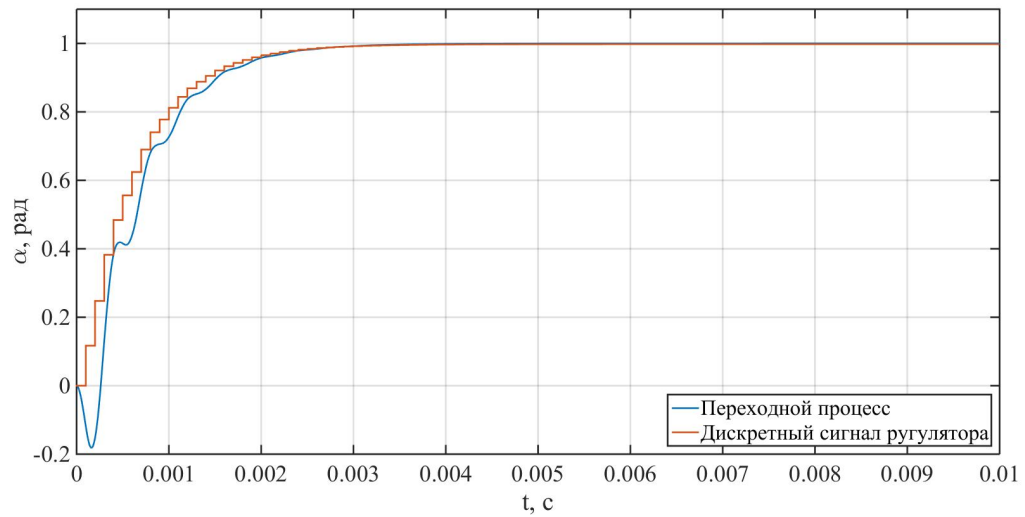


Рисунок 7.2 – График переходного процесса системы управления пьезодвигателем с дискретным регулятором положения

По полученному графику переходного процесса видно, что время переходного процесса = 0.0035 с. Установившееся значение перемещения не изменилось, если убрать коэффициент усиления оно будет равно  $2 \cdot 10^{-3}$ .

Система обладает астатизмом первого порядка, следовательно, погрешность работы данной системы равна 0.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Инв. № подл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

## 8 Разработка алгоритма управления системой

Для работы системы управления прецизионным столом необходимо разработать алгоритм управления системой. Разработанная блок-схема программы микроконтроллера представлена на рисунках 8.1 и 8.2.



Рисунок 8.1 – Блок-схема основной программы микроконтроллера

Микроконтроллер начинает свою работу с запуска аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Потом происходит инициализация портов (входов/выходов устройства) и их дальнейшая конфигурация. Затем разрешаются прерывания (приходит в работу программа прерываний микроконтроллера).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

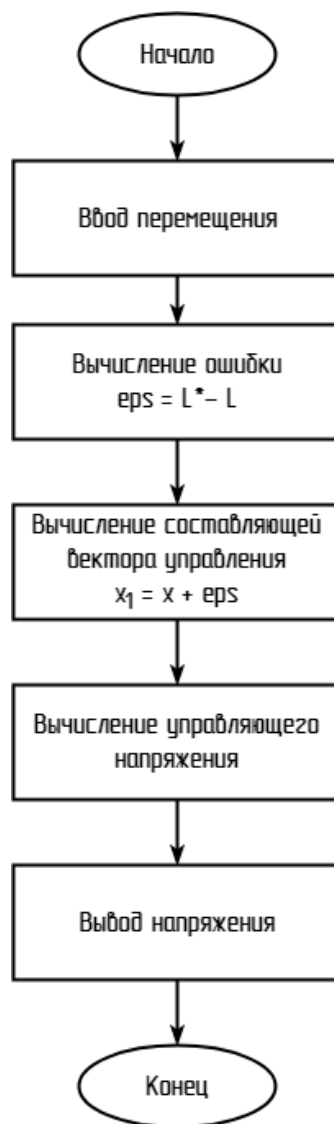


Рисунок 8.2 – Блок-схема основной программы микроконтроллера

Через USB порт поступает число, на величину которого нужно совершить перемещение двигателем, далее идет вычисление ошибки от уже имеющегося положения двигателя, чтобы установить на сколько нужно повернуть ротор. Затем вычисляется вектор управления и формируется выходное напряжение, которое подается на выходе микроконтроллера.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

## Заключение

В данной работе было произведено проектирование системы управления прецизионным поворотным столом. На основе технических характеристик пьезодвигателя была получена и смоделирована передаточная функция пьезодвигателя в программной среде Matlab пакете Simulink.

