

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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра ЭПЭО

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система широтно-импульсного управления ДПТ

УДК 681.583.318.3:621.313.28-047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Горбов Михаил Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 77 страниц, 29 рисунков, 30 таблицы, 21 источника, 3 приложения.

Ключевые слова: ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы – провести расчет и исследование системы ШИП-ДПТ, выбрать необходимое оборудование и создать виртуальный лабораторный стенд.

Сделан расчет параметров двигателя, преобразователя, механической системы электропривода машины, произведен выбор электрического оборудования.

С помощью имитационной модели в MATLAB R2012a проведено исследование системы ШИП-ДПТ, получены переходные характеристики.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2015.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1.1 Обзор существующих стендов для изучения законов ШИП.....	9
1.2 Требуемые функциональные возможности виртуального учебного стенда.....	14
1.3 Требования к составу и устройству стенда.....	14
1.4 Электродвигатель и расчет его параметров.....	15
1.5 Расчет параметров силового преобразователя.....	16
1.6 Выбор силовых вентиляей.....	17
1.7 Определение параметров силовой цепи	22
1.8 Структурная схема силового канала ЭП.....	22
1.9 Синтез и анализ линеаризованной САУ РЭП	24
1.9.1 Оптимизация контура тока.....	25
1.9.2 Оптимизация контура скорости на МО	29
1.10 Исследование нелинейной САУ РЭП	33
1.11 Создание и исследование имитационных моделей для различных законов коммутации.....	34
2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	40
2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	40
2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	
2.1.2 Анализ конкурентных технических решений	43
2.2 Технология QuaD.....	44
2.3 SWOT – анализ.....	46
2.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	51
2.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	51
2.4.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта	52
2.4.3 Разработка графика проведения научного исследования	53

2.5	Расчет бюджета для научно-технического исследования.....	57
2.5.1	Расчет материальных затрат НТИ	57
2.5.2	Основная заработная плата исполнителей темы	59
2.5.3	Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..	61
2.5.4	Накладные расходы.....	61
2.5.5	Формирование сметы технического проекта.....	62
2.6	Определение конкурентоспособности проекта.....	63
3	Социальная ответственность	65
3.1	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	65
3.1.1	Расчет освещения.....	67
3.2	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	71
3.3	Охрана окружающей среды.....	72
3.4	Безопасность в ЧС.....	73
3.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	75
	Заключение	
	Список использованной литературы	

Введение

Электропривод - энергосиловое устройство, приводящее в движение машину или механизм. Включает в себя источник энергии, передаточный механизм и аппаратуру управления. Современный этап развития привода характеризуется массовым переходом от нерегулируемого электропривода к регулируемому. Развитие и совершенствование современных систем электроприводов идет по пути внедрения статических полупроводниковых преобразовательных устройств. Одними из которых является широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения (ШИП). Применение полупроводниковых приборов позволяет создать импульсные преобразовательные устройства с высокой частотой и разнообразными законами коммутации силовой цепи, обладающие высокими энергетическими показателями, малыми габаритами и весом, практической безынерционностью и хорошей перегрузочной способностью [2]. По точности и диапазону регулирования импульсные системы электропривода “полупроводниковый ШИП-двигатель постоянного тока”, не уступает лучшим системам непрерывного регулирования, а по экономичности, весогабаритным и динамическим показателям намного превосходит их.

Перспективы применения полупроводниковых ШИП в различных областях техники чрезвычайно широки. Транзисторные ШИП весьма эффективно используются как стабилизаторы и регуляторы напряжения приборных комплексов и для создания быстродействующих позиционных и тахометрических следящих систем на постоянном токе.

На рисунке 1.1 приведена блок- схема широтно-импульсного преобразователя для электропривода постоянного тока. Преобразователь состоит из входного усилителя постоянного тока (УПТ), широтно-импульсного модулятора (ШИМ), усилителя импульсов (УИ) –одного или нескольких, импульсного усилителя мощности (ИУМ) и устройства токоограничения (УТО).

Широтно-импульсный модулятор формирует модулированные по длительности импульсы с постоянной частотой их следования. Длительность

импульсов на выходе ШИМ однозначно определяется уровнем входного сигнала.

Импульсный усилитель мощности используется для широтно-импульсного регулирования напряжения на нагрузке- якорь двигателя постоянного тока. Так как цепь якоря двигателя представляет собой активную-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС, ИУМ будет обеспечивать протекание тока от источника питания в якорь, а также от якоря в источник или во вспомогательные цепи. Оптимальная частота переключения для ШИП, работающего на якорь двигателя, выбирается из условия обеспечения минимума суммарных дополнительных потерь в цепи якоря и потерь в коммутирующих элементах ИУМ. В качестве коммутирующих элементов в ИУМ используются транзисторы.

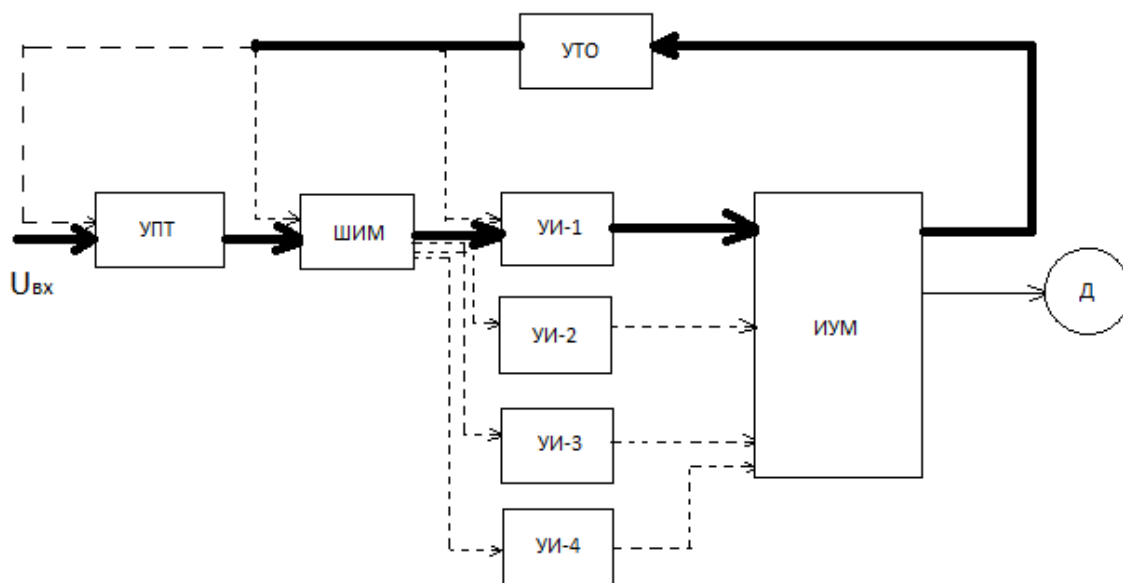


Рисунок 1.1-Блок схема широтно-импульсного преобразователя для постоянного тока

Устройство токоограничения обеспечивает ограничение тока якоря на заданном уровне при перегрузках в переходных режимах. Скорость изменения

тока якоря достаточно высока, и, следовательно, УТО должно обладать высоким быстродействием.

Управление транзисторными ключами групп вентилях моста может быть совместным или раздельным. При совместном управлении одновременно осуществляется управление ключами обеих групп вентилях. При раздельном управлении всегда осуществляется управление ключами только одной группы. Последовательное включения и выключения (переключения) транзисторных ключей определяется законом коммутации (переключения) вентилях. Для управления ШИП используются в основном три закона коммутации (переключения) вентилях:

- симметричный,
- несимметричный,
- поочередной,

Наиболее простым способом управления ШИП является симметричный. При симметричном способе управление в состоянии переключения находятся все четыре транзисторных ключа моста, а напряжение на выходе ШИП представляет собой знакопеременные импульсы, длительность которых регулируется входным сигналом. В ШИП с симметричным управлением среднее напряжение $U_{\text{я}}$ на выходе ШИП равно нулю, когда относительная продолжительность включения $\gamma_0=0,5$ [6]. Симметричный способ управления обычно используется в маломощных приводах постоянного тока.

При несимметричном способе управления переключаются транзисторные ключи (ТК) фазной группы ТК3 и ТК4 (ключи ТК1 и ТК2 при противоположной полярности входного сигнала) рисунок 1.2, транзисторный ключ открыт постоянно и насыщен, а ключ ТК2 постоянно закрыт. Транзисторные ключи ТК3 и ТК4 переключаются в противофазе, обеспечивая протекание тока якоря от противо-ЭДС двигателя. При этом на выходе ШИП формируются знакопостоянные импульсы и среднее напряжение на выходе равно нулю, когда

относительная продолжительность включения одного из нижних на рисунке 1.2 транзисторов $\gamma_0=0$.

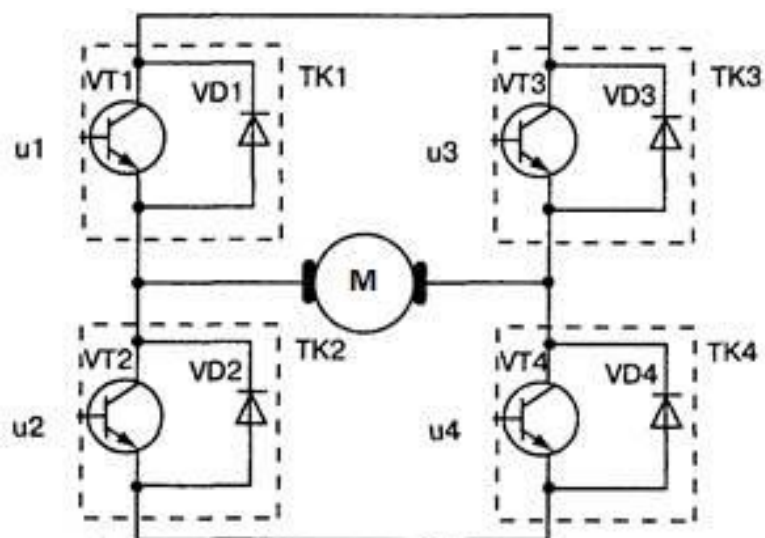


Рисунок 1.2-Принципиальная схема транзисторного широтно-импульсного преобразователя

При поочередном управлении при любом знаке входного сигнала в состоянии переключения находятся все четыре транзисторных ключа моста, однако частота переключения каждого из них в два раза меньше частоты напряжения на выходе. Управляющие напряжения транзисторных ключей одной фазы моста ТК1, ТК2 и ТК3, ТК4 постоянно находятся в противофазе; при этом ключи переключаются через период выходного напряжения T . Этим достигаются одинаковые условия работы полупроводниковых приборов в мостовой схеме.

Целью работы является изучения законов коммутации и создание виртуального учебного стенда для студентов направления электротехника, изучающих дисциплину силовая электроника.

1.1 Обзор существующих стендов для изучения законов ШИП

На сегодняшний день используется большое количество лабораторных стендов на базе широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения, рассмотрим некоторые из них.

1. Учебный стенд компании ГалСен ШИППН1-С-К. При помощи которого можно исследовать:

- Нереверсивные широтно-импульсные преобразователи с пониженным выходным напряжением, работающих на регулируемую активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС (схемы: с последовательным ключом; с последовательными и шунтирующим ключами).
- Нереверсивный широтно-импульсный преобразователь с повышенным выходным напряжением, работающих на регулируемую активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС (схема с параллельным ключом).
- Нереверсивный широтно-импульсный преобразователь с выходным напряжением, регулируемым выше и ниже входного напряжения, работающих на регулируемую активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС (схема с последовательным ключом и параллельным).
- Реверсивный широтно-импульсный преобразователь, работающих на регулируемую активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС (управление ключами: симметричное; несимметричное).
- Переходные процессы в широтно-импульсных преобразователях

Технические характеристики для данного учебного стенда приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Потребляемая мощность , ВА	Питающее напряжение, В	Класс защиты	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
500	220	1	1850×850×1600	150

В состав учебного стенда входит:

Источник питания, однофазный источник питания, терминал, активная нагрузка, коннектор, блок ввода/вывода цифровых сигналов, широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения, нагрузочный резистор, дроссель, блок коммутирующих конденсаторов, блок датчиков тока и напряжения, лабораторный стол с двухсекционным контейнером и двухуровневой рамой, лабораторный стол с приспособлениями для размещения компьютера двухуровневой рамой, плата ввода/вывода данных 6024E с адаптером, персональный компьютер.

2. Учебный стенд компании Учтех-Профи ШИП-НРЦ. При помощи которого можно исследовать:

- Нереверсивный понижающий широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения.
- Нереверсивный повышающий широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения.
- Нереверсивный понижающе-повышающий широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения.
- Нереверсивный повышающе-понижающий широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения.
- Реверсивный широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения при симметричном управлении.
- Реверсивный широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения при несимметричном управлении.

Технические характеристики для данного учебного стенда приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Потребляемая мощность , ВА	Питающее напряжение, В	Класс защиты	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
100	220	1	650×650×300	50

В состав учебного стенда входит:

Модули: Питание стенда; преобразователи постоянного напряжения; широтно-импульсный преобразователь;

Осциллограф, каркас, комплекс силовых кабелей и соединительных проводов.

3. Учебный стенд компании Флагман PRO-03.07. При помощи которого можно исследовать:

- Принцип работы однофазного мостового автономного инвертора напряжения;
- Характеристики однофазного мостового автономного инвертора напряжения при работе на статическую нагрузку;
- Гармонический состав выходного напряжения однофазного мостового автономного инвертора напряжения;
- Принцип работы преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока и трехфазным мостовым автономным инвертором;
- Характеристики преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока и трехфазным мостовым автономным инвертором напряжения при работе на двигательную нагрузку;
- Принцип работы реверсивного мостового широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения;
- Реверсивного мостового широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения при работе на статическую нагрузку;

- Гармонического состава выходного напряжения и тока широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения;
- Реверсивного мостового широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения при работе на двигательную нагрузку.

Технические характеристики для данного учебного стенда приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Потребляемая мощность , ВА	Питающее напряжение, В	Класс защиты	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
450	220	1	1450×1100×350	120

В состав учебного стенда входит:

Модуль питания стенда, модуль преобразователя частоты, модуль широтно-импульсного преобразователя, модуль возбуждения, модуль электромашиного агрегата, модуль измерительный, модуль мультиметров, модуль измерителей мощности, модуль нагрузки, аналоговый двухканальный осциллограф, персональный компьютер, каркас, комплекс кабелей и соединительных проводов.

