



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки – 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»  
ООП – Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Разработка мехатронного модуля сбора дикоросов

УДК 007.52:631.5

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E91	Комаров Борис Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин А.В	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева И.Л.			

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман А. В.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Киселев А. В.	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде.
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах).
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов.
<b>УК(У)-9</b>	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.
<b>ОПК(У)-2</b>	Владеет физико-математическим аппаратом, необходимым для описания мехатронных и робототехнических систем.
<b>ОПК(У)- 3</b>	Владеет современными информационными технологиями, готовностью применять современные средства автоматизированного проектирования и машинной графики при проектировании систем и их отдельных модулей, а также для подготовки конструкторско-технологической документации, соблюдать основные требования информационной безопасности.
<b>ОПК(У)-4</b>	Готов собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности.
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов своей профессиональной деятельности.
<b>ОПК(У)-6</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
	безопасности.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники.
<b>ПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования.
<b>ПК(У)-3</b>	Способен разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их экспериментальное исследование с применением современных информационных технологий.
<b>ПК(У)-4</b>	Способен осуществлять анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области средств автоматизации и управления, проводить патентный поиск.
<b>ПК(У)-5</b>	Способен проводить эксперименты на действующих макетах, образцах мехатронных и робототехнических систем по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств.
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем.
<b>ПК(У)-7</b>	Готов участвовать в составлении аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок.
<b>ПК(У)-8</b>	Способен внедрять результаты исследований и разработок и организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности.
<b>ПК(У)-9</b>	Способен участвовать в качестве исполнителя в научно-исследовательских разработках новых робототехнических и мехатронных систем.
<b>ПК(У)-10</b>	Готов участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей.
<b>ПК(У)-11</b>	Способен производить расчёты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием.
<b>ПК(У)-12</b>	Способен разрабатывать конструкторскую и проектную документацию механических, электрических и электронных узлов мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями.
<b>ПК(У)-13</b>	Готов участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний.



	<p>3. Диапазон изменения нагрузок: от 0 до номинальной нагрузки</p> <p>4. Напряжение питания: 12 В</p>
<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>1) Обзор и анализ существующих решений регуляторов</p> <p>2) Обзор и анализ существующих наиболее распространённых методов измерения скорости вращения двигателя</p> <p>3) Расчёт, проектирование и моделирование схемы электропривода</p> <p>4) Подбор компонентов и разработка макета электропривода</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

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

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель ООД ШБИП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023
--	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин А.В	к.т.н.		03.02.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E91	Комаров Борис Александрович		03.02.2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (ООП) – 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»  
 Уровень образования – Бакалавриат  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Е91	Комаров Борис Александрович

Тема работы:

Разработка мехатронного модуля сбора дикоросов
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

30.05.2023

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
26.05.2023 г.	Основная часть ВКР	60
30.05.2023 г.	Раздел «Социальная ответственность»	20
29.05.2023 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин А.В	к.т.н.		03.02.2023

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Т.Е	к.т.н.		03.02.2023

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е91	Комаров Борис Александрович		03.02.2023

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 95 страниц, 45 рисунков, 20 таблиц, список используемых источников содержит 28 наименований.

Ключевые слова: электропривод, регулятор скорости вращения, стабилизация скорости вращения, двигатель постоянного тока.

Объектом исследования является электропривод с возможностью регулирования и стабилизации скорости вращения.

Цель работы – разработка электропривода с возможностью регулирования и стабилизации скорости вращения.

В процессе исследования проводился анализ регуляторов с функцией стабилизации оборотов двигателя постоянного тока, выполнен обзор наиболее распространённых методов измерения скорости. В результате анализа спроектирована схема электропривода с подробным описанием работы отдельных частей схемы. Проверена работа схемы в программе для проектирования электронных схем Multisim и получены необходимые графики, подтверждающие работу. Также был построен макет схемы и проверен на реальном двигателе. Для улучшения характеристик схемы был использован и настроен ПИД-регулятор.

В результате при помощи графиков переходных процессов доказана работоспособность электропривода, схема корректно выполняет функции регулирования и стабилизации скорости вращения.

Основные технические характеристики: диапазон регулирования скорости вращения от 50 до 100 % максимальной скорости, точность поддержания скорости вращения 90 % от заданной, диапазон изменения нагрузок от 0 до номинальной нагрузки, напряжение питания 12 В.

Область применения: электропривод планируется использовать как часть мехатронного модуля для сбора дикоросов, отвечающую за вращение сборочного узла.

## Содержание

Введение.....	10
Определения, обозначения и сокращения .....	12
1 Обобщённая схема стабилизации. Анализ существующих решений.....	13
2 Сравнение наиболее распространённых датчиков скорости.....	15
2.1 Датчик Холла.....	15
2.2 Тахогенератор.....	16
2.3 Энкодер .....	17
2.4 Индуктивный датчик .....	19
2.5 Тахометрическая мостовая схема.....	20
3 Разрабатываемая схема электропривода .....	22
4 Генератор пилообразного напряжения. ....	23
4.1 Описание работы схемы ГПН.....	23
4.2 Расчёт схемы ГПН.....	26
4.3 Моделирование работы схемы ГПН .....	31
5 ШИМ-регулятор скорости вращения.....	33
5.1 Описание работы схемы ШИМ-регулятора .....	33
5.2 Моделирование работы схемы ШИМ-регулятора.....	34
6 Стабилизация скорости вращения.....	37
6.1 Схема для определения напряжения обратной ЭДС.....	37
6.2 Расчёт схемы тахометрического моста.....	38
6.3 Расчёт схемы вычитателя напряжений.....	40
6.4 Моделирование работы схемы для определения напряжения обратной ЭДС .....	43
7 Проектирование ПИ-регулятора.....	45
8 Схема электропривода.....	47
9 Моделирование работы схемы электропривода .....	48
10 Экспериментальное исследование схемы.....	50
11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	59



11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	59
11.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....	62
11.3 Планирование научно-исследовательских работ .....	63
Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования.....	65
11.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	74
12 Социальная ответственность .....	80
12.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	80
12.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	80
12.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	81
12.2 Производственная безопасность .....	82
12.2.2 Повышенный уровень шума .....	84
12.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения .....	85
12.2.4 Перенапряжение анализатора, умственное перенапряжение, эмоциональные перегрузки.....	86
12.2.5 Поражение электрическим током .....	87
12.3 Экологическая безопасность.....	88
12.3.1 Воздействие на атмосферу.....	88
12.3.2 Воздействие на гидросферу .....	88
12.3.3 Воздействие на литосферу .....	89
12.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	89
12.5 Вывод по социальной ответственности.....	91
Заключение .....	92
Список использованных источников .....	93

## Введение

Заготовка дикоросов является масштабной и важной отраслью в России. Одно из направлений данной промышленности – заготовка дикорастущей ягоды.

Одна из распространённых и широко используемых ягод в этой отрасли – клюква. Первые сведения о создании искусственных промышленных плантаций клюквы относятся к 1833 году. С тех пор культивация клюквы развивается стремительными темпами, особенно в США, где клюквенная плантация в наши дни является типичным семейным бизнесом. Также выращиванием клюквы в промышленных масштабах занимаются такие страны, как Канада, Беларусь и Польша.

По официальным данным, природные запасы клюквы только в Томской области составляют 25 тысяч тонн [1]. При этом учитываются те ягодники, которые доступны местным жителям, то есть зоны в радиусе не более 50 километров от населённых пунктов. Эти зоны подвергаются ручному сбору ягоды.

В природе все виды клюквы растут в сырых местах: на переходных и верховых болотах, в сфагновых хвойных лесах, иногда — по заболоченным берегам озёр. Сбор данной ягоды в природных условиях является очень трудоёмким процессом и выполняется, в основном, вручную. Поэтому **целью** данного проекта является создание мехатронного модуля, который позволит собирать дикорастущую клюкву в естественных природных условиях механизированным способом.

Таким образом, создание мехатронного модуля актуально в связи со следующими факторами:

- большой потенциально–неиспользованный запас клюквы в России;
- нерациональный существующий метод сбора дикорастущей клюквы.

В настоящий момент на отделении автоматизации и робототехники ведётся разработка данного мехатронного модуля [2], основными частями которого являются платформа, на которой размещаются всё необходимое

оборудование и сборочный узел, а также вездеходное средство передвижения, (например, мото-собака) необходимое для перемещения платформы по болоту.

Сборочный узел – это устройство, необходимое для сбора ягод. Сбор клюквы происходит обчёсывающим способом посредством работы собирающих гребней при вращении сборочного узла двигателем постоянного тока. Продуктивность работы мехатронного модуля в целом зависит от стабильности вращения сборочного узла. Но так как сборщик работает в изменчивых природных условиях, на узел могут воздействовать различные нагрузки. При работе в густом мху под нагрузкой возможно падение скорости вращения барабана, в то же время и наоборот, возможны резкие увеличения скорости без нагрузки, что в свою очередь влияет на продуктивность сбора.

Поэтому одной из задач является поддержание скорости вращения двигателя, приводящего узел сбора в движение, постоянной при различных нагрузках. Также для согласования скорости вращения узла со скоростью движения мехатронного модуля, скорость вращения сборочного узла необходимо изменять, соответственно, нужен регулятор скорости. Следовательно, существует необходимость в разработке электропривода с возможностью регулирования и стабилизации скорости вращения узла сбора, что является целью данной бакалаврской работы.

## **Определения, обозначения и сокращения**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

ДПТ – двигатель постоянного тока;

ЭДС – электродвижущая сила;

ТМ – тахометрический мост;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ПИ-регулятор – пропорционально-интегральный регулятор;

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;

ГПН – генератор пилообразного напряжения.

## 1 Обобщённая схема стабилизации. Анализ существующих решений

Наиболее простая система регулятора с функцией стабилизации оборотов включает в себя двигатель постоянного тока, регулятор напряжения и датчик скорости вращения ДПТ (рисунок 1).

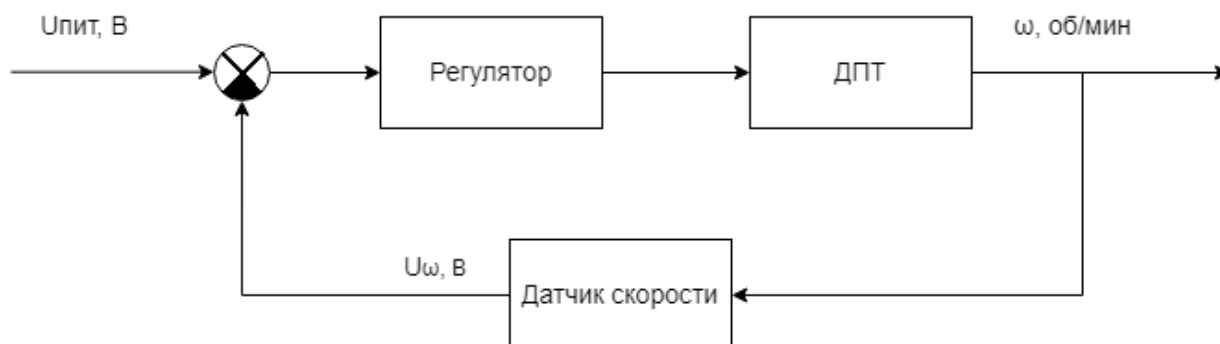


Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема системы стабилизации

Датчик скорости выполняет функцию источника информации. В зависимости от скорости вращения двигателя, датчик генерирует напряжение, которое сравнивается с задающим. В зависимости от этого регулятор управляет напряжением (например, в линейном режиме или с помощью ШИМ) на якоре двигателя и, соответственно, скоростью вращения двигателя.

Так, например, при ШИМ управлении при возникновении нагрузки на двигателе скорость вращения начинает уменьшаться, что в свою очередь фиксирует датчик и с помощью регулятора уменьшает скважность импульсов, что приводит к повышению скорости. Аналогичный результат достигается при уменьшении нагрузки на двигателе.

На данный момент существуют разработки регуляторов с функцией стабилизации оборотов. Одним из примеров является контроллеры коллекторных двигателей компании «Электропривод». Пример такого контроллера изображён на рисунке 2.



Рисунок 2 – Контроллер коллекторного двигателя «BMSD-20Modbus»

Данный контроллер способен регулировать скорость вращения, задавать направление вращения, а также стабилизировать обороты двигателя при использовании датчика Холла. Также есть контроллеры, использующие как датчик Холла, так и энкодер для стабилизации скорости. Но такие контроллеры, исходя из множества функций, имеют относительно высокую стоимость.

Более дешёвый вариант представляет собой обычный ШИМ-регулятор (рис. 3).

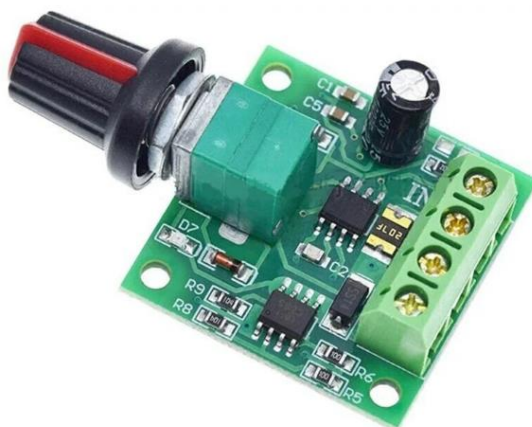


Рисунок 3 – ШИМ-регулятор оборотов двигателя

Это простое и дешёвое решение, но недостатком такой схемы является отсутствие обратной связи, соответственно, такая схема не может стабилизировать обороты двигателя.

## **2 Сравнение наиболее распространённых датчиков скорости**

Для разработки регулятора с функцией стабилизации оборотов необходимо использовать обратную связь по скорости. Существует большое количество методов для измерения скорости вращения электродвигателей. Поэтому, необходимо выполнить анализ данных методов для нахождения наиболее оптимального варианта.

Наиболее распространённые группы датчиков подразделяются на:

- 1) магнитные датчики (работают на основе магнитного поля, создаваемого вращающимся магнитом);
- 2) оптические датчики (работают на основе использования оптических сигналов);
- 3) индуктивные датчики (работают на основе явления электромагнитной индукции);

Проведём анализ наиболее распространённых датчиков.

### **2.1 Датчик Холла**

Магнитные датчики работают на основе магнитного поля, создаваемого вращающимся магнитом. Самым распространённым примером магнитного датчика скорости вращения электродвигателя может служить датчик Холла. Данный датчик основан на эффекте Холла: при подаче напряжения на края полупроводниковой пластины в магнитном поле, на других краях этой пластины возникает разность потенциалов. Датчик Холла представляет собой устройство, состоящее из полупроводникового элемента, расположенного между двумя контактами. Полупроводниковый элемент обычно изготавливается из материала, имеющего свойство реагировать на магнитное поле. Когда магнитное поле изменяется, изменяется и электрическое поле в полупроводниковом элементе, что в свою очередь вызывает изменение выходного напряжения. Таким образом, частота этих изменений напряжения пропорциональна скорости вращения вала двигателя.

### **Достоинства:**

- надёжность и долговечность;
- высокая точность;
- малый размер;
- низкая стоимость.

### **Недостатки:**

- влияние внешних магнитных полей;
- влияние температуры;
- необходимость монтажа при отсутствии встроенного в двигатель датчика.

## **2.2 Тахогенератор**

Тахогенератор представляет собой измерительную электрическую машину переменного или постоянного тока, которая монтируется на вал оборудования, и преобразует текущее значение частоты вращения вала в электрический сигнал (рисунок 4). Различают тахогенераторы постоянного тока и переменного тока.



Рисунок 4 – Тахогенератор

Тахогенератор постоянного тока представляет собой коллекторную машину с возбуждением либо от постоянных магнитов (встречаются чаще), либо от обмотки возбуждения (встречаются реже), располагаемых на ее



статоре. Измерительная ЭДС наводится на обмотку ротора тахогенератора, и является прямо-пропорциональной угловой скорости вращения ротора.

**Достоинства:**

- нет потребности в дополнительных источниках питания;
- нет потребности в дополнительной электронике для обработки сигналов.

**Недостатки:**

- создание дополнительного крутящего момента трения на вращающийся вал, вносящую некоторую ошибку в измерения;
- необходимость монтажа;
- более высокая стоимость в сравнении с другими типами датчиков.

### 2.3 Энкодер

Энкодер - это электронный датчик, который используется для измерения скорости и/или положения вращающегося вала (рисунок 5). Работают энкодеры на основе оптических, механических или магнитных принципов.



Рисунок 5 – Энкодеры разных типов

Существует два основных типа энкодеров: абсолютные и инкрементальные.

Абсолютный энкодер имеет множество контактов, каждый из которых может находиться в состоянии "вкл" или "выкл". Количество контактов определяет количество возможных позиций, которые может принимать энкодер. При повороте вала энкодера его контакты меняют свое состояние, и энкодер может сообщить точное положение вала. Такой тип энкодера позволяет узнать абсолютное положение вала без необходимости отслеживания перемещения относительно предыдущей позиции. Недостатком абсолютных энкодеров является их более сложная конструкция и более высокая стоимость по сравнению с инкрементальными.

Инкрементальный энкодер, в отличие от абсолютного, не определяет абсолютное положение вала, а лишь отслеживает относительное перемещение. Он имеет два канала (А и В), и при вращении канала вырабатывает импульсы, соответствующие углу поворота. При обработке сигналов с двух каналов можно определить направление и угол перемещения вала.

Преимуществом инкрементальных энкодеров является их более простая конструкция и более низкая стоимость по сравнению с абсолютными энкодерами. Однако они не могут сообщить абсолютное положение вала и требуют отслеживания положения на каждом шаге.

#### **Достоинства:**

– высокая точность измерения скорости и положения: энкодеры имеют высокую разрешающую способность, что позволяет измерять скорость и положение с высокой точностью;

– имеют низкий уровень шума и искажений, что делает их надежными в использовании.

#### **Недостатки:**

– создание дополнительной нагрузки на вращающийся вал;

– необходимость монтажа;

– более высокая стоимость в сравнении с другими типами датчиков.

## 2.4 Индуктивный датчик

Ещё одним типом датчика скорости является индуктивный датчик (рисунок 6). В основе работы индуктивных датчиков частоты вращения лежит явление электромагнитной индукции. Датчики выполнены в виде катушек с магнитными сердечниками. При прохождении под сердечником зубца ферромагнитного диска (например, зубца венца маховика коленчатого вала двигателя) магнитный поток датчика изменяется, и в катушке датчика индуцируется электродвижущая сила. Амплитуда импульсов зависит от частоты вращения коленчатого вала и зазора между сердечником и зубцом маховика



Рисунок 6 – Индуктивный датчик

### **Достоинства:**

- надежность конструкции – отсутствие движущихся элементов, контактов, полная герметичность, прочность;
- ресурс работы, не требуют какого-либо обслуживания;
- высокая чувствительность, скорость и частота срабатывания.

### Недостатки:

- требовательны к «чистоте» и постоянству питающего тока;
- чувствительны к воздействию внешних магнитных полей, возможно искажение выходного сигнала;
- необходимость монтажа;
- в основном применяется в зубчатых механизмах.

## 2.5 Тахометрическая мостовая схема

Тахометрические мосты постоянного и переменного тока также применяют в системах автоматики для создания обратной связи по частоте вращения электрических двигателей. Применение ТМ позволяет упростить систему, так как отпадает необходимость в дополнительном оборудовании для измерения скорости, рассмотренном ранее. Тахометрический мост построен на основе измерительного моста Уитстона. На рисунке 7 изображена простая и распространенная схема тахомоста.

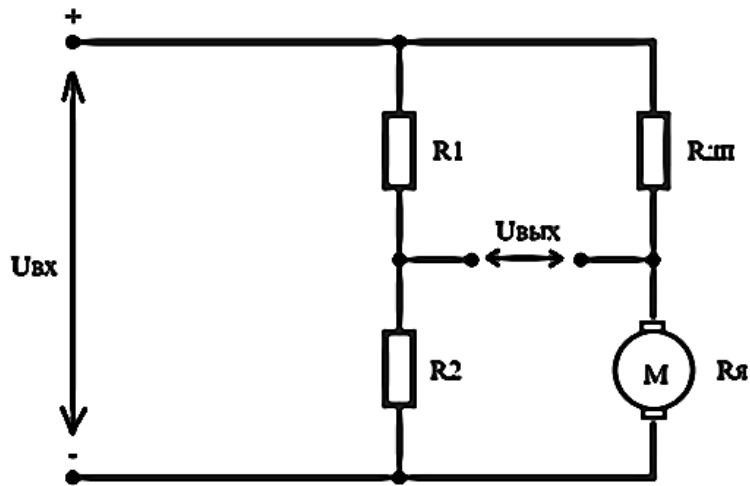


Рисунок 7 – Схема тахометрического моста

При выполнении соотношения [3]:

$$\frac{R_{дп}}{R_{я}} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (1)$$

где  $R_1, R_2, R_{дп}$  – сопротивления плечей моста, Ом;

$R_{я}$  – сопротивление якоря, Ом,

мост сбалансирован и напряжение в диагонали моста  $U_{\text{вых}}$  прямо пропорционально обратной ЭДС якоря.

