

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа энергетики

Отделение (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка системы управления шаговым электродвигателем</b>

УДК 681.5:621.313.13

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Шихалёв Вадим Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Качин Олег Сергеевич	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева Полина Васильевна	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа энергетики

Отделение (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
П.В. Тютеева

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Шихалёву Вадиму Игоревичу

Тема работы:

Разработка системы управления шаговым электродвигателем

Утверждена приказом директора ИШЭ (дата, номер) 59-78/с 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

$r = 0.125$  м – радиус диска  
 $l = 0.8$  м – длина нити  
 $M = 13.5$  кг/см – ном. момент двигателя  
 $R = 0.004$  м - радиус винтовой передачи  
 $g = 9.816$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения  
 $m = 5-25$  кг - масса груза  
 $n = 0.9$  град. на шаг - величина шага  
 $p = 1.2$  мм - шаг резьбы винтовой передачи

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>-Аналитический обзор литературы с целью исследования способов управления шаговыми двигателями, их достоинства и недостатки;</p> <p>-Аналитический обзор литературы с целью определения оптимального драйвера для управления шаговым двигателем;</p> <p>-Построение структурной схемы лабораторного макета для проведения экспериментальной части;</p> <p>-Проведение эксперимента для определения ключевых параметров шагового двигателя.</p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>-Скорость-моментные хар-ки</p> <p>-Блок-схемы драйверов</p> <p>-Принципиальные схемы управления</p>
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.02.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Качин Олег Сергеевич	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Шихалёв Вадим Игоревич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6Ж	Шихалёву Вадиму Игоревичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- 30% премии; - 20% надбавки; - 16% накладные расходы; - 30,2% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Календарный план-график выполнения работ	
---	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	20.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А6Ж	Шихалёв Вадим Игоревич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6Ж	Шихалёву Вадиму Игоревичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

<b>«Разработка системы управления шаговым двигателем»</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Система управления шаговыми двигателями с использованием микроконтроллеров
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <p>-специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.</li> <li>2) ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.</li> <li>3) ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</li> <li>4) ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>5) ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</li> <li>6) ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</li> <li>7) ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.</li> <li>8) ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.</li> <li>9) ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.</li> <li>10) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.</li> <li>11) СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</li> <li>12) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</li> <li>13) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.</li> <li>14) СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.</li> </ol>

<p><b>2. Производственная безопасность:</b>  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные и опасные факторы:  -отклонение параметров микроклимата  - недостаточная освещенность рабочей зоны;  -вредные вещества в воздухе рабочей зоны  -повышенный уровень электромагнитных излучений.  - опасность поражения электрическим током  - движущиеся части машин и механизмов  - термическая опасность.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Воздействия на атмосферу:  -выбросы в атмосферу составляющих флюсов и припоев: свинец, кадмий, цинк, олово, углеводороды.  Воздействие на гидросферу:  -слив в водоемы отходов травления.  Пути обеспечения экологической безопасности:  -химическое осаждение металлов из отработанных растворов в процессе травления;  -адсорбция вредных веществ из аэрозолей, полученных в ходе пайки.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Наиболее возможные ЧС при работе:  -пожар  -поражение электрическим током  Работники обучены действовать в подобных ЧС. Помещения оборудованы специальными средствами для обеспечения безопасности в ЧС.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Шихалёв Вадим Игоревич		

## 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные</i>	
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 87 страниц, 29 рисунков, 35 таблиц, 11 источников.

Ключевые слова: шаговый двигатель, система управления, драйверы управления шаговыми двигателями, алгоритмы управления шаговыми двигателями, резонанс.

Объектом исследования является: влияние режимов управления шаговым двигателем на механический резонанс, определение точности позиционирования шагового двигателя.

Цель работы – разработка и исследование способов управления шаговыми двигателями, определения влияния режимов управления на характеристики двигателя.

В процессе исследования проводились измерения влияния нагрузки на резонанс, были определены величины шагов для разных режимов работы.

В результате исследования были построены скорость-моментные характеристики шагового двигателя в области резонанса для фиксированных крутящих моментов, определена точность позиционирования.

В будущем планируется на основе полученных результатов создать учебный лабораторный стенд по исследованию влияния режимов управления на явление резонанса в шаговом двигателе.



**Перечень стандартов, используемых при оформлении  
пояснительной записки и чертежей.**

1. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
3. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
5. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
6. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
7. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
8. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.
9. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
11. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

13. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
14. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

## Оглавление

Реферат .....	8
Перечень стандартов, используемых при оформлении пояснительной записки и чертежей. ....	9
Оглавление .....	11
Введение .....	13
1. Теоретическая часть.....	15
1.1 Шаговые двигатели .....	15
1.1.1 Общие сведения о шаговых двигателях.....	15
1.1.2 Способы управления шаговым двигателем.....	18
1.1.3 Основные характеристики шагового двигателя.....	19
1.1.3.1 Скорость-моментная характеристика (СМХ).....	19
1.1.3.2 Резонанс на средних частотах .....	20
1.1.3.3 Параметры шагового двигателя .....	21
1.2 Драйверы для шаговых двигателей. Схемы управления.....	22
1.2.1 Обзор типов драйверов для шаговых двигателей.....	22
1.2.2 Драйвер L297 .....	24
1.2.3 Драйвер ТВ6560.....	29
2. Практическая часть .....	39
2.1 Выбор и обоснование структурной схемы лабораторного макета.....	39
2.2 Выбор схемы макета .....	39
2.3 Выбор алгоритма и схемы управления. ....	40
2.4 Постановка эксперимента.....	41
2.4.1 Первая экспериментальная установка.....	41
2.4.2 Вторая экспериментальная установка.....	44
2.4.2.1 Определение резонанса.....	44
2.4.2.2 Определение величины шага. ....	53
3. Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	57
3.1 Планирование научно-исследовательской работы .....	57
3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	59
3.3 Расчет материальных затрат на создание прототипа.....	61

3.4	Расчет затрат на электроэнергию .....	62
3.5	Расчет затрат на заработную плату .....	63
3.6	Расчет отчислений во внебюджетные фонды.....	65
3.7	Формирование бюджета затрат проекта .....	66
3.8	Оценка эффективности проекта.....	67
	Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	69
4.	Социальная ответственность .....	70
	Введение .....	70
4. 1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности... 70	
4. 1. 1	Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	70
4. 1. 2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	71
4. 2	Производственная безопасность.....	73
4. 2. 1	Анализ выявленных вредных и опасных факторов при исследовании способов управления.....	74
4. 2. 1. 1	Отклонение параметров микроклимата .....	74
4. 2. 1. 2	Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	75
4. 2. 1. 3	Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	76
4. 2. 1. 4	Вредные вещества в воздухе рабочей зоны.....	77
4. 2. 2. 1	Поражение электрическим током.....	78
4. 2. 2. 2.	Движущиеся части машин и механизмов .....	79
4. 2. 2. 3	Термическая опасность.....	79
4. 3	Экологическая безопасность. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	80
4. 4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
	Выводы по главе «социальная ответственность» .....	84
	Заключение.....	85
	Список литературы.....	86

## Введение

Впервые, шаговый двигатель (ШД) был упомянут в 1927 г., включал описание трехфазного реактивного ШД, который использовался для дистанционного управления индикатором направления торпедных аппаратов и орудий на военных кораблях Великобритании. Вращаемый вручную коммутатор, использовался для переключения управляющего тока. Шести шагам соответствовал один полный оборот рукоятки, выполняющие поворот ротора на  $90^\circ$ . Движение ротора шагами по  $15^\circ$  было замедленно с целью получения требуемой точности положения ротора.

Основной прогресс в развитии шаговых двигателей лег на 60-ые годы прошлого века, и связан был с ростом развития цифровой области электроники, что способствовало значительному уменьшению объема системы управления.

Шаговые двигатели с высокими динамическими характеристиками были необходимы еще до начала 1970-х годов, но именно в это время начался быстрый рост числа ШД, используемых в вычислительной технике, что, в свою очередь, привело к массовому их производству. В США производство печатающих устройств, использующих ШД и серводвигатели постоянного тока, было рискованным предприятием; однако стали появляться печатающие устройства с управляемыми электроприводами, использующие интегральные схемы вместо сложных механизмов, употребляемых в прошлом. Аналогичная тенденция прослеживалась в начале 1970-х годов и в других промышленно-развитых странах.[1]

Шло развитие и шаговых двигателей, используемых в цифровых управляющих машинах. В 1973 г. фирма Fanuc под руководством Сеюемона Инабы добилась успеха в создании мощных ШД. Это многопакетные реактивные ШД, но в них использована структура типа "сэндвич", для достижения высокого вращающего момента. В двигателях был использован цифровой управляющий механизм. Однако вскоре пришлось вернуться к серводвигателям постоянного тока. Одной из причин этого являются

ограничения, накладываемые ШД, и желание получить плавное окончание движения. Другая причина — это развитие цифрового управления для серводвигателей постоянного тока.[1]

В последнее время наблюдается рост использования ШД благодаря их высокой точности позиционирования и повторяемости перемещений. В задачах, где необходимо позиционирование объекта в пространстве, предъявляются два важных требования: точность позиционирования и время его выполнения.

Для ШД точность позиционирования определяется его конструктивным исполнением, следовательно один из вариантов повышения точности — усложнение конструкции ШД, что в основном, является задачей компаний, разрабатывающих их. Но увеличить точность можно и системно, путем дробления шага двигателя, т.е. использования режимов полушаг и микрошаг. Быстродействие, в свою очередь, в основном зависит от системы управления ШД и от выбранного режима работы. Следовательно, данный параметр уже зависит напрямую от выбранной САУ, и определяется схемотехническими и программными решениями.

# 1. Теоретическая часть

## 1.1 Шаговые двигатели

### 1.1.1 Общие сведения о шаговых двигателях

Шаговый электродвигатель (ШД) — это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора.[2]

Конструктивно шаговые электродвигатели состоят из статора, на котором расположены обмотки возбуждения, и ротора, выполненного из магнито-мягкого или из магнито-твёрдого материала. Шаговые двигатели с магнитным ротором позволяют получать большой крутящий момент и обеспечивают фиксацию ротора при обесточенных обмотках (рисунок 1).[2]

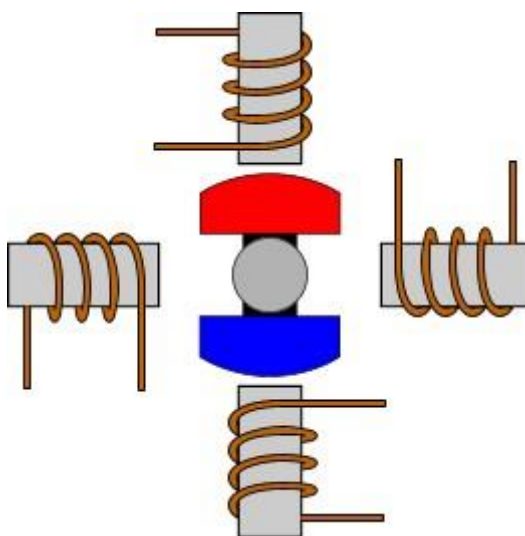


Рисунок 1 – Пример четырехобмоточного ШД.

Таким образом, выделяют следующие разновидности ШД по конструкции ротора:

- с постоянными магнитами (ротор из магнитотвердого материала);
- реактивный (ротор из магнитомягкого материала);
- гибридный.

Гибридные двигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами.

Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большое количество эквивалентных полюсов (рисунок 2), в отличие от основных полюсов, на которых расположены обмотки. Обычно используются 4 основных полюса для 3.6 град. двигателей и 8 основных полюсов для 1.8 — 0.9 град. двигателей. Зубцы ротора обеспечивают меньшее сопротивление магнитной цепи в определенных положениях ротора, что улучшает статический и динамический момент. Это обеспечивается соответствующим расположением зубцов, когда часть зубцов ротора находится строго напротив зубцов статора, а часть между ними.[2]

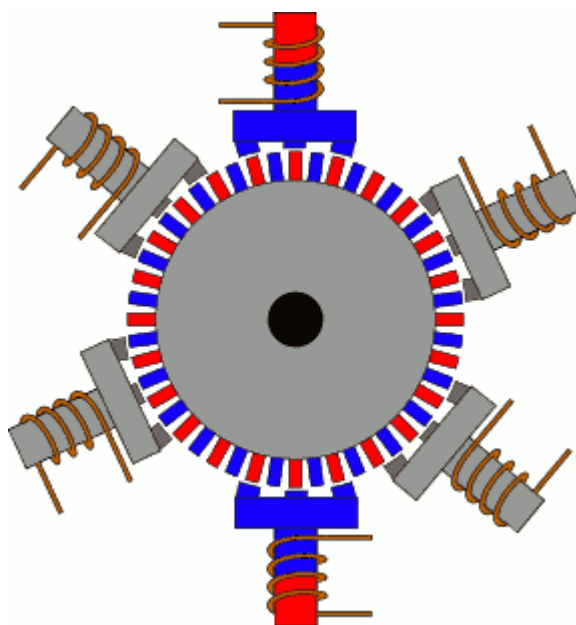


Рисунок 2 – Пример гибридного двигателя.

Ротор гибридного двигателя имеет зубцы, расположенные в осевом направлении. Ротор разделен на две части, между которыми расположен цилиндрический постоянный магнит. Таким образом, зубцы верхней половины ротора являются северными полюсами, а зубцы нижней половины — южными. Кроме того, верхняя и нижняя половины ротора повернуты друг относительно друга на половину угла шага зубцов. Число пар полюсов ротора равно количеству зубцов на одной из его половинок. Зубчатые полюсные



наконечники ротора, как и статор, набраны из отдельных пластин для уменьшения потерь на вихревые токи.[2]

Так же выделяют биполярные и униполярные ШД. Биполярный двигатель имеет одну обмотку в каждой фазе, которая для изменения направления магнитного поля должна переполюсовываться драйвером. Для такого типа двигателя требуется мостовой драйвер, или полумостовой с двухполярным питанием. Всего биполярный двигатель имеет две обмотки и, соответственно, четыре вывода (рисунок 3, а). [3]

Униполярный двигатель также имеет одну обмотку в каждой фазе, но от середины обмотки сделан отвод. Это позволяет изменять направление магнитного поля, создаваемого обмоткой, простым переключением половинок обмотки. При этом существенно упрощается схема драйвера. Драйвер должен иметь только 4 простых ключа. Таким образом, в униполярном двигателе используется другой способ изменения направления магнитного поля. Средние выводы обмоток могут быть объединены внутри двигателя, поэтому такой двигатель может иметь 5 или 6 выводов (рисунок 3, б). Иногда униполярные двигатели имеют отдельные 4 обмотки, по этой причине их ошибочно называют 4-х фазными двигателями. Каждая обмотка имеет отдельные выводы, поэтому всего выводов 8 (рисунок 3, в). При соответствующем соединении обмоток такой двигатель можно использовать как униполярный или как биполярный. Униполярный двигатель с двумя обмотками и отводами тоже можно использовать в биполярном режиме, если отводы оставить неподключенными. В любом случае ток обмоток следует выбирать так, чтобы не превысить максимальной рассеиваемой мощности. [3]

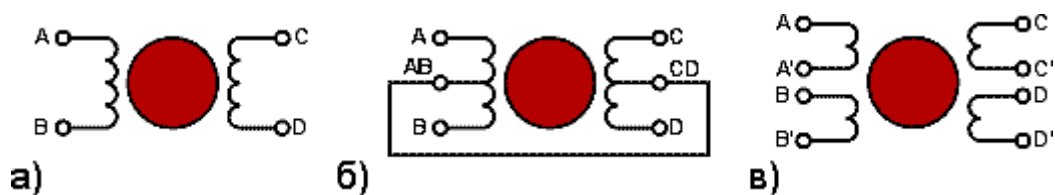


Рисунок 3 – Схемы биполярного двигателя (а), униполярного (б) и четырехобмоточного (в).

### 1.1.2 Способы управления шаговым двигателем

Если в процессе управления используется возбуждение только одной обмотки в любой момент времени, то ротор будет поворачиваться на фиксированный угол, который будет удерживаться, пока внешний момент не превысит момента удержания двигателя в точке равновесия.

Выделяют 3 основных режима работы ШД:

- полношаговый режим
- полушаговый режим
- микрошаговый режим

На рисунке 4 показана последовательность управления для режима с единичным шагом.



Рисунок 4 – Последовательность управления для режима с единичным шагом.

На рисунке 5 показана последовательность для полушагового управления.