В таблице 1.4 приведены преимущества конкурентоспособных стендов.

Таблица 1.4

Модель учебного стенда и компания производитель	Преимущества				
ГалСен ШИППН 1-С-К	1. Модульная структура учебного стенда	2. Масштабируемость	3. Надежная защита стенда от перегрузок, коротких замыканий	4. Электробезопасность	5. Послегарантная поддержка на весь срок службы оборудования
Учтех-Профи ШИП-НРЦ	1. Надежная защита стенда от перегрузок, коротких замыканий	2. Электробезопасность	3. Масштабируемость		
Флагман PRO-03.07	1. Модульная структура учебного стенда	2. Надежная защита стенда от перегрузок, коротких замыканий	3. Электробезопасность		

1.2 Требуемые функциональные возможности виртуального учебного стенда

Стенд должен обеспечивать:

- 1) общее изучение способов импульсного регулирования и законов широтно-импульсного регулирования двигателя постоянного тока на базе IGBT-транзисторного преобразователя;
- 2) освоение методики настройки регуляторов для системы «преобразователь-двигатель» с учетом параметров конкретного исполнительного электродвигателя;
- 3) исследование статических и динамических характеристик электропривода при различных настройках электропривода;
- 4) управление стендом – автоматизированное от ПК, переходные процессы в системе должны быть визуализированы.

1.3 Требования к составу и устройству стенда

Исходя из указанных выше функциональных возможностей стенд должен включать в себя:

- 1) широтно-импульсный преобразователь на IGBT-транзисторах;
- 2) двигателей постоянного тока;
- 3) защитную и коммутационную аппаратуру;
- 4) персональный компьютер;
- 5) набор датчиков: тока, скорости, перемещения;
- 6) источники питания.

Блоки управления электроприводами должны быть смонтированы в один шкаф управления. Здесь же должны быть размещены защитная и

коммутационная аппаратура, микроконтроллер, датчики тока, источники питания.

1.4 Электродвигатель и расчет его параметров

В данной работе исследуется система ШИП-ДПТ с различными законами коммутации. В качестве ДПТ взят двигатель King Right Motor F7147H, паспортные данные которого приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5. Паспортные данные электродвигателя

Номинальная мощность	$P_{\text{дв.н}} = 50 \text{ Вт}$
Номинальное напряжение	$U_{\text{дв.н}} = 24 \text{ В}$
Номинальная частота вращения	$n_{\text{дв.н}} = 4000 \text{ об/мин}$
Номинальный КПД	$\eta_{\text{дв.н}} = 66 \%$
Сопротивление обмотки якоря	$R_{\text{оя}+15^{\circ}\text{C}} = 1,7 \text{ Ом}$
Индуктивность цепи якоря	$L_{\text{дв}} = 1,8 \text{ мГн}$
Момент инерции	$J_{\text{дв}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Номинальный ток	$I_{\text{дв.н}} = 2,7 \text{ А}$
Номинальный момент двигателя	$M_{\text{дв.н}} = 0,105 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Рассчитываем параметры электродвигателя.

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_{\text{дв.н}} := \frac{4000}{9,55} = 418,848 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Горячее сопротивление обмотки якоря:

$$R_{dp} = 1.7 \text{ Ом}$$

$$R_{dv_{гор}} = 1.2(R_{dp}) = 1.2 \cdot 1.7 = 2.04 = 2.04 \text{ Ом}$$

$$c = \frac{U - R_{dv_{гор}} \cdot Idv_n}{\omega dv_n} = \frac{24 - 2.04 \cdot 2.7}{418.84816753926697} = 0.044 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

Коэффициент ЭДС и электромагнитного момента:

Электромагнитный момент:

Момент трения на валу:

$$M_{dv_q} = c \cdot Idv_{n1} = 0.044 \cdot 2.741 = 0.1206 = 0.12 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad |16 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный ток двигателя:

$$Idv_{max} := 4 \cdot Idv_n = 4 \cdot 2.7 = 10.8 = 10.8 \text{ А}$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{dv_{max}} := c \cdot Idv_{max} = 0.044 \cdot 10.8 = 0.4752 = 0.475 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

1.5 Расчет параметров силового преобразователя

Силовой преобразователь – это элемент, при помощи которого оказывается регулирующее воздействие на электропривод. По своему характеру такое воздействие зависит от рода тока, способа управления движением электропривода и от конкретных особенностей преобразователя. В качестве силового преобразователя принимаем широтно-импульсный преобразователь напряжения. Основным вариантом реверсивного ШИП с выходом на постоянном токе является мостовая схема на рисунке 1.2, выполненная на четырех транзисторных ключах ТК1-ТК4, шунтированных диодами. Каждый транзисторный ключ кроме выходных транзисторов содержит пред выходной каскад, блок защиты и управления [4].

1.6 Выбор силовых вентиляей

Выбор вентиля осуществляется по току и напряжению. Нагрузочная способность вентиляей определяется максимально допустимой температурой полупроводниковой структуры, которая не должна быть превышена в любых режимах работы: длительная работа с номинальным током двигателя; рабочая перегрузка двигателя в течение заданного времени; аварийные режимы в течение времени срабатывания защиты. Нагрев вентиля зависит от величины и формы тока, а также от условий охлаждения. Все это должно быть учтено при правильном выборе вентиля. Для повышения надежности работы преобразователя рекомендуется устанавливать вентиля на типовых охладителях и применять естественное воздушное охлаждение [7].

Последовательность расчета:

1. Для симметричного способа управления ШИП примем относительную длительность включения равной 0.5 ($\gamma_0=0.5$).
2. С учетом U_H и I_{\max} выбираем транзистор и диод.

Напряжение, приложенное к коммутирующему транзисторному ключу,

$$U_{1_{\max}} = U$$

определяется как

$U = 24B$ - напряжение питание электродвигателя;

Номинальный ток коллектора выбираем из условия выдерживания пускового тока

$$I_K \geq I_{\max} = 10,8 \text{ A}$$

3. По найденным значениям тока и напряжение выбираем транзистор типа BDW93C и диод типа 2Д252А со следующими паспортными данными расположенные в таблице 1.6 и таблице 1.7.

Таблица 1.6. Паспортные данные транзистора

Полярность:	NPN
Максимальная рассеиваемая мощность (P_c):	80 Вт
Максимально допустимое напряжение коллектор-база (U_{cb}):	100 В
Максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер (U_{ce}):	100 В
Максимально допустимое напряжение эмиттер-база (U_{ed}):	5 В
Максимальный постоянный ток коллектора (I_c):	12 А
Предельная температура PN-перехода (T_j):	150 Град
Граничная частота коэффициента передачи тока (f_t):	20
Постоянная времени транзистора (T_T):	1 мкс
Статический коэффициент передачи тока (h_{fe}):	15000
Корпус транзистора:	ТО220

Таблица 1.7. Паспортные данные диода

Максимально допустимое постоянное ($U_{об}$) или импульсное ($U_{имп}$) обратное напряжение на диоде:	80 В
Максимально допустимый постоянный ($I_{пр}$) или импульсный ($I_{имп}$) прямой ток через диод:	30 А
Максимальное падение напряжение на диоде ($U_{пр}$) при заданном прямом токе ($I_{пр}$) через него:	0.95 В
Обратный ток диода при предельном обратном напряжении. Приводится для температуры +25 (10(25)) и максимально рабочей температуры ($I_{ом}$):	2 мА
Максимально допустимая температура структуры ($\theta_{рп}$):	175 °С

4. В современных IGBT транзисторах частоты коммутации находится в пределах от 5000 до 15000 Гц, примем $f_k = 5000$ Гц. Тогда $T_{шип}$ определяется как

$$T_{шип} = \frac{1}{f_k} = \frac{1}{5000} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Потери в IGBT в проводящем состоянии

$$P_{SS} = I_{cp} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \right) = 4,5 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \right) = 1,220 \text{ Вт},$$

где $I_{cp} = \frac{I_{max}}{k_1} = \frac{10,8}{2,4} = 4,5 \text{ А}$ – максимальная амплитуда тока на входе;

где $k_1 = 2,4$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики ЭП; $k_2 = 1,1-1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока;

$$D = \frac{t_p}{T} \approx 0,95 \text{ – максимальная скважность;}$$

$U_{ce(sat)} = 1,2 \text{ В}$ – прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{cp} и $T_j = 125 \text{ }^\circ\text{C}$ (типичное значение $U_{ce(sat)} \approx 0,95-1,5 \text{ В}$).

Потери IGBT при коммутации

$$\begin{aligned} P_{SW} &= \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{c.on} + t_{c.off}) \cdot f_k}{2} = \\ &= \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{4,5 \cdot 32,4 \cdot (0,4 + 0,7) \cdot 10^{-6} \cdot 5000}{2} = 0,09 \text{ Вт,} \end{aligned}$$

где $t_{c.on} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открывание транзистора;

$t_{c.off} = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на закрывание транзистора (типичное значение $t_{c(on)} = 0,3-0,4 \text{ мкс}$; $t_{c(off)} = 0,6-0,7 \text{ мкс}$);

$U_{cc} = k_{с.н} \cdot U_{дв.н} = 1,35 \cdot U_{дв.н} = 1,35 \cdot 24 = 32,4 \text{ В}$ – напряжение на коллекторе IGBT, (коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока для системы ШИП);

$k_{с.н} = 1,35$ – коэффициент схемы для номинальной нагрузки;

Суммарные потери в IGBT

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 1,220 + 0,09 = 1,31 \text{ Вт.}$$

Потери обратного диода в проводящем состоянии

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \right) = 4,5 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \right) = 0,609 \text{ Вт,}$$

где $I_{ep} \approx I_{cp}$ – максимальная амплитуда тока через обратный диод, А;

$U_{ec} = 0.6$ В – прямое падение напряжения на диоде в проводящем состоянии при I_{ep} , В.

Потери при восстановлении запирающих свойств обратного диода

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{ep} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_k = \frac{1}{8} \cdot 4,5 \cdot 32,4 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 0,0182 \text{ Вт},$$

где I_{rr} – амплитуда обратного тока через диод, А ($I_{rr} \approx I_{cp}$); t_{rr} – продолжительность импульса обратного тока, с (типичное значение 0,2 мкс), принимаем $t_{rr} = 0,2$ мкс.

Суммарные потери обратного диода

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 0,609 + 0,0182 = 0,627 \text{ Вт}.$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом

$$P_T = P_Q + P_D = 0,609 + 0,627 = 1,236 \text{ Вт}.$$

Найденные результирующие потери являются основой для теплового расчета инвертора, в ходе которого определяются тип и геометрические размеры необходимого охладителя, а также проверяется тепловой режим работы кристаллов IGBT и обратного диода.

1.7 Определение параметров силовой цепи

Сопротивления якорной цепи:

$$R_{яц} = R_{об.зоп} = 2,04 \text{ Ом}$$

Индуктивность якорной цепи:

$$L_{яц} = L_{об} + 0,2 \cdot L_{об} \quad L_{яц} = 1,8 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 2,16 \cdot 10^{-3}$$

Коэффициент усиления преобразователя:

$$K_{умп} = \frac{U_{нпт}}{U_{y.max}} = \frac{24}{10} = 2,4$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи привода:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{2,16 \cdot 10^{-3}}{2,04} = 1,058 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

1.8 Структурная схема силового канала ЭП

Рассчитываем коэффициенты обратных связей по току (k_T) и скорости (k_c):

$$K_T = \frac{U_{y.max}}{I_{max}} = \frac{10}{10,8} = 0,926$$

$$K_c = \frac{U_{y.max}}{\omega_{об}} = \frac{10}{418,8} = 0,0238$$

Структурная схема силового канала ЭП представлена на рисунке 1.3.

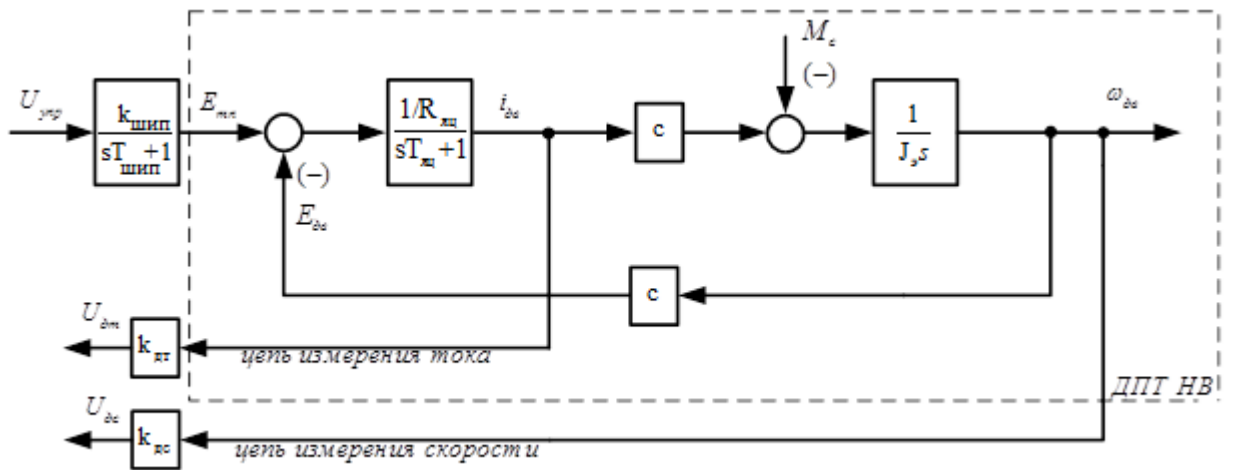


Рисунок 1.3– Структурная схема силовой цепи системы ШИП – ДПТ

Как видно из схемы, силовая часть включает в себя широтно-импульсный преобразователь, двигатель и цепи измерения скорости и тока.

Проверим работоспособность выбранного двигателя. Для этого собираем имитационную модель в среде Matlab Simulink (рисунок 1.4).