**Достоинства:**

- простота реализации схемы;
- схема не требует дополнительного монтажа устройств;
- стоимость ниже по сравнению с другими датчиками;
- не влияет на динамические свойства двигателя.

**Недостатки:**

- зависимость от внешних факторов: при повышении температуры обмотки её сопротивление меняется и мост разбалансируется;
- чувствительность к шуму в схеме.

### 3 Разрабатываемая схема электропривода

Исходя из анализа предыдущего раздела, можно представить более подробную схему электропривода (рисунок 8). Схема основана на ШИМ-регулировании скорости вращения двигателя, так как по сравнению с линейным изменением напряжения ШИМ-регулирование позволяет значительно уменьшить потери мощности, поскольку устройство работает в двух режимах: открытия и закрытия. Для измерения скорости будет использоваться схема тахометрического моста, так как данная схема проста в реализации, а при её использовании отпадает потребность в датчике скорости, что делает всю схему конструктивно проще. Для генерации импульсов используется компаратор, на входы которого подаётся пилообразный сигнал и значение управляющего воздействия ПИД-регулятора. При изменении нагрузки на двигателе скорость его вращения будет изменяться, при этом будет изменяться величина ошибки регулирования, что приведёт к изменению скважности импульсов.

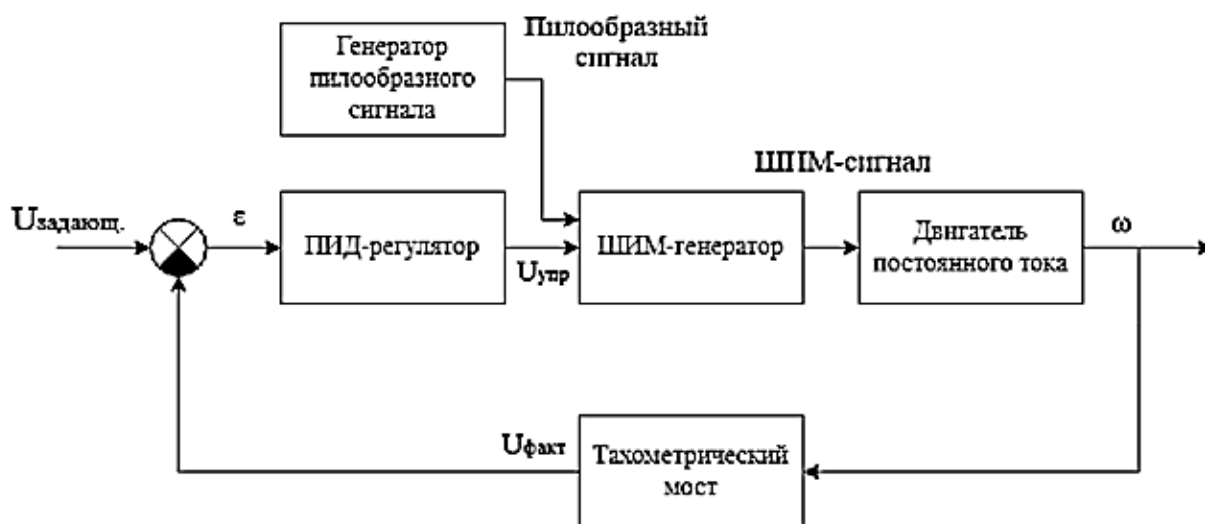


Рисунок 8 – Структурная схема электропривода

## 4 Генератор пилообразного напряжения.

### 4.1 Описание работы схемы ГПН

Первый этап разработки схемы связан с разработкой ШИМ-регулятора скорости вращения двигателя постоянного тока. Принцип работы схемы основан на использовании компаратора: на инвертирующий вход компаратора подаётся задающий сигнал, влияющий на скважность импульсов, а на неинвертирующий вход подаётся сигнал, с которым сравнивается задающий. В качестве такого сигнала используется пилообразно-изменяющееся напряжение.

Пилообразное напряжение имеет форму неравностороннего треугольника, то есть в течение определённого периода времени нарастает или падает практически по линейному закону до некоторого амплитудного значения, а затем возвращается к исходному уровню (рисунок 9).

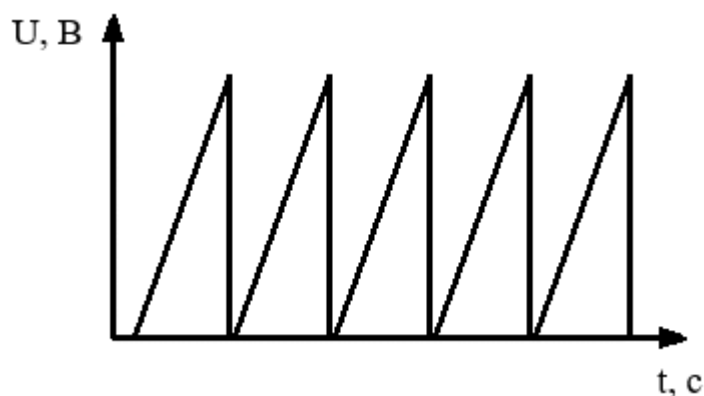


Рисунок 9 – Пилообразный сигнал

Принцип построения генераторов пилообразного напряжения основан на прохождении импульса напряжения через интегрирующую цепь. То есть на заряде конденсатора некоторым постоянным током, а потом его быстром разряде. Таким образом, простейший генератор пилообразного напряжения состоит из зарядной цепи, конденсатора и коммутирующего элемента, через который происходит быстрый разряд конденсатора, то есть приведение конденсатора в исходное состояние. На рисунке 10 показана схема простейшего генератора пилообразного напряжения.

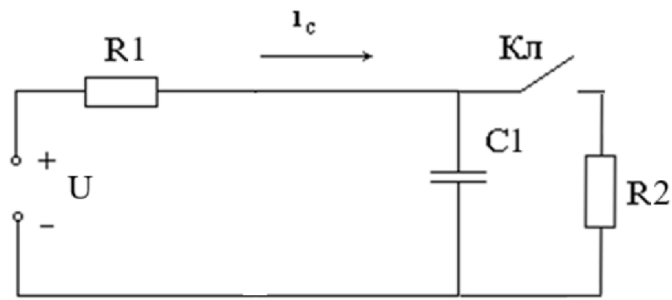


Рисунок 10 – Простейшая схема формирования пилообразного напряжения

При использовании схемы такого типа есть существенный недостаток – нелинейность сигнала, так как при подаче напряжения конденсатор заряжается по экспоненциальному закону и в течение заряда ток через конденсатор уменьшается. Следовательно, для правильного линейного сигнала зарядный ток конденсатора должен быть стабилизирован.

Одним из наиболее простых подходящих методов стабилизации тока является стабилизация с использованием полевого JFET-транзистора (рисунок 11).

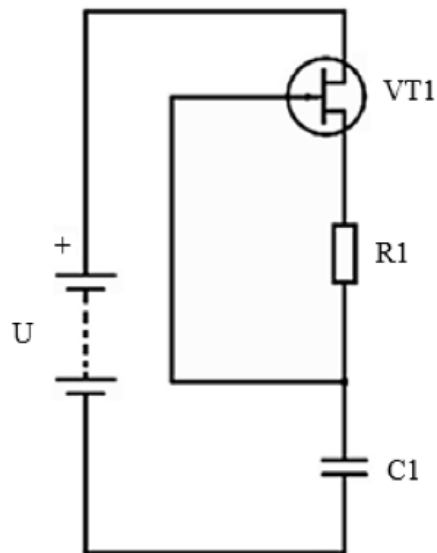


Рисунок 11 – Схема стабилизации тока через конденсатор

Принцип работы данной схемы заключается в следующем: изначально транзистор  $VT1$  открыт, напряжение затвор-исток постоянно (соответствует падению напряжения на резисторе  $R1$ ), и через него начинает протекать ток, тем самым заряжая конденсатор  $C1$ . При зарядке конденсатора напряжение на



затворе изменяется, поддерживая напряжение затвор-исток на одном уровне, а соответственно и ток через транзистор. Ток зарядки конденсатора задаётся с помощью резистора R1. Таким образом, можно добиться линейного заряда конденсатора.

Для генерации пилообразного сигнала была спроектирована схема, изображённая на рисунке 12.

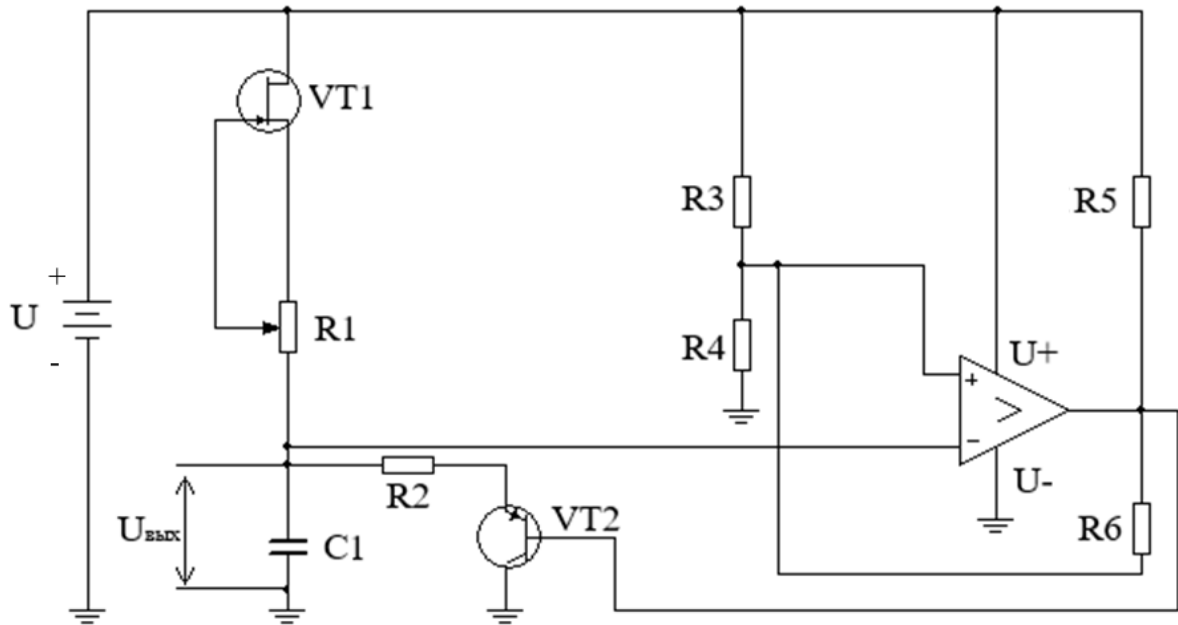


Рисунок 12 – Схема генератора пилообразного напряжения

Принцип работы данной схемы основан на использовании ранее рассмотренного стабилизатора для зарядки конденсатора C1, а для разрядки конденсатора используется компаратор с открытым коллектором, образующий гистерезис. В начальный момент времени конденсатор начинает заряжаться до значения верхнего порога гистерезиса, при преодолении этого порога выход компаратора замыкается на землю, тем самым открывая биполярный транзистор VT2, через который осуществляется разрядка конденсатора до нижнего порога. После разрядки цикл повторяется, тем самым на конденсаторе отслеживается пилообразный сигнал.

## 4.2 Расчёт схемы ГПН

Выполним расчёт схемы генератора пилообразного напряжения.

Время заряда конденсатора при частоте 25 кГц:

$$\Delta t = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{25000} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ с}, \quad (2)$$

где  $\nu$  – частота пилообразного сигнала, Гц;

$\Delta t$  – время зарядки конденсатора, с.

Ток зарядки конденсатора (взят конденсатор ёмкостью 2.2 нФ, амплитуда 10 В):

$$I_c = C \cdot \frac{dU}{dt}, \quad (3)$$

где  $I_c$  – ток зарядки конденсатора, А;

$C$  – ёмкость конденсатора С1, Ф;

$dU/dt$  – изменение напряжения на конденсаторе за время  $dt$ , В/с.

$$I_c = 2.2 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{10}{40 \cdot 10^{-6}} = 5.5 \cdot 10^{-4} \text{ А},$$

Ток стока через полевой транзистор VT1 описывается следующим выражением:

$$I_c = I_0 \cdot \left(1 - \frac{U_{зи}}{U_0}\right)^2, \quad [7] \quad (4)$$

где  $I_c$  – ток стока, А;

$I_0$  – ток через транзистор при нулевом напряжении затвор-исток, А;

$U_{зи}$  – напряжение затвор-исток, В;

$U_0$  – напряжение отсечки, В.

Отсюда найдём требуемое напряжение затвор-исток:

$$U_{зи} = U_0 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{I_c}{I_0}}\right). \quad (5)$$

Тогда по закону Ома, сопротивление резистора стабилизатора R1 равно:

$$RI = \frac{U_{ЗИ}}{I_c} \quad (6)$$

где  $RI$  – сопротивление резистора стабилизатора, Ом;

В качестве транзистора стабилизатора VT1 выберем транзистор J112 со следующими требуемыми характеристиками:

- Напряжение отсечки  $U_0 = (1 - 5) \text{ В}$ ;
- ток при нулевом напряжении затвор-исток  $I_0 = 5 \text{ мА}$ .

Так как транзистор имеет разброс по напряжению отсечки, рассчитаем верхнюю и нижнюю границу. Тогда для верхней границы:

$$U_{ЗИ\max} = 5 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{5.5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}}}\right) = 3.342 \text{ В},$$

$$RI_{\max} = \frac{3.342}{5.5 \cdot 10^{-4}} = 6076 \text{ кОм},$$

Для нижней границы:

$$U_{ЗИ\min} = 1 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{5.5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}}}\right) = 0.668 \text{ В},$$

$$RI_{\min} = \frac{0.668}{5.5 \cdot 10^{-4}} = 1215 \text{ кОм},$$

Соответственно, сопротивление резистора стабилизатора находится в диапазоне 1215 – 6076 Ом.

Для работы генератора пилообразного напряжения конденсатор C1 должен заряжаться до верхнего значения напряжения и разряжаться до нижнего. Для этого реализован триггер Шмидта на компараторе (рисунок 13). Рассчитаем номиналы сопротивлений.

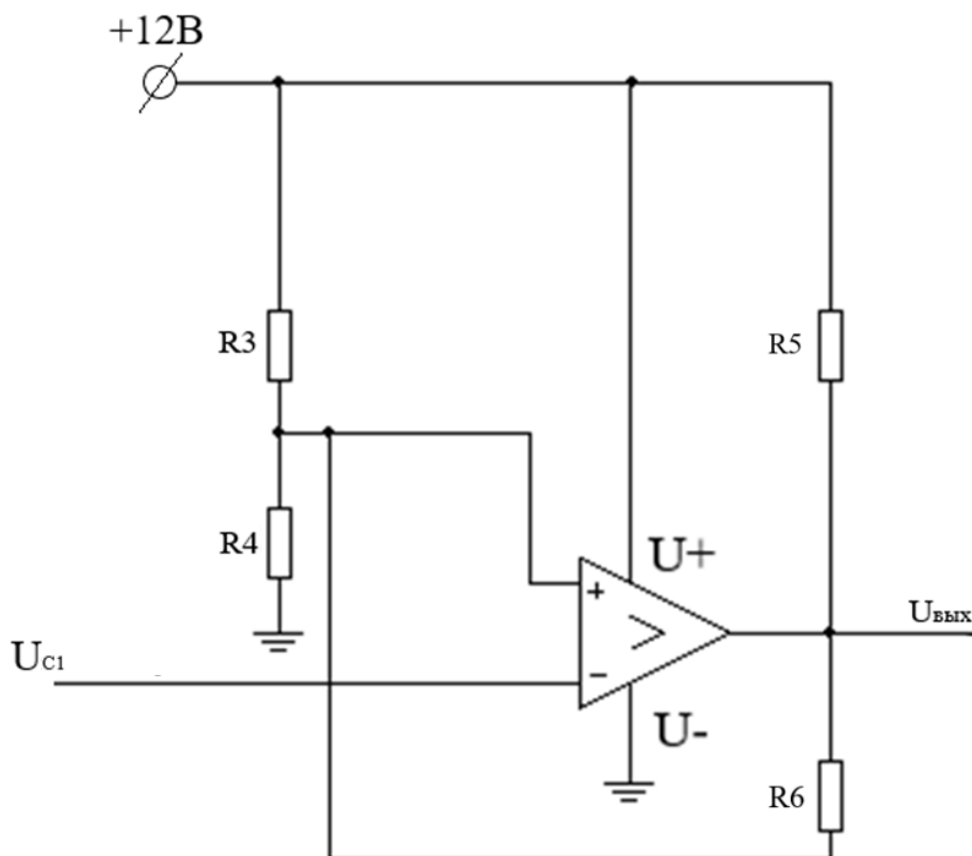


Рисунок 13 – Схема триггера Шмидта на компараторе

Транзистор компаратора имеет выход с открытым коллектором, поэтому, в начальный момент времени, когда выход не коммутирован на землю, схему для вычисления верхнего порога можно представить в следующем виде (рисунок 14).

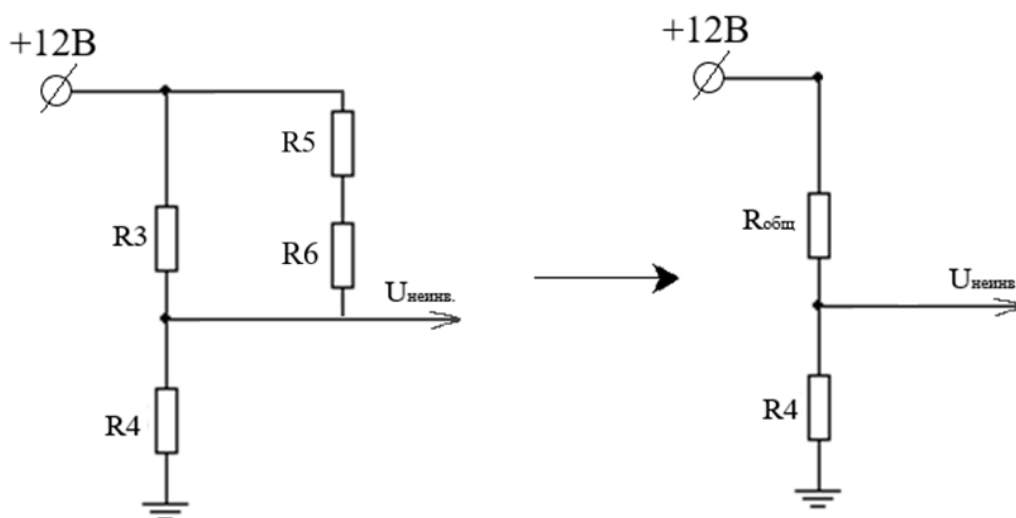


Рисунок 14 – Схема для расчёта верхнего порога

Рассчитаем напряжение верхнего порога, которое подаётся на неинвертирующий вход компаратора с образованного делителя напряжений:

$$R_{общ} = \frac{R3 \cdot (R5 + R6)}{R3 + R5 + R6}, \quad (7)$$

где  $R_3, R_5, R_6$ , – сопротивления схемы в триггере Шмидта, Ом;

$R_{общ}$  – общее сопротивление, образованное сопротивлениями  $R_3, R_5, R_6$ , Ом.

Расчёт делителя напряжения:

$$I_{общ} = I_4 = \frac{U_{пит}}{R_{общ} + R4}; \quad I_4 = \frac{U_4}{R4} = \frac{U_{пит}}{R_{общ} + R4} \rightarrow U_{вых} = U_{пит} \frac{R4}{R_{общ} + R4}, \quad (8)$$

где  $I_{общ}$  – ток, протекающий через резисторы  $R4$  и  $R_{общ}$ , А;

$I_4$  – ток резистора  $R4$ , А;

$R4$  – сопротивление резистора  $R4$ , Ом;

$U_4$  – напряжение на резисторе  $R4$ ;

$U_{пит}$  – напряжение питания, В.

Тогда общую формулу для верхнего порога гистерезиса можно представить как:

$$U_{верх.порог} = U_{пит} \cdot \frac{R4}{\frac{R3 \cdot (R5 + R6)}{R3 + R5 + R6} + R4}, \quad (9)$$

где  $U_{верх.порог}$  – напряжение верхнего порога гистерезиса, В.

Аналогичным образом представим схему при коммутации транзистора на землю (рисунок 15).