**Управляющая последовательность для режима с половинным шагом**

Индекс	1a	1b	2a	2b
1	+	-	-	-
2	+	+	-	-
3	-	+	-	-
4	-	+	+	-
5	-	-	+	-
6	-	-	+	+
7	-	-	-	+
8	+	-	-	+
9	+	-	-	-
10	+	+	-	-
11	-	+	-	-
12	-	+	+	-
13	-	-	+	-
14	-	-	+	+
15	-	-	-	+
16	+	-	-	+

Рисунок 5 – Последовательность управления для режима с половинным шагом.

Максимальная скорость движения определяется исходя из физических возможностей шагового двигателя. При этом скорость регулируется путем изменения размера шага. Более крупные шаги соответствуют большей скорости движения.

### 1.1.3 Основные характеристики шагового двигателя

#### 1.1.3.1 Скорость-моментная характеристика (СМХ)

Электрически, реальный двигатель отличается от идеального в основном ненулевым сопротивлением обмотки, а также ферромагнитными составляющими, которым свойственно насыщаться магнитным полем, что приводит к гистерезисным потерям и потерям на вихревые токи. Насыщение ограничивает момент, а вихревые токи и гистерезисные потери вызывают нагрев мотора. Рассмотрим кривую зависимости крутящего момента шагового двигателя от скорости (рисунок 6). [4]

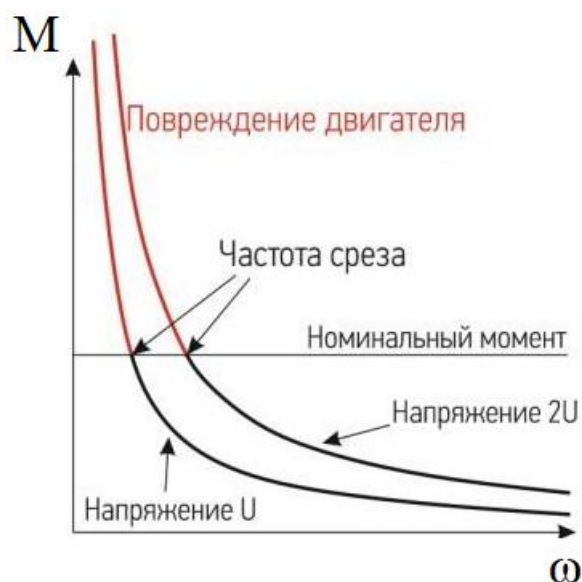


Рисунок 6 – Кривая зависимости крутящего момента шагового двигателя от скорости.

Из графика видно, что момент, а следовательно, и ток, возрастают очень быстро при скоростях ниже определенного предела, вплоть до значений, приводящих к повреждению мотора. Чтобы избежать этого, драйвер должен ограничивать нарастание тока. Поскольку момент пропорционален току, момент будет постоянен начиная с момента удержания до порогового значения скорости, а при скорости выше порога - ток будет ограничен индуктивностью обмоток [4].

### 1.1.3.2 Резонанс на средних частотах

Шаговый двигатель сильно подвержен резонансу, являясь по факту аналогом маятника "подвешенный на пружине груз", где грузом является ротор, а пружиной - магнитное поле, и имеет частоту собственных колебаний, зависящую от силы тока и инерции ротора. В момент, когда разность фаз момента и скорости достигает величины  $180$  град., возникает резонанс – изменение магнитного поля начинает совпадать со скоростью, и скорость ротора при позиционировании на новый шаг становится слишком велика. При резонансе значительная часть энергии магнитного поля уходит на преодоление инерции ротора при колебании около положения равновесия, что выражается в значительном падении крутящего момента на валу. Накопленная

кинетическая энергия ротора расходуется при возникновении резонанса примерно за 1-10 сек, поэтому разогнать двигатель можно, пройдя зону резонанса без последствий, но работать продолжительное время не удастся – вал остановится. Для устранения этого явления в драйверах используются различные антирезонансные алгоритмы. [4]

Явление резонанса отображено на рисунке 7:

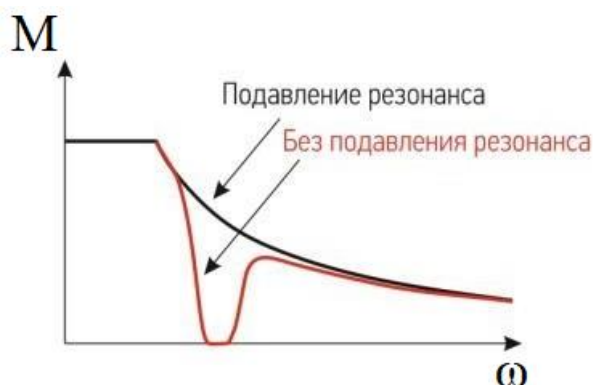


Рисунок 7 – Скорость-моментная характеристика с учетом резонанса.

### 1.1.3.3 Параметры шагового двигателя

Основными параметрами шагового двигателя являются:

1. Крутящий момент
2. Шаг - величина шага.
3. Ток - косвенно связан с крутящим моментом, но в основном он говорит о том, какой драйвер нужно будет подобрать к двигателю.
4. Напряжение питания - показывает, какое постоянное напряжение можно подавать на обмотку.
5. Сопротивление обмоток - омическое сопротивление обмоток, в основном необходимо для расчета потерь мощности.
6. Индуктивность - показывает, насколько крута будет кривая СМХ при одинаковом напряжении питания драйвера с ШИМ.

## 1.2 Драйверы для шаговых двигателей. Схемы управления

### 1.2.1 Обзор типов драйверов для шаговых двигателей

Как правило, логические сигналы для управления ШД формируются микроконтроллером, ресурсов которого вполне достаточно для управления даже в микрошаговом режиме. Для подключения ШД через слаботочные логические сигналы микроконтроллеров необходимы усилители сигналов - драйверы. В данной главе будет составлен обзор на основные виды драйверов.

Драйвер ШД — это электронное силовое устройство, которое на основании цифровых сигналов управления управляет сильноточными/высоковольтными обмотками шагового двигателя и позволяет шаговому двигателю делать шаги (вращаться).[5]

К драйверу ШД подключается источник питания, сам ШД (его обмотки) и сигналы управления. Стандартом по сигналам управления является управление сигналами STEP/DIR или CW/CCW и сигнал ENABLE.[5]

Протокол STEP/DIR можно наблюдать на рисунке 8:

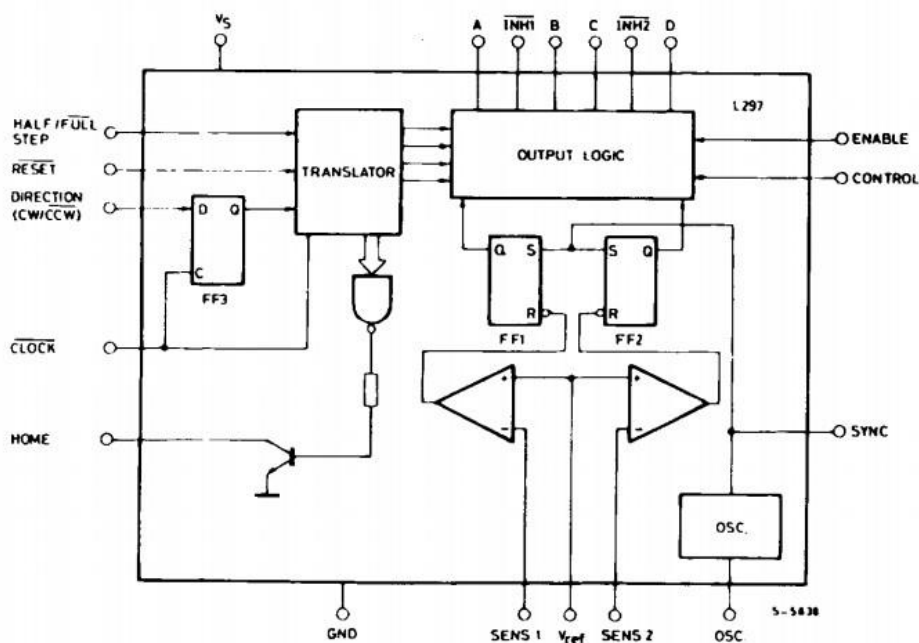


Рисунок 8 – Пример блок-схемы протокола STEP/DIR.

STEP - тактирующий сигнал. Один импульс приводит к повороту ротора ШД на один шаг, согласно установленному режиму работы. Обычно драйвер отрабатывает шаг по переднему или заднему фронту импульса.

DIR - потенциальный сигнал. Логическая единица - ШД вращается по часовой стрелке, ноль - ШД вращается против часовой стрелки, или наоборот.

Протокол CW/CCW:

CW - тактирующий сигнал. Один импульс приводит к повороту ротора ШД на один шаг, согласно установленному режиму работы, по часовой стрелке. Обычно драйвер отрабатывает шаг по переднему или заднему фронту импульса.

CCW - тактирующий сигнал. Один импульс приводит к повороту ротора ШД на один шаг, согласно установленному режиму работы, против часовой стрелки. Обычно драйвер отрабатывает шаг по переднему или заднему фронту импульса.

ENABLE - потенциальный сигнал, сигнал включения/выключения драйвера. Обычно логика работы такая: логическая единица - драйвер ШД выключен и обмотки ШД обесточены, ноль - драйвер ШД включен и обмотки ШД запитаны.

Драйверы ШД могут иметь дополнительные функции:[5]

1. Контроль перегрузок по току.
2. Контроль превышения напряжения питания, защита от эффекта обратной ЭДС от ШД. При замедлении вращения, ШД вырабатывает напряжение, которое складывается с напряжением питания и кратковременно увеличивает его. При более быстром замедлении, напряжение обратной ЭДС больше и больше скачок напряжения питания. Этот скачок напряжения питания может привести к выходу из строя драйвера, поэтому драйвер имеет защиту от скачков питающего напряжения. При превышении порогового значения напряжения питания драйвер отключается.
3. Контроль переплюсовки при подключении сигналов управления и питающих напряжений.

4. Режим автоматического снижения тока обмотки при простое (отсутствии сигнала STEP) для снижения нагрева ШД и потребляемого тока (режим AUTO-SLEEP).

5. Автоматический компенсатор среднечастотного резонанса ШД. Резонанс обычно проявляется в диапазоне 6-12 об/сек, ШД начинает гудеть и ротор останавливается. Начало и сила резонанса сильно зависит от параметров ШД и его механической нагрузки. Автоматический компенсатор среднечастотного резонанса позволяет полностью исключить резонирование ШД и сделать его вращение равномерным и устойчивым во всем диапазоне частот.

6. Встроенный генератор частоты STEP – удобная функция для пробного запуска драйвера без подключения к ПК или другому внешнему генератору частоты STEP. Также генератор будет полезен для построения простых систем перемещения без применения ПК.

### **1.2.2 Драйвер L297**

Стандартом в разработке драйверов ШД является STEP/DIR, благодаря своей простоте в алгоритмах управления - нет необходимости формировать две пачки тактирующих импульсов для вращения по и против часовой стрелок.

Один из представителей этого семейства драйверов является L297 - контроллер драйвера ШД (рисунок 9). Микросхема предназначена для использования с двойным мостовым драйвером. Она получает сигналы синхронизации шагами двигателя, режима работы и направления от внешнего микроконтроллера и генерирует сигналы управления для силовых каскадов.



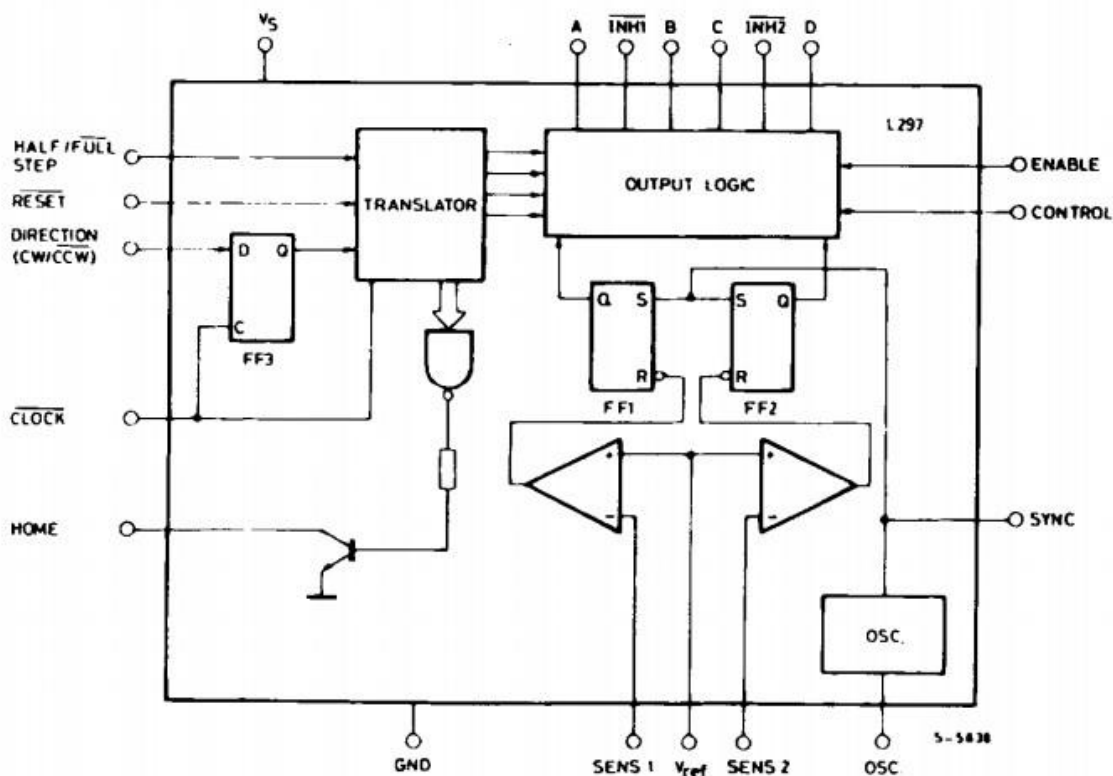


Рисунок 9 – Блок-схема драйвера L297.

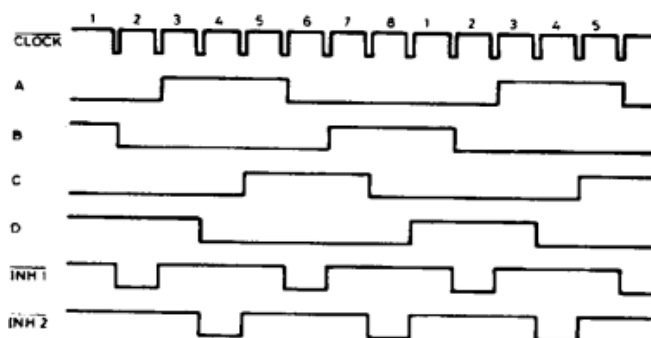
Интегральный контроллер шагового двигателя L297 формирует четыре ведущих фазовых сигнала для двухфазных биполярных и четырехфазных униполярных шаговых электродвигателей в системах, управляемых микропроцессорами (микроконтроллерами). Двигатель может работать в полношаговом и полшаговом режимах, а встроенный в контроллер L297 прерыватель широтно-импульсной модуляции (ШИМ) позволяет осуществлять импульсное управление током в обмотках шагового двигателя. Особенностью данного устройства является то, что ему необходимы только входные сигналы синхронизации, направления и режима. Поскольку фазы генерируются внутри контроллера, программная нагрузка на микропроцессор значительно снижается. Назначение выводов драйвера указано в таблице 1, основные параметры в таблице 2. Выходные напряжения контроллера отображены в таблице 3. Логические уровни управления отображены на рисунке 10:

Таблица 1 – Назначение выводов L297.