Управление прецизионным столом производится с частотой квантования 20кГц, управляющее воздействие изменяется от 0 до 55. Это значение частоты технически реализуемо с помощью контроллера. Также, благодаря выбранному микроконтроллеру, обновление значения перемещения и изменение значений регулирования можно производить с ЭВМ высшего уровня. В процессе работы был синтезирован ПИД регулятор методом Циглера-Никольса. Так как управление производится средствами цифровой техники, регулятор приведен к дискретному виду.

По результатам моделирования пьезодвигателя полученные характеристики синтезированного регулятора удовлетворяют условиям технического задания. Время переходного процесса 0.0035с. Колебания системы минимальны, так как использовался ПИД регулятор. Данная система не имеет аналогов в сфере обработки драгоценных материалов. На данный момент в этой сфере почти нет автоматизации. Устройство с данной системой достаточно мобильно и легко в установке.

Основные технические характеристики разработанного устройства:

- Диапазон угловый перемещений: 0 – 360°;
- Шаг угловых перемещений: 2';
- Допустимая погрешность измерения: 5%;

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ				Лист
									39

- Время переходного процесса: 0.1 с;
- Напряжение питания 220В 50 Гц.

Разработанное устройство соответствует всем технических требованиям задания.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ					Лист
										40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

## Список использованных источников

- 1 А.А. Блинников, В.И. Бойков, С.В. Быстров, Н.А. Николаев, О.С. Нуйя Правила оформления пояснительной записки и конструкторской документации. - СПб.: Университет ИТМО, 2014. - 55с.
- 2 А.А. Бобцов, В.И. Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев, П.В. Карев Исполнительные устройства и системы для микроперемещения. - СПб.: Университет ИТМО, 2017. - 134с.
- 3 О.С. Вадутов Настройка типовых регуляторов по методу Циглера-Никольса Томск: Томский политехнической университет, 2014. - 10с.
- 4 Д.Е. Обертов, С.В Быстров. Разработка алгоритма управления пьезоэлектрическим приводом с целью компенсации его колебаний. Современные научные исследования и инновации. 2011. № 3 - 7с.  
URL: <http://web.snauka.ru/issues/2011/07/1038>
- 5 Реестр изобретений Российской Федерации.  
URL: <http://www1.fips.ru/>
- 6 Реестр изобретений по всему миру.  
URL: <https://patents.google.com/>
- 7 Каталог фирмы Cedrat Technologies.  
URL: <http://www.cedrat-technologies.com/>.
- 8 Каталог фирмы СКБ ИС.  
URL: <http://www.skbis.ru/index.php/>.
- 9 Информация о пьезодвигателях и их описание.  
URL: <http://metrology-spb.ru/>

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>URL: <a href="http://web.snauka.ru/issues/2011/07/1038">http://web.snauka.ru/issues/2011/07/1038</a></p> <p>5 Реестр изобретений Российской Федерации. URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a></p> <p>6 Реестр изобретений по всему миру. URL: <a href="https://patents.google.com/">https://patents.google.com/</a></p> <p>7 Каталог фирмы Cedrat Technologies. URL: <a href="http://www.cedrat-technologies.com/">http://www.cedrat-technologies.com/</a>.</p> <p>8 Каталог фирмы СКБ ИС. URL: <a href="http://www.skbis.ru/index.php/">http://www.skbis.ru/index.php/</a>.</p> <p>9 Информация о пьезодвигателях и их описание. URL: <a href="http://metrology-spb.ru/">http://metrology-spb.ru/</a></p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<p style="text-align: center;"><i>КСУИ.101.3440.001 ПЗ</i></p>



10 Каталог фирмы futurlec по производству контроллеров.

URL: [https://www.futurlec.com/ARM7024\\_Controller.shtml](https://www.futurlec.com/ARM7024_Controller.shtml)

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ					Лист
										42
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Приложение А  
(справочное)  
Патент RU2596693C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 596 693** <sup>(13)</sup> **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[G01B 9/10 \(2006.01\)](#)  
[G01B 11/26 \(2006.01\)](#)

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.07.2017)  
Пошлина: учтена за 3 год с 01.07.2017 по 30.06.2018

(21)(22) Заявка: [2015126156/28](#), 30.06.2015(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.06.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.06.2015

(45) Опубликовано: [10.09.2016](#) Бюл. № [25](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 366350 A1 16.01.1973. RU 92950  
U1 10.04.2010. SU 137566 A1 01.01.1961. RU  
2378618 C2 10.01.2010. US 6621565 B2  
16.09.2003.