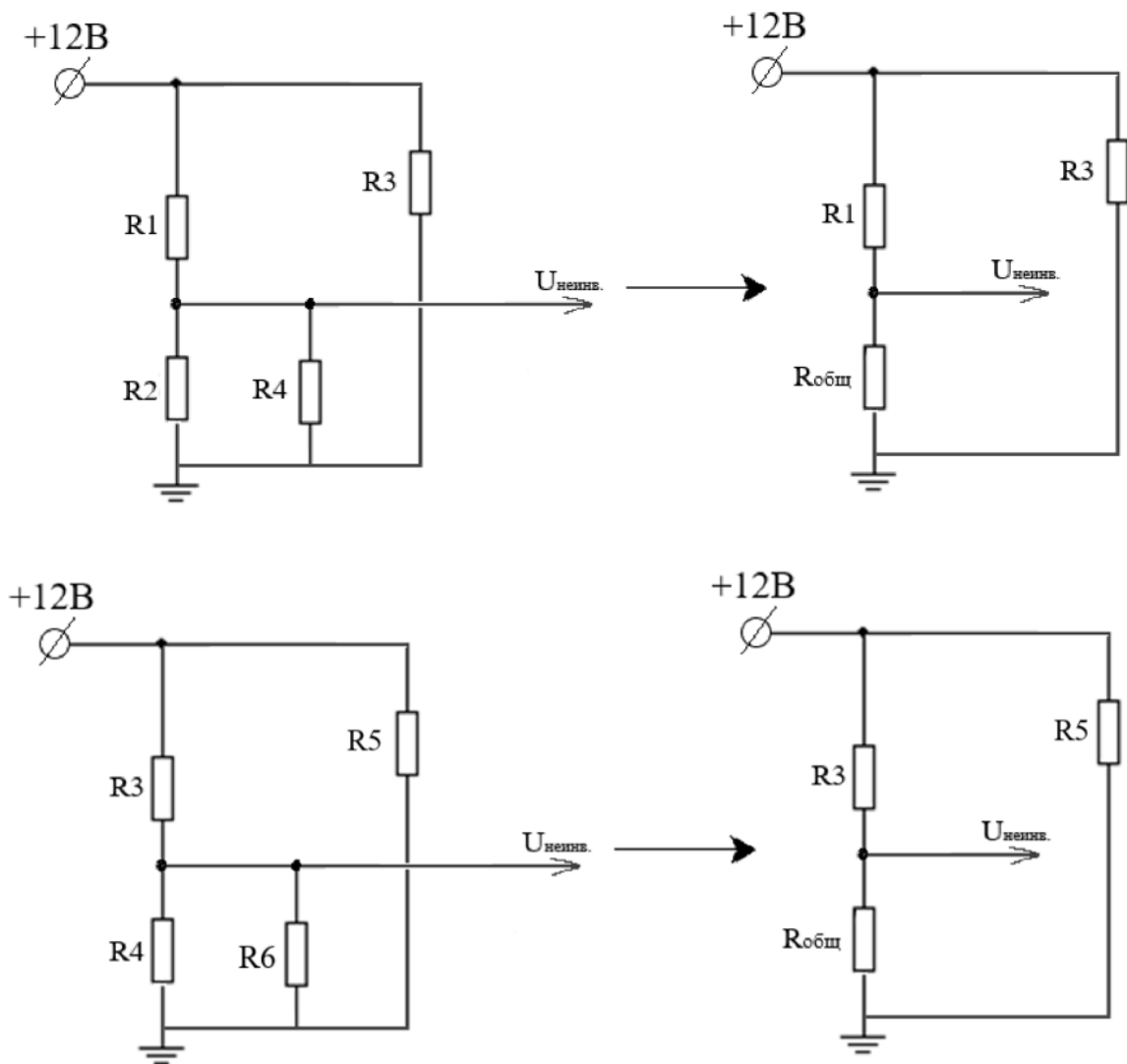


Рисунок 15 – Схема для расчёта нижнего порога

Тогда резистор  $R_{общ}$ :

$$R_{общ} = \frac{R6 \cdot R4}{R6 + R4}. \quad (10)$$

Аналогичным образом выход делителя напряжений будет иметь вид:

$$U_{вых} = U_{пит} \frac{R_{общ}}{R_{общ} + R3}. \quad (11)$$

Следовательно, общую схему нижнего порога можно представить как:

$$U_{ниж.порог} = U_{пит} \cdot \frac{\frac{R6 \cdot R4}{R6 + R4}}{\frac{R6 \cdot R4}{R6 + R4} + R3}. \quad (12)$$

где  $U_{ниж.порог}$  – напряжение нижнего порога гистерезиса, В.

Таким образом, сначала выбираются номиналы резисторов для нижнего порога, а затем, за счёт резистора  $R5$  подстраивается верхний порог.

Подберем соотношение резисторов следующим образом:

$$R3 = 100 \text{ кОм},$$

$$R4 = 100 \text{ кОм},$$

$$R5 = 10 \text{ кОм},$$

$$R6 = 5 \text{ кОм}.$$

Тогда напряжения верхнего и нижнего порога гистерезиса будут равны:

$$U_{\text{верх.порог}} = 12 \cdot \frac{100000}{\frac{100000 \cdot (10000 + 5000)}{100000 + 10000 + 5000} + 100000} = 10.6 \text{ В},$$

$$U_{\text{ниж.порог}} = 12 \cdot \frac{\frac{5000 \cdot 100000}{5000 + 100000}}{\frac{5000 \cdot 100000}{5000 + 100000} + 100000} = 0.55 \text{ В}.$$

### 4.3 Моделирование работы схемы ГПН

Выполним моделирование работы спроектированной схемы ГПН в среде Multisim (рисунок 16). При этом изобразим эпюры напряжения, получаемые на конденсаторе  $C1$  (рисунок 17).

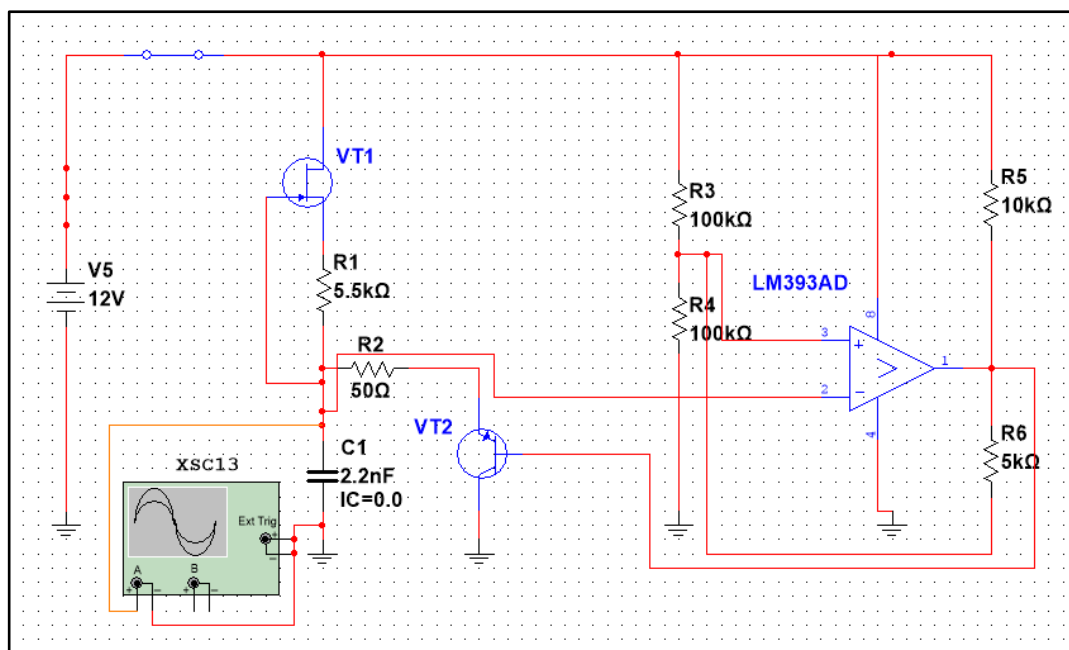


Рисунок 16 – Схема, собранная в Multisim

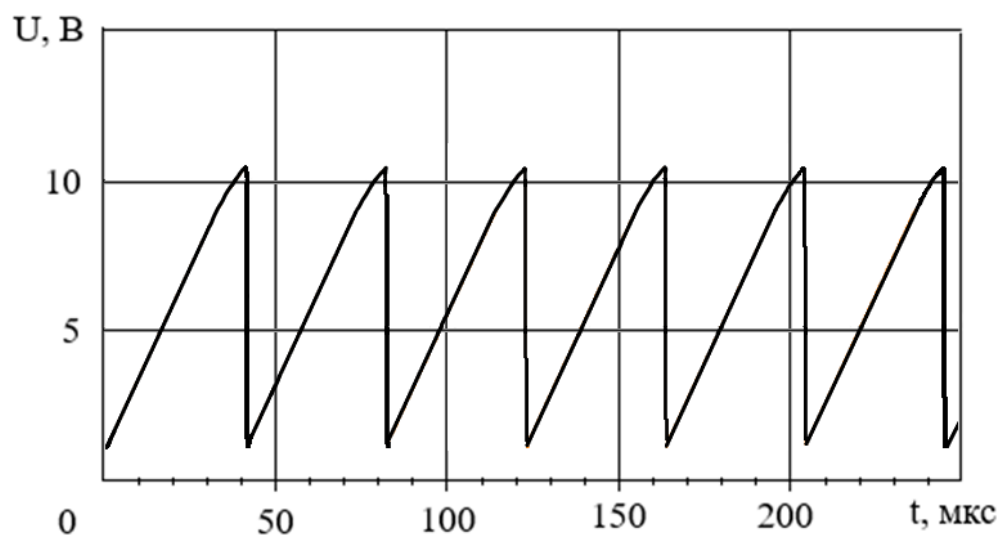


Рисунок 17 – Эпюры напряжения на конденсаторе С1

В результате моделирования можно утверждать, что схема спроектирована верно и соответствует рассчитанным параметрам.



## 5 ШИМ-регулятор скорости вращения

### 5.1 Описание работы схемы ШИМ-регулятора

При подаче сигнала с конденсатора C1 схемы (рисунок 12) на инвертирующий вход компаратора, и при подаче задающего сигнала, например, с потенциометра R7, на инвертирующий вход компаратора, на выходе компаратора образуется ШИМ-сигнал, скважность которого можно регулировать потенциометром. Пример схемы генератора приведён на рисунке 18, где напряжение  $U_{\text{вых}}$  соответствует ШИМ-сигналу.

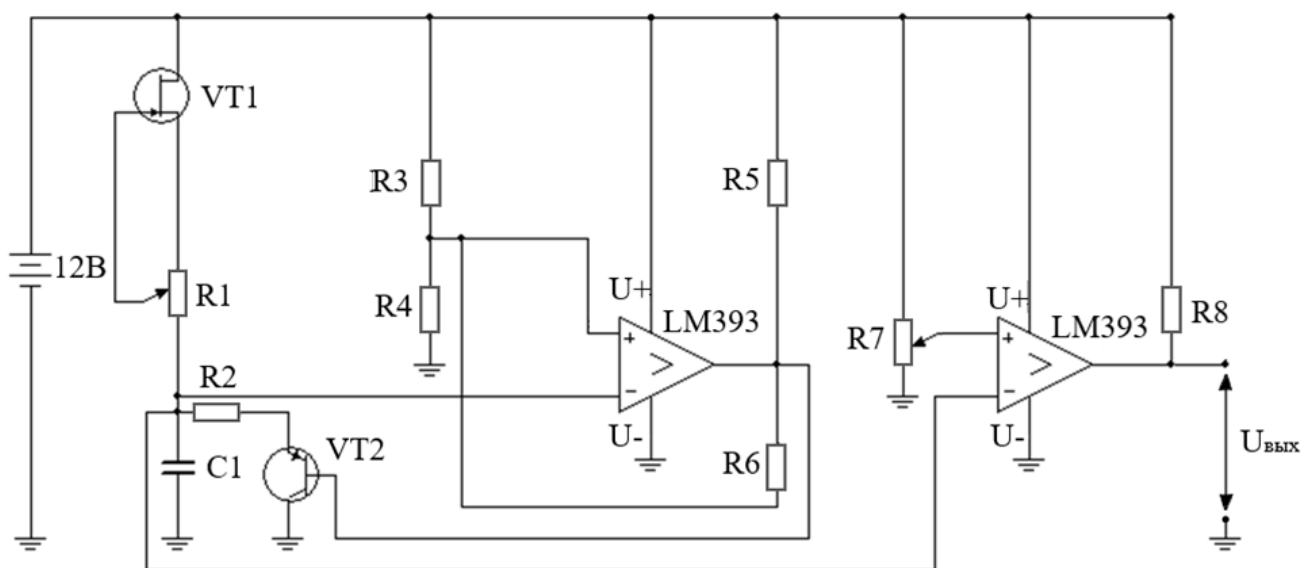


Рисунок 18 – Схема генератора ШИМ-сигнала

При подаче сигнала  $U_{\text{вых}}$  на управляющий вывод транзистора, питающего двигатель, можно управлять напряжением на двигателе, и, соответственно, скоростью его вращения.

## 5.2 Моделирование работы схемы ШИМ-регулятора

Выполним моделирование работы спроектированной схемы ШИМ-регулятора в среде Multisim (рисунок 19). При этом изобразим эпюры пилообразного сигнала и ШИМ-сигнала при различном управляющем воздействии, снятого с потенциометра R7 (рисунки 20-21).

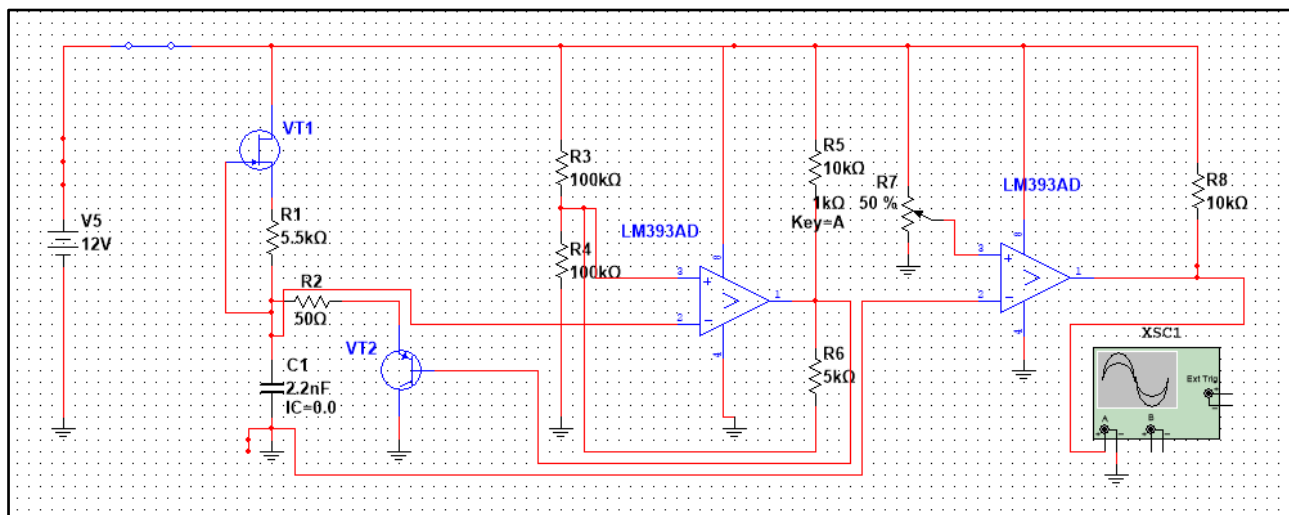


Рисунок 19 – Схема ШИМ-регулятора, собранная в Multisim

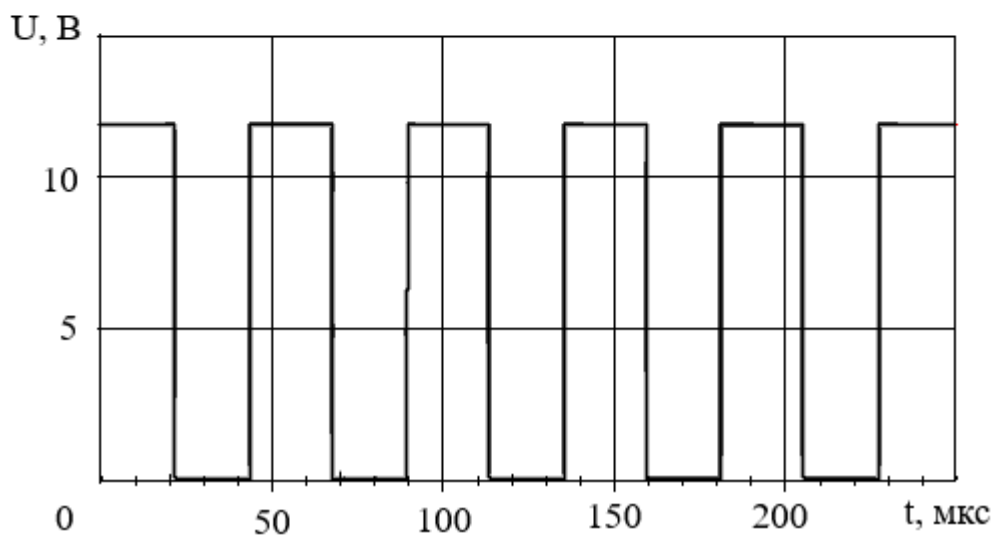
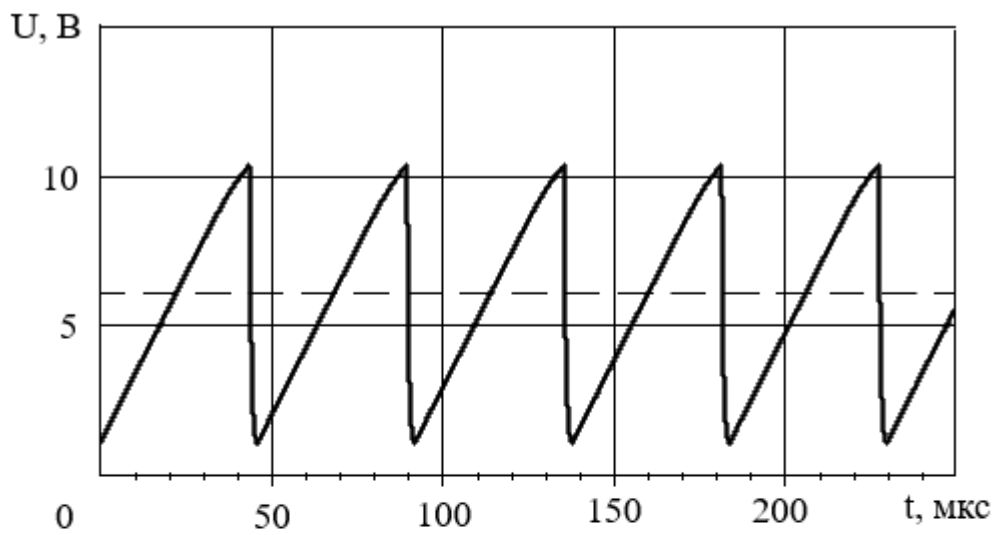


Рисунок 20 – Эпюры пилообразного сигнала и ШИМ-сигнала при управляющем воздействии 6 В (пунктирная линия)

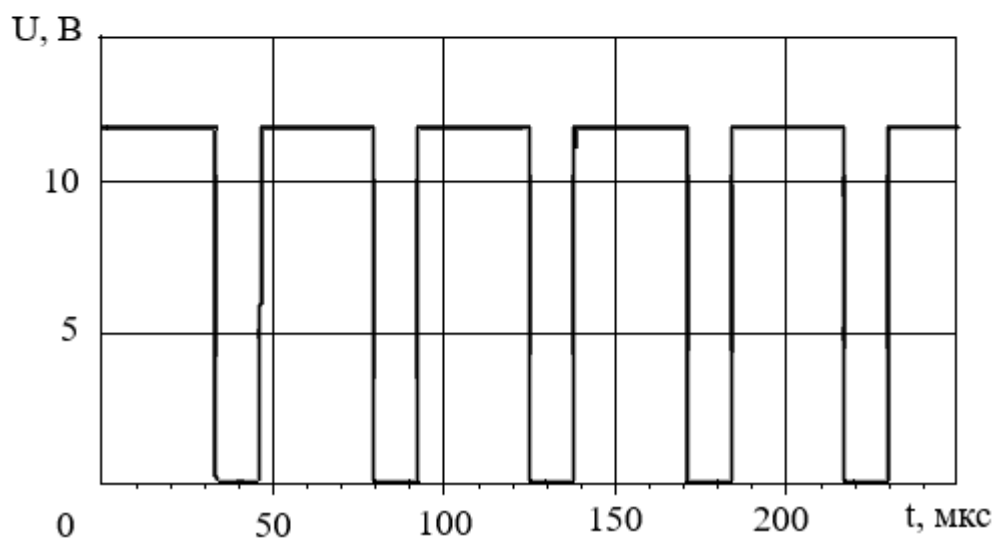
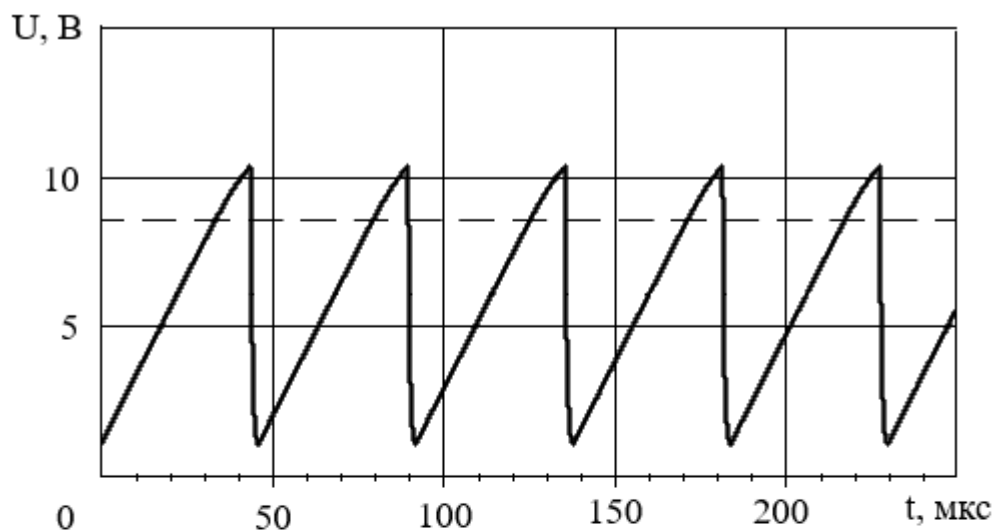


Рисунок 21 – Эпюры пилообразного сигнала и ШИМ-сигнала при управляющем воздействии 8 В (пунктирная линия)

Исходя из графиков рисунков 20-21, можно сделать вывод, что схема ШИМ-регулятора работает корректно и изменяет скважность в зависимости от управляющего воздействия.