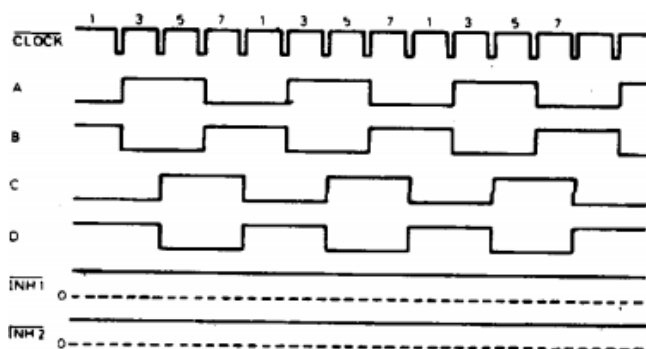
SYNC	Вход/выход. Вывод для синхронизации с другими L297.
GND	Общий вывод
HOME	Индицирует состояние выходов ABCD=0101. Выход типа "открытый коллектор".
A	Фаза "А". Сигнал управления силовым каскадом.
$\overline{\text{INH1}}$	Выходной сигнал запрещения работы фаз "А" и "В". Активный низкий уровень запрещает работу драйвера этих фаз.
B	Фаза "В". Сигнал управления силовым каскадом.
C	Фаза "С". Сигнал управления силовым каскадом.
$\overline{\text{INH2}}$	Выходной сигнал запрещения работы фаз "С" и "D". Активный низкий уровень запрещает работу драйвера этих фаз.
D	Фаза "D". Сигнал управления силовым каскадом.
ENABLE	Вход разрешения работы.
CONTROL	Вход управления режимом работы ШИМ прерывателя. При низком уровне прерыватель действует на выходы INH1 и INH2. При высоком уровне прерыватель действует на фазовые выходы А, В, С, D.
Vs	Питание +5V
SENS2	Входной сигнал контроля тока нагрузки силового каскада фаз "С" и "D".
SENS1	Входной сигнал контроля тока нагрузки силового каскада фаз "А" и "В".
Vref	Опорное напряжение для ШИМ прерывателя. Напряжение, приложенное к этому выводу, определяет пиковый ток нагрузки.
OSC	Вход подключения частото задающей RC-цепи ШИМ прерывателя. $f \sim 1/0.69 RC$ .
$\overline{\text{CW/CCW}}$	Вход, задающий направление вращения двигателя.
CLOCK	Входной сигнал, тактирующий шаги двигателя.
$\overline{\text{HALF/FULL}}$	Вход, задающий режимы половинного (лог.1) или полного (лог.0) шага.
$\overline{\text{RESET}}$	Вход сброса. Активный низкий уровень переводит микросхему в состояние выходов ABCD=0101.

Таблица 2 – Основные параметры L297.

Параметр	MIN	TYP	MAX
Напряжение питания $V_s$	4,75V	5V	7V
Входное напряжение низкого уровня (L)			0,6V
Входное напряжение высокого уровня (H)	2,0V		$V_s$
Ток потребления $I_s$		50mA	80mA
Входной ток (L)		100 $\mu$ A	
Входной ток (H)			10 $\mu$ A
Выходное напряжение низкого уровня (A, B, C, D, INH)			0,4V
Выходное напряжение высокого уровня (A, B, C, D, INH)	3,9V		
Входное опорное напряжение $V_{ref}$	0		3V
Тактовый сигнал	0,5 $\mu$ S		
Время переключения (шага)	1 $\mu$ S		



а)



б)

Рисунок 10 – Логические уровни управления в полушаговом режиме (а) и полношаговом режиме (б).

Таблица 3. Выходные напряжения контролера.

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0	0	1	1	1	0	0	0
B	1	0	0	0	0	0	1	1
C	0	0	0	0	1	1	1	0
D	1	1	1	0	0	0	0	0

Таким образом, имеем формирователь последовательности управляющих сигналов для биполярного двигателя.

Из таблицы видно, что для того, чтобы подключить к схеме униполярный двигатель нет необходимости изменять ни схему, ни алгоритм управления, а достаточно просто поменять фазы В и С местами, что позволит одновременно управлять двумя двигателями разного типа.

Т.к. микросхема L297 выдает логические уровни управления, а для ШД необходим аналоговый сигнал, то необходимо перевести сигнал в аналоговую форму. Для выполнения этой задачи возьмем драйвер L6203 - мостовой драйвер со встроенными силовыми ключами. Данный драйвер может обеспечить ШД необходимым током, но имеется один недостаток: при резких изменениях напряжения на двигателе ключи, встроенные в микросхему, пробиваются, из-за чего необходима дополнительная защита, в качестве которой может выступать диодный мост, подключаемый к выходной цепи.

Тогда принципиальная схема управления имеет вид, показанный на рисунке 11.

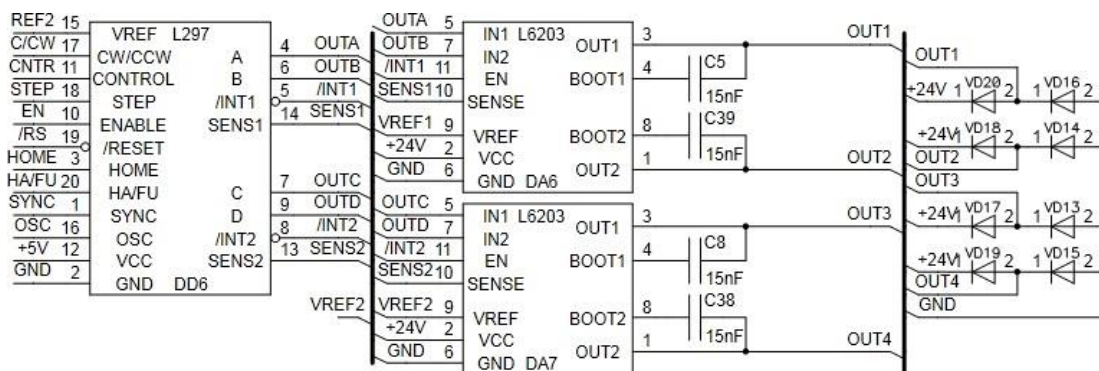


Рисунок 11 – Принципиальная схема управления.

Преимущество данной схемы:

Мы получаем унифицированную схему управления, с помощью которой можно управлять как униполярными, так и биполярными двигателями.

Недостатки схемы:

Нагроможденность схемы. Сам драйвер представляет собой прежде всего контроллер, следовательно, для его работы необходимы дополнительные микросхемы, как L6203, что увеличивает количество элементов.

Имеет всего два режима работы - шаговый и полшаговый.

### 1.2.3 Драйвер ТВ6560

Другим представителем семейства STEP/DIR является ТВ6560 - интегральный синусоидальный микрошаговый ШИМ контроллер биполярных двигателей (рисунок 12). Он поддерживает как двухфазный/1-2-фазный/2W1-2-фазный/4W1-2-фазный режим возбуждения, управлять направлением вращения, обладает низким уровнем шумов. Высокопроизводительный драйвер двухфазных биполярных ШД.[8]. Назначение выводов ТВ6560 отображено в таблице 4, основные параметры в таблице 5.

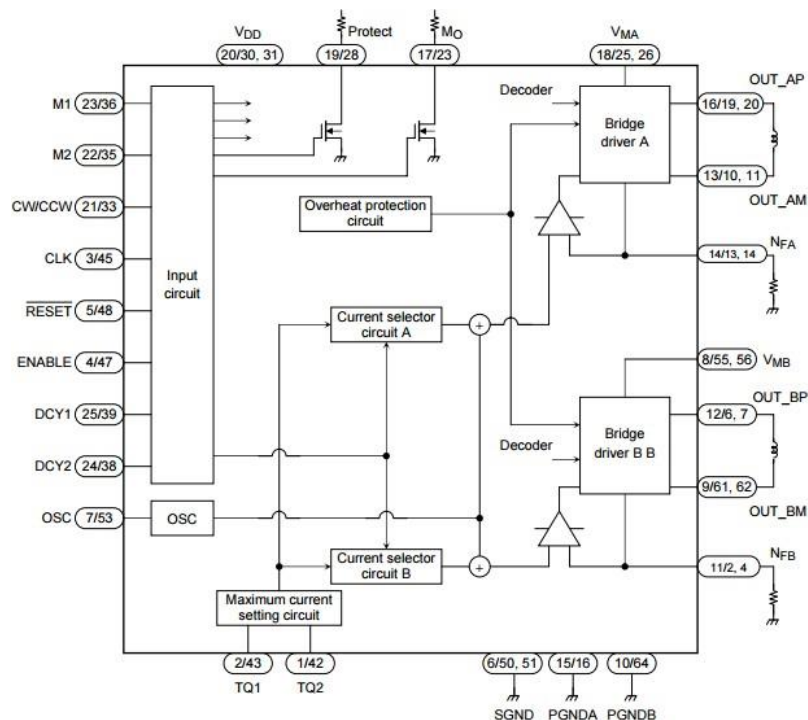


Рисунок 12 – Блок-схема драйвера ТВ6560.

Таблица 4 – Назначение выводов TB6560.

TQ2	Входы установки крутящего момента (рабочего тока)
TQ1	
CLK	Тактовый вход (STEP). Импульс инициирует один шаг.
ENABLE	Высокий уровень разрешает работу драйвера. Низкий уровень – отключает все выходы.
RESET	Низкий уровень вызывает сброс.
SGND	Сигнальная земля.
OSC	Вход подключения конденсатора RC генератора, задающего частоту дискретизации выходов.
Vmb	Напряжение питания двигателя (фаза B)
OUT_BM	Выход фазы B (отрицательный)
PGNDB	Силовая земля
Nfb	Токовый выход фазы B для датчика тока (резистора).
OUT_BP	Выход фазы B (положительный)
OUT_AM	Выход фазы A (отрицательный)
Nfa	Токовый выход фазы A для датчика тока (резистора).
PGNDA	Силовая земля
OUT_AP	Выход фазы A (положительный)
Mo	Выход индикации начального состояния диаграммы. Открытый коллектор, в начальном состоянии замкнут.
Vma	Напряжение питания двигателя (фаза A)
Protect	Выход индикации срабатывания защиты по перегреву. Открытый коллектор, при перегреве замкнут.
Vdd	Питание управляющей части.
CW/CCW	Выбор направления вращения (DIR). Низкий уровень прямое, высокий – реверсивное.
M2	Выбор режима (шаг, полушаг, микрошаг).
M1	
DCY2	Выбор режима спада тока обмоток.
DCY1	

Таблица 5 – Основные параметры ТВ6560.

Параметр		Обозначение	Значение	Ед. изм.
Напряжение питания		VDD	6	В
		VMA/B	40	
Выходной ток пиковый	HQ	IO (PEAK)	3.5	А на фазу
	FG		2.5	
Втекающий ток выхода MO		I (MO)	1	мА
Входное напряжение		VIN	5.5	В
Мощность рассеивания	HQ	Pd	5 (1)	Вт
			43 (2)	
	FG		1.7 (3)	
			4.2 (4)	
Рабочая температура		Topr	-30 ... +85	°С
Температура хранения		Tstg	-55 ... +150	°С

Описание функциональных возможностей ТВ6560:

Режимы работы.

Входы M1 и M2 задают режим работы шагового двигателя (таблица 6)

Таблица 6 – Таблица истинности для управляющих входов M1 и M2.

Состояние входов		Режим
M2	M1	
L	L	шаговый
L	H	полушаговый
H	L	микрошаговый 1/8 шага
H	H	микрошаговый 1/16 шага

Выводы M1, M2, как и остальные цифровые входы (TQ1, TQ2, CLK, ENABLE, RESET, CW/CCW, DCY1, DCY2) подключены к земле через

подтягивающие резисторы сопротивлением 100 кОм. Поэтому брошенные входы имеют состояние низкого уровня (L).

Управление драйвером.

Низкий уровень сигнала ENABLE отключает выходные ключи драйвера.

Таблица 7 – Таблица истинности для управляющей логики драйвера.

Состояние входов				Режим
CLK	CW/CCW	RESET	ENABLE	
По фронту	L	H	H	Прямое направление вращения
По фронту	H	H	H	Реверсивное направление вращения
X	X	L	H	Режим инициализации
X	X	X	L	Выход отключен

Ниже описан режим инициализации (по сигналу RESET). Состояния входов CLK и CW/CCW в этом режиме не имеют значения.

Режим инициализации.

Состояние токов фаз при активном сигнале RESET (RESET = L) показаны в таблице 8. Выход Mo в этом режиме находится в низком уровне (замкнут на землю).

Таблица 8 – Токи фаз при активном сигнале RESET.

Режим	Ток фазы А	Ток фазы В
Шаговый	100%	-100%
Полушаговый	100%	0%
Микро шаговый 1/8 шага	100%	0%
Микро шаговый 1/16 шага	100%	0%

Установка скорости спада тока (Current Decay Settings).

Существуют 4 режима спада тока обмоток двигателя:



0% - выход находится только в режиме медленного спада тока;

25% - выход переходит в режим быстрого спада тока на последнем интервале;

50% - выход переходит в режим быстрого спада тока на двух последних интервалах;

100% - выход находится в режиме быстрого спада тока на всех четырех интервалах.

Таблица 9 – Таблица истинности для входов DCY1 и DCY2.

DCY2	DCY1	Режим спада тока обмоток
L	L	0%
L	H	25%
H	L	50%
H	H	100%

Режимы подробно описаны ниже.

Установка рабочего тока (крутящего момента).

Номинальные токи фаз задаются сопротивлением резисторов-датчиков тока, подключенных к выводам Nfa и Nfb. Дополнительно рабочий ток, а значит и крутящий момент, может быть уменьшен с помощью входов TQ1, TQ2.

Таблица 10 – Таблица истинности для входов TQ1 и TQ2.

TQ2	TQ1	Ток фазы (крутящий момент)
L	L	100%
L	H	75%
H	L	50%
H	H	20% (слабый ток)

Уменьшение тока до режима «слабого тока» (20%) можно использовать для удержания ротора остановленного двигателя.

Выходы Protect и Mo.

Выход Protect индицирует срабатывание защиты от перегрева. Выход Mo – показывает, что диаграмма состояния фазных коммутаций находится в начальном состоянии.

Оба выхода типа открытый коллектор, т.е. имеют состояния: замыкание на землю и разрыв. Требуют подтягивающие резисторы, подключенные к шине питания + 5 В.

Активное состояние – низкий уровень (замыкание на землю).

Таблица 11 – Таблица состояний выходов Protect и Mo.

Состояние выхода	Protect	Mo
Низкий уровень (замкнут на землю)	Перегрев	Начальное состояние диаграммы
Z-состояние	Нормальная работа	Все другие состояния

Задающий генератор.

Время выходных коммутаций определяется частотой задающего RC генератора. Определяется емкостью конденсатора, подключенного к выводу OSC. Погрешность частоты может достигать  $\pm 30\%$ .

Таблица 12. Значение частоты коммутации в зависимости емкости конденсатора.

Емкость конденсатора	Частота генератора
1000 пкФ	44 кГц
330 пкФ	130 кГц
100 пкФ	400 кГц

Диаграммы работы микросхемы:

Шаговый режим отображен на рисунке 13:

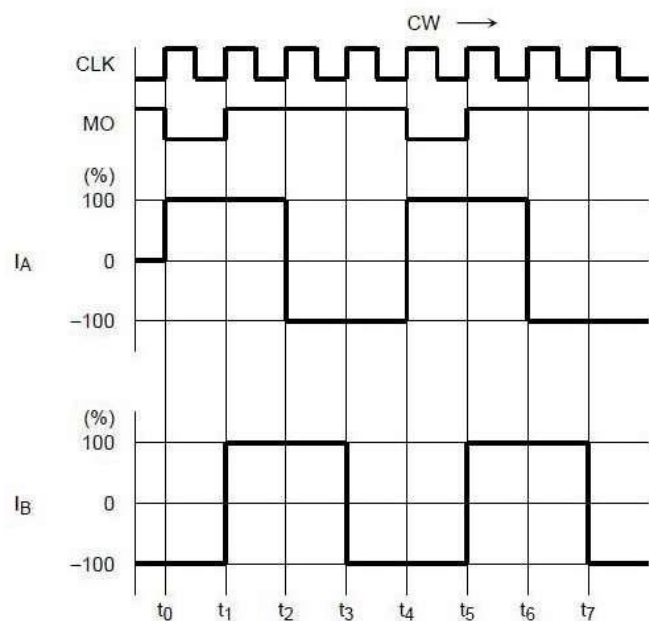


Рисунок 13 – Шаговый режим работы.