Адрес для переписки:

117342, Москва, ул. Введенского, 1, ФГУП  
"НПЦАП", генеральному директору Е.Л.  
Межирицкому

(72) Автор(ы):

Калдымов Николай Алексеевич (RU),  
Полушкин Алексей Викторович (RU),  
Ермаков Роман Вячеславович (RU),  
Слестин Игорь Владимирович (RU),  
Нахов Сергей Федорович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное унитарное  
предприятие "Научно-производственный  
центр автоматизации и приборостроения  
имени академика Н.А. Пилюгина" (ФГУП  
"НПЦАП") (RU)

Изобретение относится к измерительной технике, к устройствам для за-  
дания и измерения углов ориентации изделий приборостроения при их изготов-  
лении и контроле, и может быть использовано в любой другой области при необ-

ходимости точного задания и измерения углов. Заявлен прецизионный поворотный стол, содержащий корпус, шпиндель в подшипниках корпуса, выполненный с возможностью закрепления внешних объектов, червячный привод шпинделя. Техническим результатом является повышение точности, производительности измерений и расширение области применения. На рисунке А.1 представлена блочно-кинематическая схема поворотного угломерного стола (ПУС).

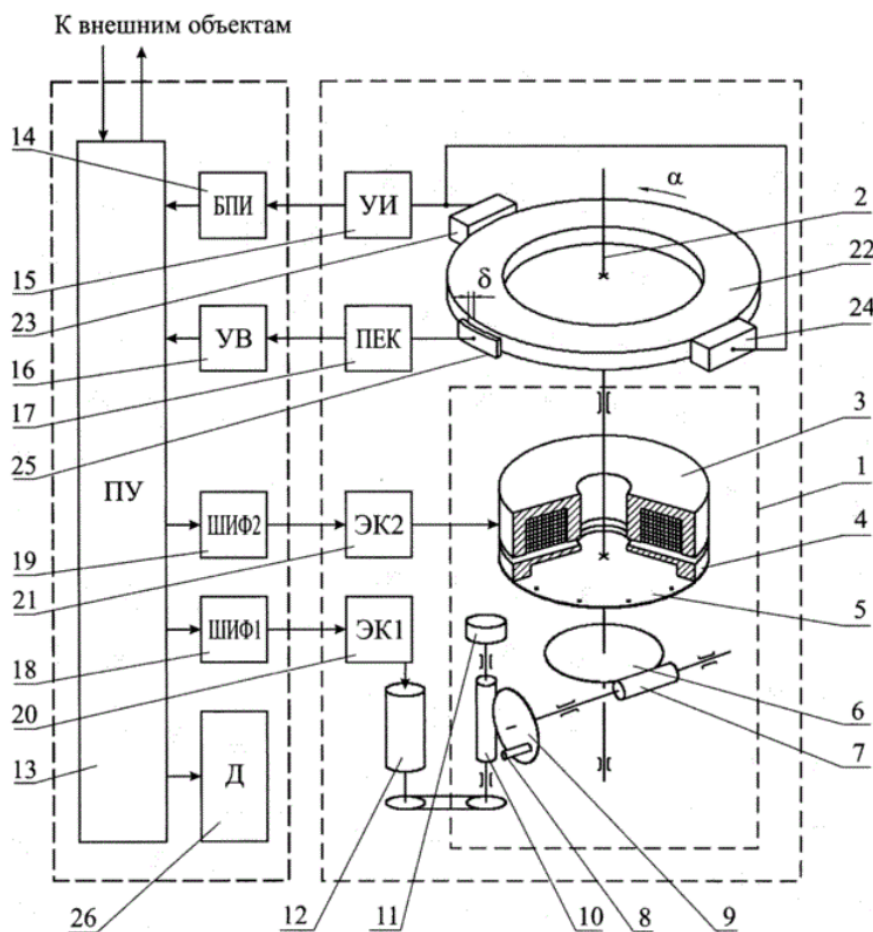


Рисунок А.1 – Блочно-кинематическая схема поворотного угломерного стола

В подшипниках неподвижного корпуса 1 установлен шпиндель 2. Для точной фиксации шпинделя на углах поворота относительно неподвижного корпуса используется электромагнитный зажим, имеющий неподвижный кольцевой электромагнит 3 и якорь 4, прикрепленный к шпинделю при помощи плоской

мембраны 5 с возможностью осевого перемещения, прижатия к полюсам кольцевого электромагнита и фиксации шпинделя. К шпинделю прикреплено червячное колесо 6, в зацеплении с ним находится червяк 7. На его оси установлены рукоятка 8 грубой выставки угла и червячное колесо 9, установленное с возможностью поворота червяком 10 с помощью маховичка точной выставки угла 11. С входом ручного червячного привода шпинделя в ПУС связан вал электродвигателя 12 (с помощью зубчатой ременной передачи).