## 6 Стабилизация скорости вращения

### 6.1 Схема для определения напряжения обратной ЭДС

Для стабилизации оборотов двигателя необходимо использовать обратную связь по скорости вращения. Получение сигнала, пропорционального скорости вращения двигателя осуществляется при помощи схемы тахометрического моста с вычитателем напряжений (рисунок 22).

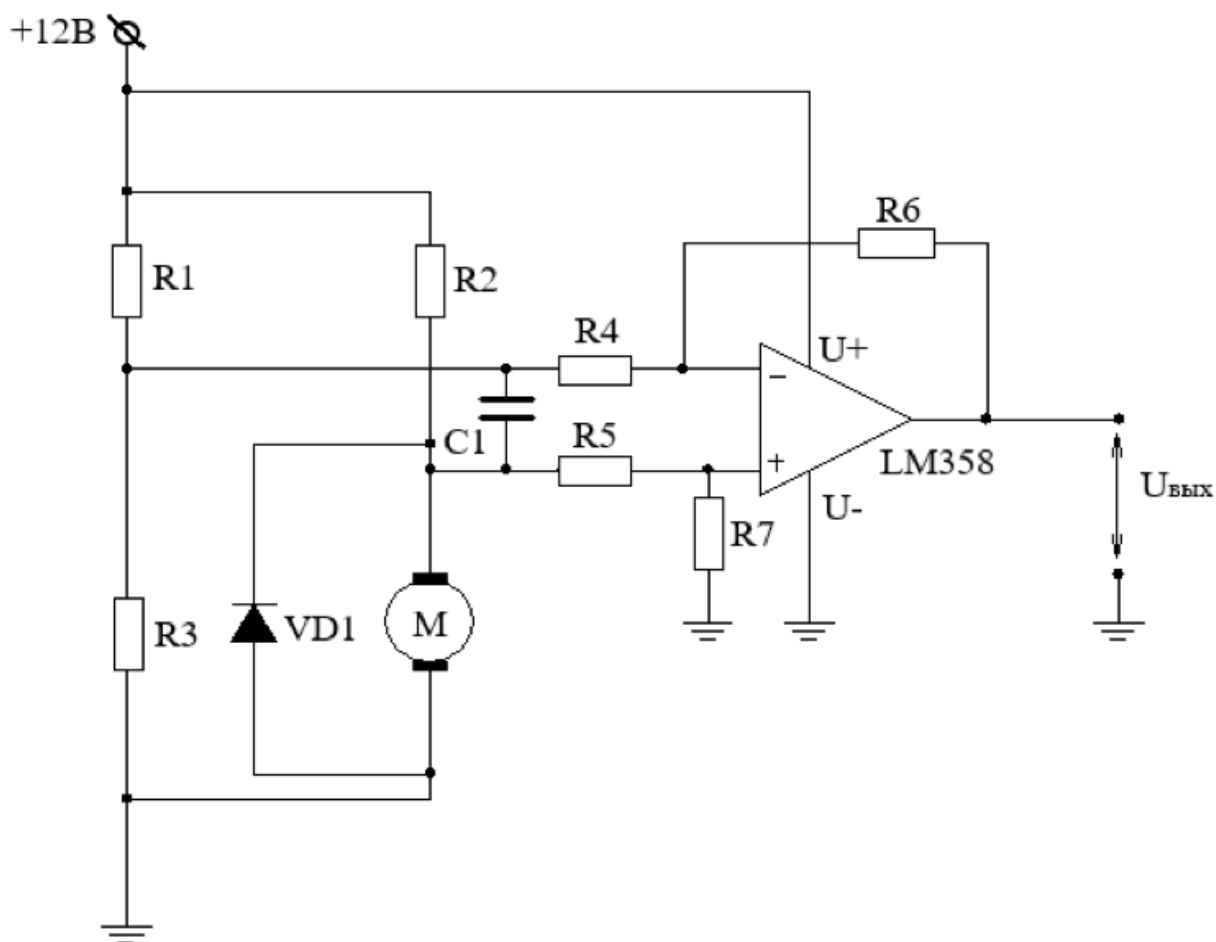


Рисунок 22 – Схема для определения сигнала, пропорционального скорости вращения двигателя

Основой данной схемы является тахометрический мост, предназначенный для определения напряжения обратной ЭДС, которое в свою очередь пропорционально скорости вращения ДПТ. При выполнении соотношения (1), напряжение в диагонали моста будет пропорционально обратной ЭДС двигателя, при этом коэффициент пропорциональности подбирается при помощи резисторов. При помощи вычитателя напряжений, построенного на

базе операционного усилителя LM358 находится разность напряжений в точках диагонали моста, а также происходит усиление данного сигнала. Таким образом, напряжение  $U_{вых}$  равно обратной ЭДС двигателя, и, соответственно, скорости вращения ДПТ.

## 6.2 Расчёт схемы тахометрического моста

Выполним расчёт схемы тахометрического моста, изображённого на рисунке 23.

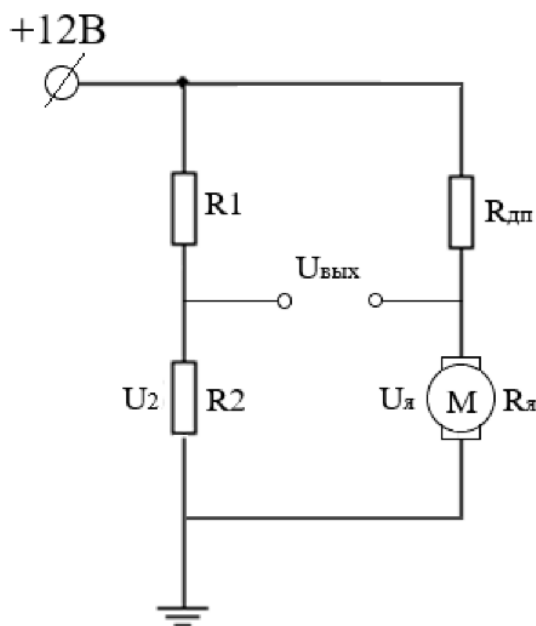


Рисунок 23 – Тахометрический мост

Напряжение на выходе тахометрического моста:

$$U_{вых} = U_2 - U_я. \quad (13)$$

где  $U_{вых}$  – выходное напряжение схемы, В;

$U_2$  – напряжение на резисторе R2, В;

$U_я$  – напряжение на двигателе, В.

В свою очередь напряжение на двигателе описывается выражением [8]:

$$U_я = E_{обр} + U_{Rя}, \quad (14)$$

где  $E_{обр}$  – обратная ЭДС двигателя, В;

$U_{Rя}$  – падение напряжения на обмотке якоря.

Плечи якоря образуют делитель напряжения, таким образом, связь напряжений  $U_2$  и  $U_я$  с напряжением питания:

$$U_я = E_{обр} \cdot \left( \frac{R_{\partial n}}{R_я + R_{\partial n}} \right) + U_{пит} \cdot \left( \frac{R_я}{R_я + R_{\partial n}} \right);$$

$$U_2 = U_{пит} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

где  $R_1, R_2, R_{\partial n}$  – сопротивления плечей моста, Ом;

$R_я$ , – сопротивление якоря, Ом;

$U_{пит}$  – напряжение питания, В.

Учитывая (13), напряжение на выходе будет равно:

$$U_{вых} = U_2 - U_я = E_{обр} \cdot \left( \frac{R_{\partial n}}{R_я + R_{\partial n}} \right) + U_{пит} \cdot \left( \frac{R_я}{R_я + R_{\partial n}} \right) - U_{пит} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

При выполнении соотношения

$$\frac{R_{\partial n}}{R_я} = \frac{R_1}{R_2} \quad (15)$$

мост сбалансирован, таким образом

$$\frac{R_{\partial n}}{R_я + R_{\partial n}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow U_{вых} = E_{обр} \cdot \left( \frac{R_{\partial n}}{R_я + R_{\partial n}} \right) = k_n \cdot E_{обр},$$

где  $k_n$  – коэффициент пропорциональности.

$$k_n = \frac{R_{\partial n}}{R_я + R_{\partial n}} = \frac{0.15}{1 + 0.15} = 0.13.$$

### 6.3 Расчёт схемы вычитателя напряжений

Для расчёта вычитателя напряжений необходимо построить характеристику обратной ЭДС двигателя. Для этого возьмём две точки: нулевая обратная ЭДС при неподвижном двигателе и обратную ЭДС при холостом ходе двигателя.

Обратная ЭДС двигателя может быть найдена из соотношения напряжения на якоре [8]:

$$U_{я} = E_{обр} + U_{Rя} \rightarrow E_{обр} = U_{я} - I \cdot R_{я}, \quad (16)$$

где  $U_{Rя}$  – падение напряжения на обмотке якоря, В;

$I$  – ток обмотки, А;

$R_{я}$  – сопротивление обмотки, Ом;

$U_{я}$  – падение напряжения на двигателе, равное напряжению питания, В.

Примем КПД двигателя равным 70% (мощность двигателя 40 Вт, номинально напряжение 12 В), тогда, ток через обмотку можно вычислить следующим образом:

$$P_{потерь} = P_{полная} - P_{полезная} = P_{полная} - (P_{полная} \cdot \eta), \quad (17)$$

где  $P_{потерь}$  – мощность потерь двигателя, Вт;

$P_{полезная}$  – полезная мощность двигателя, Вт;

$P_{полная}$  – полная мощность двигателя, Вт;

$\eta$  – КПД двигателя.

$$P_{потерь} = 40 - (40 \cdot 0.7) = 12 \text{ Вт},$$

$$P_{потерь} = I_{x.x} \cdot U \rightarrow I_{x.x} = \frac{P_{потерь}}{U}, \quad (18)$$

где  $I_{x.x}$  – ток холостого хода, А;

$U$  – напряжения питания, В.

$$P_{потерь} = \frac{12}{12} = 1 \text{ А}.$$

Таким образом, обратная ЭДС двигателя на холостом ходу равна:

$$E_{обр} = 12 - 1 \cdot 1 = 11 \text{ В},$$



Следовательно, зависимость обратной ЭДС от скорости вращения двигателя можно представить следующим образом (рисунок 24).

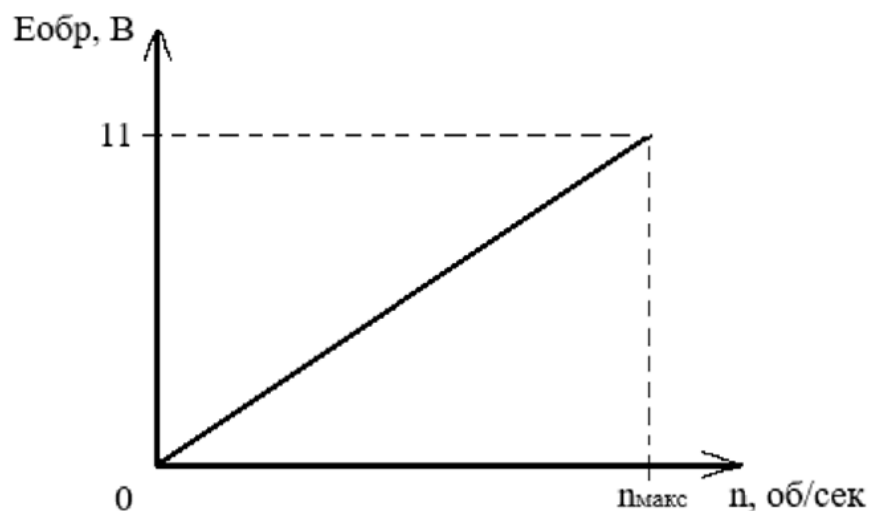


Рисунок 24 – Зависимость обратной ЭДС от скорости вращения двигателя

В схеме тахометрического моста, учитывая коэффициент  $k_n$ , максимальное значение напряжения, пропорциональное обратной ЭДС двигателя равно

$$U_{обр} = 11 \cdot 0.13 = 1.43 В,$$

Для нахождения ошибки регулирования и приведения значения напряжения, пропорционального обратной ЭДС к диапазону пилообразного напряжения, необходимо использовать вычитатель напряжений с коэффициентом усиления, построенном на операционном усилителе. Схема вычитателя приведена на рисунке 25.

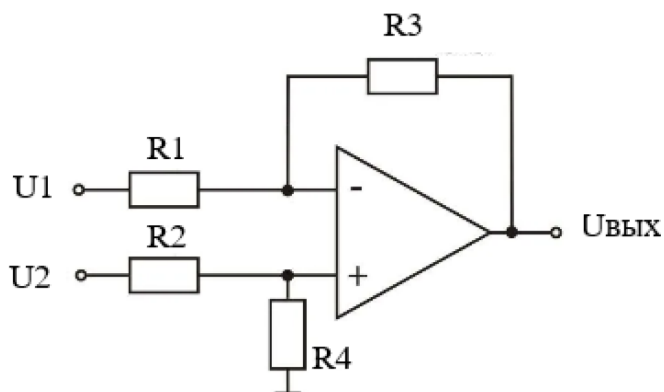


Рисунок 25 – Схема вычитателя напряжений

При выполнении равенства  $R_1 = R_2, R_3 = R_4$ , коэффициент усиления вычитателя равен [9]:

$$k_y = \frac{R_3}{R_1}, \quad (19)$$

где  $k_y$  – коэффициент усиления схемы,

$R_3, R_1$  – сопротивления для настройки коэффициента усиления, Ом

Учитывая, что максимальное значение пилообразного сигнала равно 10.5, В, а напряжение, пропорциональное обратной ЭДС двигателя равно  $U_{обр} = 1.43 В$ , рассчитаем коэффициент усиления следующим образом:

$$k_y = \frac{U_{\text{пила макс.}}}{U_{\text{обр}}} = \frac{10.5}{1.43} = 7.34,$$

где  $U_{\text{пила макс}}$  – верхнее значение порога заряда конденсатора генератора пилообразного сигнала.

Таким образом, номиналы резисторов выбираются в соответствии с полученным коэффициентом усиления, например:

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{100 \text{кОм}}{13 \text{кОм}} = 7.69,$$

## 6.4 Моделирование работы схемы для определения напряжения обратной ЭДС

Выполним моделирование работы спроектированной схемы тахометрического моста с вычитателем напряжений в среде Multisim (рисунок 26). Также выведем график, показывающий фактическую обратную ЭДС на двигателе и напряжение в диагонали ТМ (рисунок 27).

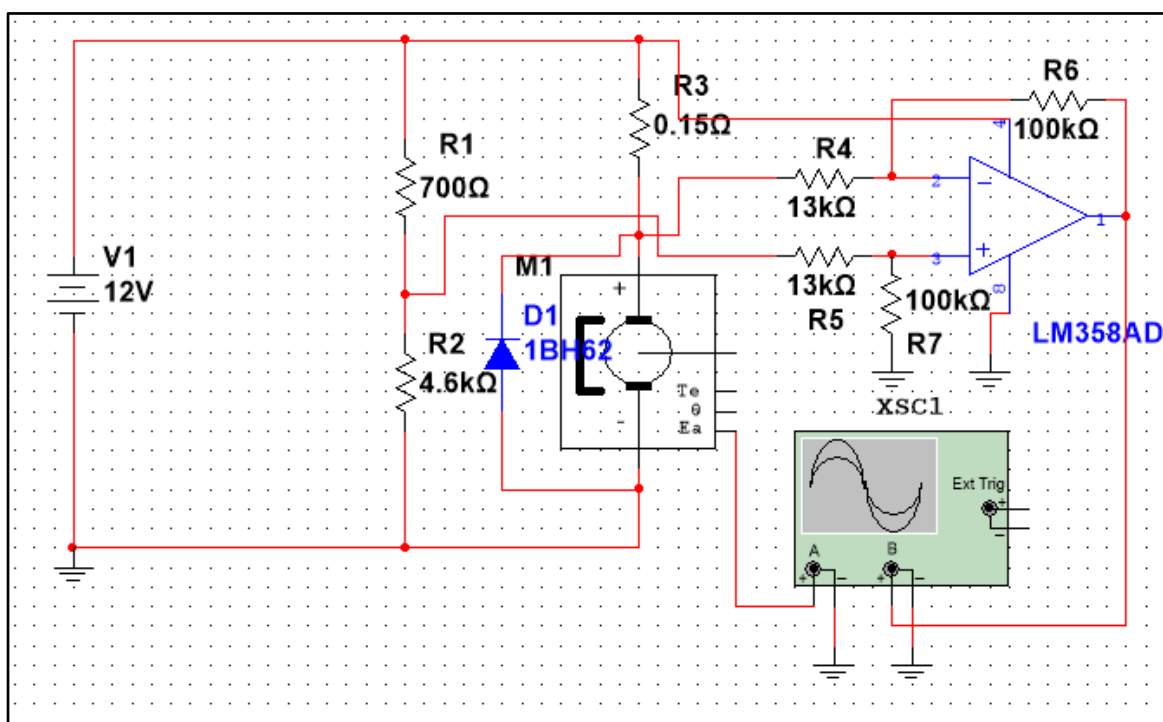


Рисунок 26 – Схема для определения обратной ЭДС двигателя, собранная в Multisim

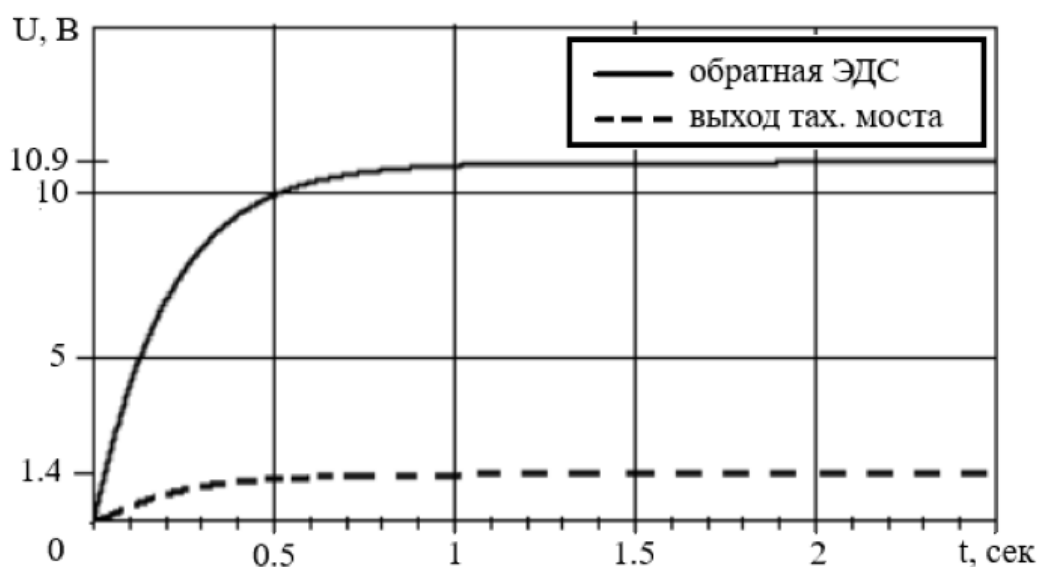


Рисунок 27 – График фактической обратной ЭДС двигателя и выхода тахометрического моста

Исходя из графиков, можно проверить коэффициент пропорциональности ТМ, равный:

$$k_n = \frac{1.4}{10.9} = 0.128.$$

Таким образом, расчёты схемы тахометрического моста выполнены верно ( $k_n$  соответствует рассчитанному). Построим график выхода вычитателя напряжений с рассчитанным коэффициентом усиления  $k_y$  (рисунок 28).