Полушаговый режим отображен на рисунке 14:

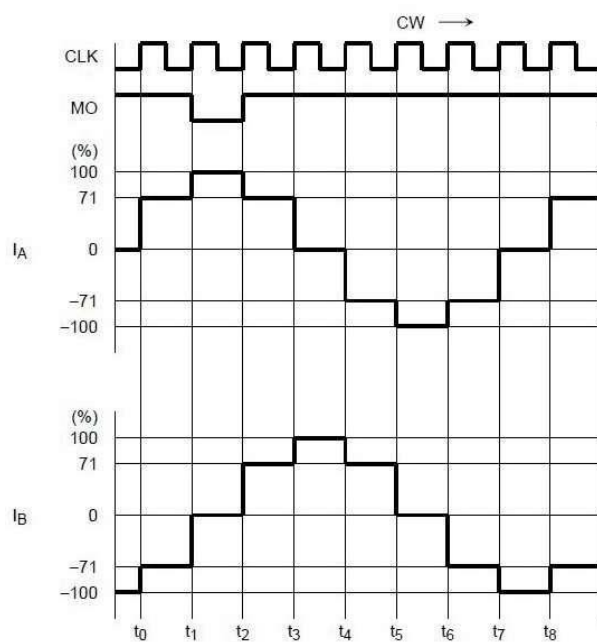


Рисунок 14 – Полушаговый режим работы

Микрошаговый режим 1/8 шага отображен на рисунке 15:

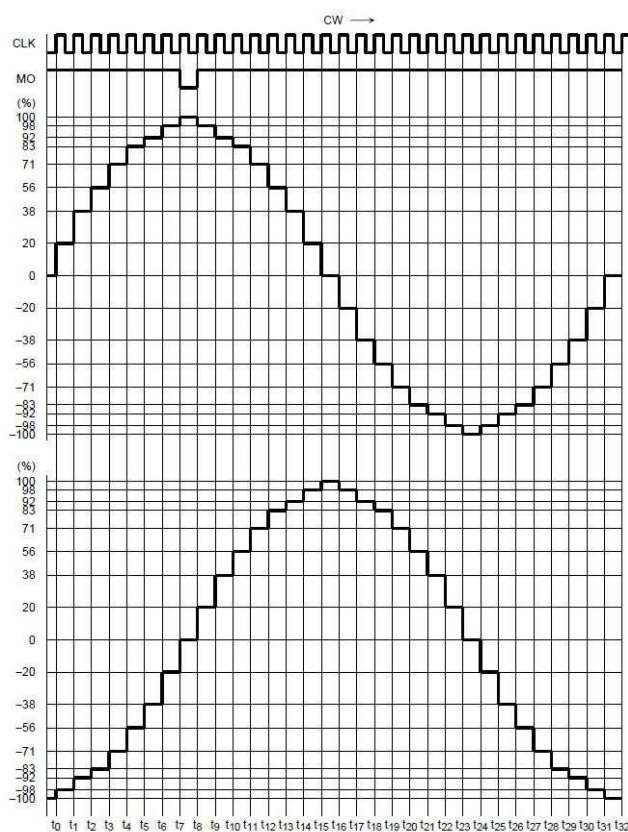


Рисунок 15 – Микрошаговый режим работы (1/8 шага).

Микрошаговый режим 1/16 шага отображен на рисунке 16:

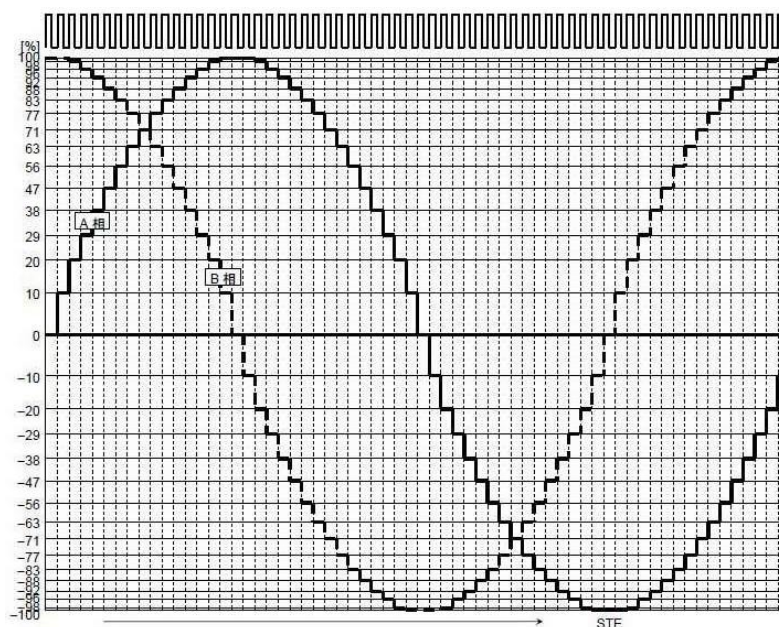


Рисунок 16 – Микрошаговый режим работы (1/16 шага).

Сигнал ENABLE в полушаговом режиме отображен на рисунке 17:

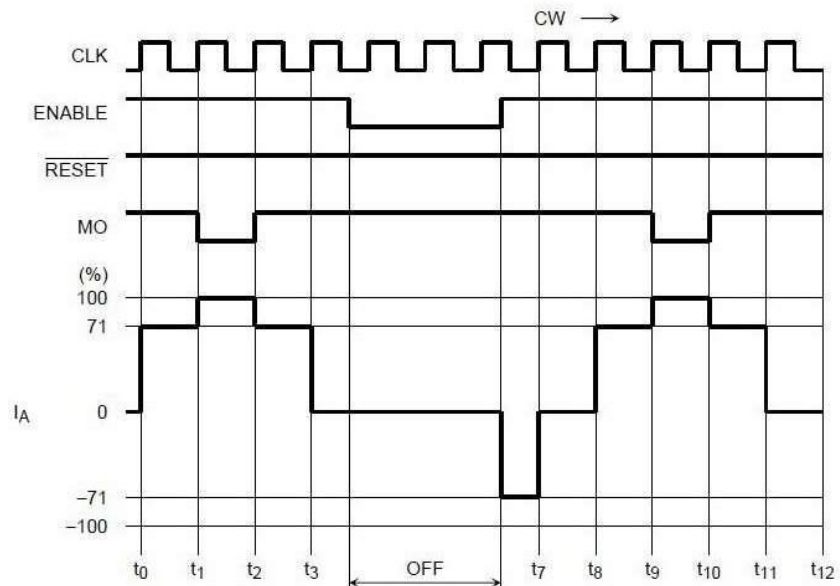


Рисунок 17 – Влияние сигнала ENABLE.

По диаграмме видно, что запрещающий (низкий) уровень сигнала ENABLE отключает только выходные ключи. Внутренняя логика микросхемы продолжает обрабатывать входной тактовый сигнал.

Реакция на сигнал RESET в полушаговом режиме отображена на рисунке 18:

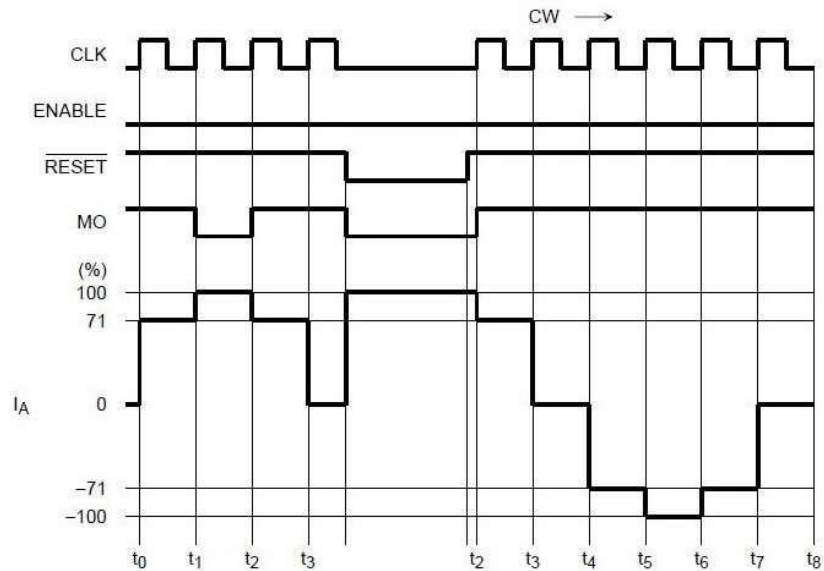


Рисунок 18 – Влияние сигнала RESET.

По активному сигналу RESET (низкий уровень) логика микросхемы устанавливает начальное состояние диаграммы. По возвращению RESET в

неактивный (высокий) уровень микросхема продолжает обрабатывать входные тактовые импульсы.

Из всего вышеизложенного можно выделить преимущества и недостатки использования данного драйвера:

Преимущества:

Уменьшенная нагроможденность схемы. Т.к. внутри самого драйвера "вшита" силовая часть, что уменьшает количество используемых элементов.

Тонкость управления. Дополнительные функции драйвера позволяют более плавно управлять ШД.

Обладает четырьмя режимами работы: шаговым, полушаговым и двумя микрошаговыми режимами (1/8 и 1/16 шага).

Недостатки:

Данный драйвер является узкоспециализированным, он направлен только на работу с биполярными двигателями.

## 2. Практическая часть

### 2.1 Выбор и обоснование структурной схемы лабораторного макета

Для управления шаговым двигателем возьмём микроконтроллер, который будет формировать сигналы управления, и, через драйвер, передавать их ШД. Для снятия нагрузочной характеристики соединим ШД с электродвигателем постоянного тока, выступающий в роли генератора, с целью создания нагрузки для ШД. Тогда напряжение, формируемое генератором, будет пропорционально усилию, прикладываемым ему ШД. Структурная схема макета изображена на рисунке 19:

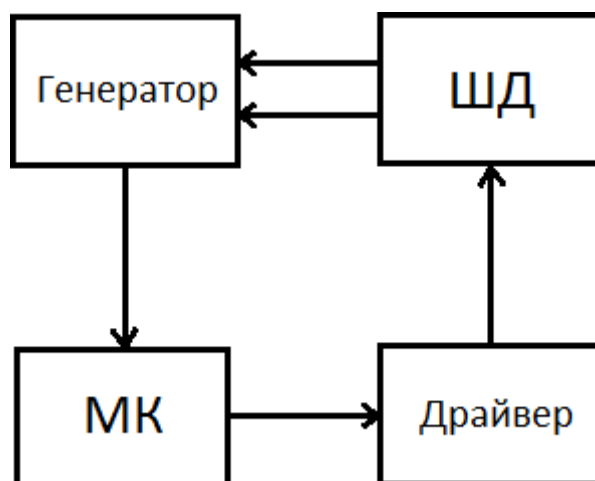


Рисунок 19 – Структурная схема макета.

### 2.2 Выбор схемы макета

Т.к. генератор представляет собой электродвигатель постоянного тока, то перед тем, как снять с него напряжение, его необходимо масштабировать до уровня, необходимого для МК. Тогда схема будет иметь вид, отображенный на рисунке 20:

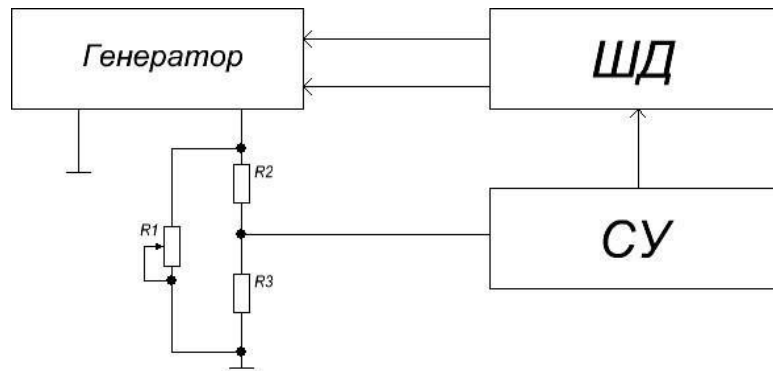


Рисунок 20 – Схема снятия данных с генератора.

### 2.3 Выбор алгоритма и схемы управления.

Т.к. принципиальная схема (рисунок 21) будет напрямую зависеть от алгоритма управления и управляющего драйвера, то необходимо определиться с ними в первую очередь.

В качестве основного формирователя сигналов управления для шагового двигателя будет выступать специализированная микросхема ТВ6560, формирующая логические сигналы управления.

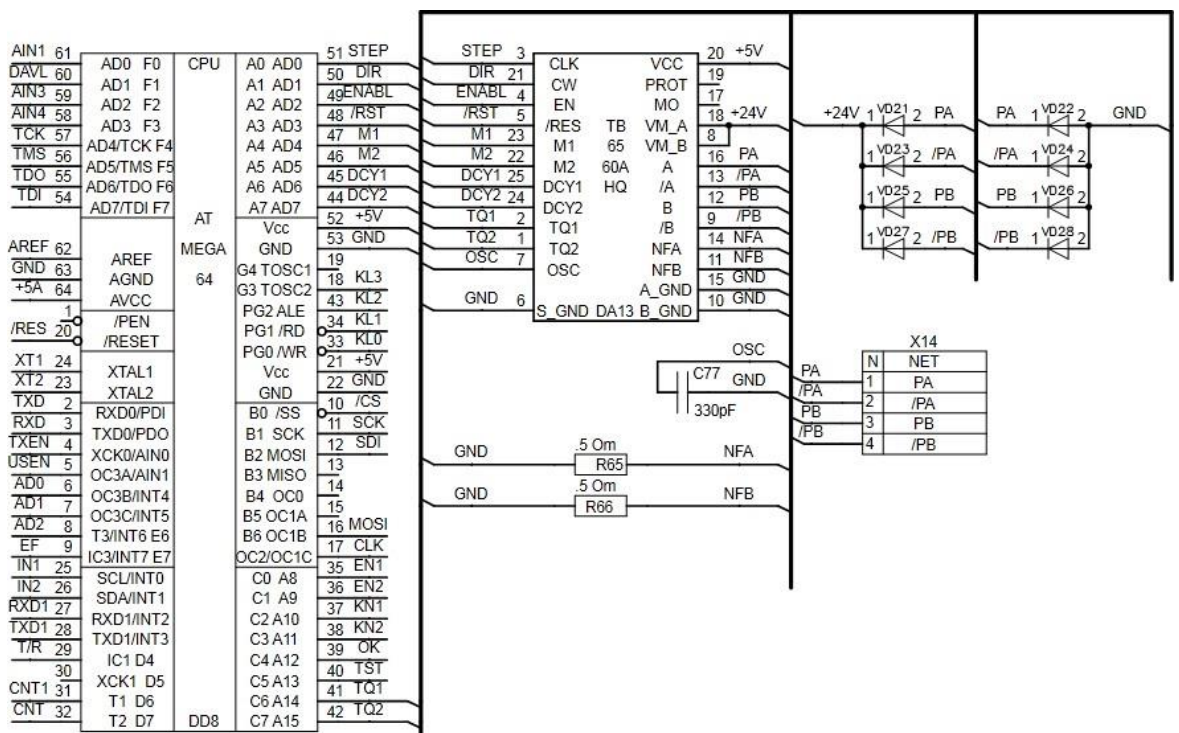


Рисунок 21 – Принципиальная схема управления.

Для снятия экспериментальных данных есть 2 способа: первый - использования внешних устройств (например: вольтметр, и т.п.), второй - использование связи с компьютером.



В данном случае лучше всего воспользоваться вторым способом. Во-первых, это облегчит задачу управления ШД, задавая скорость оборотов с ПК, во-вторых, позволит заносить снимаемые параметры в таблицу, что ускорит построения характеристик ШД.

В качестве интерфейса передачи воспользуемся микросхемой RS485. Принятые данные будут обрабатываться на верхнем уровне (в ПК). Т.к. плата будет соединяться с ПК через порт mini-USB, из-за особенностей его работы потребуется преобразовывать данные в последовательный код, для этого воспользуемся специализированной микросхемой FT232BM, которая преобразовывает данные USB в последовательность для UART.

## **2.4 Постановка эксперимента**

### **2.4.1 Первая экспериментальная установка**

Сутью проводимого эксперимента является снятие основных характеристик ШД FL57STH76-1006M. Т.к. электродвигатель с необходимыми параметрами не удалось найти, то для снятия характеристик используем круглый деревянный диск радиусом 125 мм, закрепленный на валу ШД.

К диску была привязана нить, длиной 800 мм, к концу которой привязывался грузик, фиксированной массы. При увеличении веса груза можно определить максимальный крутящий момент двигателя, и таким образом снять скорость-моментную характеристику.

Но в процессе проведения эксперимента выявилась существенная проблема: при вращении диска наблюдалось его "проскальзывание" на валу. Из-за чего снятие характеристики оказалось затруднительным.

Причиной тому послужило то, что в процессе подготовки не учитывалась масса самого диска, которая оказывает влияние на пусковой крутящий момент.

В момент подачи управляющих сигналов, вал двигателя получает приращение нагрузки, равной сумме масс груза и диска, что и приводит к увеличению пускового момента при фиксированной нагрузке.

Крутящий момент диска можно рассчитать по формуле:

$$M = J\varepsilon \quad (1)$$

где  $J$  – момент инерции, кг\*м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – угловое ускорение, рад/с<sup>2</sup>.

В свою очередь момент инерции и угловое ускорение определяются из соотношений:

$$J = \frac{1}{2}mR^2 \quad (2)$$

где  $m$  – масса, кг;  $R$  – радиус.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость, рад/с;  $t$  – время.

Зная, что:

скорость вращения вала фиксирована, и задается программно, и взяв время, за которое осуществляется один полный оборот, можно рассчитать момент, передаваемый двигателем диску (Таблица 13).

Крутящий момент шагового двигателя принять идеализированным, тогда крутящий момент в рабочем диапазоне скоростей фиксирован, и равен паспортному значению –  $M_{\max}=13,5 \text{ кг/см}=1,3239 \text{ Н*м}$ .