Контрольно-измерительная система стола содержит электродвигатель (12), процессорное устройство (ПУ) (13), блок преобразования информации (БПИ) (14), устройство интерполяции (УИ) (15), устройство ввода (УВ) (16), преобразователь емкость-код (ПЕК) (17), первый и второй широтно-импульсные формирователи (ШИФ1 и ШИФ2) (18 и 19), первый и второй электронные коммутаторы (ЭК1 и ЭК2) (20 и 21) и датчик угла поворота и радиальных перемещений, содержащий прикрепленное к шпинделю и выполненное из электропроводного материала кольцо (22) с круговой шкалой на внешней цилиндрической поверхности и неподвижно установленные с зазорами к этой поверхности оптическую считывающую головку (23) (возможна установка двух головок (23 и 24) для повышения точности измерений) и электропроводную пластину (25). Информация об углах поворота отображается на дисплее (26). Электропроводная пластина подключена к ПУ через последовательную цепь ПЕК - УВ. Оптическая считывающая головка подключена к ПУ через последовательную цепь УИ - БПИ. Обмотки электродвигателя и электромагнитного зажима подключены к ПУ через соответствующие последовательные цепи первый/второй электронный коммутатор ЭК1 - первый/второй широтно-импульсный формирователь.

Поворотный угломерный стол может работать в ручном или автоматическом режимах. В ручном режиме повороты осуществляются с помощью руко-

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ				Лист
									45

ятки 8 (грубо) или маховичка 11 (точно), данные операции проводятся в поворотном столе без существенных изменений относительно прототипа, при этом шаговый двигатель 12 не запитан и не препятствует повороту. При повороте считывающие головки 23, 24 воспринимают перемещение штрихов круговой шкалы масштабного кольца 22, прикрепленного к шпинделю 2, и с выходов УИ на входы БПИ выдается кодовая последовательность, отражающая направление вращения и текущее значение угла поворота шпинделя. Она обрабатывается и может отображаться на экране дисплея.

В результате реализовано новое рабочее (образцовое) средство измерений плоского угла, имеющее погрешность задания углов, не превышающую 1", и погрешность измерения углов, не превышающую 0,35".

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ	Лист
						46

Приложение Б  
(справочное)  
Патент US6637737B1

US6637737B1  
US Grant

Download PDF

Find Prior Art

Similar

Inventor: Peter M. Beecherl, Ali M. Saeedy, Hugh J. Doherty, Philip S. Szuba, Donald D. Pagels, Sr.

Current Assignee : Wells Fargo Bank NA , Fives Machining Systems Inc

Original Assignee: Unova IP Corp

Priority date : 2002-07-31

A workpiece micro-positioning apparatus for correcting small pitch and yaw location errors in a workpiece supported on a fixture for a manufacturing operation such as precision machining or assembly comprises a biaxial micro-positioner that includes pitch and yaw motion mechanisms that support a workpiece for rotation about respective pitch and yaw axes. The yaw motion mechanism supports the pitch motion mechanism for rotation about a yaw axis generally normal to the pitch axis. A base supports the yaw motion mechanism.

A fixture fixed to the micro-positioner releasably holds a workpiece. The micro-positioner allows the fixture to rotate about the pitch and yaw axes to correct any pitch and yaw deviations from a desired workpiece attitude relative to the base and to releasably lock the pitch and yaw motion mechanisms following such correction. A manufacturing tool releasably supports the micro-positioner and rotates the micro-positioner, fixture and a workpiece mounted in the fixture, about a roll axis generally

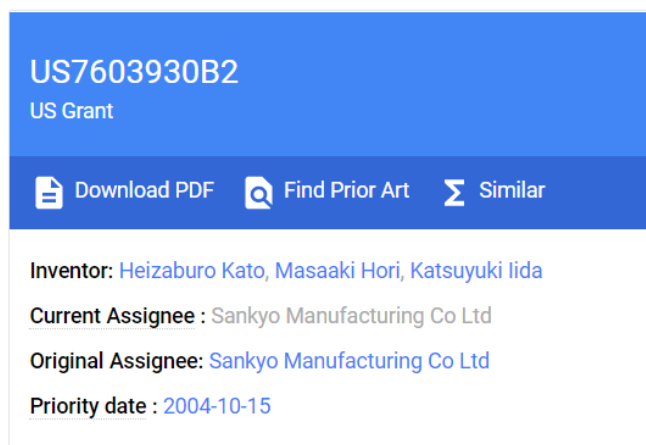
Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

normal to the pitch and yaw axes as required to correct any roll error in workpiece attitude. The manufacturing tool then performs a manufacturing operation on the workpiece.