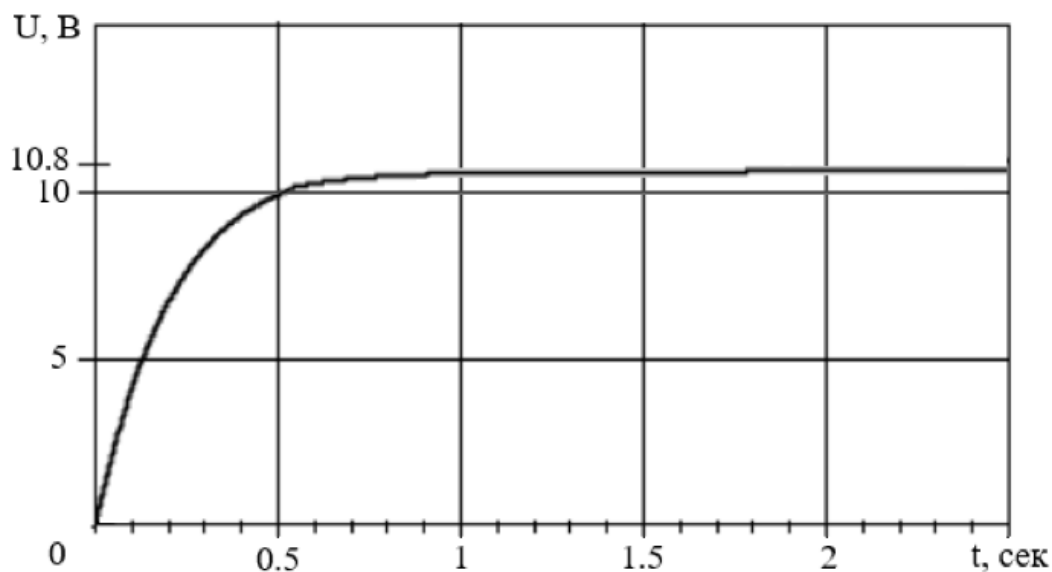


Рисунок 28 – График напряжения на выходе вычитателя напряжений

В результате анализа графиков можно сделать вывод, что схема для определения обратной ЭДС двигателя работает корректно и напряжение на выходе вычитателя напряжений повторяет обратную ЭДС.

## 7 Проектирование ПИ-регулятора

Напряжение обратной ЭДС далее поступает на вычитатель напряжения для нахождения ошибки регулирования между напряжением, пропорциональным скорости вращения и задающим. Для учёта знака ошибки вычитатель питается от схемы двухполярного источника питания (виртуальная земля). Схема для нахождения сигнала ошибки представлена на рисунке 29.

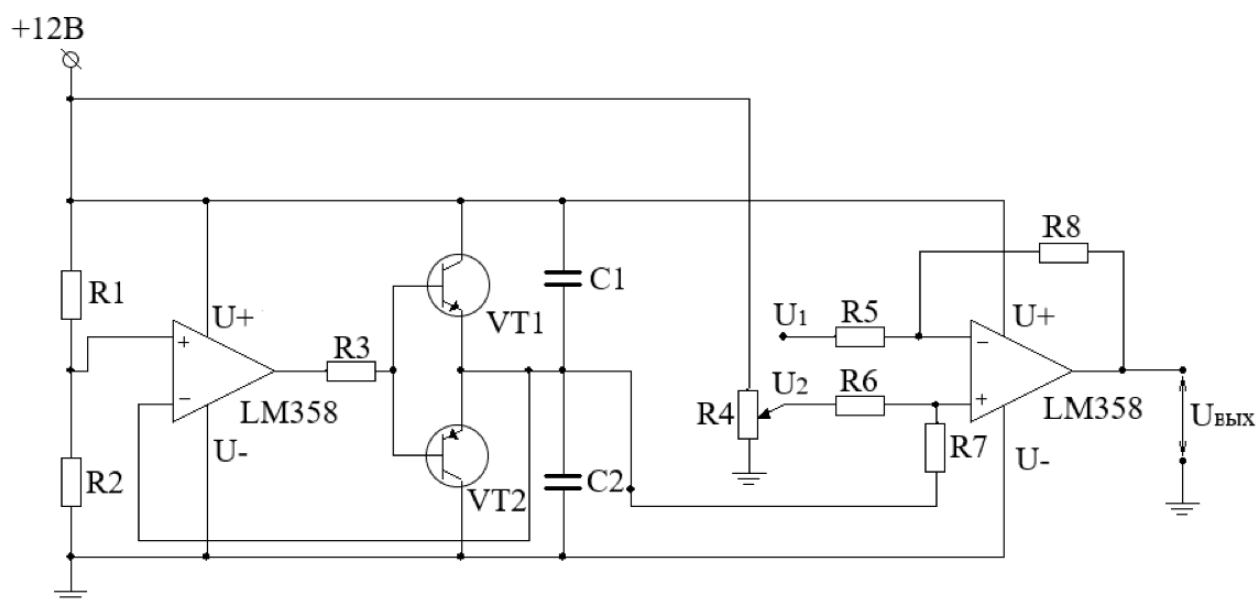


Рисунок 29 – Схема для нахождения сигнала ошибки

Сигнал с выхода вычитателя  $U_{\text{вых}}$  соответствует разности напряжения  $U_2$  (задающий сигнал) и  $U_1$  (сигнал, пропорциональный скорости вращения), что соответствует ошибке регулирования.

Выходной сигнал ошибки поступает на схему ПИ-регулятора, изображённую на рисунке 30.

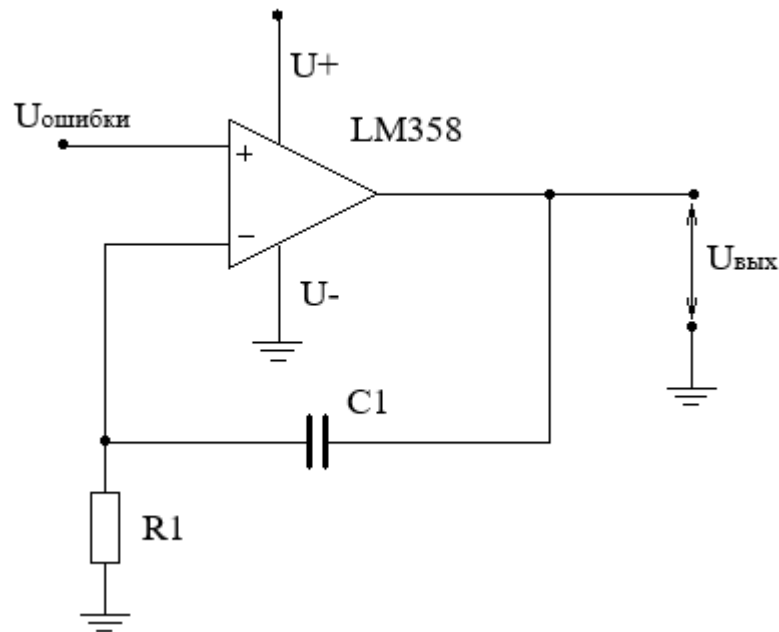


Рисунок 30 – ПИ-регулятор на операционном усилителе

Принцип работы данной схемы основан на зарядке и разрядке конденсатора в зависимости от знака и значения ошибки. При положительной ошибке конденсатор  $C1$  начинает заряжаться и повышать уровень управляющего воздействия, а скорость зарядки зависит от значения напряжения ошибки. Соответственно, при отрицательной ошибке конденсатор разряжается и понижает уровень управляющего воздействия. Таким образом, наблюдается работа интегральной составляющей регулятора. Также, при изменении ошибки выходной сигнал пропорционально изменяется (коэффициент пропорциональности равен 1), при этом наблюдается работы интегральной составляющей. Далее сигнал с выхода ПИ-регулятора поступает в качестве управляющего воздействия на вход компаратора, генерирующего ШИМ-сигнал. Тем самым происходит стабилизация скорости вращения ДПТ с использованием обратной связи по противо-ЭДС двигателя.

Отдельное моделирование данной схемы не проводилось, так как схема является заключительной в построении электропривода, поэтому сразу осуществлялось моделирование всей схемы электропривода.

## 8 Схема электропривода

В результате работы была спроектирована полная схема электропривода, изображенная на рисунке 31.

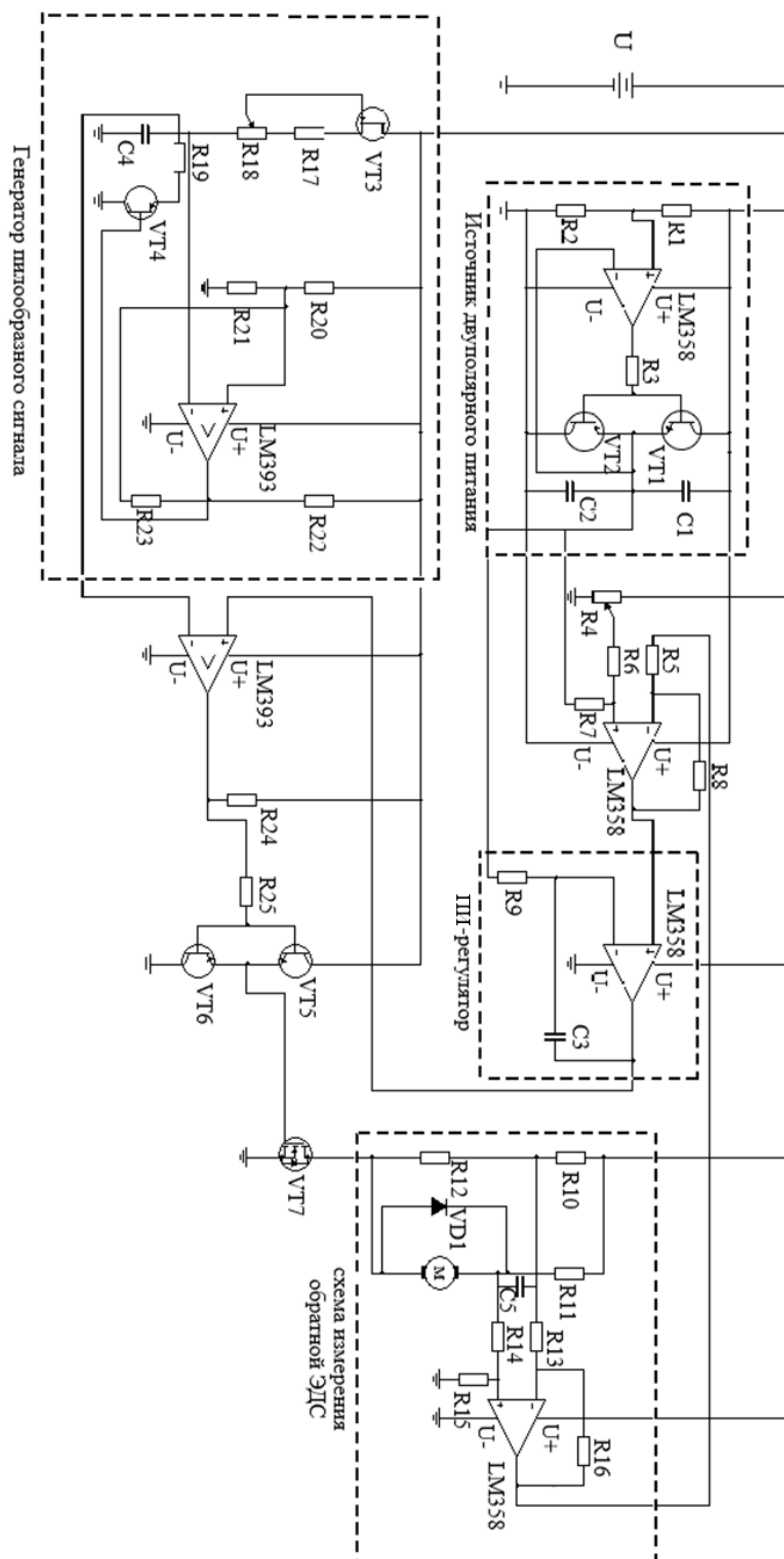


Рисунок 31 – Схема электропривода

## 9 Моделирование работы схемы электропривода

Для проверки работоспособности схемы она была собрана в программе Multisim (рисунок 32), при этом некоторые части схемы были помещены в блоки.

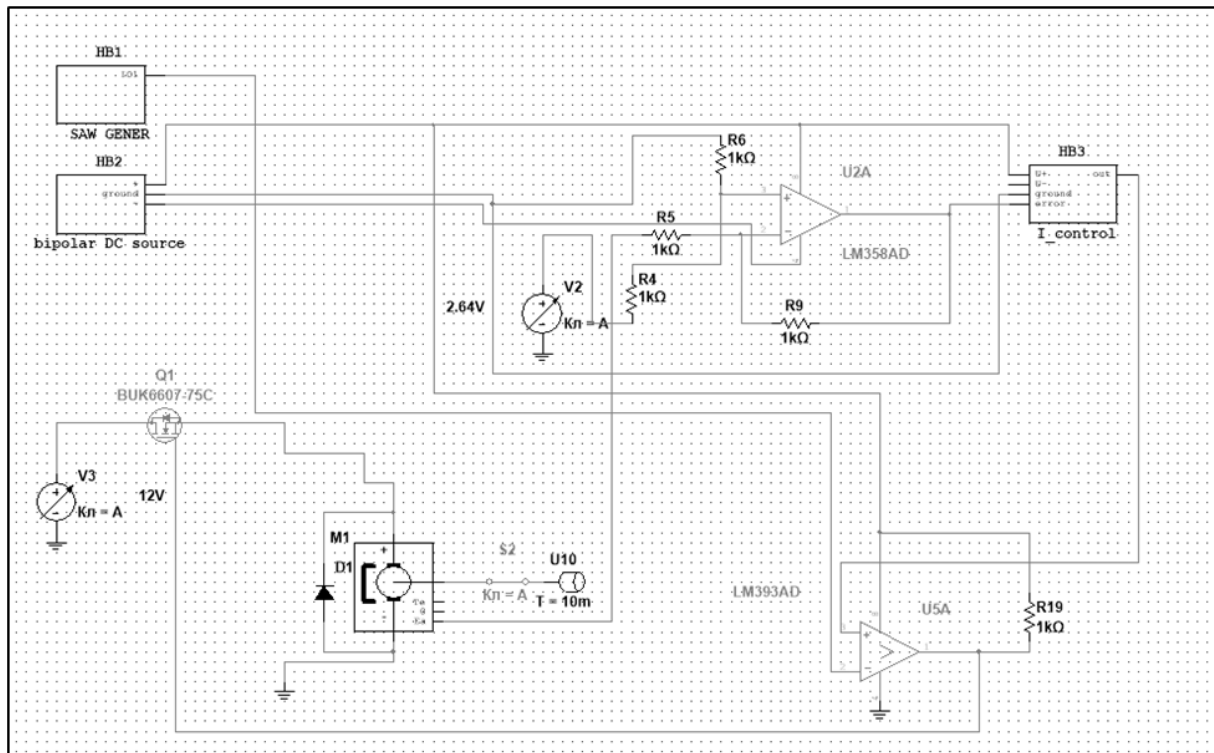


Рисунок 32 – Схема в Multisim

В результате работы были построены графики переходного процесса обратной ЭДС и управляющего воздействия (рисунки 33-34).

Также в момент времени  $t_{нагр}$  имитируется внешняя нагрузка на двигатель для моделирования работы стабилизатора под нагрузкой.



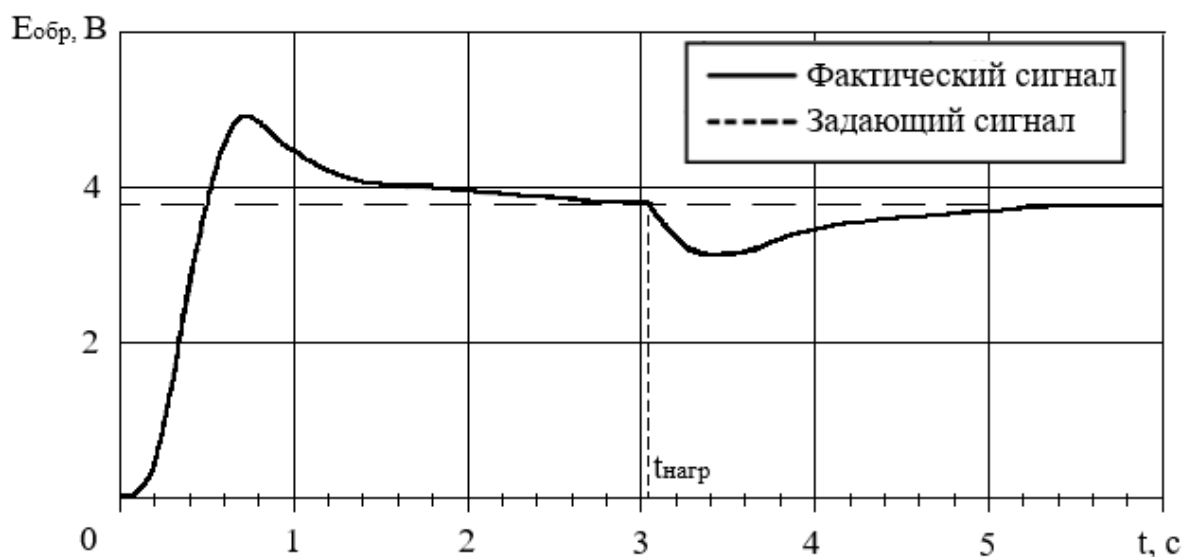


Рисунок 33 – Переходная характеристика обратной ЭДС двигателя

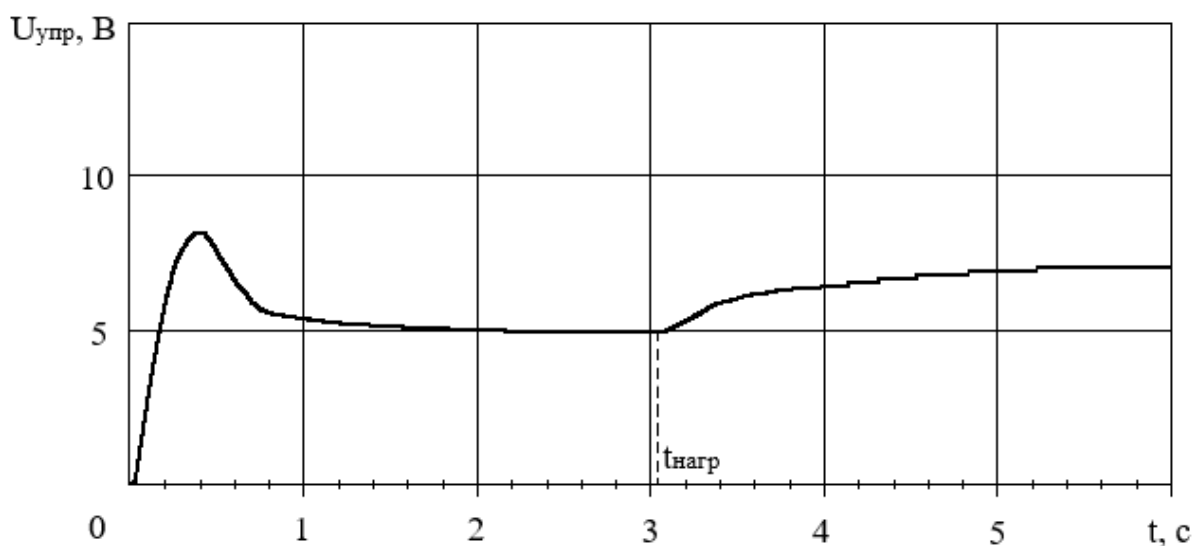


Рисунок 34 – График управляющего воздействия регулятора

Как видно из графиков рисунков 33-34, схема работает корректно и стабилизирует скорость при приложении внешней нагрузки.