Таблица 13 – Расчетные данные.

n, об/сек	$\Delta\omega$ , рад/сек	$\Delta t$ , с	$\varepsilon$ , рад/с <sup>2</sup>	J, кг*м <sup>2</sup>	$M_{\max}$ , Н*м	$M_i$ , Н*м	$M_{\text{пуска}}$ , Н*м
0,25	1,57	4	0,4	0,00597	1,3239	0,001	1,323
0,5	3,14	2	1,6			0,005	1,319
1	6,28	1	6,3			0,019	1,305
1,5	9,42	0,67	14,13			0,042	1,282
2	12,56	1	25,12			0,075	1,249
2,5	15,7	0,4	39,25			0,117	1,207
3	18,84	0,33	56,52			0,169	1,155
3,5	22,0	0,29	76,9			0,230	1,094

4	25,12	0	100,5			0,300	1,024
4,5	28,26	0,22	127,17			0,380	0,944
5	31,4	0,2	157,0			0,469	0,855
5,5	34,54	0,18	190,0			0,567	0,757
6	37,68	0,17	226,08			0,675	0,649
6,5	40,82	0,15	265,3			0,792	0,532
7	43,96	0,14	307,72			0,919	0,405
7,5	47,10	0,13	353,3			1,054	0,269
8	50,24	0,1	401,92			1,200	0,124
8,25	51,81	0,12	427,4			1,276	0,048
8,4	52,752	0,12	443,1			1,323	0,001

Используя данные таблицы 13, построим пусковую скорость моментную характеристику (рисунок 22):

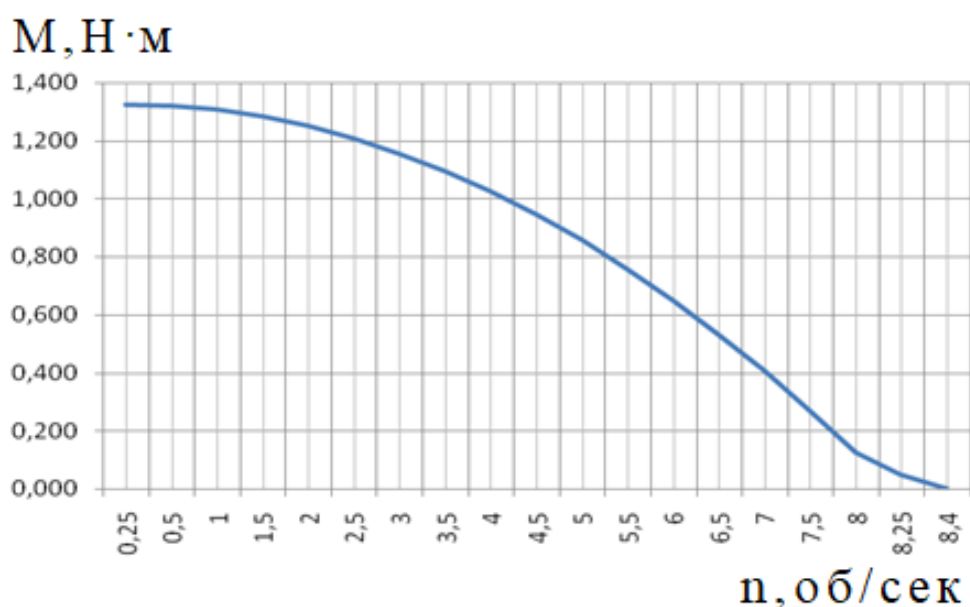


Рисунок 22 – Расчетная пусковая скорость моментная характеристика.

Из рисунка 22 видно, что при увеличении скорости вращения вала пусковой крутящий момент уменьшается, что приводит к увеличению влияния массы диска на пусковую характеристику, и при определенных нагрузках двигатель будет не в состоянии передать энергию грузу, тот будет просто проскальзывать.

## 2.4.2 Вторая экспериментальная установка

### 2.4.2.1 Определение резонанса

В связи с неудачей с предыдущей установкой для проведения эксперимента был взят координатный стол, к которому были закреплены ШД, плата для управления и элемент питания. В данном случае вал электродвигателя представляет собой шпильку, на которую накручена гайка, что является винтовой передачей. Гайка при вращении вала смещается в горизонтальной плоскости и толкает груз.

В ходе эксперимента были определены максимально возможные скорости вращения вала ШД и определены резонансы для разных режимов управления при различных нагрузках.

В Таблице 14 показаны снятые данные скорость-моментной характеристики на "холостом ходу". Из данной таблицы видно, что диапазон скоростей, на которых проявляется резонанс, как и резонансная частота, зависит от режима управления. Самый узкий диапазон наблюдается МШ (1/8), обусловленное тем, что при использовании микрошагового режима на вал ШД действуют более кратковременные усилия разгона-торможения, сам вал совершает шаги меньшей амплитуды, в результате инерционные моменты проявляются слабее. Также наблюдается уменьшение максимально возможной скорости вращения вала в зависимости от выбранного режима управления. Исключением является режим МШ (1/8), у которого наоборот увеличивается максимальная скорость. При дроблении шага наблюдается изменение резонансной частоты, что приводит ее к сдвигу вправо по оси скорости.

Таблица 14 – Экспериментальные данные на холостом ходу.

n, об/сек	Ш, мкс	ПШ, мкс	МШ (1/8), мкс	МШ (1/16), мкс
0,125	2000	1000	250	125
0,25	1000	500	125	63
0,375	667	333	83	42
0,5	500	250	63	31
0,625	400	200	50	25
0,75	333	167	42	21
0,772	324	162	40	20
0,875	286	143	36	18
0,893	280	140	35	17
0,943	265	133	34	17
0,947	264	132	33	16
1	250	125	31	16
1,125	222	111	28	14
1,25	200	100	25	13
1,375	182	91	23	11
1,5	167	83	21	10
1,563	160	80	20	10
1,625	154	77	19	9
1,75	143	71	18	9
1,875	133	67	17	8
2	125	63	16	8
2,125	118	59	15	7
2,25	111	56	14	7
2,375	105	53	13	6
2,5	100	50	12	6
2,625	95	48	12	6
2,75	91	45	11	5
2,875	87	43	11	5
3	83	42	10	5
3,125	80	40	10	5



предельный период шага(максимальная скорость двигателя)  
 обороты, которые выставить нельзя из-за приближения  
 диапазон скоростей, на которых наблюдается эффект резонанса  
 резонанс

В таблицах 15, 16 показаны снятые данные для шагового и полушагового режимов при различных нагрузках на вал ШД. Из таблицы видно, что с ростом нагрузки на вал диапазон скоростей, на которых наблюдается эффект резонанса, уменьшается, приближаясь к резонансной

частоте. При этом увеличение нагрузки никак не влияет на максимально возможную скорость вращения вала в обоих режимах.

Таблица 15 – Экспериментальные данные для шагового режима.

п, об/сек	Ш, мкс	5кг, мкс	10кг, мкс	15кг, мкс	20кг, мкс	25кг, мкс
0,125	2000	2000	2000	2000	2000	2000
0,25	1000	1000	1000	1000	1000	1000
0,375	667	667	667	667	667	667
0,5	500	500	500	500	500	500
0,625	400	400	400	400	400	400
0,75	333	333	333	333	333	333
0,875	286	286	286	286	286	286
0,893	280	280	280	280	280	280
0,926	270	270	270	270	270	270
0,933	268	268	268	268	268	268
0,943	265	265	265	265	265	265
1,042	240	240	240	240	240	240
1	250	250	250	250	250	250
1,125	222	222	222	222	222	222
1,147	218	218	218	218	218	218
1,25	200	200	200	200	200	200
1,375	182	182	182	182	182	182
1,5	167	167	167	167	167	167
1,625	154	154	154	154	154	154
1,75	143	143	143	143	143	143
1,875	133	133	133	133	133	133
2	125	125	125	125	125	125
2,125	118	118	118	118	118	118
2,25	111	111	111	111	111	111
2,375	105	105	105	105	105	105
2,5	100	100	100	100	100	100
2,625	95	95	95	95	95	95
2,75	91	91	91	91	91	91
2,875	87	87	87	87	87	87
3	83	83	83	83	83	83



предельный период шага  
 диапазон скоростей, на которых наблюдается эффект резонанса  
 резонанс

Таблица 16 – Экспериментальные данные для полушагового режима.

n, об/сек	ПШ, мкс	5кг, мкс	10кг, мкс	15кг, мкс	20кг, мкс	25кг, мкс
0,125	1000	1000	1000	1000	1000	1000
0,25	500	500	500	500	500	500
0,375	333	333	333	333	333	333
0,5	250	250	250	250	250	250
0,625	200	200	200	200	200	200
0,75	167	167	167	167	167	167
0,772	162	162	162	162	162	162
0,875	143	143	143	143	143	143
0,887	141	141	141	141	141	141
0,899	139	139	139	139	139	139
0,912	137	137	137	137	137	137
0,947	132	132	132	132	132	132
1	125	125	125	125	125	125
1,125	111	111	111	111	111	111
1,25	100	100	100	100	100	100
1,375	91	91	91	91	91	91
1,5	83	83	83	83	83	83
1,625	77	77	77	77	77	77
1,75	71	71	71	71	71	71
1,875	67	67	67	67	67	67
2	63	63	63	63	63	63
2,125	59	59	59	59	59	59
2,25	56	56	56	56	56	56
2,375	53	53	53	53	53	53
2,5	50	50	50	50	50	50
2,625	48	48	48	48	48	48
2,75	45	45	45	45	45	45



предельный период шага  
 диапазон скоростей, на которых наблюдается эффект резонанса  
 резонанс

В таблицах 17, 18 показаны снятые данные для микрошаговых режимов. Из таблиц видно, что диапазон скоростей, на которых наблюдается эффект резонанса, никак не зависит от нагрузки на вал ШД. Обусловлено это тем, что, когда используются не микрошаговые режимы, основной причиной появления колебаний является прерывистое вращение ротора. При осуществлении шага ротор не сразу устанавливается новую позицию, а совершает затухающие колебания. В случае микрошагового режима, при каждом микрошаге

сообщается малая часть энергии шага, что обеспечивает плавное вращение ротора ШД, что уменьшает влияние резонансных явлений на систему.

Таблица 17 – Экспериментальные данные для микрошагового режима 1/8 шага.

n, об/сек	МШ (1/8), мкс	5кг, мкс	10кг, мкс	15кг, мкс	20кг, мкс	25кг, мкс
0,125	250	250	250	250	250	250
0,25	125	125	125	125	125	125
0,375	83	83	83	83	83	83
0,5	63	63	63	63	63	63
0,625	50	50	50	50	50	50
0,75	42	42	42	42	42	42
0,875	36	36	36	36	36	36
0,893	35	35	35	35	35	35
1	31	31	31	31	31	31
1,125	28	28	28	28	28	28
1,25	25	25	25	25	25	25
1,375	23	23	23	23	23	23
1,5	21	21	21	21	21	21
1,625	19	19	19	19	19	19
1,75	18	18	18	18	18	18
1,875	17	17	17	17	17	17
2	16	16	16	16	16	16
2,125	15	15	15	15	15	15
2,25	14	14	14	14	14	14
2,375	13	13	13	13	13	13
2,625	12	12	12	12	12	12
2,875	11	11	11	11	11	11
3,125	10	10	10	10		



Также видно, что с ростом нагрузки на вал ШД уменьшается максимально возможная скорость вращения ротора в случае 1/8 шага, что не проявляется в других режимах.



Таблица 18 – Экспериментальные данные для микрошагового режима 1/16 шага.

n, об/сек	МШ (1/16), мкс	5кг, мкс	10кг, мкс	15кг, мкс	20кг, мкс	25кг, мкс
0,125	125	125	125	125	125	125
0,25	63	63	63	63	63	63
0,375	42	42	42	42	42	42
0,5	31	31	31	31	31	31
0,625	25	25	25	25	25	25
0,75	21	21	21	21	21	21
0,875	18	18	18	18	18	18
1	16	16	16	16	16	16
1,125	14	14	14	14	14	14
1,25	13	13	13	13	13	13
1,375	11	11	11	11	11	11
1,563	10	10	10	10	10	10
1,75	9	9	9	9	9	9
2	8	8	8	8	8	8
2,25	7	7	7	7	7	7
2,625	6	6	6	6	6	6



предельный период шага  
диапазон резонанса  
резонанс

Для построения графиков хотя бы в первом приближении необходимо пересчитать нагрузку, измеренную в килограммах, в параметр, характеризующий шаговый двигатель. Данным параметром является крутящий момент двигателя:

$$M = m * g * R \quad (4)$$

Где M - крутящий момент (Н\*м), m - масса груза (кг), g - ускорение свободного падения (для Томска  $g=9,8160 \text{ м/с}^2$ ), R – радиус винт. передачи (м).

$$M_1 = m * g * R = 5 * 9,8160 * 0,004 = 0,19632[\text{Н} * \text{м}]$$

$$M_2 = m * g * R = 10 * 9,8160 * 0,004 = 0,39264[\text{Н} * \text{м}]$$

$$M_3 = m * g * R = 15 * 9,8160 * 0,004 = 0,58896[\text{Н} * \text{м}]$$

$$M_4 = m * g * R = 20 * 9,8160 * 0,004 = 0,78528[\text{Н} * \text{м}]$$

$$M_5 = m * g * R = 25 * 9,8160 * 0,004 = 0,9816[\text{Н} * \text{м}]$$

Т.к. в диапазоне скоростей, на которых наблюдается эффект резонанса, наблюдается гарантированный пропуск шагов, то момент, создаваемый в этом диапазоне, отличен от расчетных, то примем это для данного приближения как "ноль" на графике. Тогда, с учетом данного приближения построим скорость-моментную характеристику в районе резонанса при фиксированных крутящих моментах  $M_i$ , сравнивая различные режимы управления (рисунки 23-27).

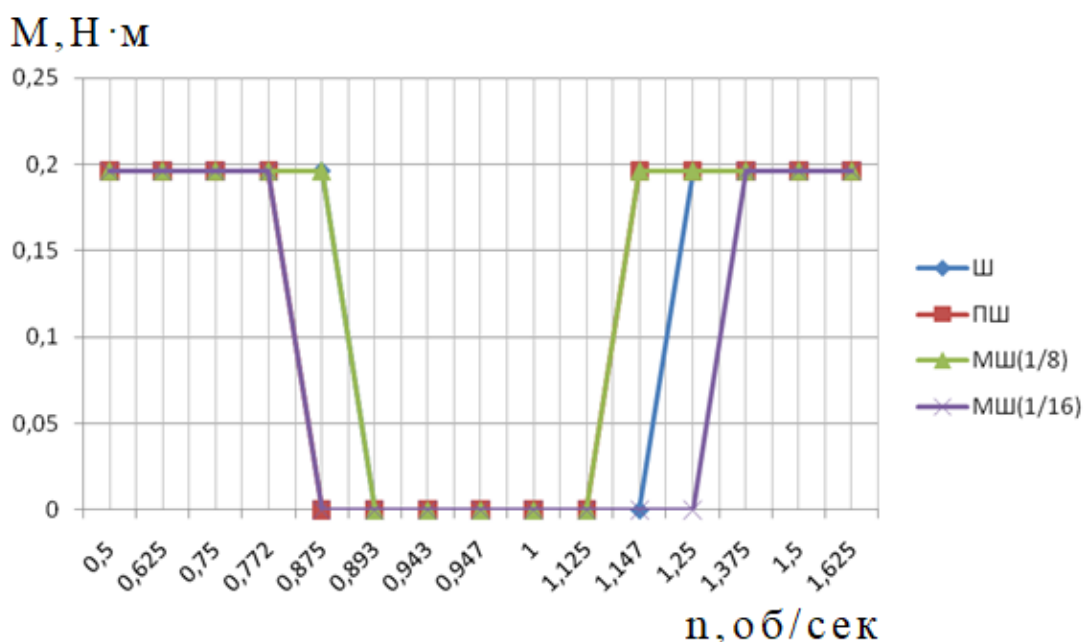


Рисунок 23 – Скорость моментная характеристика для нагрузки 5 кг.

Из рисунка 23 видно, что диапазон резонанса для шагового режима равен 0,254 об/сек, полушагового - 0,250 об/сек, микрошагового (1/8 шага) - 0,232 об/сек, микрошагового (1/16 шага) - 0,375 об/сек. Таким образом, самый узкий диапазон резонанса при нагрузке 5 кг наблюдается у микрошагового режима с делением 1/8 шага.