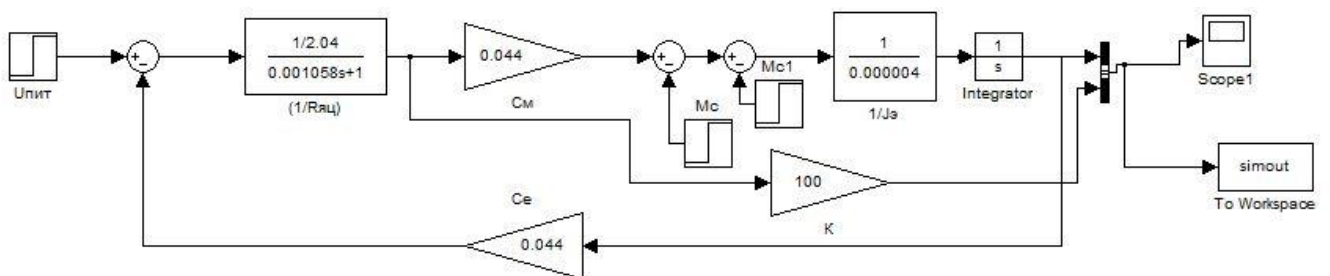


Рисунок 1.4 – Имитационная модель ДПТ (King Right Motor) в среде Matlab Simulink

На рисунке 1.5 показан переходный процесс по току и скорости при набросе нагрузки

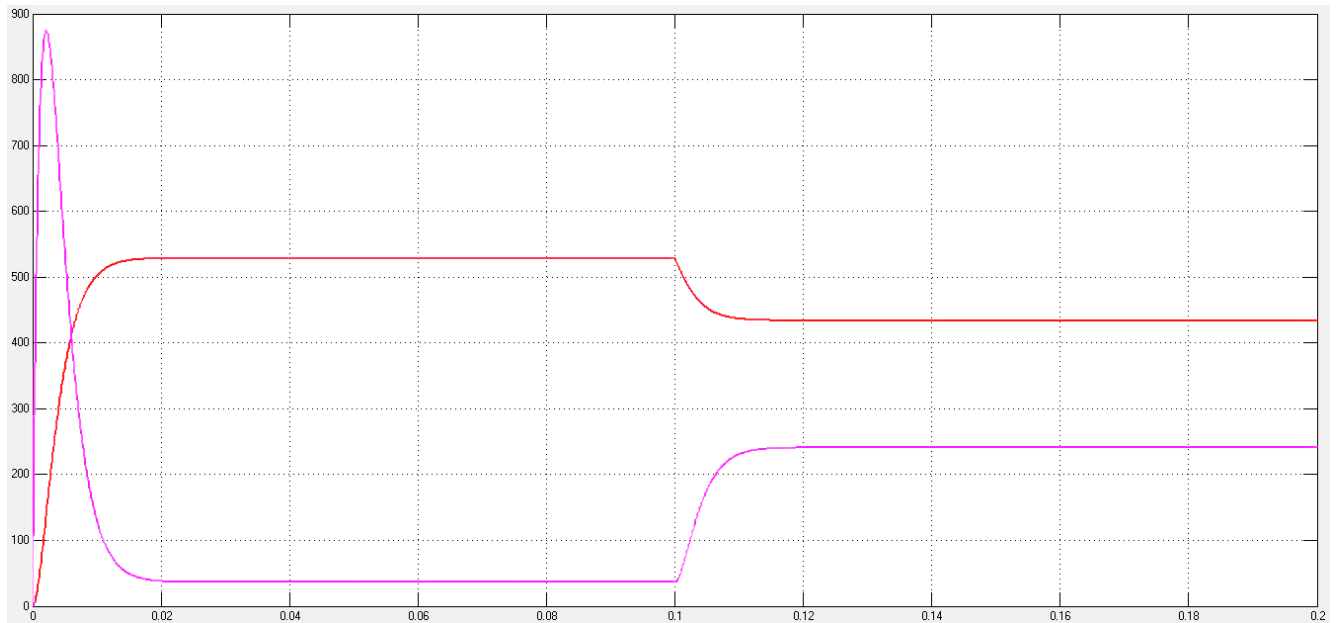


Рисунок 1.5 – Переходный процесс по току при пуске и набросе нагрузки

Переходные процессы в имитационной модели показывают, что выбранный двигатель и его параметры являются реальными.

1.9 Синтез и анализ линеаризованной САУ РЭП

Структурная схема линеаризованной САУ РЭП

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ двигателя постоянного тока независимого возбуждения приведена на рисунке 1.6.

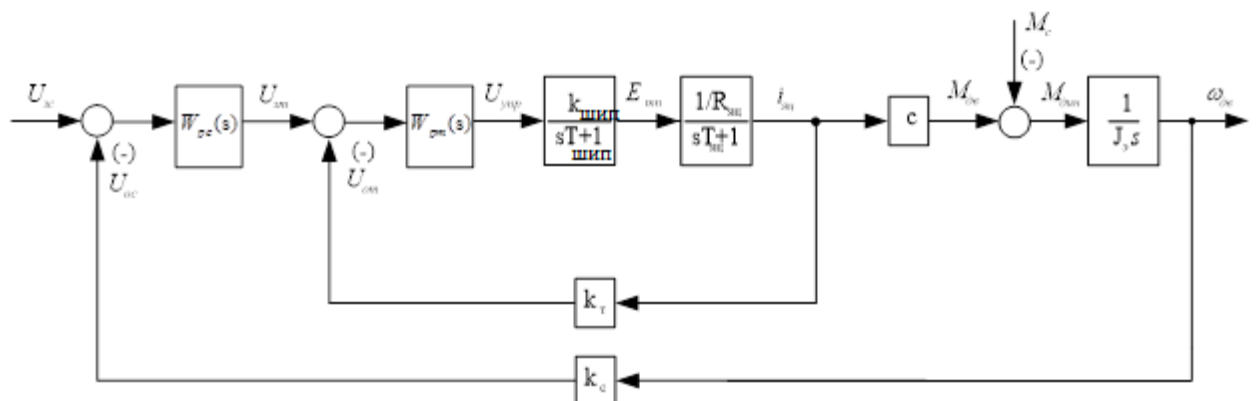


Рисунок 1.6. – Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ

Как видно их схемы, используется принцип подчиненного регулирования. Внутренним контуром является контур тока. Внешним - контур скорости, он и является главным.

Принцип действия данной схемы следующий: ДПТ НВ получает питание от широтно-импульсного преобразователя напряжения. Датчик скорости преобразует механическую величину (скорость на валу двигателя) в электрическую – входной сигнал $U_{вх}$ и сигнал обратной связи $U_{ос}$, а датчик тока передает величину тока якоря двигателя. Измеритель рассогласования, суммируя эти сигналы, вырабатывает сигнал рассогласования U_{Δ} , поступающий в систему управления электродвигателем. Представленный электропривод по своей структуре представляет замкнутую систему, действующую по принципу отклонения.

Основным допущением для линеаризованной системы является отсутствие ограничений величин, а также не учитывается влияние ЭДС двигателя.

1.9.1 Оптимизация контура тока

Оптимизацию контура тока выполняем при заторможенном двигателе ($\omega=0$). При этом внутренней обратной связью по ЭДС пренебрегаем.

Структурная схема контура тока

Структурная схема контура представлена на рисунке 1.7.

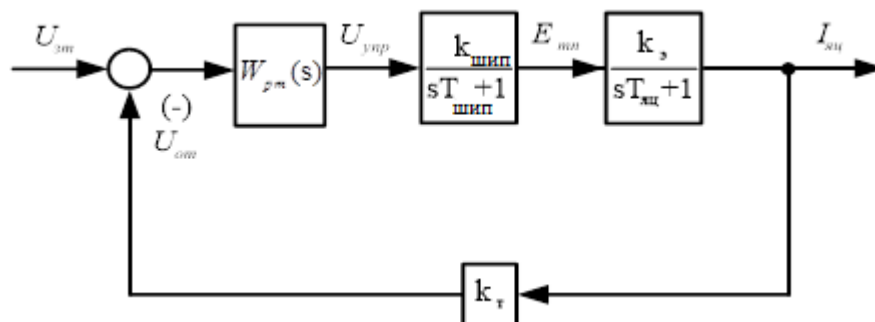


Рисунок 1.7. – Структурная схема контура тока

Параметры элементов контура скорости показаны в таблице 1.8.

Таблица 1.8. Параметры контура

k_{uun}	T_{uun}, c	k_{ϑ}	$T_{яц}, c$	k_m
2,4	$2 \cdot 10^{-4}$	0,49	$1,058 \cdot 10^{-3}$	0,926

Оптимизация контура тока на модульный оптимум

Передаточная функция разомкнутого контура тока при оптимизации по

модульному оптимуму – $W_{PK}^{MO}(s) = \frac{1}{s \cdot 2 \cdot T_{\mu T} \cdot (s \cdot T_{\mu T} + 1)}$, тогда выражение для

оптимизации регулятора:

$$W_{PK}^{MO}(s) = \frac{1}{s \cdot 2 \cdot T_{\mu T} \cdot (s \cdot T_{\mu T} + 1)} = W_{PT}(s) \cdot \frac{K_{uun} \cdot K_{\vartheta} \cdot K_m}{(sT_{uun} + 1) \cdot (sT_{яц} + 1)};$$

$$W_{PT}(s) = \frac{1}{s \cdot 2 \cdot T_{\mu T} \cdot (s \cdot T_{\mu T} + 1)} \cdot \frac{(sT_{uun} + 1) \cdot (sT_{яц} + 1)}{K_{uun} \cdot K_{\vartheta} \cdot K_m}.$$

Так как $T_{uun} < T_{яц}$, то малая некомпенсируемая постоянная времени

$$T_{\mu T} = T_{uun} = 0,0002 c.$$

$$\text{Значит: } W_{PEГ}(s) = \frac{1}{s \cdot 2 \cdot T_{uun} \cdot (s \cdot T_{uun} + 1)} \cdot \frac{(sT_{uun} + 1) \cdot (sT_{яц} + 1)}{K_{uun} \cdot K_{\vartheta} \cdot K_m} = \frac{(sT_{яц} + 1)}{s \cdot 2 \cdot T_{uun} \cdot K_{uun} \cdot K_{\vartheta} \cdot K_m}.$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что

$$\text{используем ПИ-регулятор. Тогда: } W_{PEГ}(s) = \frac{(sT_{яц} + 1)}{s \cdot T_{яц}} \cdot \frac{T_{яц}}{\underbrace{2 \cdot T_{uun} \cdot K_{uun} \cdot K_{\vartheta} \cdot K_m}_{K_{PI}}},$$

где:

- Коэффициент пропорциональности:

$$K_{II} = \frac{T_{яц}}{2 \cdot T_{инт} \cdot K_{инт} \cdot K_{э} \cdot K_m} = \frac{0,001058}{2 \cdot 0,0002 \cdot 2,4 \cdot 0,49 \cdot 0,926} = 2,428;$$

- Постоянная времени: $T_{II} = T_{яц} = 0,001058c$.

Ожидаемые показатели качества работы контура

Ожидаются следующие значения показателей качества после оптимизации на модульный оптимум:

$$t_{PV1}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,0002 = 0,00082c \text{ – время первой реакции;}$$

$$t_{PV2}^{(5)} = t_{PV1}^{(5)} \text{ – время второй реакции;}$$

$$\sigma = 4,32\% \text{ – перерегулирование;}$$

Имитационная модель контура тока

Составляем имитационную модель контура тока в среде MATLAB-Simulink (рисунок 1.9).

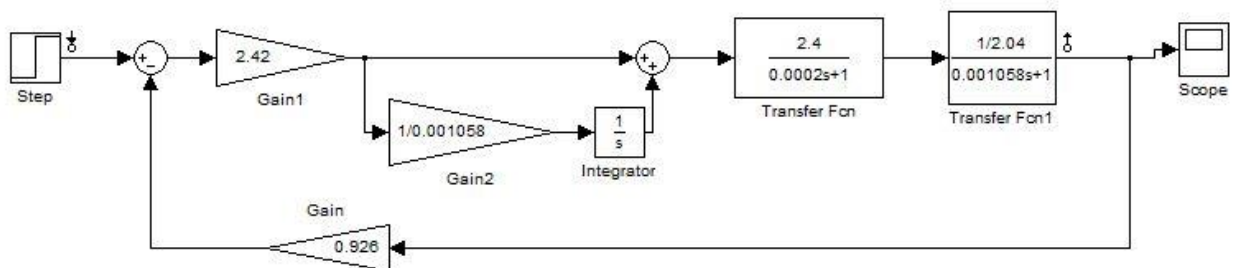


Рисунок 1.9 – Модель оптимизированного внутреннего контура тока в среде MATLAB-Simulink

Исследование оптимизированного контура тока

Анализируем показатели переходного процесса контура после оптимизации (рисунок 10). Расчеты производим методом Эйлера первого порядка с шагом 0.0001, который применяется ко всем моделям.

Результаты параметров переходного процесса приведены в таблице 1.9.

Ожидаемые и полученные параметры переходного процесса для настройки по модульному оптимуму совпали.

Таблица 1.9.

$t_{PV1,c}^{(5)}$	$t_{PV2,c}^{(5)}$	$\sigma, \%$	
0,00082	0,00082	4,32	Ожидаемые
0,000829	0,000829	4,33	Эксплуатационные

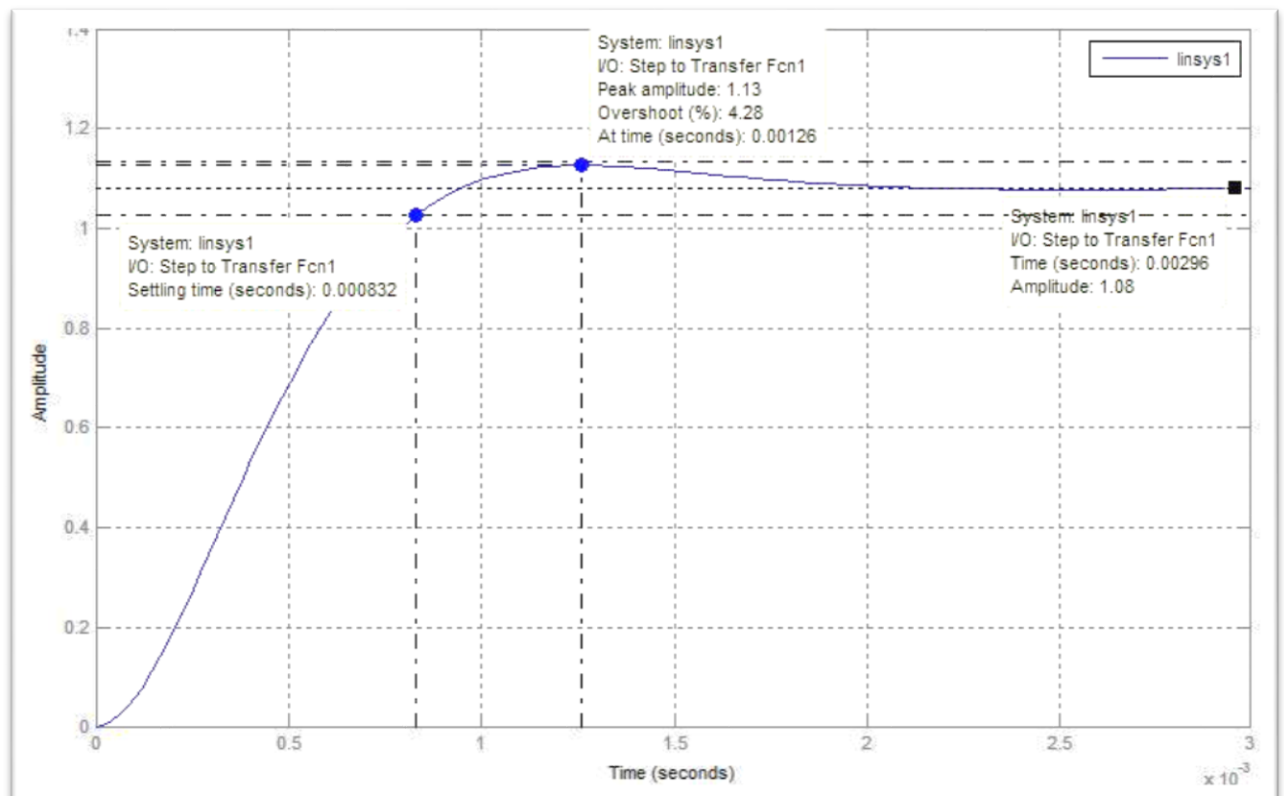


Рисунок 1.10 – Переходный процесс оптимизированного внутреннего контура тока

1.9.2 Оптимизация контура скорости на МО

Структурная схема контура скорости

Структурная схема контура представлена на рисунке 1.11.