Fixturing is a critical and expensive process that must be undertaken in preparation for machining a workpiece such as a cylinder head for an internal combustion engine. In all high volume machining systems, dedicated fixtures are used to locate and hold workpieces. The dedicated nature of fixturing is arguably the greatest barrier to implementing truly flexible machining systems for workpieces.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ					Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

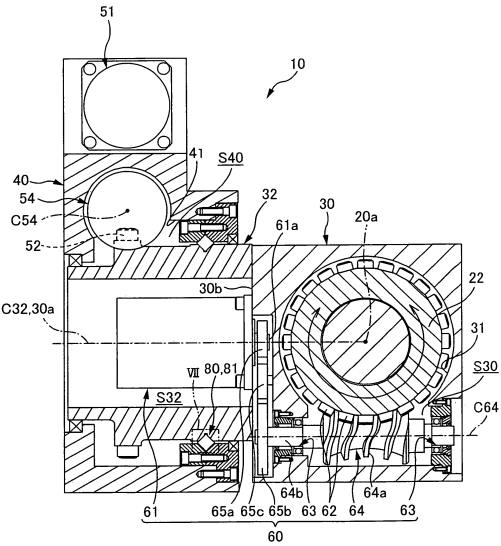
Приложение В  
(справочное)  
**Патент US7603930B2**



A small-sized, lightweight rotary table apparatus is provided. The rotary table apparatus has: a support rest for rotatably supporting a rotary table; and a base for turnably supporting, in a cantilever fashion, the support rest by a shaft element, which is protrudingly formed on the support rest, being inserted into a hole provided in the base. The shaft element has formed therein a hollow section for accommodating at least a portion of a drive mechanism for rotating the rotary table.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>apparatus has: a support rest for rotatably supporting a rotary table; and a base for turnably supporting, in a cantilever fashion, the support rest by a shaft element, which is protrudingly formed on the support rest, being inserted into a hole provided in the base. The shaft element has formed therein a hollow section for accommodating at least a portion of a drive mechanism for rotating the rotary table.</p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ
					Лист 49





Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.3440.001 ПЗ

Приложение Г  
(справочное)  
**Патент US3615068A**

US3615068A  
US Grant

Download PDF

Find Prior Art

Similar

Inventor: Arthur Edelstein

Current Assignee : ORIEL Corp A CORP OF CT

Original Assignee: ARDEL INSTRUMENT CO Inc

Priority date : 1969-07-14

A PRECISION ROTARY TABLE FOR USE IN ELECTRO-OPTICAL RE-  
SEARCH INCLUDES A STATIONARY BASE MEMBER AND A MOVABLE  
SUPPORT PART OPERATIVELY CONNECTED TO THE BASE MEMBER AND  
ROTATABLE RELATIVE THERETO. PRECISE POSITIONING OF THE MOVABLE  
PART IN RESPONSE TO ACTUATION OF A MANUALLY OPERATED MEANS  
IS EFFECTED BY EMPLOYING GEARING MECHANISM IN WHICH THE VA-  
RIOUS ROTATING PARTS ARE CONTINUOUSLY SUBJECTED TO A CONSTANT  
FORCE IN A DIRECTION SUCH THAT THE MESHING GEARS ARE PLACED  
IN BACK-LASH-FREE ENGAGEMENT WITH EACH OTHER. AN ATTACHMENT  
DEVICE MAY BE ROTATABLY CONNECTED TO THE MOVABLE PART, THAT  
DEVICE INCLUDING MECHANISM WHICH PERMITS QUICK MOVEMENT  
OF THE ATTACHMENT DEVICE BETWEEN TWO PRESELECTED POSITIONS.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Oct. 26, 1971