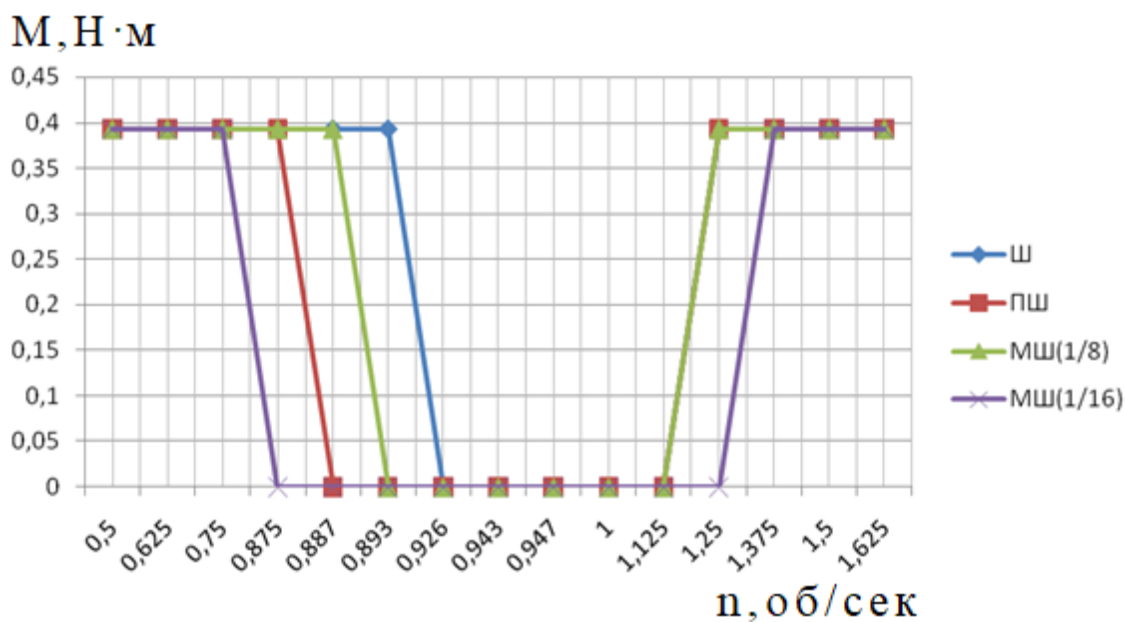


Рисунок 24 – Скорость моментная характеристика для нагрузки 10 кг.

Из рисунка 24 видно, что диапазон резонанса для шагового режима равен 0,199 об/сек, полушагового - 0,238 об/сек, микрошагового (1/8 шага) - 0,232 об/сек, микрошагового (1/16 шага) - 0,375 об/сек. Таким образом, самый узкий диапазон резонанса при нагрузке 10 кг наблюдается у шагового режима.

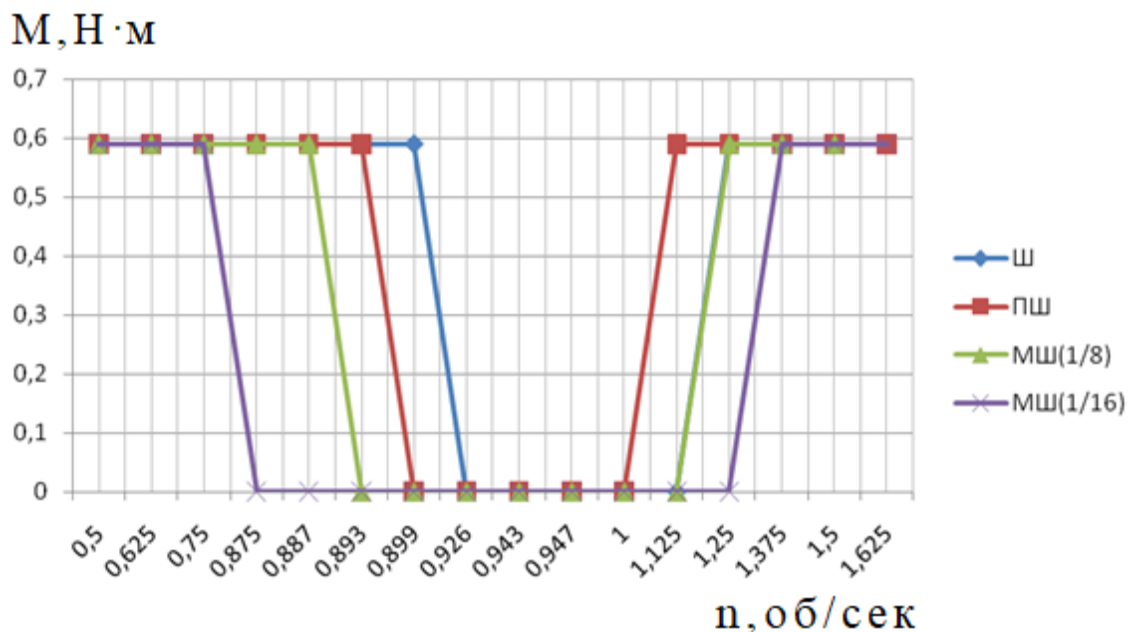


Рисунок 25 – Скорость моментная характеристика для нагрузки 15 кг.

Из рисунка 25 видно, что диапазон резонанса для шагового режима равен 0,199 об/сек, полушагового - 0,101 об/сек, микрошагового (1/8 шага) -

0,232 об/сек, микрошагового (1/16 шага) - 0,375 об/сек. Таким образом, самый узкий диапазон при нагрузке 15 кг наблюдается у полушагового режима.

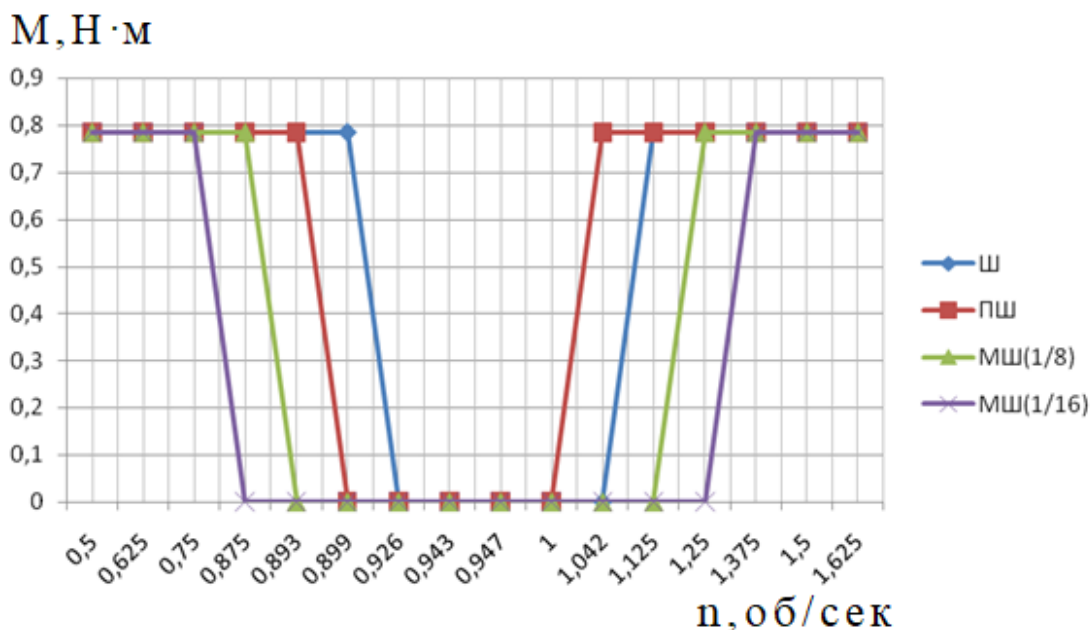


Рисунок 26 – Скорость моментная характеристика для нагрузки 20 кг.

Из рисунка 26 видно, что диапазон резонанса для шагового режима равен 0,116 об/сек, полушагового - 0,101 об/сек, микрошагового (1/8 шага) - 0,232 об/сек, микрошагового (1/16 шага) - 0,375 об/сек. Таким образом, самый узкий диапазон при нагрузке 20 кг наблюдается у полушагового режима.

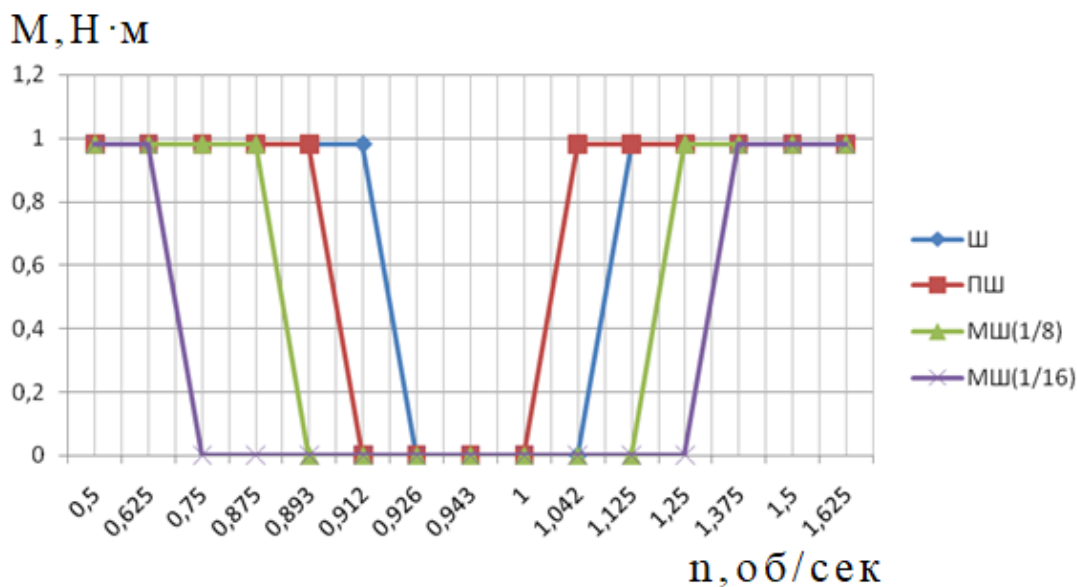


Рисунок 27 – Скорость моментная характеристика для нагрузки 25 кг.

Из рисунка 27 видно, что диапазон резонанса для шагового режима равен 0,116 об/сек, полушагового - 0,088 об/сек, микрошагового (1/8 шага) -

0,232 об/сек, микрошагового (1/16 шага) - 0,375 об/сек. Таким образом, самый узкий диапазон при нагрузке 25 кг наблюдается у полушагового режима.

Во всех графиках прослеживается одна закономерность: границы диапазона резонанса полушагового режима смещены влево по оси скорости относительно шагового режима.

#### 2.4.2.2 Определение величины шага.

Т.к. мы знаем, что:

-величина шага для данного шагового двигателя составляет  $0,9^\circ$  на шаг  
-шаг резьбы винтовой передачи составляет 1,2 мм.

То мы можем рассчитать номинальную величину шага двигателя (далее так будет называться линейное перемещение гайки вдоль вала) для разных режимов по формуле:

$$l = \frac{n}{360} * p \quad (5)$$

где  $l$  – величина шага, мм;

$n$  – величина шага, градусы;  $p$  – шаг резьбы.

Тогда, для шагового режима -  $l_1=3$  мкм, полушагового -  $l_2=1,5$  мкм, микрошагового (1/8 шага) -  $l_2=0,375$  мкм, микрошагового (1/16 шага) -  $l_2=0,1875$  мкм

Определим величину шага в зависимости от скорости вращения и количества шагов. Полученные данные занесем в таблицу 19.

Таблица 19 – Экспериментальные данные.

Ш	вперед	кол-во шагов, шт.	8000	8000	8000	8000	16000	16000	16000	16000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	33	33	33	33	32,5	33	33	33
		конечная отметка, мм	57,5	57,5	57,5	57,5	82	82	82,5	82,5
		величина шага, мкм	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
	назад	кол-во шагов, шт.	8000	8000	8000	8000	16000	16000	16000	16000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	57,5	57,5	57,5	57,5	82	82	82,5	82,5
		конечная отметка, мм	33	33	33	33	32,5	32,5	33	33
		величина шага, мкм	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
ШШ	вперед	кол-во шагов, шт.	8000	8000	8000	8000	16000	16000	16000	16000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	32,5	32,5	32,5	32,5	45	45	45	45
		конечная отметка, мм	45	45	45	45	69,5	69,5	69,5	69,5
		величина шага, мкм	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
	назад	кол-во шагов, шт.	8000	8000	8000	8000	16000	16000	16000	16000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	45	45	45	45	69,5	69,5	69,5	69,5
		конечная отметка, мм	32,5	32,5	32,5	32,5	45	45	45	45
		величина шага, мкм	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
МШ (1/8)	вперед	кол-во шагов, шт.	16000	16000	16000	16000	20000	20000	20000	20000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	45	45	45	45	45	45	45	45
		конечная отметка, мм	51	51	51	51	52,5	52,5	52,5	52,5

	назад	величина шага, мкм	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
		кол-во шагов, шт.	16000	16000	16000	16000	20000	20000	20000	20000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	51	51	51	51	52,5	52,5	52,5	52,5
		конечная отметка, мм	45	45	45	45	45	45	45	45
		величина шага, мкм	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
МШ (1/16)	вперед	кол-во шагов, шт.	16000	16000	16000	16000	20000	20000	20000	20000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	45	45	45	45	45	45	45	45
		конечная отметка, мм	48	48	48	48	49	49	49	49
		величина шага, мкм	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875
	назад	кол-во шагов, шт.	16000	16000	16000	16000	20000	20000	20000	20000
		Скорость, об/сек	0,5	0,75	1,25	1,75	0,5	0,75	1,25	1,75
		нулевая отметка, мм	48	48	48	48	49	49	49	49
		конечная отметка, мм	45	45	45	45	45	45	45	45
		величина шага, мкм	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875

Из таблицы 19 видно, что в пределах одного режима управления нет разницы между движением вала по часовой (вперед) и против часовой (назад) и величина шага не зависит от количества шагов, что свидетельствует о высокой степени повторяемости величины шага в любой момент времени.

Также из эксперимента видно, что величина шага микрошаговых режимов полностью совпадает с расчетными. Тогда на основе экспериментальных данных построим зависимости величины шага от скорости вращения для шагового и полушагового режимов в сравнении с расчетными величинами шагов (рисунок 28, 29)

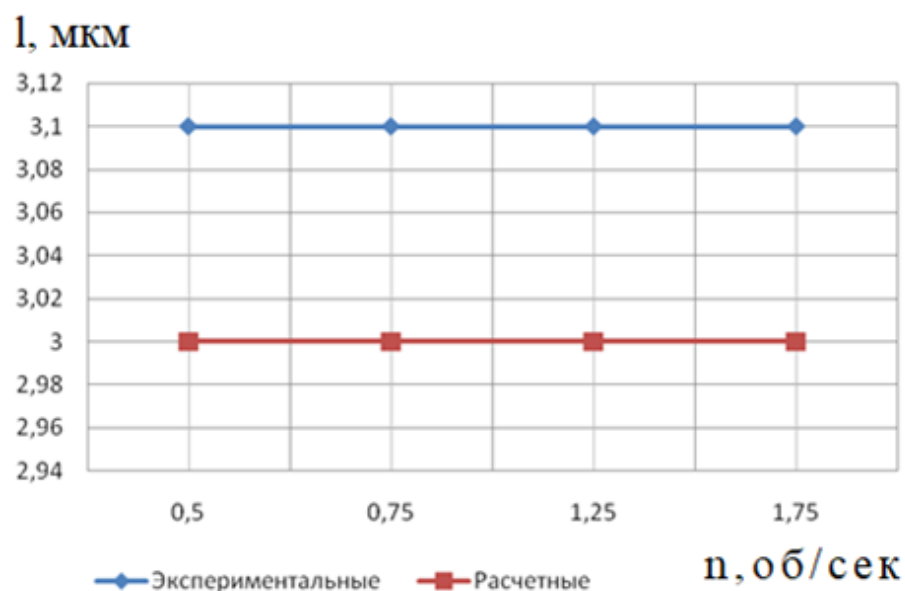


Рисунок 28 – Зависимость величины шага от скорости вращения для шагового режима.