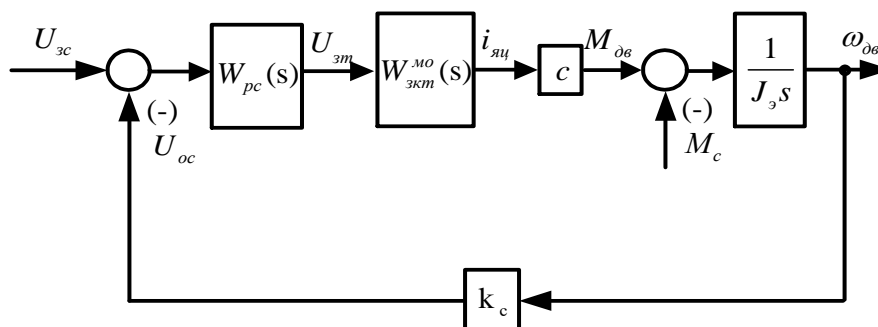


Рисунок 1.11 – Структурная схема контура скорости

Параметры элементов контура скорости показаны в таблице 1.10.

Таблица -1.10. Параметры контура

$M_c, H \cdot m$	$J_\vartheta, кг \cdot м^2$	k_c	c
0,105	0,000004	0,0238	0,044

Оптимизация контура скорости на модульный оптимум

Оптимизированный контур тока вводим в контур скорости, выполнив упрощение передаточной функции второго порядка до апериодического звена первого порядка, предварительно оценив влияние отбрасываемой части:

$$W_{зам.Т}(s) = \frac{1/K_T}{2 \cdot T_{\mu T} \cdot s(T_{\mu T} \cdot s + 1) + 1} = \frac{1/K_T}{2 \cdot T_{\mu T}^2 \cdot s^2 + 2 \cdot T_{\mu T} \cdot s + 1} \approx \frac{1/K_T}{2 \cdot T_{\mu T} \cdot s + 1};$$

$$W_{зам.Т}(s) = \frac{1/0,926}{2 \cdot 0,0002^2 \cdot s^2 + 2 \cdot 0,0002 \cdot s + 1} \approx \frac{1,08}{0,0004 \cdot s + 1}.$$

За малую постоянную времени контура скорости принимаем:

$$T_{\mu c} = 2 \cdot T_{\mu T} = 2 \cdot 0,0002 = 0,0004 \text{ с.}$$

Передаточная функция разомкнутого контура скорости при оптимизации по

модульному оптимуму – $W_{PK}^{MO}(s) = \frac{1}{s \cdot 2 \cdot T_{\mu} \cdot (s \cdot T_{\mu} + 1)}$, тогда выражение для

оптимизации регулятора:

$$W_{PK}^{MO}(s) = \frac{1}{s \cdot 2 \cdot T_{\mu c} \cdot (s \cdot T_{\mu c} + 1)} = W_{PC}(s) \cdot K_C \cdot \frac{1/K_T}{2 \cdot T_{\mu T} \cdot s + 1} \cdot \frac{c}{J_3 s};$$

$$W_{PC}(s) = \frac{1}{\cancel{s \cdot 2 \cdot T_{\mu c} \cdot (s \cdot T_{\mu c} + 1)}} \cdot \frac{\cancel{(2 \cdot T_{\mu T} \cdot s + 1)} \cdot J_3 \cancel{s}}{K_C \cdot c \cdot 1/K_T} = \frac{J_3 \cdot K_T}{2 \cdot T_{\mu c} \cdot K_C \cdot c}.$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИ-регулятор. Тогда:

$$K_{PI} = \frac{J_3 \cdot K_T}{2 \cdot T_{\mu c} \cdot K_C \cdot c} = \frac{0,000004 \cdot 0,926}{2 \cdot 0,0004 \cdot 0,0238 \cdot 0,044} = 4,421.$$

$$M_H = M_{ХХ} + 0,85 \cdot M_H$$

$$M_{ХХ} = 0,15 \cdot M_H = 0,15 \cdot 0,105 = 0,015885$$

$$0,85 \cdot M_H = 0,090015$$

Ожидаемые показатели качества работы контура

Ожидаются следующие значения показателей качества после оптимизации на модульный оптимум:

$$t_{PV1}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu c} = 4,1 \cdot 0,0004 = 0,00164 \text{ с} \text{ – время первой реакции;}$$

$$t_{PV2}^{(5)} = t_{PV1}^{(5)} = 0,00164 \text{ с} \text{ – время второй реакции;}$$

$$\sigma = 4,32\% \text{ – перерегулирование;}$$

Имитационная модель контура скорости

Составляем имитационную модель контура скорости в среде MATLAB-Simulink (рисунок 1.12).

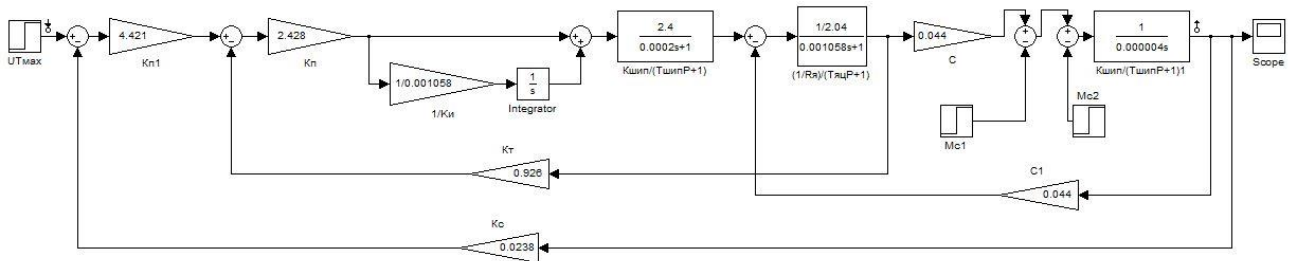


Рисунок 1.12 – Модель оптимизированного контура скорости в среде MATLAB-Simulink

Исследование оптимизированного контура скорости

Анализируем показатели переходного процесса контура после оптимизации (рисунок 1.13). Расчеты производим методом Эйлера первого порядка с шагом 0.00001. Результаты параметров переходного процесса приведены в таблице 1.11.

Таблица 1.11.

$t_{PY1,c}^{(5)}$	$t_{PY2,c}^{(5)}$	$\sigma, \%$	
0,00164	0,00164	4,32	Ожидаемые
0,0015	0,00251	8,13	Эксплуатационные

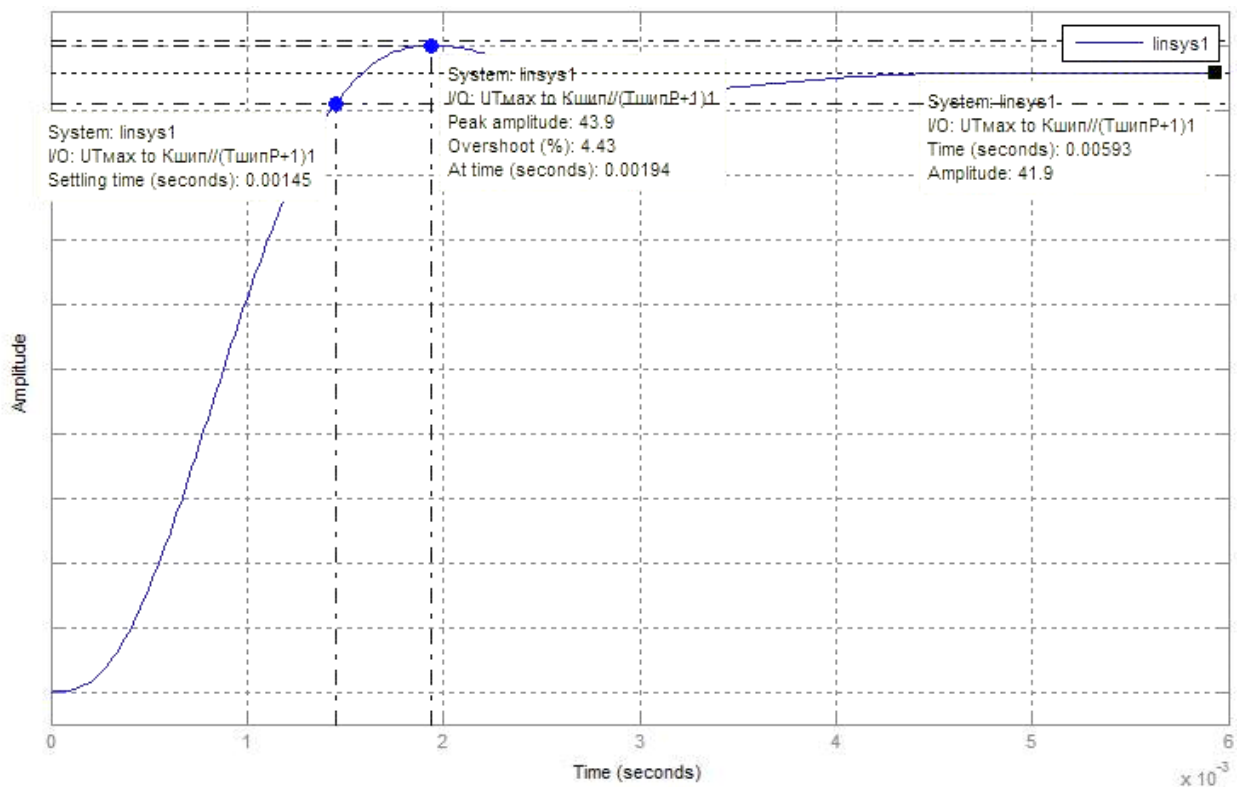


Рисунок 1.13. – Переходный процесс оптимизированного контура скорости при $U_{зад}=10$

Как видно из полученных графиков, некоторые экспериментальные параметры, такие как: перерегулирование, полоса пропускания по модулю, не совпали с ожидаемыми параметрами и получились больше ожидаемого. Так же, время первой и второй реакции не совпадают. Это связано с допущениями, принятыми при оптимизации контура скорости. А именно: замкнутый контур тока мы представили в виде апериодического звена первого порядка и не учитывали ЭДС двигателя.

1.10 Исследование нелинейной САУ РЭП

Анализ основных нелинейностей и структурная схема нелинейной САУ РЭП.

Основными нелинейностями характеристик элементов САУ РЭП являются:

- насыщение регулятора скорости;
- насыщение регулятора тока;
- характеристика устройства постоянного токоограничения, реализованного путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости;

Структурная схема нелинейной САУ РЭП имеет вид, представленный на рисунке 1.14.

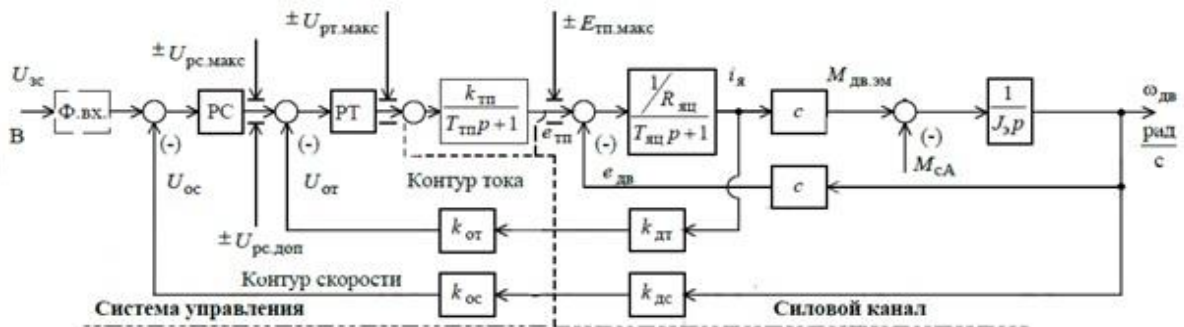


Рисунок 1.14 – Структурная схема нелинейной САУ РЭП

Исследование имитационной модели нелинейной САУ РЭП

Составляем имитационную модель нелинейной САУ РЭП с оптимизацией контура скорости на МО в среде MATLAB-Simulink (рисунок 1.15).