A. EDELSTEIN

3,615,068

PRECISION ROTARY TABLE

Filed July 14, 1969

2 Sheets-Sheet 1

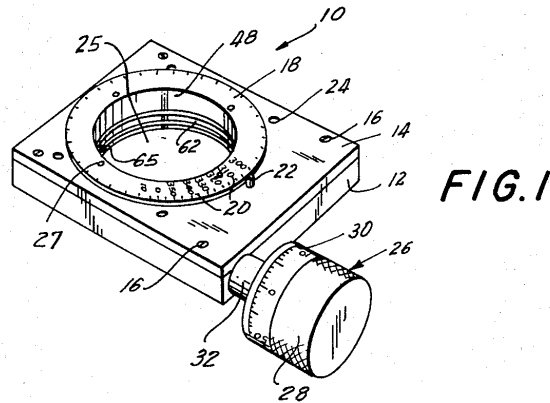


FIG. 1

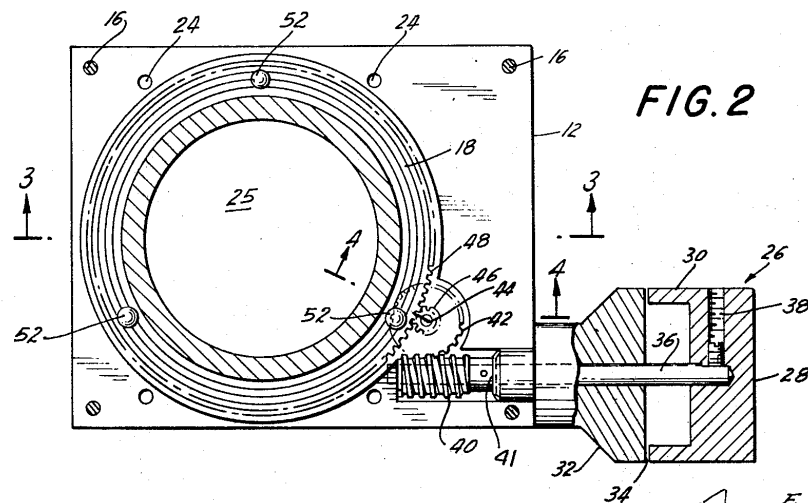


FIG. 2

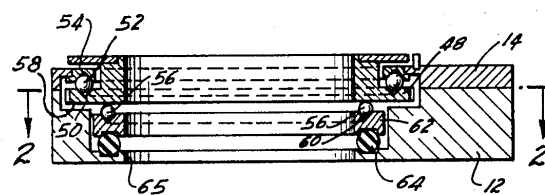


FIG. 3

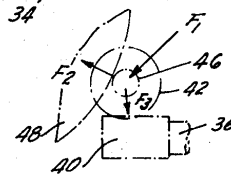


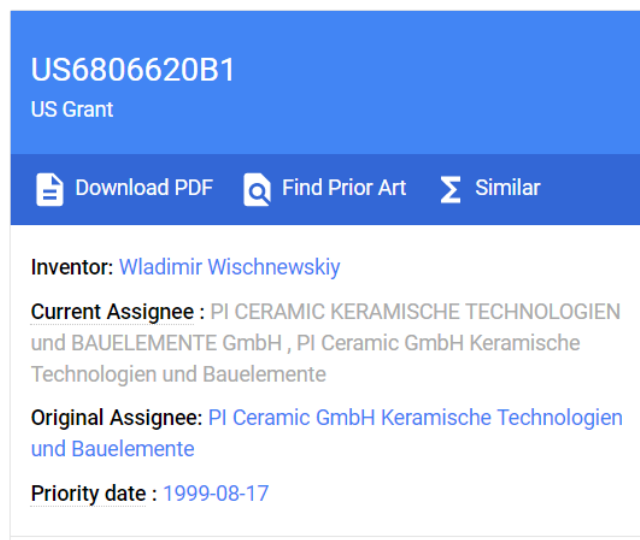
FIG. 5

INVENTOR  
ARTHUR EDELSTEIN  
BY *James and Franklin*  
ATTORNEY

## Приложение Д

(справочное)

## Патент US6806620B1



The invention relates to a piezoelectric drive, in particular for the generation of rotational and translational movements which can be carried out continuously or stepwise.

The inventive motor can be employed in automation systems, in robot technology, as a drive for microscope tables, for fine-positioning of various types of coordinate tables, in optical and laser systems, as well as in numerous other devices in which translational movements with high precision accuracy are required.

Piezoelectric motors or drives which are based on the utilisation of acoustic transducer travelling waves have been known for a longer period, with reference being made here for example to EP 0 475 752 and U.S. Pat. No. 5,596,241. Such motors, however, have the drawback that it is not possible to manufacture them as miniature drives, because the minimum length of the waveguide of these motors must be a multiple of 6? to 10?. In addition, the manufacture is complicated and expensive.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.3440.001 ПЗ

Лист

53

Such motors are relatively small and their manufacture is simple. A monolithic plate-shaped piezoelectric oscillator with a long and a short side and with a friction element which is arranged on one of its small surfaces is used as the drive element in such motors.

One of the large surfaces of the piezoelectric oscillator carries a first and a second electrode group. On the second one of the oscillator surfaces a continuous electrode is arranged. Each of the first and the second electrode group represents two equally sized diagonally arranged rectangular areas of the metallised piezoelectric ceramic surface. The source of the electric excitation of acoustic oscillations directs the voltage to the continuous electrode and to the first or second electrode group.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ					Лист
										54
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Приложение Е  
(справочное)

Технические характеристики пьезодвигателя



RSPA30XS

TABLE OF STANDARD PROPERTIES OF USE AND MEASUREMENT

The properties defined in the table below, are set up according to the technical conditions of use and measurement. These properties are warranted within their variation range and in compliance with the standard technical conditions of use.