## 10 Экспериментальное исследование схемы

Макет схемы регулятора с функцией стабилизации также был спаян и протестирован на реальном двигателе (рисунок 35).

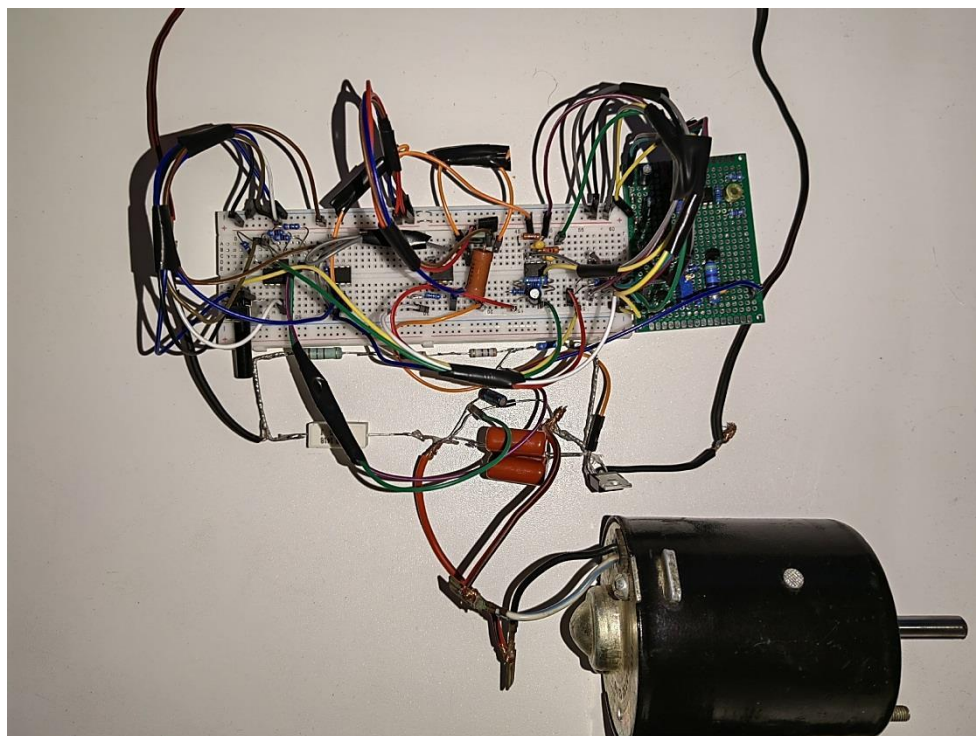


Рисунок 35 – Схема электропривода

На рисунках 36-39 приведены графики, снятые с осциллографа, и представляющие собой графики переходной характеристики обратной ЭДС двигателя, управляющего воздействия, а также ШИМ-сигнала при различных уровнях задающего воздействия. В определённый момент времени  $t_{нагр}$  вал двигателя зажимается для проверки стабилизации.

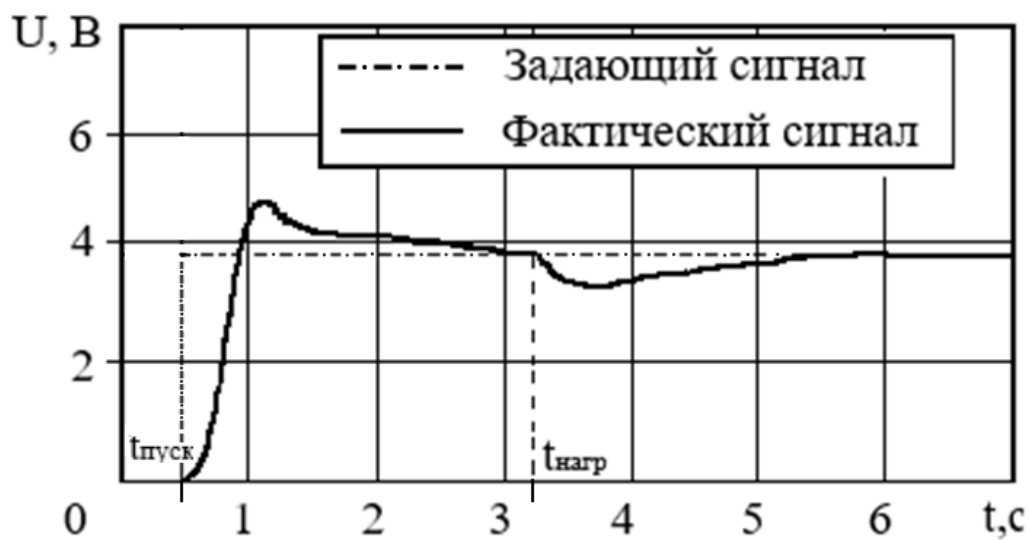


Рисунок 36– Переходная характеристика обратной ЭДС двигателя

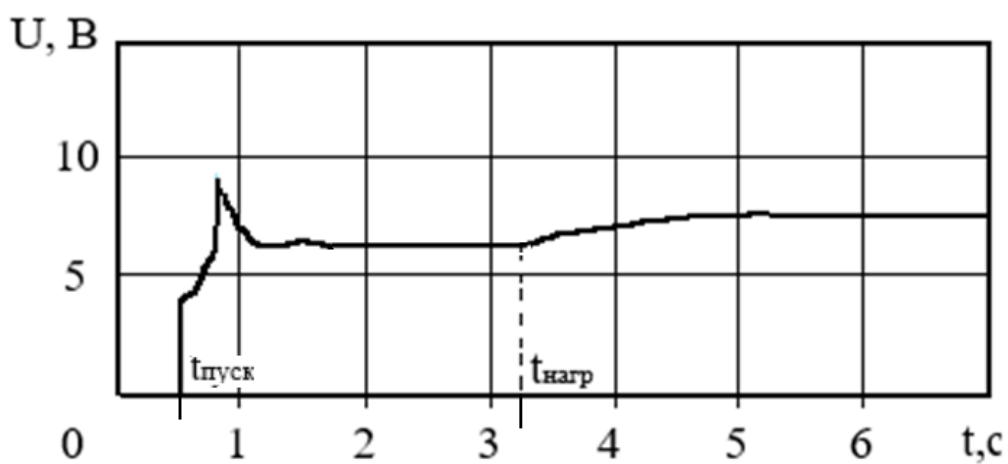


Рисунок 37 – График управляющего воздействия регулятора

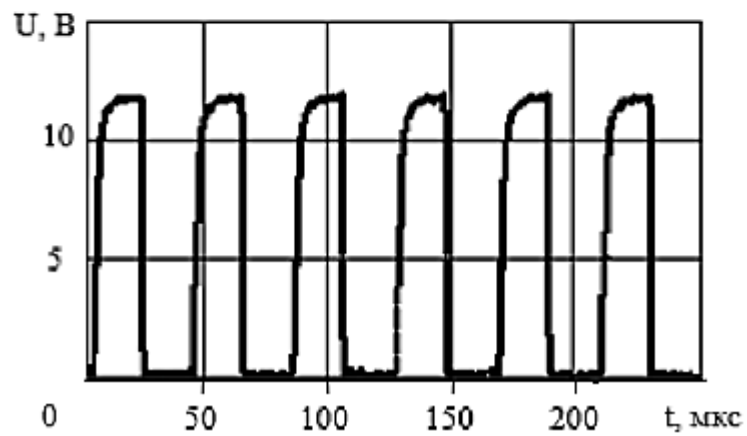
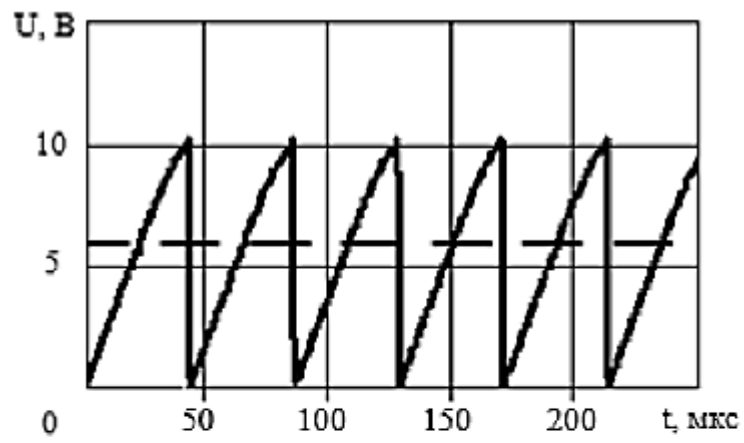


Рисунок 38 – Эпюры пилообразного сигнала и ШИМ-сигнала при управляющем воздействии 6 В (пунктирная линия)

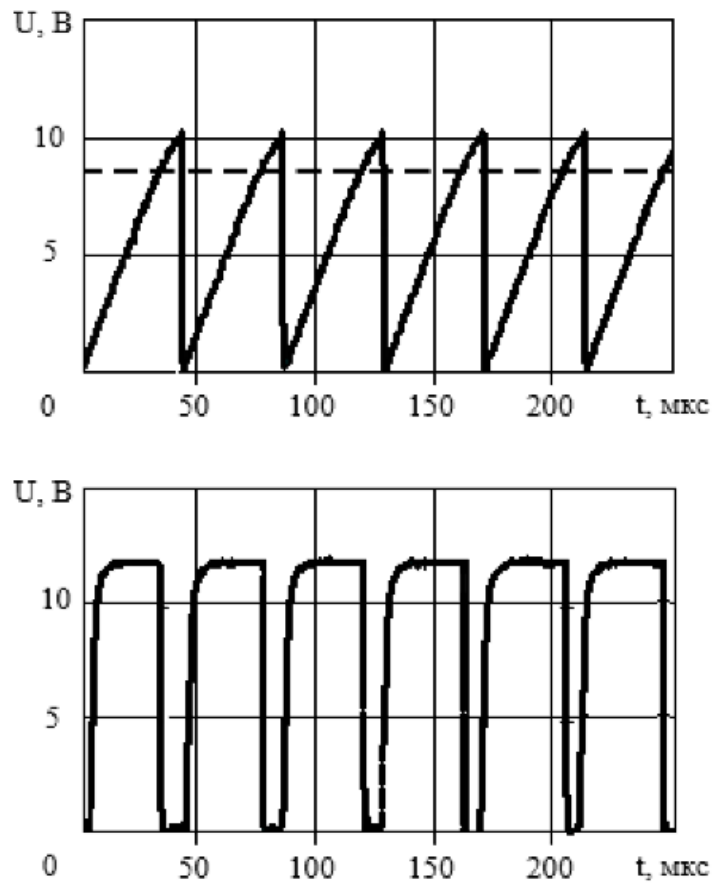


Рисунок 39– Эпюры пилообразного сигнала и ШИМ-сигнала при управляющем воздействии 8 В (пунктирная линия)

Результаты испытаний подтвердили эффективность схемы стабилизации, но на данный момент регулятор имеет низкое время срабатывания. Поэтому для улучшения быстродействия используем ПИ-регулятор с изменяемым коэффициентом пропорциональности и увеличим его значение. Схема регулятора представлена на рисунке 40.

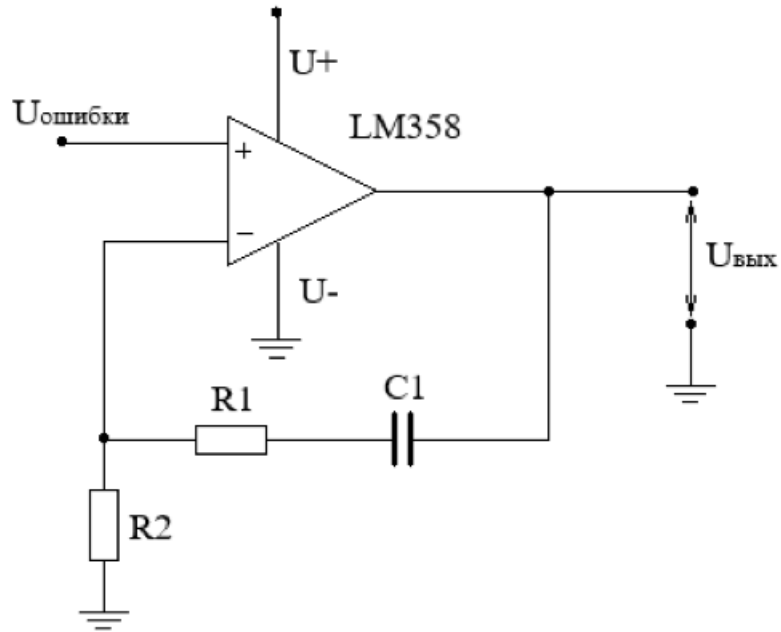


Рисунок 40 – ПИ-регулятор с изменяемым пропорциональным коэффициентом

На рисунках 41-42 показаны переходная характеристика обратной ЭДС двигателя и график управляющего воздействия после настройки параметров ПИ-регулятора. В момент времени  $t_{пуск}$  подаётся питание на двигатель и осуществляется разгон до заданного напряжения 4 В. В момент времени  $t_1$  прикладывается нагрузка на вал, а в момент времени  $t_2$  нагрузка устраняется.

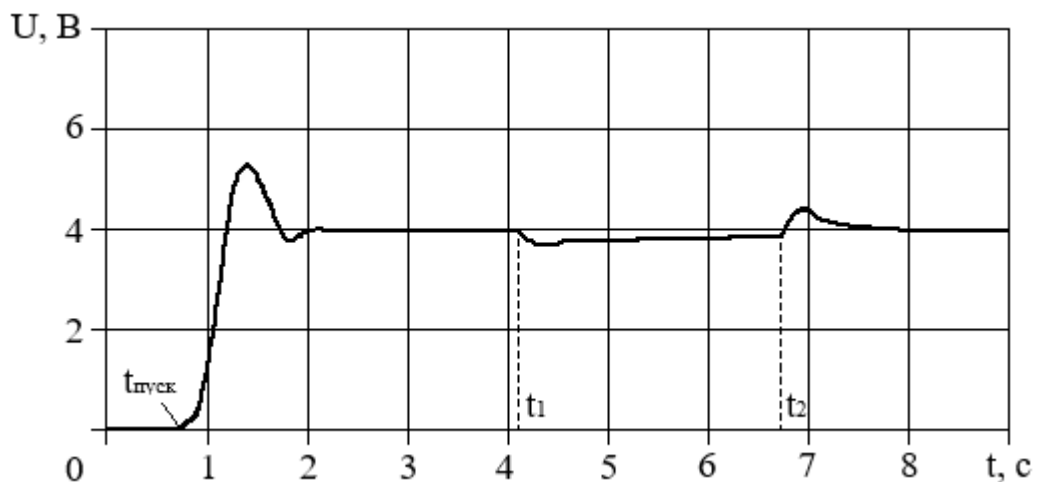


Рисунок 41 – Переходная характеристика обратной ЭДС двигателя

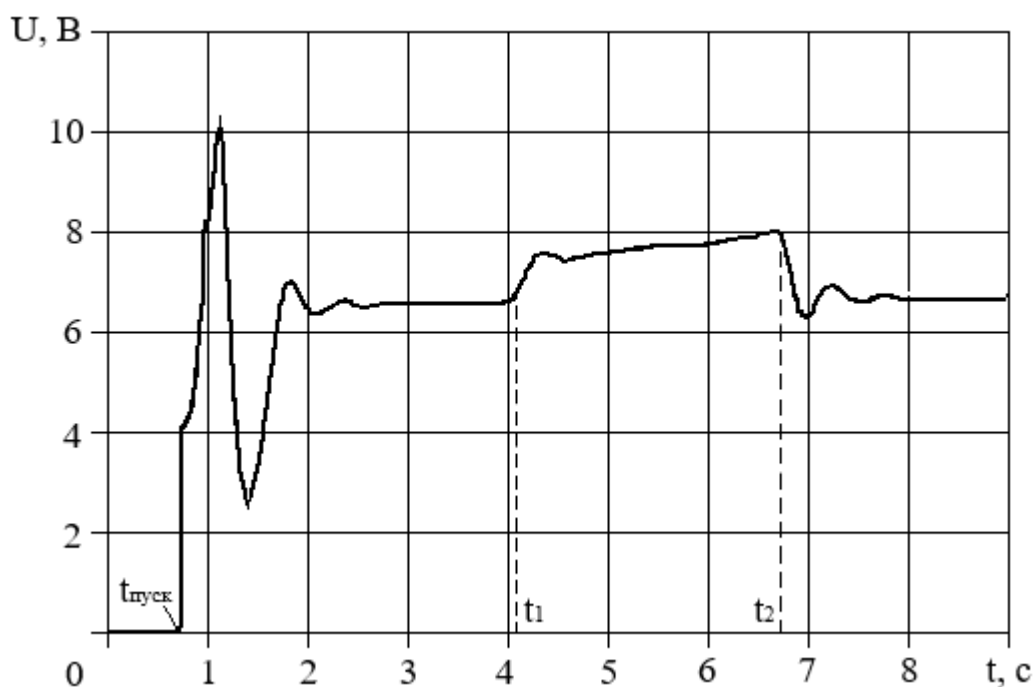


Рисунок 42 – График управляющего воздействия регулятора

Таким образом, благодаря настройке пропорциональной составляющей удалось добиться более быстрого времени срабатывания. При этом максимальное отклонение от задающего сигнала уменьшается в момент наложения нагрузки по сравнению с предыдущим вариантом. Но при снятии нагрузки можно заметить резкое возрастание скорости, так как пропорциональная составляющая не успевает отработать это воздействие, а увеличение П-коэффициента приводит к сильной колебательности процесса. Также фиксируется небольшое колебание при переходном процессе. Для устранения данных недостатков необходимо добавление дифференциальной составляющей и, следовательно, использовать ПИД-регулятор.

Электронная схема ПИД-регулятора отличается от предыдущих схем регуляторов добавлением конденсатора  $C_2$ , параллельно резистору  $R_2$  (рисунок 43).

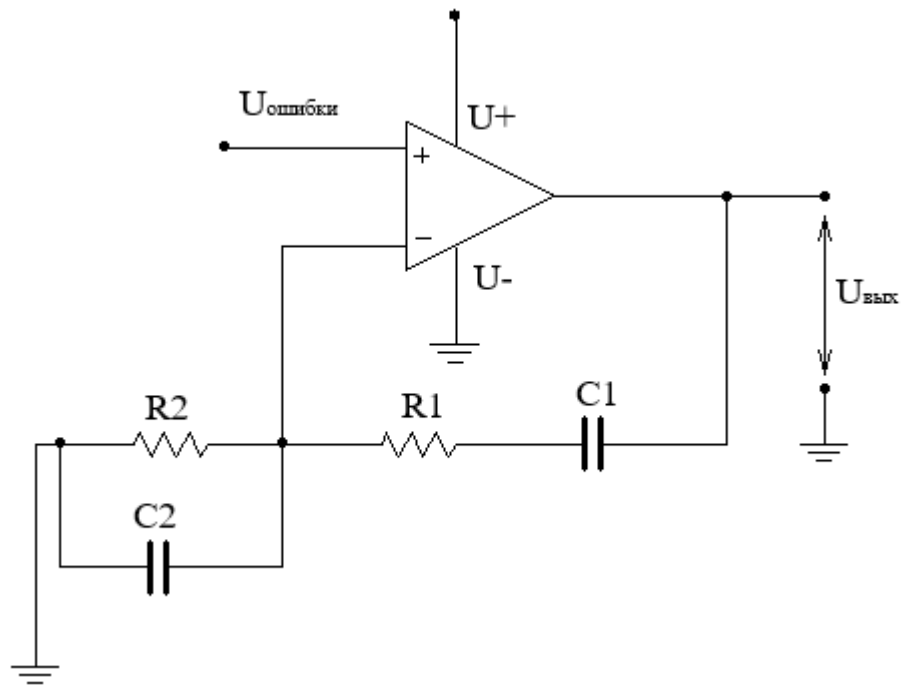


Рисунок 43 – ПИД-регулятор на операционном усилителе

Построим аналогичные графики переходной характеристики и управляющего воздействия (рисунки 44-45).