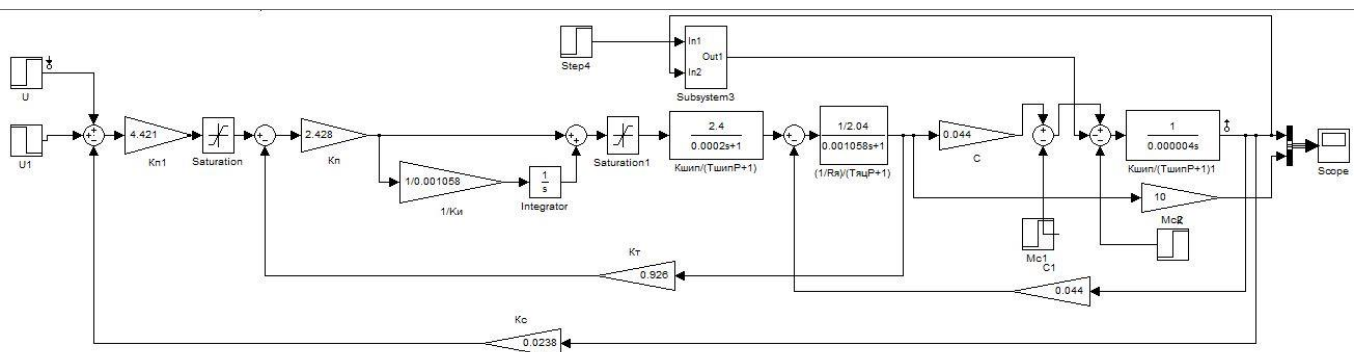


Рисунок 1.15 – Имитационная модель нелинейной САУ РЭП

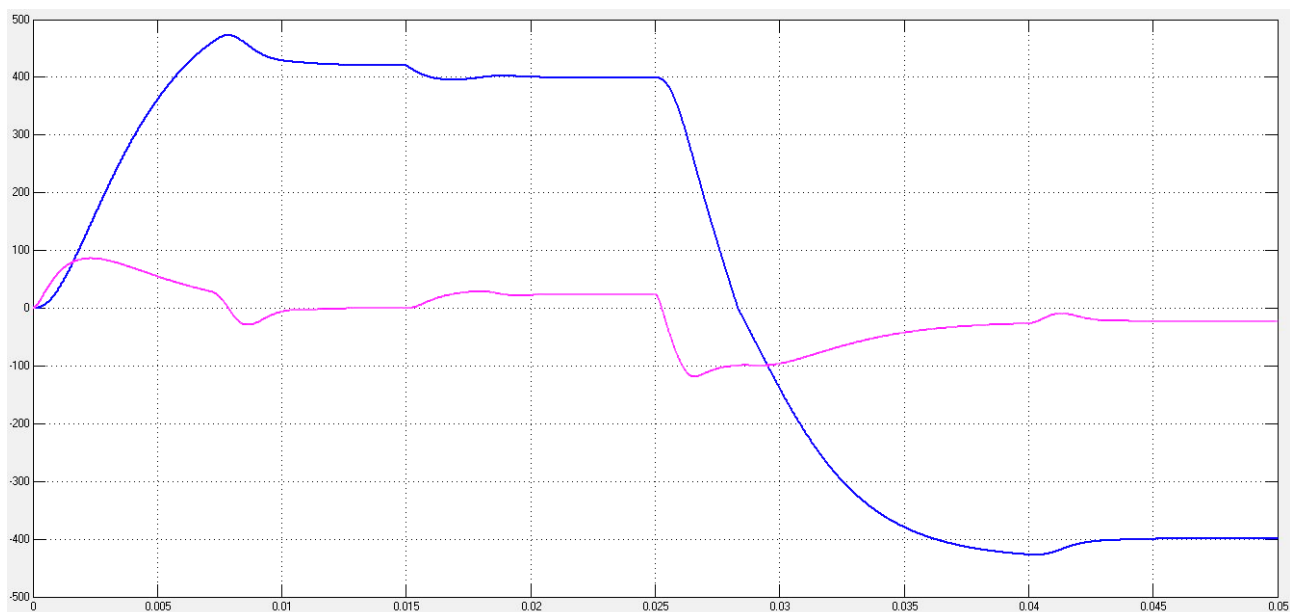


Рисунок 1.16. - Переходные процессы нелинейной САУ РЭП

1.11 Создание и исследование имитационных моделей для различных законов коммутации

Симметричный закон коммутации

Электромагнитные процессы в нагрузке при симметричном управлении транзисторными ключами ШИП изображены в приложении 3. За период коммутации T здесь последовательно обрабатывается четыре интервала 1-4, на каждом из которых ток протекает через полупроводниковые приборы ШИП [1].

В приложении 3 приведен наиболее общий случай знакопеременного тока нагрузки. Если ток нагрузки знакопостоянен, то интервал 4-ре, на котором ток нагрузки протекает через транзисторные ключи ТК1, ТК4, отсутствует. При симметричном управлении переключаются все транзисторные ключи моста. В этом случае состав силовой цепи на всех интервалах постоянен, изменяется только полярность источника. Симметричный способ управления реализуется с помощью достаточно простых схем. Его достоинством является отсутствие зоны нечувствительности и линейность регулировочной характеристики. Недостатком ШИП при симметричном управлении является повышенные

пульсации тока в выходной цепи. Этот недостаток исключается при несимметричном и поочередном способах управления ШИП.

Составляем имитационную модель нелинейной САУ РЭП с оптимизацией контура скорости на МО при симметричном законе управления в среде MATLAB-Simulink на рисунке 1.18.

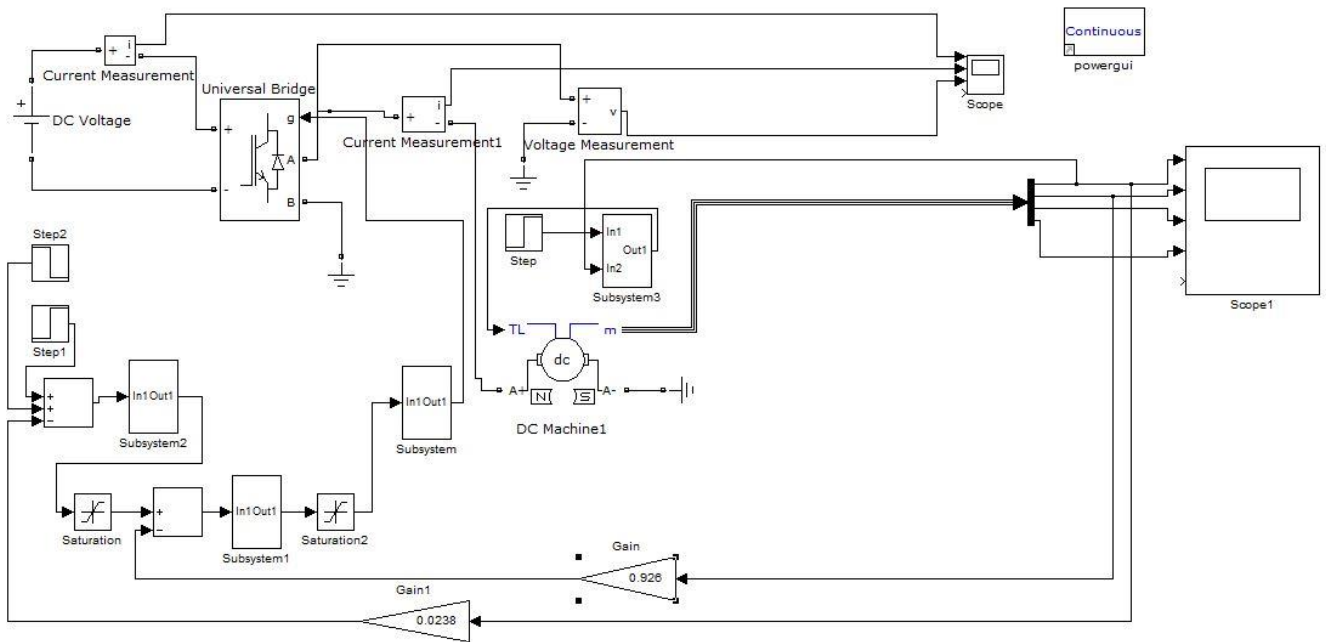


Рисунок 1.18 – Имитационная модель нелинейной САУ РЭП при симметричном законе управления

На рисунке 1.19 показана система управления IGBT транзисторами при симметричном законе коммутации

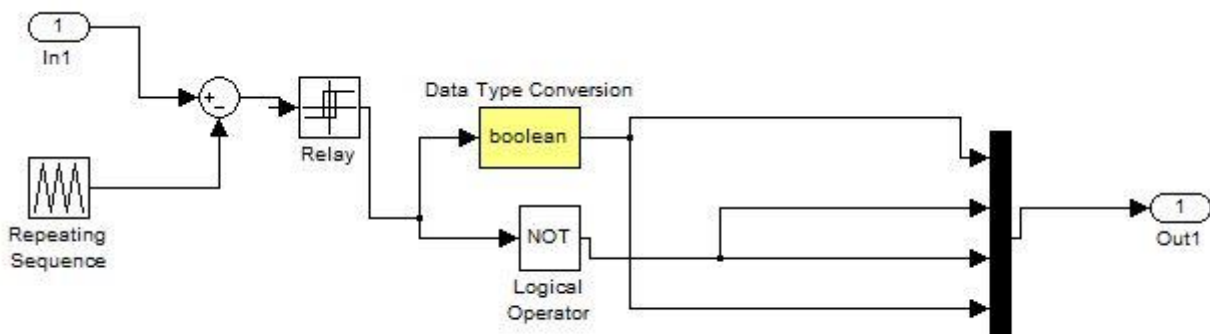


Рисунок 1.19. - Система управления IGBT транзисторами при симметричном законе коммутации

На рисунке 1.20 показаны переходные процессы в нелинейной САУ РЭП при симметричном законе управления

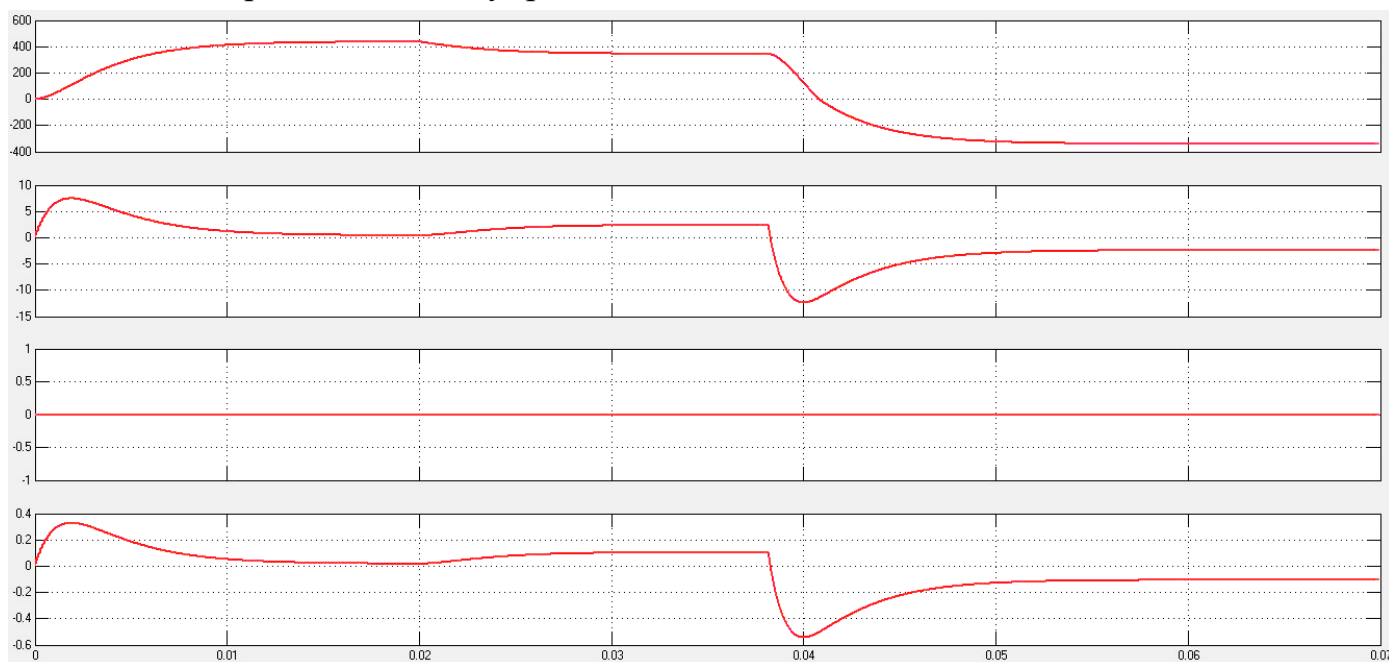


Рисунок 1.20. - Переходные процессы нелинейной САУ РЭП при симметричном законе управления

Несимметричный закон коммутации

При несимметричном управлении переключаются лишь два транзисторных ключа, расположенных на одной стороне моста: ТК3, ТК4. Транзисторный ключ ТК1 постоянно насыщен, а нижний ключ ТК2 заперт. При этом на выходе ШИП формируются знакопостоянные импульсы напряжения, и положению равновесия в системе соответствует относительная продолжительность включения одного из нижних транзисторных ключей $\gamma_0=0$. Временные диаграммы приведены в приложении 3. Здесь в течении первого периода коммутации T последовательно образуется четыре интервала [3];

Составляем имитационную модель нелинейной САУ РЭП с оптимизацией контура скорости на МО при несимметричном законе управления в среде MATLAB-Simulink на рисунке 1.21.