PROPERTIES	STANDARD TECHNICAL CONDITIONS	UNIT	NOMINAL VALUES	MIN. VALUES	MAX. VALUES
Notes	Preliminary data				
Base	APA30uXS				
Mastered motions	RZ				
Max. No-load displacement		rad	∞		
Holding torque without consumption		Nmm	4.00	2.68	5.32
Max speed	Unloaded, with adapted driver	rpm	65.00	39.00	84.50
Max step size	Unloaded, with adapted driver	mrاد	6.81	4.08	8.85
Max driving torque		Nmm	13.3	1.07	1.60
Typical max loading		gr	150.0	10.50	16.50
Typical working frequency		Hz	1000.00	900.00	1100.00
Typical stepping mode resolution		mrاد	0.10	0.09	0.11
Capacitance		μF	0.05	0.05	0.07
Voltage range		V	-20 ... 150		
Typical Lifetime	Unloaded, 2mm stroke, full speed, 50% duty-cycle	cycles	1000000.00	700000	1400000
Height		mm	10.00	9.00	11.00
Diameter		mm	24.00	10.80	13.20
Mass		g	3.00	2.70	3.30
Unloaded resonance frequency (in the actuation's direction)	Harmonic excitation, blocked-free, on the admittance curve	Hz	1362.92	1158.48	1499.21
Mechanical interfaces (payload)	2mm diameter x 4mm long with 1mm width flattened shaft				
Mechanical interfaces (frame)	4 diam 1.8 holes				
Electrical interfaces	2 PTFE insulated AWG30 wires 50mm long with Ø 1 banana plug				

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

## Приложение Ж

(справочное)

## Оптический инкрементальный датчик ЛИР-390А

В таблице Ж.1 приведены технические характеристики датчика, а на рисунке Ж.1 проиллюстрировано конструктивное исполнение датчика

Таблица Ж.1 – Технические характеристики датчика

Разрешающая способность преобразователя	до 1800000 дискрет/оборот
Диаметр корпуса	90 мм
Особенность конструкции	Встроенная муфта
Напряжение питания	+5
Ток потребления не более	120 мА
Выходной сигнал	СН ( $\sim 1$ В) ПИ (TTL)
Интервал рабочих температур	от 0 до $+70^{\circ}\text{C}$
Класс точности	$\pm 5''$
Максимальная скорость вращения вала	4000 об/мин
Момент трогания ротора ( $20^{\circ}\text{C}$ )	$\leq 0.05 \text{ Н}\cdot\text{м}$
Момент инерции ротора	$6.0 * 10^{-5} \text{ кг} * \text{м}^2$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.3440.001 ПЗ

Лист

56

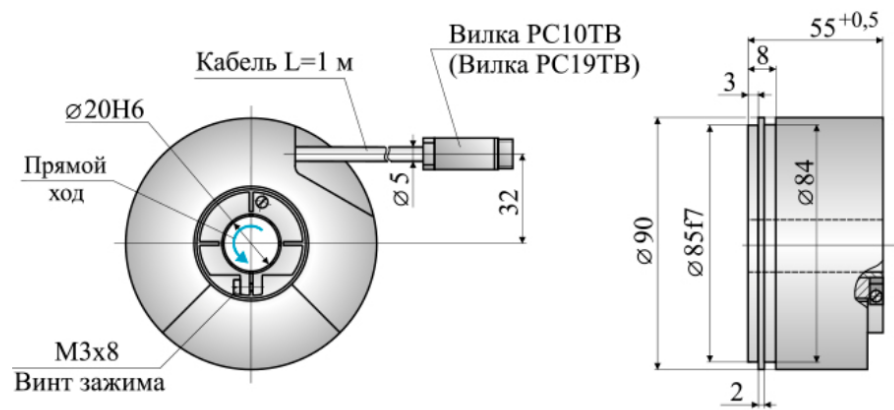


Рисунок Ж.1 – Конструктивное исполнение датчика

Инв. № подл.	Подп. и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.3440.001 ПЗ			Лист
								57



Приложение 3  
(справочное)

Микроконтроллер ADuC7024

Распиновка микроконтроллера представлена на рисунке 3.1.