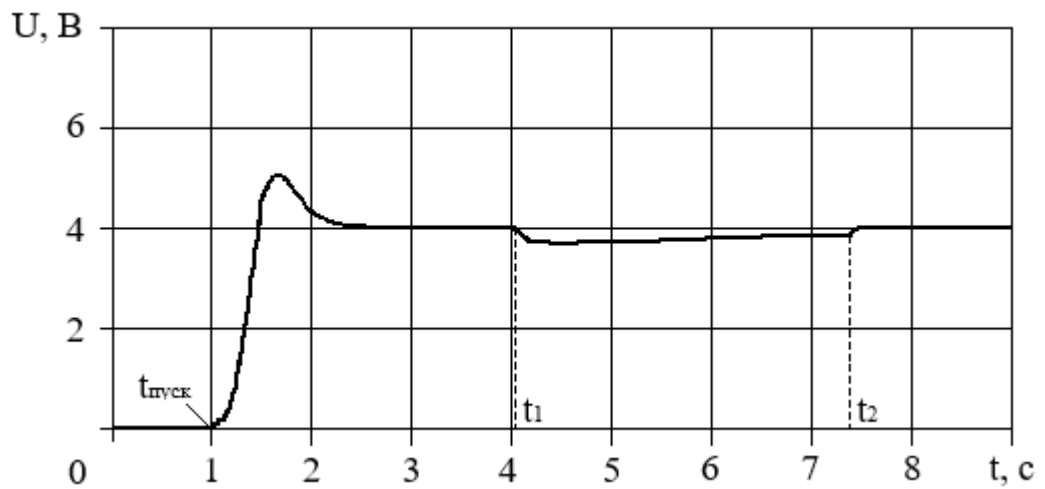


Рисунок 44 – Переходная характеристика обратной ЭДС двигателя



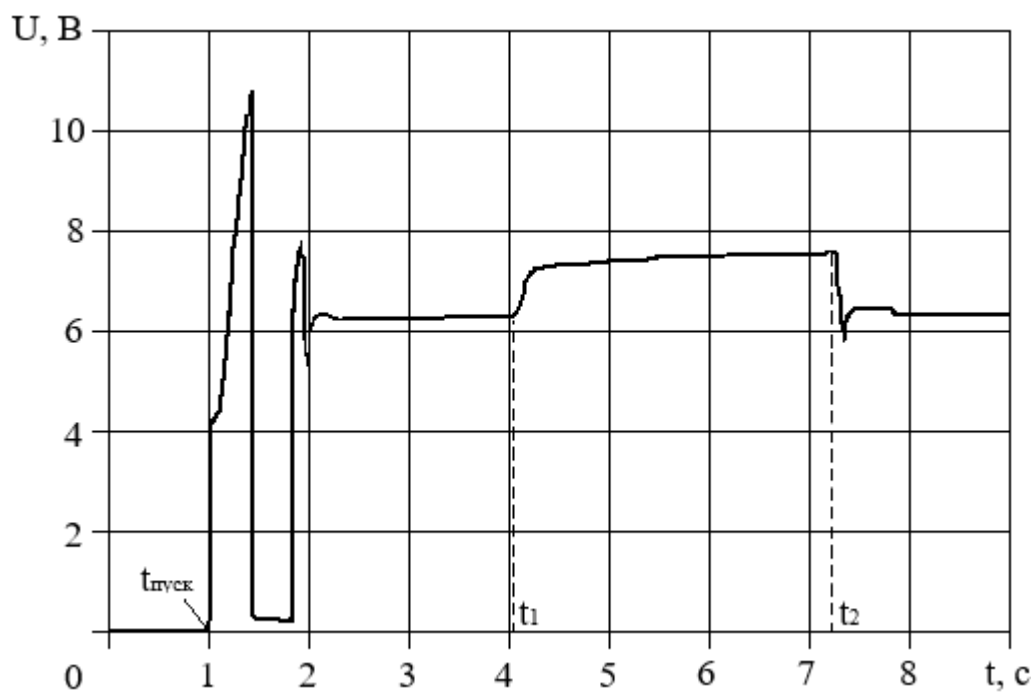


Рисунок 45 – График управляющего воздействия регулятора

Благодаря введению дифференциальной составляющей удалось устранить излишний разгон двигателя при снятии нагрузки, а также колебательность переходной характеристики, что подтверждается графиком переходной характеристики.

Таким образом, схема регулятора с функции стабилизации работает корректно и обрабатывает возмущающие воздействия.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Е91	Комарову Борису Александровичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>15.03.06 «Мехатроника и робототехника»</b>

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Среднерыночные цены РФ для определения стоимости материальных ресурсов. Нормативные документы НИ ТПУ, ФЗ «О минимальном размере оплаты труда» для определения оплаты труда исполнителей проекта.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы 16%, районный коэффициент 30 %.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30 %.

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ потенциальных потребителей и конкурентных технических решений. SWOT-анализ. Определение альтернатив проведения НИ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование структуры работ и определение трудоемкости их выполнения, графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсной и финансовой эффективности.

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

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений. 2. Матрица SWOT-анализа 3. Морфологическая матрица схемы регулятора 4. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей 5. Временные показатели проведения НИ 6. Бюджет НИ 7. Оценка характеристик вариантов исполнения 8. Сравнительная эффективность разработки.
--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	13.02.2023 г.
---	---------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		13.02.2023 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Е91	Комаров Борис Александрович		13.02.2023 г.

## **11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке электронной схемы для управления двигателем постоянного тока, используемого в разрабатываемом мехатронном модуле сбора дикоросов. Конечный продукт в виде электронной печатной платы позволит регулировать и стабилизировать скорость вращения двигателя постоянного тока.

Целью данного раздела является оценка перспективности, конкурентоспособности среди конкурентов, а также оценка различных исполнений разработки. В разделе оценивается уровень возможных рисков и возможностей проекта.

### **11.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

**Анализ потенциальных потребителей и конкурентных технических решений.**

Данный продукт разрабатывается как часть мехатронного модуля сбора дикоросов, но также продукт может быть полезен для различных компаний и отраслей, где необходимо обеспечить точное управление скоростью или позиционированием двигателя. Некоторые из таких отраслей включают:

- 1) Производители робототехники и автоматизированных систем;
- 2) Производители промышленного оборудования;
- 3) Производители бытовой техники.

В связи с тем, что большинство решений, связанные со стабилизацией оборотов двигателя постоянного тока, включают в структуру самого двигателя, разработка отдельных схем не так распространено. Но всё же можно представить несколько конкурентных продуктов:

- 1) Регулятор оборотов, «РООС-1»;
- 2) Блок управления AWD17-12, АО «Лаборатория электроники».

Анализ конкурентных решений проведен в таблице 1. В таблице используется следующие обозначения:

- 1)  $B_{\phi}$  – разрабатываемая схема регулятора;
- 2)  $B_{к1}$  – регулятор оборотов «РООС-1»;
- 3)  $B_{к2}$  – блок управления «AWD17-12».

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{\phi}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1. Диапазон питающего напряжения	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Сложность монтажа	0,25	5	5	3	1,25	1,25	0,75
3. Стоимость	0,25	5	3	4	1,25	0,75	1
4. Точность стабилизации	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
5. Диапазон регулирования скорости	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
6. Потребляемая мощность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>4,8</b>	<b>4,7</b>	<b>4</b>

Анализ конкурентных технических решений определяются по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i, \quad (20)$$

где  $K$  – конкурентоспособность разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По данным, полученным в результате составления оценочной карты, можно сделать вывод, что разрабатываемая схема регулятора является конкурентоспособным решением.

**SWOT-анализ.** Анализ SWOT, представленный в таблице 2, позволяет сделать вывод, что проект имеет некоторые слабые стороны и сталкивается с некоторыми угрозами. Однако, несмотря на это, проект также обладает значительными возможностями и сильными сторонами, которые могут способствовать его успеху. Это подтверждает потенциал проекта для достижения поставленных целей и его способность преодолеть текущие ограничения и риски. При правильном управлении и эффективной стратегии реагирования на угрозы и усиления положительных аспектов, проект имеет все шансы стать успешным.

Таблица 2 – Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Дешевле по сравнению с аналогами</li> <li>– Упрощение конструкции (отсутствие датчика скорости)</li> <li>– Высокая точность и быстрая реакция</li> </ul>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Потеря точности при повышении температуры</li> <li>– Необходимость в настройке параметров для конкретной модели двигателя</li> <li>– Чувствителен к электромагнитным помехам</li> </ul>
<p><b>Возможности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Интеграция с другими системами</li> <li>– Улучшение технических характеристик</li> </ul>	<p>Стабилизатор, использующий тахометрический мост,</p>	<p>С развитием технологий и исследований можно улучшать технические</p>

## Продолжение таблицы 2 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Может быть интегрирован с другими системами управления, что позволяет создать комплексную систему автоматического контроля скорости вращения и повысить эффективность работы</p>	<p>Характеристики стабилизатора. Это может включать повышение точности измерений, расширение диапазона измерений, снижение влияния помех и улучшение надежности работы.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Конкуренция со стороны других производителей стабилизаторов</li> <li>– Технические ограничения, такие как электромагнитные помехи или особенности конструкции двигателя</li> </ul>	<p>Разработка инновационных функций, повышение качества и надежности, а также активная маркетинговая стратегия помогут удерживать конкурентоспособность на рынке</p>	<p>Применение экранирования от помех, оптимизацию конструкции тахометрического моста или использование дополнительных фильтров и усилителей сигнала</p>

### 11.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В данном разделе используется морфологический подход, для определения возможных альтернатив проведения научных исследований. Этот подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения объекта исследования. В рамках этого подхода составлена морфологическая матрица в таблице 3.

Таблица 3 – Морфологическая матрица схемы регулятора - стабилизатора

<b>Исполнения</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Датчик скорости	Тахометрическая мостовая схема	Инкрементальный энкодер HAJ1024	Тахометрическая мостовая схема
Сравнивающий компаратор	LM393	LM393	LM393
Операционный усилитель	LM358	LM358	LM358
Усиливающие транзисторы	КТ816, КТ817	КТ816, КТ817	КТ816, КТ817
Диод двигателя	1N5818	1N5818	HER308
Управляющий MOSFET транзистор	IRF640	IRF640	IRF1405ZPBF
Транзистор стабилизатора тока	J112	КП364	КП364

Исполнение 1 – выбранный вариант компонентов в ходе разработки электронной схемы. Исполнения 2 и 3 – альтернативные варианты компонентов.

### **11.3 Планирование научно-исследовательских работ**

**Структура работ в рамках научного исследования.** В состав рабочей группы необходимой для выполнения научного исследования входят инженер (бакалавр) и научный руководитель. Перечень этапов, работ и распределения исполнителей приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Основные этапы</b>	<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические исследования	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
Обобщение и оценка результатов	5	Оценка эффективности полученных результатов и определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер
Разработка и проектирование макета	6	Разработка электронной схемы	Инженер
	7	Расчёт и выбор компонентов	Инженер
	8	Проверка правильности проведённых работ	Руководитель
Изготовление и испытание макета	9	Сборка макетного образца схемы	Инженер
	10	Лабораторные испытания	Руководитель, инженер



## Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования.

Для расчета ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 3 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (21)$$

где  $t_{\min i}$  – минимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн;

$t_{\max i}$  – максимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (22)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Представим информацию о трудоёмкости работ с помощью диаграммы Ганта. Для более удобного построения графика длительность каждого этапа работ переведем из рабочих дней в календарные дни. Для этого используется следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (23)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (24)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году ( $T_{\text{вых}} = 365$ );

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году ( $T_{\text{вых}} = 53$ );

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году ( $T_{\text{пр}} = 12$ ).

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 53 - 12} = 1,21.$$

Все рассчитанные значения сведены в таблице 5. Также, исходя из расчётов, в таблице 6 представлен календарный план-график проведения НИОКР.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	$T_{pi}$ , дни	$T_{ki}$ , дни
	$t_{\min}$ , чел-дн	$t_{\max}$ , чел-дн	$t_{ож}$ , чел-дн			
Составление и утверждение технического задания	2	3	3	Руководитель, инженер	1,5	2
Подбор и изучение материалов по теме	12	15	16,2	Инженер	16,2	20
Календарное планирование работ по теме	2	3	3	Руководитель, инженер	1,5	2
Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	3	3	Инженер	3	4

Продолжение таблицы 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Оценка эффективности полученных результатов и определение целесообразности проведения ОКР	1	2	1.8	Руководитель, инженер	0.9	1
Разработка электронной схемы	15	18	19.8	Инженер	19.8	24
Расчёт и выбор компонентов	6	8	8.4	Инженер	8.4	11
Проверка правильности проведённых работы	5	6	6.6	Руководитель	6.6	8
Сборка макетного образца схемы	8	10	10.8	Инженер	9	13
Лабораторные испытания	8	10	10.8	Инженер	10.8	13
Составления пояснительной записки	3	5	4.8	Инженер	4.8	6
Проверка работы	2	3	3	Руководитель	3	4
Итого						108

Таблица 6 – Календарный план-график проведения НИОКР

Название работы	Исполнители	$T_{ki}$ , дни	Продолжительность работ											
			Февраль			Март			Апрель			Май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Составление и утверждение технического задания	Руков., инж.	2	█											
Подбор и изучение материалов по теме	Инж.	20	█	█	█									
Календарное планирование работ по теме	Руков., инж.	2			█									



$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы ( $k_T = 0,15$ ).

Материальные затраты для каждого исполнения приведены в таблицах 7-9.

Таблица 7 – Материальные затраты исполнения 1

Наименование	Ед. измер.	Кол-во	Цена за ед., руб.	$z_m$ , руб.
Тахометрическая мостовая схема	шт	1	95	109.25
Компаратор LM393	шт	1	24	27.60
Операционный усилитель LM358	шт	2	24	55.20
Транзистор IRF640	шт	1	78	89.70
Транзистор КТ816А	шт	2	22	50.60
Транзистор КТ817А	шт	2	22	50.60
Транзистор 2N5401	шт	1	11	12.65
Транзистор J112	шт	1	43	49.45
Конденсатор керамический X7R 1 мкФ	шт	1	12	13.80
Конденсатор керамический X7R 2.2 нФ	шт	1	12	13.80
Конденсатор 10 мкФ	шт	2	9	20.70
Резистор переменный RS09-N-30 1 кОм	шт	1	30	34.50
Резистор подстроечный 10 кОм	шт	1	35	40.25
Резистор MF-0.25 100 кОм	шт	4	5	23
Резистор MF-0.25 13 кОм	шт	2	5	11.50
Резистор MF-0.25 10 кОм	шт	4	5	23
Резистор MF-0.25 5 кОм	шт	1	5	5.75
Резистор MF-0.25 200 Ом	шт	1	5	5.75
Резистор MF-2 25 Ом	шт	2	20	46
Плата макетная РСВ	шт	1	115	132.25
Итого				814.45

Таблица 8 – Материальные затраты исполнения 2

Наименование	Ед. измер.	Кол-во	Цена за ед., руб.	$z_m$ , руб.
Инкрементальный энкодер HAJ1024	шт	1	1690	1943
Компаратор LM393	шт	1	24	27.6
Операционный усилитель LM358	шт	2	24	55.2
Транзистор IRF640	шт	1	78	89.7
Транзистор КТ816А	шт	2	22	50.6
Транзистор КТ817А	шт	2	22	50.6
Транзистор 2N5401	шт	1	11	12.65
Транзистор КП364	шт	1	67	77.05
Конденсатор керамический X7R 1 мкФ	шт	1	12	13.8
Конденсатор керамический X7R 2.2 нФ	шт	1	12	13.8
Конденсатор 10 мкФ	шт	2	9	20.7
Резистор переменный RS09-N-30 1 кОм	шт	1	30	34.5
Резистор подстроечный 10 кОм	шт	1	35	40.25
Резистор MF-0.25 100 кОм	шт	4	5	23
Резистор MF-0.25 13 кОм	шт	2	5	11.5
Резистор MF-0.25 10 кОм	шт	4	5	23
Резистор MF-0.25 5 кОм	шт	1	5	5.75
Резистор MF-0.25 200 Ом	шт	1	5	5.75
Резистор MF-2 25 Ом	шт	2	20	46
Плата макетная РСВ	шт	1	115	132.25
Итого				2675.8

Таблица 9 – Материальные затраты исполнения 3

Наименование	Ед. измер.	Кол-во	Цена за ед., руб.	$z_m$ , руб.
Тахометрическая мостовая схема	шт	1	95	109.25
Компаратор LM393	шт	1	24	27.60
Операционный усилитель LM358	шт	2	24	55.20
Транзистор IRF1405ZPBF	шт	1	171	196.65
Транзистор КТ816А	шт	2	22	50.60
Транзистор КТ817А	шт	2	22	50.60
Транзистор 2N5401	шт	1	11	12.65
Транзистор КП364	шт	1	67	77.05
Конденсатор керамический X7R 1 мкФ	шт	1	12	13.80
Конденсатор керамический X7R 2.2 нФ	шт	1	12	13.80
Конденсатор 10 мкФ	шт	2	9	20.70
Резистор переменный RS09-N-30 1 кОм	шт	1	30	34.50
Резистор подстроечный 10 кОм	шт	1	35	40.25
Резистор MF-0.25 100 кОм	шт	4	5	23
Резистор MF-0.25 13 кОм	шт	2	5	11.50
Резистор MF-0.25 10 кОм	шт	4	5	23
Резистор MF-0.25 5 кОм	шт	1	5	5.75
Резистор MF-0.25 200 Ом	шт	1	5	5.75
Резистор MF-2 25 Ом	шт	2	20	46
Плата макетная РСВ	шт	1	115	132.25
Итого				920.95

### Расчет затрат на специальное оборудование.

Результаты расчетов затрат на специальное оборудование приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на специальное оборудование

Наименование	Ед. измер.	Кол-во	Цена за ед., руб.	$Z_m$ , руб.
Ноутбук	шт	1	40 000	46 000
Беспаяечная макетная плата	шт	1	220	253
Паяльник	шт	1	700	805
Держатель «Третья рука»	шт	1	400	460
Итого				47518

### **Заработная плата исполнителей темы.**

Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{zn} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (26)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\partial}}, \quad (27)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года ( $M = 10,4$  месяца);

$F_{\partial}$  – действительный годовой фонд рабочего времени ( $F_{\partial} = 300$  дней).

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot k_p, \quad (28)$$

где  $Z_{мс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент ( $k_p = 1,3$ ).



Зарботная плата по тарифной ставке для руководителя взята из приказа ТПУ № 364-3/об от 30.12.2021 «Об установлении размера должностных окладов по отдельным профессиональным квалификационным группам» [10], а зарботная плата для инженера взята из Федерального закона «О минимальном размере оплаты труда» [11]. Результаты расчетов зарботной платы приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет зарботной платы

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб.	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , дн.	$Z_{зн}$ , руб
Руководитель	37 700	49 010	1 699	17	28 883
Инженер (студент)	16 242	21 114	732	108	79 056
Итого					107 939

### Отчисления во внебюджетные фонды.

В соответствии с главой 34 Налогового кодекса РФ размер страховых взносов равен 30% от полной зарботной платы. Сумму отчислений во внебюджетные фонды можно найти по формуле:

$$Z_{внеб} = Z_{зн.и} \cdot k_{внеб}, \quad (29)$$

где  $Z_{зн.и}$  – итоговая зарботная плата, руб.;

$k_{внеб}$  – коэффициент отчислений ( $k_{внеб} = 0,3$ ).

$$Z_{внеб} = 107\,939 \cdot 0,3 = 32\,381 \text{ руб.}$$

### Формирования бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

В таблице 12 сведены все результаты по расчётам бюджета научно-исследовательского проекта.

Таблица 12 – Расчет зарботной платы

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Материальные затраты	814,45	2675,8	920,95
2. Затраты на специальное оборудование	47518	47518	47518
3. Затраты по заработной плате	107 939	107 939	107 939
4. Отчисления во внебюджетные фонды	32 381	32 381	32 381
5. Накладные расходы (16 % от суммы ст. 1-4)	30 184	30 481	30201
6. Бюджет затрат НТИ	218 835	220 993	218 958

#### 11.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его находят определение двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель определяется по формуле:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (30)$$

где  $I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Результаты расчета данного показателя представлены в таблице 14.

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (31)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения;

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения для проведения расчета интегрального показателя ресурсоэффективности приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Максимальный ток двигателя	0,20	4	5	5
2. Лёгкость монтажа	0,35	5	2	5
3. Стоимость варианта	0,30	5	2	4
4. Точность определения скорости	0,15	5	5	5
Итого	1			

Интегральный показатель эффективности определяется по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{pi}}{I_{финр.i}}. \quad (32)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения;

$I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

Сравнение эффективности проекта первого исполнения со вторым:

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (33)$$

где  $I_{исп.1}$  – интегральный показатель эффективности исполнения 1;

$I_{исп.2}$  – интегральный показатель эффективности исполнения 2.

Сравнение эффективности проекта первого исполнения с третьим:

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.3}}. \quad (34)$$

где  $I_{исп.3}$  – интегральный показатель эффективности исполнения 2.