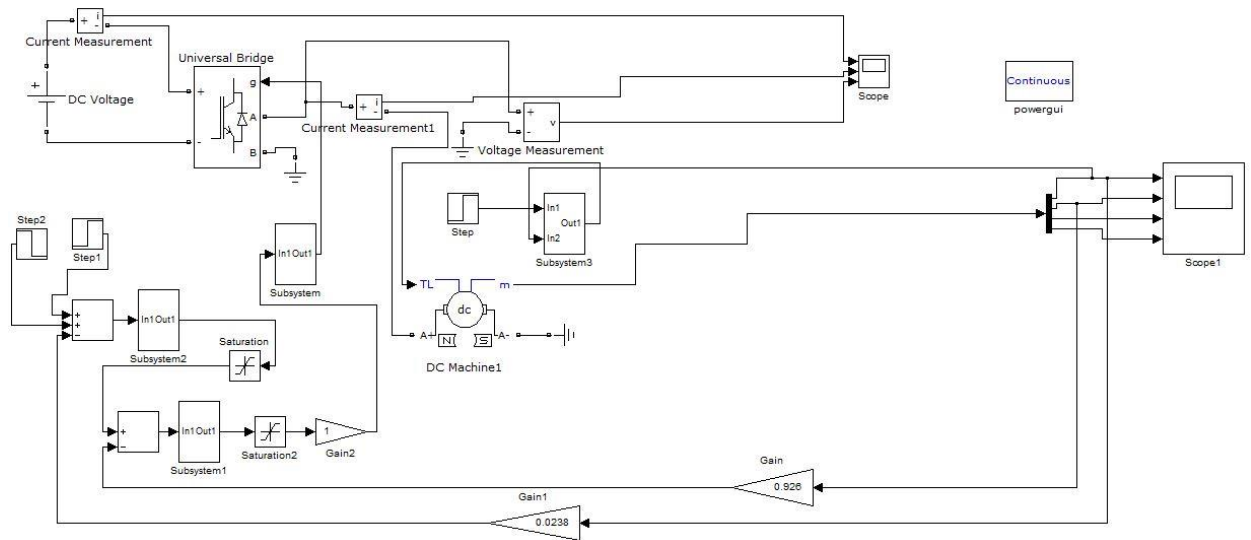


Рисунок 1.21 – Имитационная модель нелинейной САУ РЭП при несимметричном законе управления

На рисунке 1.22 показана система управления IGBT транзисторами при симметричном законе коммутации

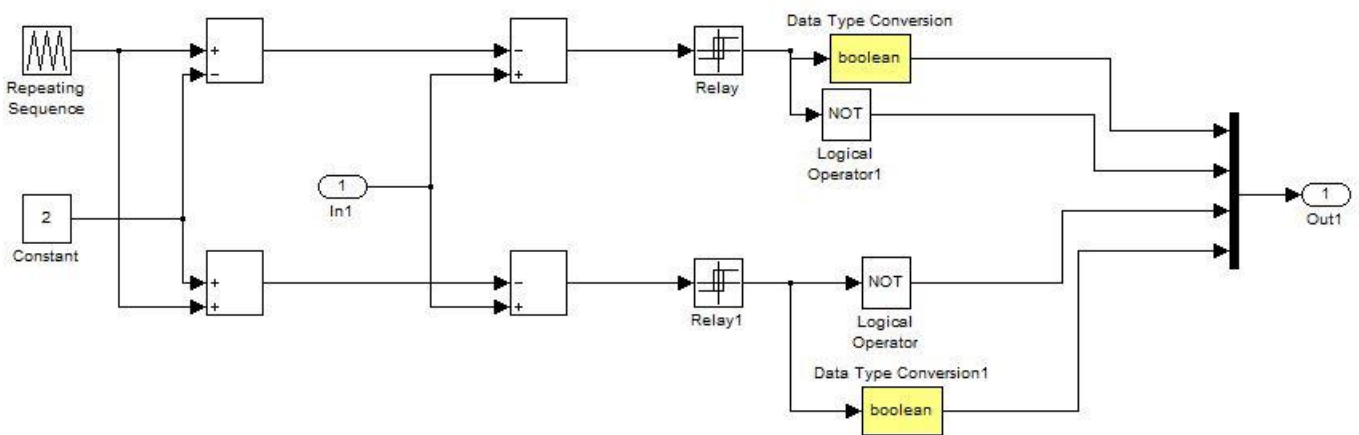


Рисунок 1.22. - Система управления IGBT транзисторами при несимметричном законе коммутации

На рисунке 1.23 показаны переходные процессы в нелинейной САУ РЭП при симметричном законе управления

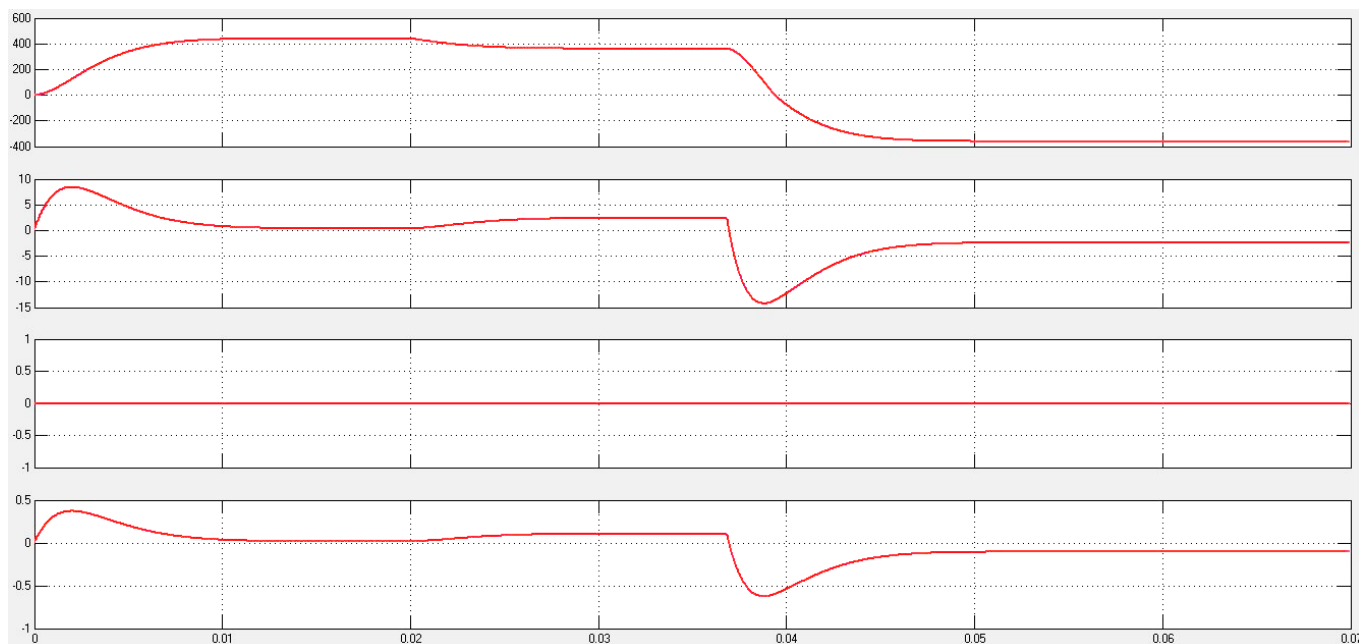


Рисунок 1.23. - Переходные процессы нелинейной САУ РЭП при несимметричном законе управления

Поочередный закон коммутации

При поочередном способе управления ШИП в состоянии переключения находятся все 4-ре транзисторных ключа, но частота переключения каждого ключа вдвое меньше частоты коммутации тока в нагрузке. Управляющие напряжения транзисторных ключей ТК1, ТК2 и ТК3, ТК4 находятся в противофазе постоянно, при этом транзисторные ключи одной фазной группы переключаются через период T . Благодаря им достигаются одинаковые условия работы полупроводниковых приборов ШИП. Электромагнитные процессы в нагрузке при поочередном управлении такие же как при несимметричном. На интервале γT нагрузка включена в цепь источника питания через диагонально расположенные транзисторные ключи ТК1, ТК4, а на интервале $(1-\gamma) \cdot T$ она закорочена с помощью верхних или нижних ключей, так как транзисторные

ключи запираются поочередно через период T . Последовательность образования коммутационных интервалов в течение времени $2T$ и полупроводниковые приборы, проводящие ток на этих интервалах, в нижней части приложения 3. При поочередном управлении на нагрузке также формируются знакопостоянные импульсы напряжения продолжительностью γT [5].

Составляем имитационную модель нелинейной САУ РЭП с оптимизацией контура скорости на МО при поочередном законе управления в среде MATLAB-Simulink на рисунке 1.24.

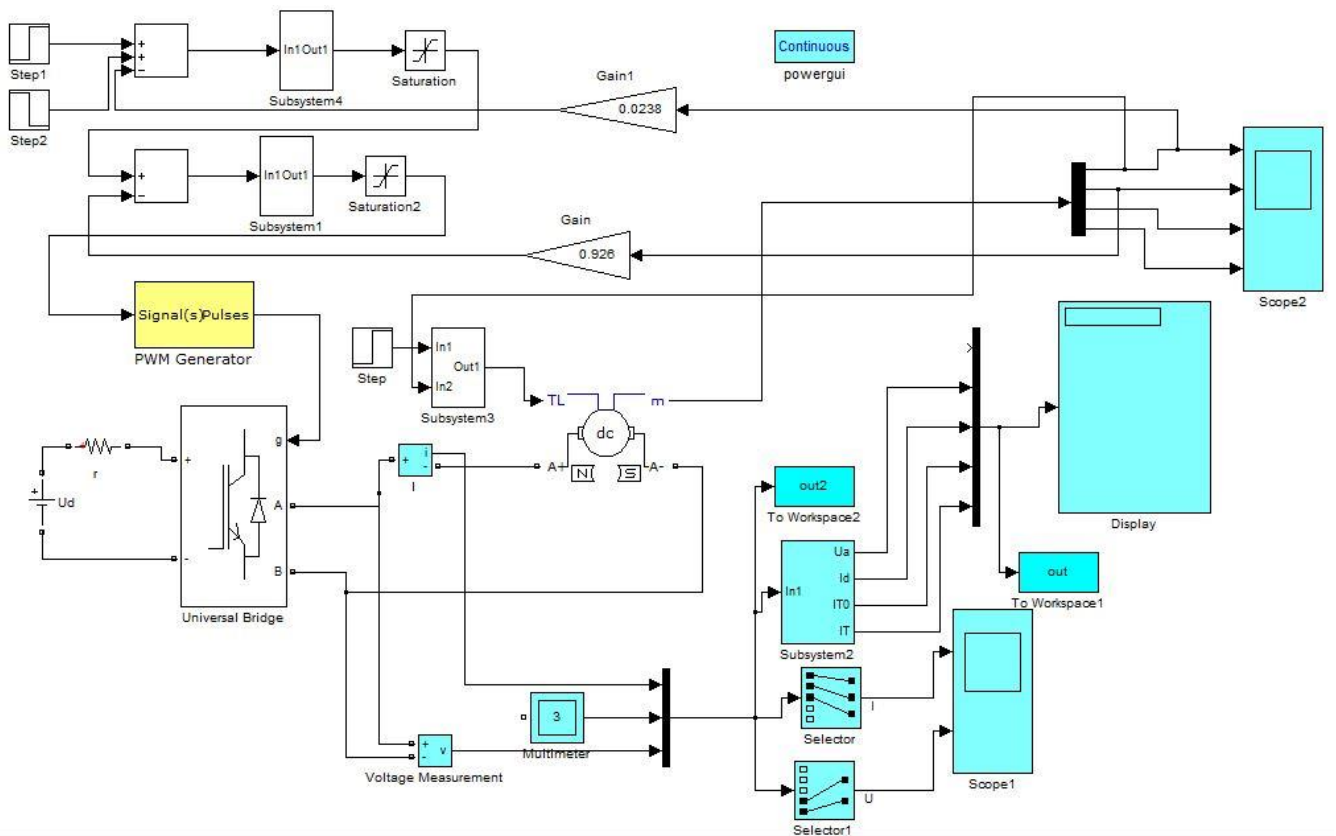


Рисунок 1.24 – Имитационная модель нелинейной САУ РЭП при поочередном законе управления

На рисунке 1.25 показана система управления IGBT транзисторами при поочередном законе коммутации

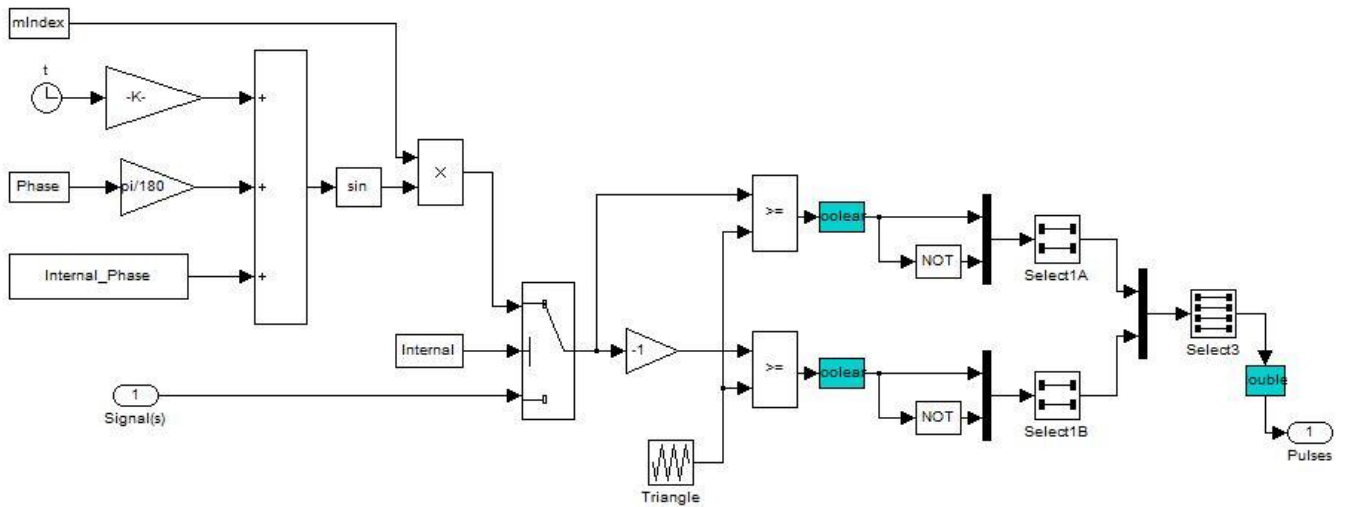


Рисунок 1.25. - Система управления IGBT транзисторами при поочередном законе коммутации

На рисунке 1.26 показаны переходные процессы в нелинейной САУ РЭП при симметричном законе управления

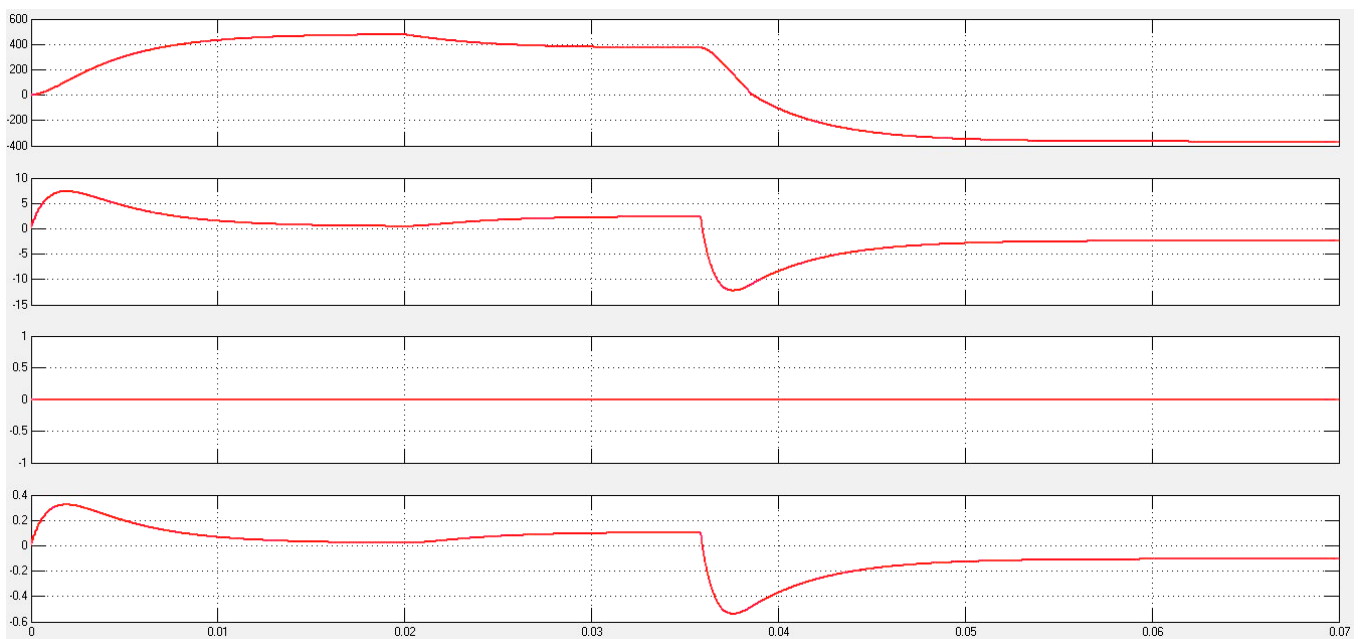


Рисунок 1.26. - Переходные процессы нелинейной САУ РЭП при несимметричном законе управления

2. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных лабораторных стендов, технологий, отвечающих современным требованиям.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

2.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В данном случае сегментирования целесообразно провести по виду исполнения лабораторного стенда (компьютерного исполнения, ручного исполнения, комбинированного исполнения).