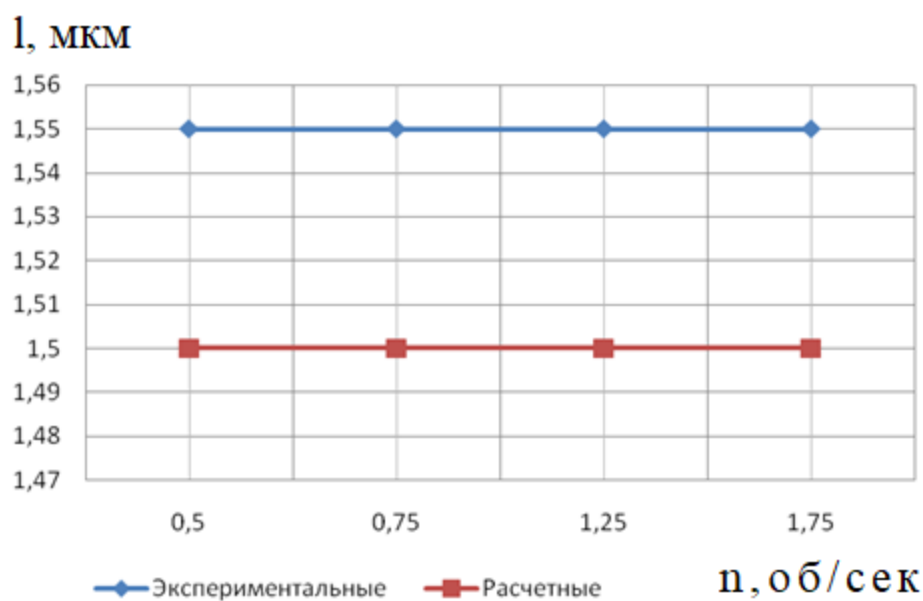


Рисунок 29 – Зависимость величины шага от скорости вращения для полушагового режима.

Отклонение величины шага от расчетной обусловлена неидеальностью подвижных частей шагового двигателя, и составляет 3,3%, что лежит в пределах погрешности для данного типа двигателей.



### **3. Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является достижение максимальной экономической эффективности в использовании задействованных ресурсов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести учет всех технико-экономических факторов на стадиях проектирования

- оценить эффективность разработок

- проанализировать возможные способы исполнения продуктов

- рассчитать эффективность производства

В научно-исследовательской работе изучаются способы управления шаговыми двигателями с задействованием микроконтроллеров. Данное устройство предназначено для управления шаговыми двигателями в нескольких режимах: шаг, полушаг, микрошаг (1/8), микрошаг (1/16).

#### **3.1 Планирование научно-исследовательской работы**

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Таблица 20 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	Содержание работ	Должность и загрузка исполнителя
Разработка тех. задания	Постановка задач, получение исходных данных	Научный руководитель - 100%
	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель - 100%, инженер - 10%
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов	Инженер - 90%, научный руководитель - 30%
Календарный план	Разработка календарного плана	Научный руководитель - 100%
Теоретические и экспериментальные исследования	Выбор структурной схемы устройства	Инженер - 90%, научный руководитель - 30%
	Выбор принципиальной схемы устройства	Инженер - 100%, научный руководитель - 20%
	Расчет принципиальной схемы устройства	Инженер - 100%
	Разработка макета устройства	Инженер - 100%
	Написание программ	Инженер - 100%
	Проведение экспериментальных исследований	Научный руководитель - 30%, Инженер - 100%
Обобщение и оценка результатов	Оформление расчетно-пояснительной записки	Инженер - 100%
	Оформление материала	Инженер - 100%
	Подведение итогов	Научный руководитель - 90% Инженер - 30%

Таким образом, определена занятость персонала. Определены необходимые этапы работ, перечень работ и распределение между исполнителями.

### 3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работы оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества сложно учитываемых факторов.

Для определения среднего значения трудоемкости используем формулу:

В данной работе трудоемкость рассчитывается исходя из работ, которые

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (3.1)$$

выполняют два человека: инженер и научный руководитель. Исходя из полученного значения трудоемкости, рассчитывается продолжительность работ на этапах проектирования:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i} \quad (3.2)$$

Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (3.3)$$

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (3.4)$$

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 52 - 15} = 1.22 \quad (3.5)$$

Полученные данные, которые были рассчитаны вышеуказанными формулами, заносятся в таблицу.


На основе таблицы 21 можно построить календарный план-график выполнения работ (таблица 22). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам.


Таблица 21 – Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Исполнитель	Трудоёмкость работ (чел-дни)			Длительность работ (дн.)			
		$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{\text{ож}i}$	$T_{pi}$		$T_{ki}$	
					НР	ИИ	НР	ИИ
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	7	4	4	-	4,88	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	3	7	4,6	2,3	2,3	2,8	2,8
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	17	12	6	6	7,32	7,32
Разработка календарного плана	НР, И	1	3	1,8	0,9	0,9	1,09	1,09
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	2	5	3,2	1,6	1,6	1,95	1,95
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	5	10	7	3,5	3,5	4,27	4,27
Расчет принципиальной схемы устройства	И	3	5	3,8	-	3,8	-	4,36
Разработка макета устройства	И	5	12	7,8	-	7,8	-	9,52
Написание программ	И	7	20	12,2	-	12,2	-	14,88
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	2	5	3,2	1,6	1,6	1,95	1,95
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1	2	1,4	-	1,4	-	1,70
Оформление материала	И	5	15	9	-	9	-	10,98
Подведение итогов	НР, И	1	4	2,2	1,1	1,1	1,34	1,34

Таблица 22 – Календарный план-график проведения НИР

Название работы	Исполнитель	$T_{ki}$	Продолжительность выполнения работ																							
			февраль			март			апрель			май			июнь			июль								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	4,88																								
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2,8																								
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7,32																								
Разработка календарного плана	НР, И	1,09																								
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	1,95																								
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	4,27																								
Расчет принципиальной схемы устройства	И	4,36																								
Разработка макета устройства	И	9,52																								
Написание программ	И	14,88																								
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	1,95																								
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1,70																								
Оформление материала	И	10,98																								
Подведение итогов	НР, И	1,34																								

 инженер

 научный руководитель

Проведя оценку трудоемкости, получена возможность выявить необходимое время на выполнение перечня работ. Определена продолжительность выполнения работ.

### 3.3 Расчет материальных затрат на создание прототипа

В состав материальных затрат дипломного проекта входят такие элементы, как:

- сырье и материалы
- покупные материалы (микросхемы)
- покупные комплектующие (радиоэлементы)

Расчет материальных затрат (таблица 23) осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^q C_i \cdot N_{расх\ i} \quad (3.6)$$

Таблица 23 – Материальные затраты на создание прототипа.

Наименование	Единица Измерения	Кол- во	Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб	
			Пост. 1	Пост.2	Пост. 1	Пост.2
Микроконтроллер	шт.	1	330	560	412,5	700
Печатная плата	шт.	1	100	120	125	150
Микросхема драйвера	шт.	1	250	440	312,5	550
Микросхема стабилизатора напряжения	шт.	3	130	150	487,5	562,5
Светодиоды	шт.	19	5	23	118,75	546,25
Резисторы	шт.	64	3	3	240	240
Конденсаторы	шт.	76	4	8,2	380	779
Разъем	шт.	13	16	20	260	325
Блок питания	шт.	1	540	760	675	950
Бумага для принтера	упаков.	1	150	120	187,5	150
Припой	метр	1	120	120	150	150
Шаговый двигатель	шт.	1	650	750	812,5	937,5
Итого			2298	3074,2	4161,25	6040,25

Цены на электронные элементы у обоих поставщиков не имеют большого разброса, в отличие от цены драйвера и микроконтроллера, следовательно, целесообразней заказывать у первого поставщика.

### 3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Для реализации дипломного проекта необходимо оборудование, которое позволяет протестировать, отладить готовую разработку. На кафедре есть все необходимое оборудование, поэтому нет необходимости рассчитывать затраты на покупку оборудования. Надо лишь рассчитать затраты на электричество.

Используемое оборудование: осциллограф; вольтметр; источник питания; персональный компьютер; паяльник; настольная лампа.

Для расчета затрат на электроэнергию (таблица 24) используется следующая формула:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot \mathcal{C}_э \cdot t_{об} \quad (3.7)$$

Время работы оборудования вычисляется исходя из календарного плана.

Таблица 24 – Затраты электроэнергии.

Оборудование	Время работы $t_{об}$ (ч.)	Потребляемая мощность $P_{об}$ (кВт.)	тарифная цена $\mathcal{C}_э$ (кВт/ч);	Затраты $\mathcal{E}_{об}$ (руб.)
Осциллограф	10	0,05	3,1	1,55
Вольтметр	10	0,01		0,31
Источник питания	20	0,015		0,93
Персональный компьютер	200	0,3		186
Настольная лампа	300	0,1		93
Итого:	530	0,475		281,79

Итоговые затраты на электроэнергию составляют:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 281,79 \text{ руб.}$$

Данная сумма является небольшой относительно других расходов и особой роли не играет.

### 3.5 Расчет затрат на заработную плату

Этот этап включает в себя основную и дополнительную заработную плату научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ, уровня образования сотрудника и географического положения предприятия.

$$\mathcal{Z}_{\text{зн}} = \mathcal{Z}_{\text{осн}} + \mathcal{Z}_{\text{доп}} \quad (3.8)$$

Для начала необходимо рассчитать основную заработную плату:

$$\mathcal{Z}_{\text{осн}} = \mathcal{Z}_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (3.9)$$

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{Z}_{\text{дн}} = \frac{\mathcal{Z}_m \cdot M}{F_d} \quad (3.10)$$

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени

Таблица 25 – Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер (студент)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	64	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	52	44
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	203

Месячный должностной оклад работника рассчитывается исходя из следующей формулы:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (3.11)$$

Дополнительная заработная плата является доплатой, учитывающей условия труда, отклоняющейся от нормальной, а также выплаты, которые связаны с обеспечением компенсаций, гарантий. Величина дополнительной заработной платы определяется Трудовым кодексом РФ.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (3.12)$$

Полученные данные занесем в таблицу 26.

Таблица 26 – Расчет оплаты труда.

	Научный руководитель	Инженер (студент)
Заработная плата по тарифной ставке ( $Z_{tc}$ ), тыс. руб.	26,3	0,6
Премияльный коэффициент ( $k_{пр}$ )	0,3	
Коэффициент доплат и надбавок ( $k_d$ )	0,2	
Районный коэффициент ( $k_p$ )	1,3	
Месячная заработная плата ( $Z_m$ ), тыс. руб.	51,285	1,17
Среднедневная заработная плата ( $Z_{дн}$ ), тыс. руб.	2,142	0,065
Продолжительность выполнения данного проекта ( $T_p$ ), раб. дни	26	62



Основная заработная плата, начисленная за выполнение данного проекта ( $Z_{осн}$ ), тыс. руб.	55,692	4,03
Коэффициент дополнительной заработной платы ( $k_{доп}$ )	0,13	
Дополнительная заработная плата ( $Z_{доп}$ ), тыс. руб.	7,24	0,5239
Зарплата ( $Z_{зп}$ ), тыс. руб.	62,932	4,5539
Итого, тыс. руб.	67,4859	

Расчитаны заработные платы с учетом всех особенностей согласно формулам. Зарплата инженера намного меньше, чем у руководителя.

### 3.6 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

В данном разделе будут рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды, согласно законодательству РФ, являются обязательными, а именно отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (3.13)$$

Отчисления во внебюджетные фонды представим в таблице 27:

Таблица 27 – Отчисления во внебюджетные фонды.

	Научный руководитель	Инженер (студент)
Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ), тыс. руб.	55,692	4,03
Дополнительная заработная плата ( $Z_{доп}$ ), тыс. руб.	7,24	0,5239

Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды ( $k_{внеб}$ )	0,302	
Отчисления во внебюджетные фонды, тыс. руб.	19,005	1,375
Итого, тыс. руб.	20,380	

Рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды: учтены отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

### 3.7 Формирование бюджета затрат проекта

Суммируя все статьи расходов, получим общую себестоимость проекта, полученные результаты занесем в таблицу 28.

Таблица 28 – Общие расходы.

Статья расходов	Стоимость (Ист. 1) руб.	Стоимость (Ист. 2) руб.
Материальные затраты	4161,25	6040,25
Затраты на электроэнергию	281,79	
Затраты заработную плату	67485,9	
Затраты на отчисление во внебюджетные фонды	20380	
Итого	92308,94	94187,94

Вывод: величина общих затрат отличаются незначительно, и как видно из таблицы наибольшее количество средств будут направлены на заработную плату исполнителям проекта.

### 3.8 Оценка эффективности проекта

Немаловажным критерием расчета является оценка эффективности дипломного проекта, его оценка связана с определением двух средневзвешенных величин:

- показатель финансовой эффективности
- показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (3.14)$$

Таблица 29 – Эффективность исполнения проекта.

Параметр	$\Phi_{pi}$ руб.	$\Phi_{\text{max}}$ руб.	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Исполнитель 1	92308,94	397386	0,232
Исполнитель 2	94187,94		0,237

Из таблицы 29 видно, что интегральный показатель не сильно отличается. Он имеет величину меньшею единицы, но больше нуля, что отражает численное удешевление стоимости разработки.

Теперь производится расчет ресурсоэффективности. Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot b_i \quad (3.15)$$

Расчет ресурсоэффективности производится по каждому критерию, по которому характеризуется готовый рабочий прототип (удобство

эксплуатации, точность позиционирования и т.д.) и заносится в следующую таблицу.

Таблица 30 – Ресурсоэффективность.

Критерий	Весовой коэффициент	Балльная оценка	
		Исп.1	Исп.2
Удобство в эксплуатации	0,1	7	5
Точность позиционирования	0,25	7	9
Помехоустойчивость	0,1	8	9
Энергосбережение	0,15	2	5
Надежность	0,25	6	8
Материалоемкость	0,05	2	5
Цена	0,1	2	4
Итого	1	34	45

Анализируя таблицу 30, рассчитывается интегральная оценка эффективности для двух исполнений.

$I_{p1} = 5,35$  показатель ресурсоэффективности для первого исполнения;

$I_{p2} = 7,05$  показатель ресурсоэффективности для второго исполнения.

Получив значения коэффициентов ресурсоэффективности и финансовой эффективности, рассчитывается показатель эффективности разработки:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{pi}}{I_{\text{исп.}i}^{\text{финр}}} \quad (3.16)$$

$I_{\text{исп.}1} = 23,67$  интегральный показатель эффективности вариантов

$I_{\text{исп.}2} = 31,06$  интегральный показатель эффективности вариантов.

Для качественного анализа используется сравнительная эффективность проекта (таблица 31).

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} \quad (3.17)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = 0,762$$

Таблица 31 – Сравнительная эффективность разработки.

Показатели	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный показатель финансовой эффективности	0,232	0,237
Интегральный показатель ресурсоэффективности	5,35	7,05
Интегральный показатель эффективности вариантов	23,67	31,06
Сравнительная эффективность	0,762	

Сравнительная эффективность  $\mathcal{E}_{\text{ср.}}$  меньше единицы, это говорит о том, что второй вариант исполнения разработки более эффективен с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности. Поэтому для создания прототипа выбирается именно он.

### **Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

Определены необходимые этапы работ, перечень работ и распределение между исполнителями

Определена продолжительность выполнения работ

Определены затраты на создание прототипа

Определены затраты на электроэнергию

Определены затраты на заработную плату

Определены отчисления во внебюджетные фонды

Сформирован бюджет проекта

Проведена оценка эффективности проекта, выбран оптимальный вариант исполнения

## **4. Социальная ответственность**

### **Введение**

В выпускной квалификационной работе исследуются способы управления шаговыми двигателями с использованием микроконтроллеров. Данный прибор предназначен для управления шаговыми двигателями в 4 режимах: шаг, полшаг, микрошаг (1/8), микрошаг (1/16).

### **4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **4.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Контроль условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Данный контроль заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в первую очередь несет руководитель. Согласно списку №1 производств, работ, профессий, должностей и показателей на подземных работах, на работах с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда, выполнение работ, связанных с окислами свинца, являются вредными, следовательно, проведение радиомонтажных работ относятся к вредному производству. Тогда, согласно ст. 267 ТК РФ, к связанной с пайкой работе не допускаются лица, не достигшие совершеннолетия. Не смотря на вредность, согласно ст. 253 ТК РФ, нет ограничения применения труда женщин на данный вид работ. К

проведению радиомонтажных работ допускаются лица, прошедшие специально обучение и не имеющих медицинских противопоказаний (так же, согласно ст. 213 ТК РФ лица, поступающие на работу с вредными условиями труда, обязаны проходить предварительный (в дальнейшем периодические) медицинские осмотры).

#### **4. 1. 2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Организация рабочего места заключается в обеспечении условий, исключающих утомляемость и профессиональные заболевания и выборе необходимой технической базы для обеспечения этих условий.

Помещение, в котором расположено рабочее место должно иметь большие и чистые окна. Большие окна дают необходимую освещенность на рабочем месте с естественным дневным светом. Следует предусмотреть на окнах светлые шторы, например из белого или голубого шелка, которые позволяют создать белый рассеянный свет в яркий солнечный день и предотвратить попадание прямых солнечных лучей на рабочее место и в лицо сотрудника, которые раздражающе действуют на последнего.