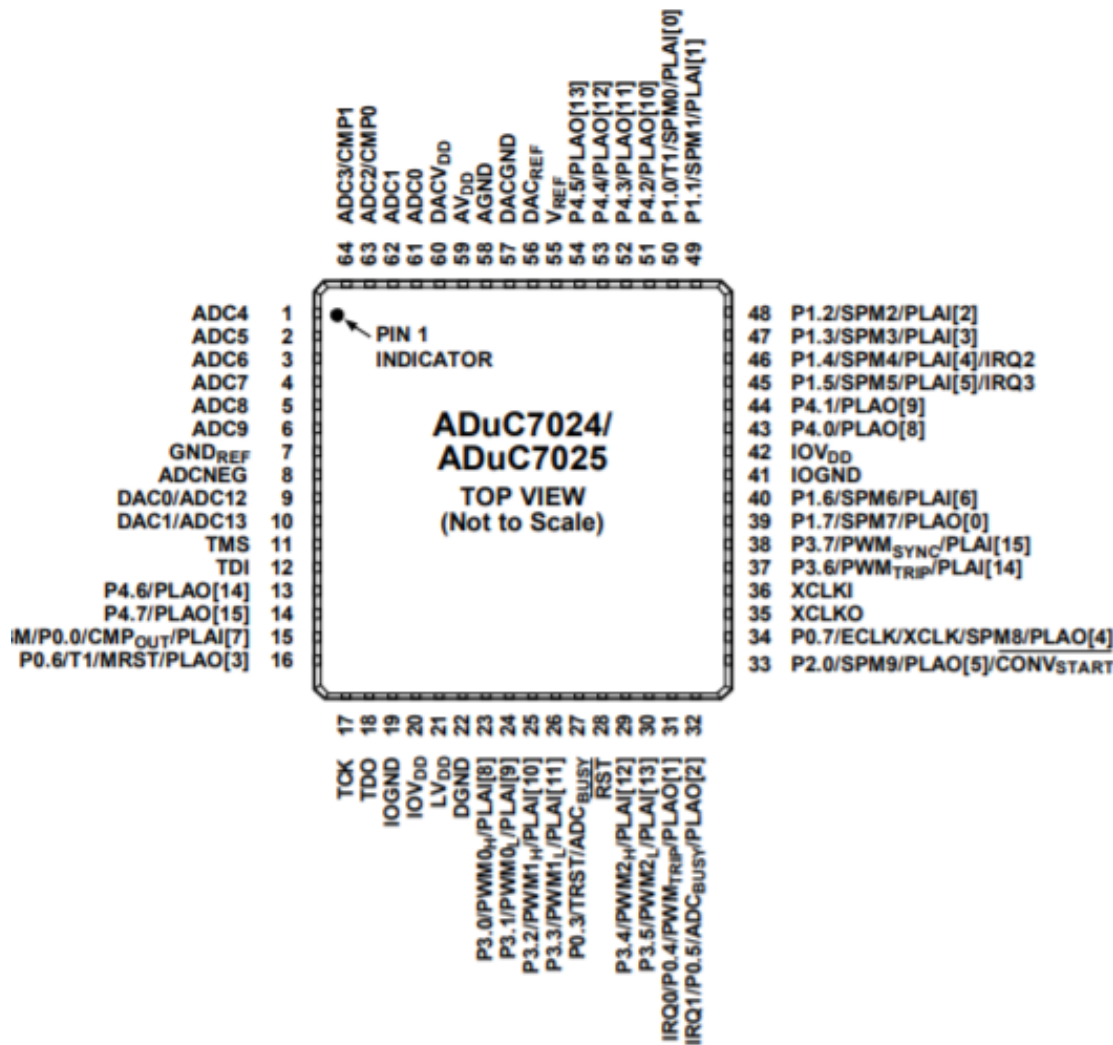


Рисунок 3.1 – Расположение пинов на микроконтроллере ADuC7024

Имп. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

## Приложение И

(справочное)

## Листинг программы, описывающей параметры системы

R = 10; % Выходное сепротивление ВВУ

```
C = 0.5*10^-6; % ЕМКОСТЬ ПД
```

$C_p = 0.8 \cdot 10^8$ ; % Коэффициент упругости =  $E \cdot S / l$

$m = 0.3$ ; % Масса перемещаемой нагрузки

$r = 1/0.005$ ; % Коэффициент преобразования длины углового перемещения в угол поворота

$K_0 = 8.2$ ; % Коэффициент обратного пьезоэффекта

$K_d = 1.1 \cdot 10^3$ ; % Коэффициент демпфирования

$T_u = 0.05/1000$ ; % Постоянная времени ВВУ = РС

Fb = 50; % Внешнее воздействие

U<sub>рм</sub>= 55; % Максимальное напряжение ПД

$U_m = 1$ ; % Максимальное напряжение управления

$K_x = 1/0.002$ ; % Коэффициент усиления перемещения

$K_y = 2$ ; % Коэффициент усиления и преобразования  
линейного перемещения в угловое

$K_u = U_{pm}/U_m$ ; % Коэффициент усиления напряжения

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.3440.001 ПЗ

Лист

59