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по сборке и установке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено на рисунке 2.1.

	Компьютерное исполнение	Ручное исполнение	Комбинированное исполнение
Проектирование и производство			
Сборка и установка			
Обслуживание и ремонт			

Фирма А		Фирма Б	
---------	--	---------	--

Рисунок 2.1- Карта сегментирования рынка разработок для систем вентиляции

Результаты сегментирования:

- Основными сегментами рынка являются все виды исполнения лабораторных стендов, а также проектирование и производство устройств для всех типов лабораторных стендов;
- Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с обслуживанием и ремонтом стендов с компьютерным исполнением;

Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с обслуживанием и ремонтом стендов с комбинированным исполнением;

2.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в таблице 1.

Таблица 2.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных тех разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкуренто-способность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности работы	0.05	2	2	2	0.05	0.05	0.05
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	4	3	0.4	0.4	0.4
Уровень шума	0.075	4	4	4	0.225	0.225	0.225
Надежность	0.05	4	3	3	0.2	0.2	0.2
Безопасность	0.1	4	3	4	0.3	0.3	0.3
Функциональные возможности	0.125	5	3	3	0.5	0.3	0.3
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.1	4	2	3	0.5	0.3	0.3
Уровень проникновения на рынок	0.05	4	2	2	0.25	0.1	0.1
Цена	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	3	5	0.4	0.3	0.3
Финансирование научной разработки	0.05	2	4	4	0.1	0.05	0.05
Наличие сертификации разработки	0.05	3	2	3	0.25	0.05	0.05
Итого	1	43	35	39	3.4	2.7	2.9

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2.1, подобраны, исходя из

выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итог анализа:

Уязвимость позиции конкурентов обусловлена тем, что у них не занимают сборкой и обслуживанием комбинированных лабораторных стендов, и обслуживанием компьютерных стендов.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов и способен к увеличению своих функциональных возможностей. Также большую долю рынка занимают клиенты, заинтересованные в установке и обслуживании как компьютерных стендов, так и комбинированных, что не смогут обеспечить другие компании.

2.2 Технология QuaD

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценку проводим в табличной форме (таблица 2.2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 [9].

Таблица 2.2- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)	П _{ср}
1	2	3	4	5	6	
Показатели оценки качества разработки						
Надежность	0.05	75	100	0.75	52.5	2.125
Унифицированность	0.05	80	100	0.6	60	3.2
Уровень материалоемкости разработки	0.05	50	100	0.5	30	1.25
Уровень шума	0.075	60	100	0.6	35	2.7
Безопасность	0.15	70	100	0.7	40	2.45
Функциональные возможности	0.15	95	100	0.95	90.25	13.8
Ремонтопригодность	0.1	60	100	0.6	36	6.9
Доступность	0.05	85	100	0.85	72.25	3.675
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки						
Конкурентоспособность продукта	0.05	95	100	0.95	90.25	8.576
Уровень проникновения на рынок	0.075	95	100	0.95	90.25	7.67
Перспективность рынка	0.05	90	100	0.9	81	6.05
Цена	0.05	80	100	0.6	20	1.25
Финансовая эффективность научной разработки	0.075	70	100	0.7	40	3.75
Итого	1	1005	1300	9.65	647.25	71.4

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i \cdot B_i = ,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Значение показателя P_{cp} получилось 71.4 – то перспективность выше средней.

Разработка лабораторных стендов, кажется довольно перспективной и получила результат выше средней перспективности, но большего распространения необходимо сделать некие маркетинговые ходы, поскольку не многие знают о подобных разработках.

2.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [8].

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап составление предварительной SWOT-матрицы.

Таблица 2.3-Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Функциональные возможности</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Простота в управлении</p>	<p>Сл1. Сложная система.</p> <p>Сл2. Цена.</p> <p>Сл3. Неосведомленность клиентов</p>

	<p>С4. Доступность материалов</p> <p>С5. Шум при работе</p>	
<p>Возможности:</p> <p>В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Появление более дешевых материалов.</p> <p>В4. Дальнейшее улучшение надежности</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление у конкурентов, возможности сборки и обслуживание лабораторных стендов.</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в табл. 2.4.

Таблица 2.4-Интерактивная матрица проекта С-В

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	-
	В2	+	+	+	0	0
	В3	-	-	+	+	0
	В4	0	0	+	0	+

Таблица 2.5-Интерактивная матрица проекта С-У

Сильные стороны проекта							
Угрозы		С1	С2	С3	С4		С5
	У1	+	+	+	+		-
	У2	-	-	-	+		-

Таблица 2.6-Интерактивная матрица проекта Сл-В

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	-	+	-	+
	В2	+	+	+	+	0
	В3	0	0	-	+	0
	В4	0	0	-	0	+

Таблица 2.7-Интерактивная матрица проекта Сл-У

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	+

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Разработка позволит сэкономить большое количество ресурсов</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Простота в управлении</p> <p>С4. Доступность материалов</p> <p>С5. Имеются опытные образцы</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Сложная система.</p> <p>Сл2. Цена.</p> <p>Сл3. Неосведомленность клиентов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха.</p>	<p>C1B1B2</p> <p>C2B1B2</p> <p>C3B1B2B3B4</p> <p>C4B1B3</p>	<p>Сл1B1B2</p> <p>Сл2B2</p> <p>Сл3B1B2</p>

<p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Появление более дешевых материалов.</p> <p>В4. Дальнейшее улучшение надежности</p>	<p>С5В4</p>	
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление у конкурентов, возможности сборки и обслуживание лабораторных стендов.</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>	<p>С1У1</p> <p>С2У1</p> <p>С3У1</p> <p>С4У1У2</p>	<p>Сл1У1</p> <p>Сл2У1У2У3</p> <p>Сл3У1У2У4</p>

Из данного анализа можно сделать вывод о том, что данная система является довольно перспективной, так как является очень простой в управлении, а также высокофункциональной. Среди недостатков следует выделить проблемы с материалами, а также возможность заполнения ниш потенциальными конкурентами, так как данное направление в настоящее время активно развивается.

2.4 Планирование научно-исследовательских работ

2.4.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [11]:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

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

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Обобщение и оценка результатов	3	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому проектированию	4	Составление пояснительной записки	Научный руководитель
	5	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель

2.4.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

\mathcal{C}_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

2.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [10].

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 2.10.

Таблица 2.10

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполни тели	Длительн ость работ в рабочих днях T_{pi}		Длительнос ть работ в календарны х днях T_{ki}			
	t_{min} , чел- дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ожг}$, чел-дни			Науч.	Инженер	Науч.	Инженер	Науч.	Инженер
	Науч.	Инженер	Науч.	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер							
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-	1,4	-	1,7		
Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	6		4,2	1	1	-	4,2		5,12	
Проектирование системы внутривзаводского электроснабжения	2	15	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	23,18	
Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	2	15	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	23,18	
Проведение графических построений и обоснований	1	10	2	14	1,4	10,8	1	1	1,4	10,8	1,7	13,17	
Оценка эффективности полученных результатов	2	5	4	7	2,8	5,8	1	1	2,8	5,8	3,4	7,07	
Составление пояснительной записки	-	6		10		7,6		1		7,6		9,27	
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	3		5		3,8		1		3,8		4,6		
Итого												99,21	

Итого длительность работ – 100 календарных дней

На основе таблицы 2.10 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках

научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график проведения НИОКР приведен в таблице 2.11.

Таблица 2.11

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{к_п} , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Фев.		Март			Апр.			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель	5	■													
3	Проектирование системы внутризаводского ЭС	Инженер, Руководитель	23		■	■	■										
4	Проектирование системы внутрицехового ЭС	Инженер, Руководитель	23				■	■	■								
5	Проведение графических построений и обоснований	Инженер, Руководитель	14							■	■	■					
6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, Руководитель	7										■	■			
7	Составление пояснительной записки	Инженер	9										■	■	■		
8	Проверка ВКР	Руководитель	5													■	

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Занятость исполнителей сводится в таблицу 2.12.

Таблица 2.12

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней работы	19	81
Количество нерабочих дней за период выполнения проекта	4	16
Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях	15	65

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 100 дней. Из них:

81 день – рабочая занятость инженера;

19 дней – рабочая занятость руководителя;

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 80 дней. Из них:

65 дней – продолжительность выполнения работ инженером;

15 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

3 Расчет бюджета для научно-технического исследования

3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта [12]:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.13

Наименование	Ед. измерения	Количество		Цена за ед.,руб		Затраты на материалы, (Зм),руб.	
		Руководитель	Техник	Руководитель	Техник	Руководитель	Техник
Компьютер	Шт.	1	1	21000	18000	21000	18000
Принтер	Шт.	1	1	6000	4000	6000	4000
Mathcad	Шт.	1	1	2500	2500	2500	2500
Бумага "SvetoCopy"	Шт.	1	1	250	250	250	250
Спец. ПО	Шт.	4	3	2000	500	8000	1500
Канцелярские принадлежности	-	-	-	-	-	1100	950
Итого	66050					38850	27200

3.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Полная заработная плата сотрудника ТПУ:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-15 % от $Z_{осн}$).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} ,$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Среднедневная заработная плата для сотрудника ТПУ рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{тс} + Z_{допл} + Z_{р.к.}}{F_{д}}$$

где $F_{д}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

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

$Z_{допл}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{р.к.}$ – районная доплата, руб.;

Основная заработная плата $Z_{осн}$ руководителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата работника, руб.;

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых техническим работником, раб.дн. (таблица 4.2.3.3);

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 2.14.

Таблица 2.14

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$Z_{допл}$, руб.	$Z_{р.к.}$, руб.	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	15584	2200	5036	21820	839,25	15	13479,25
Техник	7522	4000	3607	15629	601	65	36359,0
Итого $Z_{осн}$, руб.							49838,25

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Исполнители	$k_{доп}$	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{полн}$, руб.
Руководитель	0,15	13479,25	1888,26	14476,71
Техник	0,12	36359,0	4688,73	43761,53
Итого $Z_{осн}$, руб.		49838,25	6576,99	58238,24

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (49838,25 + 6576,99) = 15288,53 \text{ руб.}$$

3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

3.5. Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно технический проект приведен в таблице 2.16.

Таблица 2.16

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	66050	46,1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49858,25	27,9
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6576,99	3,56
4. Отчисления во внебюджетные фонды	15782,56	8,65
5. Накладные расходы	25455,32	13,79
6. Бюджет затрат на технический проект	163723,12	100

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят примерно 163 тысячи рублей, из которых большую часть составят затраты по основной з/п, и материальные затраты исполнителей. При необходимости снизить общие

затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки оборудования какое-либо другое исполнение.

4. Определение конкурентоспособности проекта

Определение конкурентоспособности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет показателя конкурентоспособности приведен в таблице 2.17.

Таблица 2.17

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Повышение производительности работы	0,15	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4
3. Надежность	0,25	4
4. Безопасность	0,15	5
5. Функциональные возможности	0,25	5
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4
ИТОГО	1,0	30

$$I_{p-учн1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 = 4,4$$

Показатель конкурентоспособности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности использования

технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 100 дня. Также был посчитан бюджет НИИ равный 163 тыс. руб, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

3. Социальная ответственность

Введение

В данном разделе рассматриваются безопасность и экологичность в лаборатории при работе на лабораторном стенде. Здесь будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда в лаборатории (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности.

3.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Общая площадь рабочего помещения составляет 60 м^2 (длина $A=10\text{ м}$, ширина $B=6\text{ м}$), объем составляет 270 м^3 (высота $C=4,5\text{ м}$).

По [13] санитарные нормы составляют $6,5\text{ м}^2$ и 20 м^3 объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После проведения анализа габаритных размеров кабинета, была рассмотрен микроклимат в этом помещении. В качестве параметров микроклимата выбрана температура воздуха и освещение.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основной недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам [13] объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40 м^3 . В данном случае объем воздуха на одного человека составляет 45 м^3 , из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется.

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается работающим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Шум вызывает головную боль, быструю утомляемость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения ЭВМ. Уровень шума колеблется от 35 до 40дБА. По [14] при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50дБА. Следовательно, можно считать, что рабочее место соответствует выше указанным нормам.

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно [15] напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света используется люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Согласно [16] освещенность рабочего стола должна быть не менее 200÷500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение

не должно создавать бликов на экране. За счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м². Оборудование находится в помещении площадью 60 м², имеющим один выход и 4 окна.

3.1.1 Расчет освещения

Выбор типа светильника производится с учетом следующих основных факторов:

- требуемое количество освещения;
- безопасность эксплуатации;
- удобство;
- экономичность.

Для определения необходимого количества ламп и выбора их типа ниже произведен расчет общего искусственного освещения люминесцентного освещения.

Данные:

Пожароопасность помещения	Пожаробезопасное
Кол-во пыли	Малое
Размеры помещения, м	10*6*4.5
Площадь окна, м ²	2.25

Требуется создать освещенность $E = 200$ люкс.