Для обеспечения благоприятных условий микроклимата помещение должно быть оборудовано системой вентиляции.

При выполнении экспериментальной части, установка была размещена на высоте 1,7м на столе, управление происходило с компьютера, путем связи его с платой через USB-порт.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 высота рабочего стола должно составлять 655 мм, высота сиденья 430 мм, а расположение органов управления должно быть в соответствии п. 3 данного стандарта. При этом рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и методических указаний безопасности труда.

Согласно ГОСТ 12.2.033-78 при выполнении работ стоя, рабочее место должно обеспечивать свободный доступ ко всем необходимым элементам

экспериментальной установки, при этом, высота расположения рабочего места не должна быть ниже 1060 мм.

Планировка рабочего места должна предусматривать:

возможность выполнения рациональных движений, необходимых для осуществления трудового процесса; наиболее экономное использование производственных площадей, рациональное расположение приборов и оснастки в соответствии с последовательностью технологического процесса, возможность экономных движений оператора (станочника) для осуществления трудового процесса и его безопасность.



## 4. 2 Производственная безопасность

Для упрощения рассмотрения опасных и вредных факторов в ходе выполняемых работ составим таблицу 32:

Таблица 32 – Опасные и вредные факторы при исследовании способов управления шаговыми двигателями.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Исследовательские работы: Подготовка печатных плат; Пайка лабораторного макета; Исследование нагрузочной способности шагового двигателя, определение резонанса в зависимости от режимов управления.	недостаточная освещенность рабочей зоны; вредные вещества в воздухе рабочей зоны; отклонение параметров микроклимата; повышенный уровень электромагнитных излучений.	повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; движущиеся части машин и механизмов; термическая опасность	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. [5] ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. [2] ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [1] ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [4] ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [3]

## **4. 2. 1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов при исследовании способов управления**

### **4. 2. 1. 1 Отклонение параметров микроклимата**

Состояние здоровья человека и его работоспособности в большей степени зависят от микроклимата на рабочем месте. Рабочие, не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Под микроклиматом понимают климат внутренней среды помещений, который определяется совместно действующими на организм человека относительной влажностью, температурой и интенсивности теплового излучения, а также температурой окружающих поверхностей согласно ГОСТ 12.1.005-88[1].

В соответствии с [7], в зависимости от периода года и категории выполняемых работ по уровням энергозатрат, устанавливаются оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата, представленные в таблице 33, 34.

Таблица 33 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, ккал/ч	Температура воздуха, С°	Температура поверхностей, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Iб (140-174)	22-24	21-25		

Таблица 34 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, ккал/ч	Температура воздуха, С°		Температура поверхностей, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			ниже оптимальных величин, не более	Выше оптимальных величин, не более**
Холодный	Іб (140-174)	19,0-20,9	21,3-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	Іб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3

Рекомендации по созданию оптимальных условий:

- отопление в холодный период года
- система вентиляции в теплый период года

#### 4. 2. 1. 2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Свет – это один из важнейших факторов внешней среды, который оказывает разносторонне биологическое действие на организм и играющий важную роль в сохранении здоровья и высокой работоспособности. Повышенная производительность труда, высокий уровень работоспособности и положительное психологическое действие на человека в высокой степени зависит от правильно спроектированного освещения. Недостаточная, избыточная или нерациональная освещенность может стать причиной травм, снижения производительности труда, а также отразиться на качестве выполняемых работ. Основным нормативным документом в области освещенности в производственном процессе является СНиП 23-05-95 (СП 52.13330.2011) [6].

В лаборатории используются два вида освещения: естественное и искусственное.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в

поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Согласно [6], в процессе выполнения экспериментальной части выпускной квалификационной работы бакалавра, производились зрительные работы, относящиеся к 3 разряду – высокая точность, наименьший размер объекта различения 0,3 – 0,5 мм, подразряд работы – в, контраст объекта различения с фоном – большой, характеристика фона – темный, значение комбинированного освещения 600 лк. Значение показателя ослепленности (Р) не более 20, а коэффициента пульсации (Кп) не более 15 %.

Коэффициент естественного освещения (КЕО) при верхнем или комбинированном освещении равен 3%, при боковом – 1,2%.

#### **4. 2. 1. 3 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Основными источниками электромагнитных излучений являются персональный компьютер.

В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с проявлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, допустимым уровнем напряженности электростатических является 20 кВ/м в течение часа, а предельно допустимым уровнем – 60 кВ/м в течение часа.

Если измерение параметров электромагнитного излучения в условиях эксперимента не представляется возможным, то оценка может быть проведена по паспорту оборудования.

Таким образом, на расстоянии полуметра монитор излучает электромагнитное поле величиной 2 мГс, а такая доза начинает плохо воздействовать на организм.

На расстоянии 10 см от экрана индукция равна от 8 до 10 мТл, что не превышает норму.

Расстоянием, безопасным для человека, работающего за компьютером, является 80 см и более от экрана монитора.

#### **4. 2. 1. 4 Вредные вещества в воздухе рабочей зоны**

Исследуемый прибор состоит из следующих элементов: микроконтроллер, различные базовые компоненты радиоэлектроники. Электрическое соединение компонентов на печатной плате проводится при помощи пайки. Пайка осуществляется преимущественно оловянно-свинцовым припоем, с использованием канифоли (флюсов). При пайке, напылении, выплавке припоев и флюсов в окружающую среду поступают аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы окислы металлов (марганца, хрома, никеля, железа, меди, титана, алюминия), а также токсичные газы (окись углерода, фтористые, хлористые, бромистые соединения, окислы азота).

В таблице 35 приведены вещества, которые выделяются при пайке, а также класс опасности и предельно-допустимые концентрации (ПДК) для припоев (ГН 2.2.5.686-98).

Таблица 35 – Класс опасности и ПДК припоев.

Вещество (состав)	Класс опасности	ПДК в воздухе рабочей зоны мг/м <sup>3</sup>
Припой ПОС 61	1	0,05(По свинцу)

Класс опасности по степени воздействия на организм: 1 -чрезвычайно опасные.

Лаборатория должна быть оснащена вытяжной вентиляцией, а исследователь должен использовать индивидуальные средства защиты.

#### **4. 2. 2. 1 Поражение электрическим током**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Основным источником электрического тока является источник питания силовой части драйвера управления шаговым двигателем.

Причинами воздействия тока на человека являются: случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции; короткое замыкание и др.

Устанавливаются предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов ГОСТ 12.1.038 – 82 [4]. Мероприятия по защите от поражения электрическим током – защитное заземление. Принцип действия защитного заземления: человек должен стоять внутри контура заземления и при попадании фазного напряжения на заземленный корпус прибора, под фазным напряжением окажется как корпус прибора, так и участок земли, на которой стоит человек. При прикосновении человека с прибором между его рукой и ногами не будет возникать разницы потенциалов, и ток через человека не потечет. Данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности.

Мероприятия, проводимые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, проходят инструктаж на рабочем месте, допуск к самостоятельной работе разрешается лишь после проверки знаний техники безопасности;

б) осуществляется постоянный контроль качества и исправности защитных приспособлений и заземлений;

в) эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимой технической документации; обеспечивается недоступность к

токоведущим частям, находящимся под напряжением; корпуса приборов и электроустановок заземляются;

Все перечисленные мероприятия выполнены, лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности поражения электрическим током.

На рабочем месте все приборы имеют защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом (ГОСТ 12.1.030-81). Все сотрудники должны пройти инструктаж по электробезопасности.

#### **4. 2. 2. 2. Движущиеся части машин и механизмов**

Процесс подготовки печатной платы к монтажу включает в себя рихтовку, формовку, обрезку, лужение, сверление отверстий, а также заготовка самой печатной платы. Травмы могут быть вызваны движущимися, вращающимися частями, режущими острыми кромками, колющими острыми выступами, заусеницами, недостаточной устойчивостью изделия. Поэтому, во избежание несчастного случая необходимо быть предельно аккуратным. Перед работой с установкой необходимо пройти проверку знаний и инструктаж по технике безопасности. Так же, опасность представляет сварная механическая конструкция, предназначенная для снятия параметров шагового двигателя.

#### **4. 2. 2. 3 Термическая опасность**

При пайке компонентов можно получить серьезный ожог. Чтобы исключить такой случай, необходимо соблюдать технику безопасности при работе с паяльником. Коротко сформулированы следующие правила:

1. проверить исправность паяльника;
2. держать паяльник только за ручку, избегая прикосновения к жалу;
3. при пайке не наклоняться над паяльником ближе 20 см. во избежание попадания брызг олова и горячих паров газа;
4. не работать вблизи легковоспламеняющихся предметов;
5. в перерывах между работой ставить паяльник на подставку;

6. в перерывах между работами выключать паяльник;
7. при выключении не тянуть за провод.

#### **4.3 Экологическая безопасность. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Охрана окружающей среды — это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения — это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. В научно-исследовательской работе проектируется прибор, состоящий из множества микросхем, электрическое соединение которых производится при помощи пайки. Пайка осуществляется оловянно-свинцовым припоем. Свинец является одним из токсичных металлов и включен в списки приоритетных загрязнителей окружающей среды. Поэтому в последние годы человечество отказывается от свинцовых припоев и покрытий, что ведет к изменению технологии пайки и инфраструктуре сборочных средств. Происходит корректировка режимов пайки и, как следствие, доработка технологического оборудования. На предприятиях, задерживающих переход к безсвинцовым припоям в связи со спецификой производства, используются специальные угольные фильтры для частичной, или полной, нейтрализации вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Одним из опасных источников загрязнения окружающей среды является производство печатных плат (ПП), представляющий собой комплекс сложных химико-технологических процессов.

Химические и гальванические процессы, нагружающие окружающую среду, относятся:

1. окислирование внутренних слоев многослойных печатных плат (МГПП);
2. очистка стенок отверстий плат;



3. химическая металлизация отверстий или нанесение проводящего покрытия;
4. гальваническое меднение;
5. гальваническое покрытие сплавом олово-свинец или нанесение альтернативного защитного покрытия;
6. травление меди с пробельных мест;
7. химические и гальванические покрытия никелем и золотом.

Для выполнения всех вышеперечисленных процессов используется широкая номенклатура опасных растворов и электролитов.

Наивысшей степенью опасности обладают растворы для металлизации отверстий ПП, содержащие ионы меди, формальдегиды и комплексообразователи. Также высокой опасностью обладают растворы для гальванических покрытий никелем, медью, золотом.

Таким образом, производство печатных плат является потенциально опасным источником загрязнения окружающей среды в связи с использованием довольно широкого ассортимента неорганических и органических соединений и с возможным содержанием в сточных водах токсичных тяжелых металлов.

В последние годы очистке сточных вод в многочисленных гальванических производствах и в процессах изготовления печатных плат уделяется довольно серьезное внимание. Выпущено значительное число публикаций по обработке сточных вод и уменьшению нагрузки на окружающую среду. Очистка сточных вод от процесса изготовления печатных плат описана, например, в работах.

Имеется большой выбор химических, электрохимических, сорбционных, мембранных и других методов очистки промывных и сточных вод. В литературе представлены также разнообразные методы регенераций отработанных растворов и электролитов. При этом, однако, отмечается, что, уменьшая вредное воздействие сточных вод гальванического производства, системы очистных стоков, в свою очередь, приводят к появлению другого

фактора, оказывающего вредное воздействие на окружающую среду, - отходов очистных сооружений. Кроме того, несмотря на значительный прогресс в области очистки сточных вод в гальванических производствах и производствах печатных плат, ни один из применяемых сегодня методов очистки не обеспечивает в полной мере современных требований: очистки до норм ПДК, особенно по ионам тяжелых металлов, исключение из производства токсичных для окружающей среды химикатов. Часто достижение экологических норм затрудняется высокой финансовой стоимостью очистных сооружений. Процессы регенерации требуют финансовых вложений, особенно на стадии установки и запуска их в работу. Сбросы концентрированных отработанных растворов, а также аварийные сбросы неудовлетворительно работающих растворов часто связаны с несовершенством методологии аналитического контроля, направленного, прежде всего, на контроль качества процесса без учета требований экологического обеспечения производства. Совершенствование каждой стадии процесса иногда не только не решает экологические проблемы, но и создает дополнительные на последующих стадиях процесса.

Электронные компоненты отправляют на аффинажный завод. При этом оформляется паспорт по извлеченным драгоценным металлам (ДРМ). Все драгоценные металлы, полученные в процессе аффинажа, по закону, должны быть сданы государству. В противном случае утилизация может быть расценена как незаконный оборот драгметаллов. Поэтому при передаче компьютеров очень важно правильно оформить всю сопутствующую документацию. Это позволит избежать проблем с контролирующими органами.

#### **4. 4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

При создании прибора может возникнуть чрезвычайная ситуация техногенного характера - пожар.

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

1. использование только исправного оборудования;
2. проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
3. назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
4. издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности;
5. отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
6. курение в строго отведенном месте;

7. содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется порошковый огнетушитель ОП-3. Тушение электроустановок нужно производить на расстоянии не менее 1 метра (имеется в виду расстояние от сопла огнетушителя до токоведущих частей).

### **Выводы по главе «социальная ответственность»**

Изучены правовые и организационные вопросы обеспечения производственной, экологической безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Проведен анализ вредных факторов рабочего процесса, оценено влияние на самочувствие работника, найдены пути минимизации и устранения вредного влияния на здоровье человека.

Изучено воздействие на экологию, найдены пути минимизации и устранения вредного влияния на экологию.

Продумана система реагирования в чрезвычайных ситуациях.

Изучены правовые вопросы: Трудовой кодекс Российской Федерации.

Продуманы организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

## **Заключение**

Были исследованы системы управления шаговым двигателем. В ходе данной работы было определено проявление резонансных явлений на систему и величины шагов при использовании различных режимов управления.

В процессе работы выяснилось, что при изменении режима управления меняется и частота резонанса – она сдвигается вправо по оси времени, а для микрошаговых режимов совпадает. Тогда для создания оптимальной разгонной характеристики можно обойти резонанс путем изменения режима управления.

Диапазон резонанса также зависит от режима управления, но добавляется еще зависимость от нагрузки на вал. Наименьшее проявление резонансных явлений наблюдалось в микрошаговых режимах, также исключалась зависимость от нагрузки, делая его постоянным на всем интервале измерений. Но при больших нагрузках диапазон резонанса данных режимов являлся наибольшим, что исключает данные режимы работы для использования в качестве разгонных.

В итоге, исходя из вышеизложенного, для систем точного позиционирования, на малых оборотах рационально использовать микрошаговые режимы управления, что обеспечивает отличную точность и наименьшее влияние резонанса на этих оборотах. В случае, когда необходимо быстро переместить объект позиционирования в какую-либо точку, лучше всего использовать шаговый и полушаговый режимы, т.к. они обладают наибольшей скоростью перемещения, но необходимо учитывать резонанс в процессе разгона.

Был разработан макет учебной лабораторной установки для исследования влияния режимов управления на резонанс и характеристики шагового двигателя.

## Список литературы

- 1) McClelland, W. (1927). The Application of Electricity in Warships. ЛЕЕ 65, 829-71. (Related part: pp. 850-2.).
- 2) Т. Кенио, Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления, Москва: — Энергоатомиздат, 1987 г. — 189 с.
- 3) Шаговые двигатели: учеб. пособие, А. В. Емельников, А. Н. Шилин, ВолГТУ. — Волгоград, 2005г. — 48с.
- 4) Электропривод. Разработка и производство шаговых, вентильных, коллекторных электроприводов. Продажа электродвигателей, мотор-редукторов. [электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://electroprivod.ru/bipolar.htm> (дата обращения: 02.03.20).
- 5) Электронный магазин Darxton. [электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://darxton.ru/wiki-article/vybor-shagovogo-dvigatelya/> (дата обращения: 05.03.20).
- 6) Электронная энциклопедия компании Purelogic RnD. [электронный ресурс]: — Режим доступа: [http://wiki.purelogic.ru/index.php?title=Драйвер\\_шагового\\_двигателя](http://wiki.purelogic.ru/index.php?title=Драйвер_шагового_двигателя) (дата обращения: 10.03.20)
- 7) Электронная библиотека datasheet - L297. [электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22436/STMICROELECTRONICS/L297.html> (дата обращения: 17.03.20)
- 8) Электронная библиотека datasheet - ТВ6560. [электронный ресурс]: — Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/548481/TOSHIBA/TB6560ANQ.html> (дата обращения: 25.03.20)
- 9) Выполнение электрических схем по ЕСКД: спр-к / Усатенко С.Т. и др. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 стр.
- 10) Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М. Г. Карпунина и Б. И. Майданчика. –М.: Высшая школа, 1980. – 175 с.

11) Скворцов Ю. В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. –М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.