Результаты расчётов данных показателей приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель	0,99	1	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,8	3,05	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,85	3,05	4,75
4	Сравнительная эффективность	1,59		1,02

В результате сравнения показателей из таблицы 14 можно сделать вывод, что наиболее эффективным является первое исполнение проекта. Близок по эффективности проект третьего исполнения, так как в нём используются

похожие компоненты, при этом показатель «максимальный ток двигателя» имеет балл выше за счёт использования более дорогого транзистора, но, так как данный показатель имеет не максимальный весовой коэффициент, интегральный показатель ресурсоэффективности первого исполнения выше за счёт меньшей стоимости, а это является важным аспектом разработки. Соответственно, интегральный финансовый показатель исполнения 1 также выше. Исполнение 2 является худшим по сравнению с другими исполнениями, так как в роли датчика скорости в данном случае устанавливается инкрементальный энкодер, который имеет схожие точностные характеристики, но более сложен в монтаже и имеет более высокую стоимость. Оценка сравнительной эффективности показала, что разработка в исполнении 1 эффективнее варианта в исполнении 2 и 3 на 59 % и 2 %

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
8E91		Комарову Борису Александровичу	
<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

<b>Разработка мехатронного модуля сбора дикоросов</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации.</li> </ul>	<p>Объект исследования: электронная схема управления электродвигателем мехатронного модуля сбора дикоросов.</p> <p>Область применения: регулирование и стабилизация скорости вращения электродвигателя мехатронного модуля сбора дикоросов.</p> <p>Рабочая зона: лаборатория отделения ОАР, ИШИТР.</p> <p>Размеры помещения: 7.5*5.5м.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: ноутбук, Ethernet-кабель, лабораторный стол, лампа настольная.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: разработка модели электронной схемы в специализированной программе, расчёт и подбор элементной базы устройства.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования</p> <p>ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде.</p> <p>ГОСТ 21889-76. Система «человекмашина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>2) Повышенный уровень шума;</li> <li>3) Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>4) Перенапряжение анализатора;</li> <li>5) Умственное перенапряжение;</li> <li>6) Эмоциональные перегрузки.</li> </ol> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <p>Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого</p>

	попадает работающий. <b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> источник искусственного освещения, изоляция электроники от попадания влаги, пыли, противозумные вкладыши, устройства для обогрева и охлаждения, устройства защитного заземления и зануления.
<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b>	<b>Воздействие на литосферу:</b> утилизация неисправных или устаревших деталей при замене комплектующих ноутбука. <b>Воздействие на гидросферу:</b> попадание отходов в сточные воды при утилизации деталей. <b>Воздействие на атмосферу:</b> вредные выбросы на электростанциях, вырабатывающих используемое электричество, питающее ноутбук, освещение на рабочем месте.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	<b>Возможные ЧС:</b> 1. Техногенные: – пожар; – взрыв; – обрушение зданий. 2. Антропогенные: – терроризм. <b>Наиболее типичная ЧС:</b> – пожар.
<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	
	13.02.2023

**Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна			13.02.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E91	Комаров Борис Александрович		13.02.2023

## **12 Социальная ответственность**

Данная работа включает в себя разработку электронной схемы для регулировки и стабилизации скорости вращения электродвигателя постоянного тока. В процессе была разработана модель схемы в программной среде Multisim, выполнено моделирование работы схемы, а также выбрана база электронных компонентов схемы.

Данная схема будет использоваться как часть мехатронного узла для сбора дикоросов для поддержания постоянной скорости вращения сборочного механизма. Также в будущем схема может быть использована как отдельный продукт для предприятий машиностроительной области и области автоматизации. Выполнение разработки проводилось в Томском политехническом университете, в лаборатории отделения автоматизации и робототехники. Размер помещения: 7.5×5.5 м. Рабочий процесс, связанный с объектом исследования: разработка модели электронной схемы на ноутбуке. Основные средства используемые в процессе разработки: лабораторный стол, ноутбук, лампа настольная. Место, где будет эксплуатироваться разработка, будет варьироваться в зависимости от использования установленного оборудования (двигателя) и может быть как внутри помещения, так и снаружи.

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

#### **12.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

В Российской Федерации существуют законодательные нормы трудового права, которые обязуют работодателей и работников соблюдать определенные правила при заключении и выполнении трудовых договоров. Согласно Трудовому кодексу РФ [12], рабочая неделя не должна превышать 40 часов, и во время предписанных перерывов рекомендуется выполнять физические упражнения и проветривать помещение. Эти нормы, а также другие правовые нормы трудового законодательства, подлежат контролю соответствующих государственных органов и инспекций, которые обеспечивают их соблюдение в



организациях, независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности.

### **12.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Основной вид деятельности при выполнении разработки – это проектирование на персональном компьютере. Средством отображения информации является монитор компьютера, а часто используемые органы управления — мышь и клавиатура. Поэтому должны выполняться необходимые условия, обеспечивающие безопасное и удобное выполнение работ. Рабочее место оборудуется в соответствии требованиями [13].

Рабочее место должно занимать площадь не менее 6 м<sup>2</sup>. Высота рабочей поверхности должна быть на уровне 720 мм над полом. Желательно, чтобы стол был способен менять высоту в пределах 680 - 780 мм. Оптимальные размеры поверхности стола составляют 1600 x 1000 кв. мм. Важно также предусмотреть достаточное пространство для ног под столом, с глубиной не менее 650 мм. Рабочий стол может быть оснащен подставкой для ног, которая располагается под углом 15° к поверхности стола. Подставка для ног имеет длину 400 мм и ширину 350 мм, обеспечивая достаточно пространства для комфортного размещения ног и поддержки правильной осанки. Расстояние от края стола до клавиатуры не должно превышать 300 мм. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно быть в диапазоне 40 - 80 см.

Так же кресло, работающего за столом человека, должно соответствовать требованиям [14]. Помимо этого рабочее место должно соответствовать гигиеническим нормам СанПиН [15].

## 12.2 Производственная безопасность

В таблице 15 представлены возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте.

Таблица 15 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте учебной лаборатории ТПУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1) Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
2) Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1).
3) Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 (с изменением № 1).
4) Перенапряжение анализатора, умственное перенапряжение, эмоциональные перегрузки.	МР 2.2.9.2311-07. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.
5) Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

### 12.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Для нормальной работы человека в помещениях зданий следует обеспечивать оптимальные или допустимые параметры микроклимата в обслуживаемой зоне. Это важно, поскольку неправильные условия микроклимата могут оказывать негативное влияние на здоровье и производительность человека.

Недостаточная циркуляция воздуха или низкий уровень влажности в помещении могут вызывать раздражение дыхательных путей, аллергические реакции, астму и другие проблемы с дыханием. При повышенной температуре воздуха на рабочем месте могут возникать избыточное потоотделение, затемнение в глазах, головокружение и тошнота. Кроме того, излишнее потоотделение может нарушить водно-солевой баланс, что вместе с перегревом может привести к судорожным состояниям.

Параметры, характеризующие микроклимат в помещениях [16]:

- температура воздуха;
- скорость движения воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- результирующая температура помещения.

Согласно [16] оптимальные и допустимые параметры микроклимата можно представить в таблицах 16-17. По классификации помещений, учебная лаборатория относится к помещениям второй категории.

Таблица 16 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Результирующая температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-21	18-20	45-30	не более 0,2
Теплый	23-25	22-24	60-30	не более 0,15

Таблица 17 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Результирующая температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	18-23	17-22	не более 60	не более 0,3
Теплый	18-28	19-27	не более 65	не более 0,25

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В целях защиты, работающих от возможного перегрева или охлаждения, при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин, время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено.

### **12.2.2 Повышенный уровень шума**

Повышенный уровень шума при работе человека за компьютером может иметь негативное влияние на его здоровье, комфорт и производительность.

Одним из источников шума является компьютерное оборудование само по себе. Вентиляторы в системном блоке, жесткие диски, принтеры и другие компоненты могут создавать шум при работе. Если шумное оборудование расположено близко к пользователю, оно может стать раздражающим и отвлекающим.

Другим источником шума может быть окружающая среда. Если рабочее место находится рядом с местами с повышенной активностью, такими как принтерные устройства, факс-аппараты, это может привести к значительному уровню шума.

Повышенный уровень шума может приводить к утомляемости, ухудшению концентрации, затруднению коммуникации и возникновению стресса. Долгосрочное воздействие повышенного уровня шума может также вызывать проблемы со слухом и иметь негативное воздействие на общее физическое и психологическое благополучие.

Предельно допустимые уровни звукового давления для используемого рабочего места представлены в таблице 18 из пункта 6 свода правил (СП 51.13330.2011) [17].

Таблица 18 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА	Максимальный уровень звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	65

Для борьбы с повышенным уровнем шума при работе за компьютером можно применить несколько подходов. Важно организовать рабочую среду таким образом, чтобы минимизировать воздействие шума. Это может включать размещение компьютера и другого шумоизлучающего оборудования на достаточном расстоянии от рабочего стола, использование шумопоглощающих материалов или экранирование помещения.

Также можно рассмотреть применение индивидуальных защитных средств, таких как наушники с активным шумоподавлением или специальные наушники для защиты слуха.

### **12.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

Соблюдение необходимого освещения является важным аспектом при работе за компьютером. В учебных лабораториях могут возникать проблемы с искусственным освещением. Недостаточное освещение может вызывать напряжение глаз, ухудшение зрения, а также утомляемость и снижение концентрации, риску производственного травматизма и развитию близорукости, согласно нормам освещенности [18].

Для предотвращения отсутствия или недостатка искусственного освещения необходимо принять несколько мер. Во-первых, следует обеспечить достаточное количество осветительных приборов в рабочей зоне. Их расположение должно быть оптимальным для равномерного освещения всей рабочей поверхности. Также рекомендуется использовать источники света с

естественным спектром, чтобы максимально приблизиться к естественному свету.

Таблица 19 содержит предписанные нормы освещенности для рабочего места в учебной лаборатории, учитывая то, что работа с персональным компьютером относится к классу высокой точности.

Таблица 19 – Допустимые характеристики искусственного освещения

Освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Цилиндрическая освещенность, лк	Объединенный показатель UGR	Коэффициент пульсации освещенности, %
300	100	не более 21	не более 15

Рекомендуется соблюдать допустимое время работы перед монитором и делать регулярные перерывы, которые помогут улучшить общую работоспособность.

#### **12.2.4 Перенапряжение анализатора, умственное перенапряжение, эмоциональные перегрузки**

Перенапряжение анализатора, умственное перенапряжение и эмоциональные перегрузки являются распространенными проблемами, связанными с работой человека за компьютером. Эти состояния могут возникать вследствие продолжительной и интенсивной работы, а также неправильной организации рабочего процесса.

Постоянное умственное напряжение и эмоциональная перегрузка могут способствовать развитию тревожных расстройств, депрессии и выгорания, физической истощаемости, бессоннице и снижению энергии. Также постоянное перенапряжение анализатора может вызывать частые головные боли и мигрени.

Для уменьшения негативного воздействия вредных факторов на здоровье сотрудников, рекомендуется провести разделение работы на периоды активности и отдыха.

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки, согласно [19], за рабочую смену при работе с компьютером устанавливается суммарное время регламентированных перерывов, отражённое в таблице 20.

Таблица 20 – Суммарное время регламентированных перерывов

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену			Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене, мин.
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, часы	
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90

При разработке схемы регулятора с функцией стабилизации, уровень нагрузки данной работы относится к категории III, группа В. В соответствии с таблицей, рекомендуется установить суммарное время перерывов не менее 90 минут. Кроме того, для этой категории работы необходимо предусмотреть перерывы длительностью 15 минут каждый трудовой час.

### 12.2.5 Поражение электрическим током

Поражение электрическим током является серьезной опасностью при работе с компьютером и другими электрическими устройствами. Возможность поражения электрическим током возникает при несоблюдении правил безопасности и эксплуатации [20]. Поражение электрическим током является одним из наиболее опасных видов вредного воздействия, так как его нельзя обнаружить визуально. Воздействие электрического тока на организм может иметь различные негативные последствия, включая электрический удар, тепловые ожоги и сердечные проблемы.

При работе с компьютером важно принять меры для защиты от поражения электрическим током. Во-первых, необходимо убедиться, что компьютер и все его периферийные устройства правильно подключены к

заземленным розеткам, а также периодически проверять состояние кабелей, разъемов и проводов. Помещение должно быть оборудовано, в соответствии с техническими требованиями, защитным заземлением, а также устройствами автоматического обнаружения перегрузки или короткого замыкания, которые отключат электрическую цепь, защищая от возможного поражения.

### **12.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия ведения разработки схемы регулятора с функцией стабилизатора на окружающую среду, а также предлагаются мероприятия по защите атмосферы, гидросферы и литосферы.

#### **12.3.1 Воздействие на атмосферу**

Эксплуатация ноутбука может оказывать определенное воздействие на атмосферу, включая окружающую среду и качество воздуха. Ноутбуки потребляют электрическую энергию во время работы. В зависимости от энергетической эффективности устройства и времени его использования, это может привести к потреблению значительного количества электрической энергии, что в свою очередь может вызывать выбросы парниковых газов и других загрязнений при производстве электроэнергии. Для защиты атмосферы от вредных выбросов существуют государственные нормы, которые устанавливают максимально допустимые концентрации определенных веществ в воздухе, которые приведены в таблице 1.1, пункта 1 [21].

Существуют различные способы защиты от выбросов в атмосферу, связанных с эксплуатацией ноутбука, так, например, можно использовать энергоэффективное оборудование или эксплуатировать ноутбук в режиме энергосбережения, когда это возможно.

#### **12.3.2 Воздействие на гидросферу**

Основное воздействие на гидросферу при эксплуатации ноутбуков наблюдается при их утилизации. При выбросе ненужных или вышедших из строя ноутбуков или их компонентов может возникнуть проблема обработки



электронных отходов. Неконтролируемая утилизация электроники может привести к загрязнению водных ресурсов в результате выброса токсичных веществ и тяжелых металлов, которые содержатся в электронных компонентах ноутбуков. Для защиты гидросферы от вредных веществ существуют государственные нормы, предельно допустимые концентрации (ПДК), которые приведены в таблице 3.13, пункта 3 [21]. Они устанавливают максимально допустимые концентрации определенных веществ в воде.

Мерой защиты в данном случае является ответственный подход к утилизации: при избавлении от старых или неработоспособных ноутбуков следует обращаться к специализированным службам или программам по утилизации электроники.

### **12.3.3 Воздействие на литосферу**

При утилизации ненужных или неисправных ноутбуков и их компонентов возникает проблема обработки электронных отходов, которая также может оказывать негативное воздействие на литосферу. Для защиты литосферы от такого воздействия существуют государственные нормы и предельно допустимые концентрации (ПДК), которые устанавливают максимально допустимые значения веществ в почве, определенные в таблице 4.1, пункта 4 [21].

Для предотвращения загрязнения почвы при утилизации деталей ноутбука, рекомендуется применять специализированные методы переработки и утилизации. Эти методы позволяют эффективно обрабатывать электронные компоненты, избегая негативного воздействия на окружающую среду и предотвращая загрязнение почвы.

## **12.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

При разработке схемы регулятора в лаборатории основным видом чрезвычайной ситуации является пожар. Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожарной опасности,

анализируемое в данной работе помещение относится к категории В [22]. Согласно [23], пожар в лаборатории относится к классу Е (пожары материалов электроустановок, находящихся под напряжением).

Основные причины возникновения пожара:

- неосторожное обращение с электронными устройствами или неисправность компонентов;
- неисправности в проводке розетках и выключателях, неисправное электрооборудование;
- перегрузка в электроэнергетической сети.

Человек, выполняющий работы в аудитории, в случае возникновения пожара или его признаков обязан:

- Немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную часть;
- Задействовать систему оповещения людей о пожаре при необходимости;
- Приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации людей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;
- Принять по возможности меры по тушению пожара;
- Известить о пожаре руководителя или другого работника.

Меры безопасности обеспечиваются системами предотвращения пожара и противопожарной защиты исходя из требований пожарной безопасности [24].

Средствами обеспечения пожаробезопасности являются:

- Огнетушитель, которым обеспечена аудитория, а также пожарный кран, находящийся в здании (первичные средства пожаротушения);
- Системы автоматической пожарной сигнализации;
- Средства организации эвакуации, в том числе технические.

Мероприятиями, обеспечивающими пожаробезопасность, являются:

- Обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении;

– Пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения.

### **12.5 Вывод по социальной ответственности**

В данном разделе были проанализированы основные опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении и эксплуатации проектируемой электронной схемы, и методы защиты от них.

Фактические значения потенциально возможных факторов, которые можно оценить без специализированных устройств (температура, время отдыха) соответствуют нормам. Учебная лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности, согласно ПУЭ [25]. Согласно правилам по охране труда [26], у персонала должна быть I группа электробезопасности. По категории тяжести труда, разработка электронной схемы, используя ноутбук, будет относиться к категории Ia, согласно САНПИН 1.2.3685-21 [21]. Исходя из свода правил [27] помещение, в котором проводилась разработка, относится к категории В по взрывопожарной и пожарной опасности. Процесс проведения НИР и инструменты для его проведения, в данном случае не относятся к какой-то категории объектов загрязнения. Значительное воздействие на окружающую среду имеют электростанции, вырабатывающие электроэнергию, необходимую для проведения НИР. Электростанции относят к I категории объектов, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду, согласно критериям отнесения объектов [28].

Так же были рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в процессе разработки, и меры защиты от них.

## Заключение

В результате выполнения работы была спроектирована, смоделирована и проверена на практике схема электропривода с возможностью регулирования и стабилизации скорости вращения.

Разработан генератор пилообразного напряжения, основанный на использовании стабилизатора тока на JFET – транзисторе и схеме триггера Шмидта, построенном на компараторе.

Построен регулятор скорости вращения электродвигателя, основанный на сравнении сигнала пилообразного и задающего напряжения.

Проведён анализ датчиков скорости вращения электродвигателя, выявлены достоинства и недостатки каждого метода, на основе которых была выбрана тахометрическая схема измерения скорости. Данная схема использована для реализации стабилизатора скорости вращения двигателя, основанном на управлении по отклонению.

В результате экспериментов подтвердилось, что схема работает корректно и выполняет функцию стабилизации оборотов. В ходе проведения экспериментов были выявлены недостатки, которые устранены при помощи использования и подбора коэффициентов ПИД-регулятора.

Также в ходе выполнения работы были получены практические навыки работы с такими электронными компонентами, как операционный усилитель, компаратор, полевой и биполярный транзистор. Получены навыки работы с осциллографом и паяльным оборудованием.

## Список использованных источников

1. Адам, А.М. Методическое пособие по заготовкам дикоросов на территории Томской области/ А.М. Адам, А.И. Таловский, Е.Е. Тимошок [и др.]- Томск, 2006, -С. 11-12.
2. Тырышкин А.В., Андраханов А.А., Орлов А.А. Автономный мобильный робот для сбора дикоросов и способ управления им // Патент на изобретение № 2424892, опубл. 27.07.2011, Бюл. № 21.
3. Солодников, В. В. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Книга 2. Усилительные устройства, корректирующие элементы и устройства, «Машиностроение», 1975 – 687 с.
4. Шахворостов С.А. Технические средства автоматизации, Москва, 2011
5. Абрамов К.Д. Схемотехника устройств на операционных усилителях. Учебное пособие. Национальный Аэрокосмический Университет «Харьковский авиационный институт», 2008
6. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. М.: Мир, 1982– 512 с.
7. Севин Л. Полевые транзисторы, «Советское радио», 1968
8. В.С. Проскуряков, С.В. Соболев. Электротехника. Электрические машины постоянного тока: Учебное пособие, 2008
9. В.Г. Важенин, Ю.В. Марков Л.Л. Лесная. Аналоговые устройства на операционных усилителях: Учебное пособие, 2014
10. Приказ № 364-3/об от 30.12.2021 «Об установлении размера должностных окладов по отдельным профессиональным квалификационным группам» // Электронный ресурс «Portal.tpu», URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/f/FTV/Uchebnayarabota/Tab/Приказ\\_№\\_364-3\\_об\\_от\\_30.12.2021.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/f/FTV/Uchebnayarabota/Tab/Приказ_№_364-3_об_от_30.12.2021.pdf)
11. Федеральный закон от 19.12.2022 № 522-ФЗ «О внесении изменения в статью 1 Федерального закона «О минимальном размере оплаты труда» и о приостановлении действия ее отдельных положений» // Электронный ресурс

«Официальные интернет-портал информации», URL:  
<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202212190009>

12. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).

13. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

14. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.

15. СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.

16. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

17. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1).

18. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 (с изменением № 1).

19. МР 2.2.9.2311-07. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.

20. ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

21. САНПИН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

22. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

23. N 123-ФЗ от 22.07.2008 (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"Файл

24. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

25. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)7-ое издание (утв. Приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. N 204)

26. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (с изменениями на 29 апреля 2022 года)

27. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

28. Критерии отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий (с изменениями на 7 октября 2021 года)