Коэффициент запаса для помещений с нормальными условиями среды (учебные помещения, лаборатории) $K_c = 1,2 - 1,4$. Примем $K_c = 1,2$

Рассчитаем систему общего освещения (люминесцентного).

На основании исходных данных предварительно выбираем светильник.

Таблица 3.1

Тип светильника	Тип КСС	Габаритные размеры, мм
ЛВП25-4×18	Г	595×595×95

Где КСС- это кривые силы света, Г- Глубокая

Так как светильник ЛВП25 потолочного типа, тогда расчётная высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H_{ном} - h_p = 4.5 - 0.8 = 3.7 \text{ м.}$$

где h_p - высота рабочей поверхности над полом, 0,7-1,1м

где $H_{ном}$ - высота самого помещения, м

Коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп $Z=1,1$ [16].

Коэффициент отражения потолка $\rho_n=70\%$, стен $\rho_c=50\%$, пола $\rho_p=50\%$ для данной комнаты.

Для обеспечения равномерности освещения определим оптимальное расстояние между соседними светильниками:

$$\lambda_n \cdot h \leq L \leq \lambda_y \cdot h$$

Где λ_n, λ_y – относительные светотехнические и энергетические наивыгоднейшие расстояния между светильниками, и они равны для Глубокой(Г) КСС $\lambda_n=0.8$ и $\lambda_y=1.4$, тогда

$$0,8 \cdot 3,7 \leq L \leq 1,4 \cdot 3,7$$

$$2,96 \leq L \leq 5,18$$

Примем $L=3\text{м}$

Расстояние от несущих стен до ближайшего ряда светильников l_B или до ближайшего светильника в ряду l_A принимают в пределах $(0,3 \dots 0,5) \cdot L$:

$$l_B = (0,3 \dots 0,5) \cdot L = 1 \text{ м.}$$

Определим число рядов светильников:

$$N_2 = \frac{B - 2 \cdot l_b}{L} + 1 \quad N_2 = \frac{6 - 2 \cdot 1}{3} + 1 = 2,33$$

Принимаем $N_2=2$

Предварительный выбор люминесцентной лампы

Таблица 3.2

Тип люминесцентной лампы	Световой поток выбранной лампы, лм	Мощность выбранной лампы, Вт
ЛБ18-4	1100	18

Найдем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{10 \cdot 6}{3,7 \cdot (10 + 6)} = 1,02.$$

Тогда, коэффициент светового поток равен $\eta = 0,6$.

Рассчитаем количество люминесцентных ламп в помещении:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K_c \cdot Z}{\Phi \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 60 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{1100 \cdot 0,6} = 24 \text{ шт.}$$

Определяем количество светильников в помещении:

$$N_{\Sigma} = N / N_n \quad N_{\Sigma} = 24 / 4 = 6 \text{ шт.}$$

Где N_n - количество ламп в светильнике

Число светильников в ряду:

$$N_1 = N_{\Sigma} / N_2 \quad N_{\Sigma} = 6 / 2 = 3 \text{ шт.}$$

Суммарная длина светильников:

$$L_{\Sigma} = N_1 \cdot l_n \quad L_{\Sigma} = 3 \cdot 0,595 = 1,785 \text{ м.}$$

Расстояние от стены до светильника в ряду:

$$\text{примем } l_a = 0,9 \text{ м}$$

Расстояние между светильниками:

$$L_D = (A - N_1 \cdot l_n - 2 \cdot l_a) / (N_1 - 1) = (10 - 3 \cdot 0,595 - 2 \cdot 0,9) / (3 - 1) = 3,2075 \text{ м}$$

Условие равномерности освещения:

$$0 \leq L_D \leq 1,5 \cdot L_B \quad 0 \leq 3,2 \leq 5,55 \text{ м.}$$

Условие выполняется

План размещения светильников с люминесцентными лампами показан на рисунке 3.1.

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 24 \cdot 18 = 432 \text{ Вт.}$$

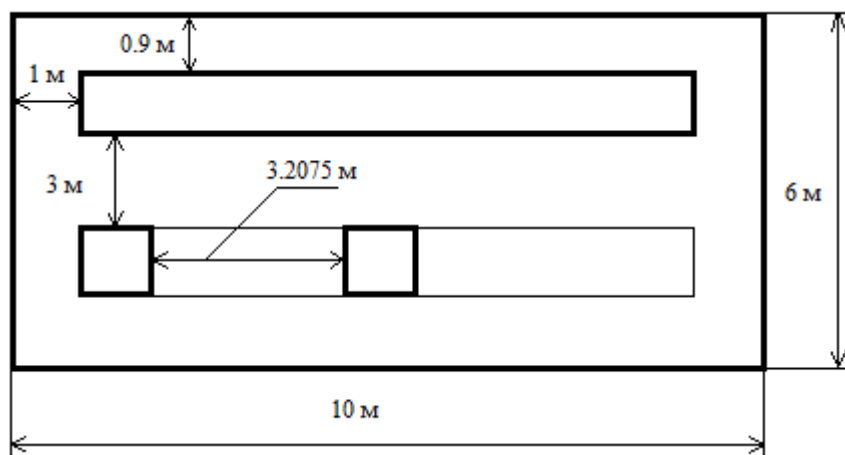


Рисунок 3.1 – План размещения светильников с люминесцентными лампами

Предварительный выбор светильника, лампы и расположения светильников принимаем в качестве окончательного.

3.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения с имеющими соединение с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования [17].

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются [18]:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

3.3. Охрана окружающей среды

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть(поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации [19].

Утилизация ЭВМ является обязательным условием, которое прописано в российском законодательстве. Под него попадают как организации, так и физические лица.

Выброс компьютеров на свалки приводит к повреждению экологии и окружающей среды. Поэтому необходимо обратиться к лицензированным компаниям, представляющим услуги по утилизации отходов.

При утилизации ЭВМ происходит разделение частей на фракции: металлы, пластмассы, стекло, провода, штекеры. Применяются следующие методы переработки компьютеров:

- сортировка печатных плат по доминирующим материалам;
- дробление и измельчение;
- гранулирование; сепарация;

- обжиг полученной массы для удаления сгорающих компонент;
- расплавление полученной массы;
- рафинирование;
- прецизионное извлечение отдельных материалов;
- создание экологических схем переработки компьютерного лома;
- создание экологически чистых компьютеров.

В Томске можно обратиться в компанию РУСУТИЛИТ, занимающуюся утилизацией ЭВМ, которая работает на основании лицензии Федеральной службы по надзору в сфере природопользования 066 № 00329 от 04 февраля 2016 г. на деятельность по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию размещению отходов I-IV классов опасности.

3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Потенциальное возникновение пожара связано с наличием промышленного компьютера, накоплением токоведущей пыли внутри, и, как следствие, возможно короткое замыкание и быстрое возгорание пыли, что и приведет к пожару. Также наличие нагреваемых в ходе работы элементов установки, в симбиозе с плохой теплоотдачей, может привести к воспламенению материалов вблизи с установкой.

В связи с возможной угрозой возникновения пожара был разработан план действий [20]:

- в случае обнаружения возгорания необходимо сообщить руководителю и попытаться потушить очаг возгорания своими силами с помощью средств первичного пожаротушения, а именно: огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-АВСЕ;
- в случае, если потушить очаг возгорания не удастся, привести в действие ручной пожарный извещатель;
- немедленно сообщить о чрезвычайной ситуации в пожарную охрану по телефону 01 (сотовый 010), назвать адрес объекта, место и причины возникновения пожара;
- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;

- приступить к тушению пожара, отключив электроэнергию;
- встретить подразделения пожарной охраны и, при необходимости, оказать помощь при выборе наилучшего пути для подхода к очагу возгорания.

План эвакуации персонала из учебной аудитории №260 представлен на рисунке 3.2.

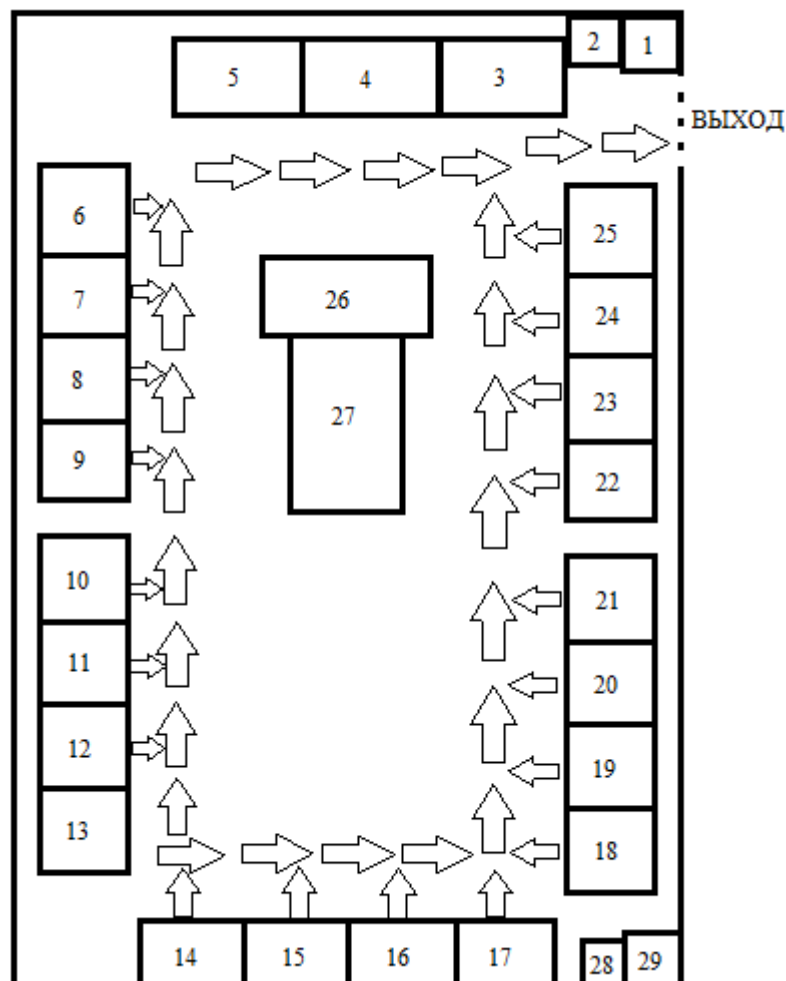


Рисунок 3.2 – План эвакуации сотрудников из лаборатории в случае возникновения чрезвычайной ситуации

3-25 – лабораторные стенды; 1,29 – шкафы;

2,28-сейфы; 26,27- столы.

Возникновение других видов ЧС маловероятно, соответственно рассмотрению не подлежат.

3.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с Трудовым кодексом РФ, в целях обеспечения требований охраны труда осуществляется контроль за их выполнением, в каждой организации численностью более 50 сотрудников создается служба охраны труда. Либо заключается договор со специалистами. Служба охраны труда подчиняется руководителю предприятия. На должность инженера по охране труда назначаются имеющие квалификацию инженера по охране труда или прошедшие специальное обучение.

В соответствии с [21], на производстве с численностью более десяти человек должны создаваться комитеты по охране труда, в состав которых входят представители работодателя и профсоюзов. Задачами комитета являются: организация по обеспечению выполнения работниками требований по охране труда, контроль за соблюдением охраны труда, информация о состоянии охраны труда. Комитет по охране труда ведет учет и анализ производственного травматизма и профессиональных заболеваний, измерение величин опасных и вредных факторов, оценку травмобезопасности, аттестацию рабочих мест, приемку в эксплуатацию производственных объектов, согласование документации в области охраны труда, участие в расследовании несчастных случаев, обучение по охране труда в соответствии со следующими документами:

- Трудовой кодекс РФ;
- ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ;
- ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ;
- СНиП П-12-77;
- СанПиН 1757-77;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03;

Заключение

В данной ВКР разработана система управления для системы широтно-импульсный преобразователь – двигатель постоянного тока, рассчитаны параметры элементов силовой цепи – транзисторов и диодов. Также была разработана линеаризованная модель системы электропривода ШИП-ДПТ в пакете Simulink программы имитационного моделирования Matlab. На этой модели была произведена настройка регуляторов тока и скорости на модульный оптимум. Затем были учтены основные нелинейности системы: насыщение регуляторов и реактивный характер нагрузки. Для оценки адекватности нелинейной модели была собрана модель на стандартных элементах Matlab. Затем были проведены исследования симметричного, несимметричного и поочередного закона коммутации, построены характеристики переходных процессов. Результаты моделирования процессов пуска, реверса, наброса и сброса нагрузки в нелинейной системе, составленной на основе структурной схемы системы в основном совпадают с результатами модели на стандартных элементах Matlab, небольшие различия объясняются разными методами расчетов в этих моделях.

В экономическом разделе была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был рассчитан SWOT-анализ, ППР, которое занимало 100 дней. Также был посчитан бюджет НТИ равный 163 тыс. руб, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

В разделе социальная ответственность была произведен расчет системы освещения, спланирован план эвакуации при ЧС, также произведен анализ вредных факторов окружающей среды, рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Список используемых источников

1. Герман-Галкин, С.Г. Широотно-импульсные преобразователи.-Л.: Энергия, 1979.- 96 с.
2. Быстродействующие электроприводы постоянного тока с широкоотно-импульсными преобразователями / М. Е. Гольц [и др.]. — Москва: Энергоатомиздат, 1986. — 184 с.
3. Герман-Галкин, С.Г. Силовая электроника : лабораторные работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин. — СПб.: Корона принт, 2009. — 304 с.
4. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями / С. Г. Герман-Галкин, В. Д. Лебедев, Б. А. Марков, Н. И. Чичерин. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. — 244 с.
5. Герман-Галкин, С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink : учебник / С. Г. Герман-Галкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 443 с.
6. Глазенко, Т. А. Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного тока / Т. А. Глазенко. — Ленинград: Энергия, 1973. — 304 с.
7. Электронные и полупроводниковые устройства систем автоматического управления : учебное пособие / М. А. Балашов, Е. Б. Елагин, Ю. И. Конев и др.; Под ред. Е. М. Решетникова. — Москва: Машиностроение, 1966. — 443 с.
8. Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 151—157
9. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
10. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г
11. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

- 12.Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
- 13.СанПиН 2.2.1/2.4.1340-03. Санитарные нормы.
- 14.СНиП П-12-77. Защита от шума.
- 15.СанПиН 1757-77. Допустимая напряженность электростатического поля.
- 16.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
- 17.ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 18.Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
- 19.Федеральная служба по утилизации компьютеров и оргтехники [Электронный ресурс]. URL: <http://rusutilit.ru>. (Дата обращения: 11.05.2016г).
- 20.ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
21. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.