

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – Электроника и микроэлектроника  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА</b>

УДК 621.314.222.68:621.311.6–027.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А31	Нгуен Ха Ча Ми		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Торгаев С.Н	Доцент, к.ф.м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Николаенко В.С			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Ю.В	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	К.ф.м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и

	безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<b>Универсальные компетенции</b>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А31	Нгуен Ха Ча Ми

Тема работы:

**Импульсный преобразователь постоянного напряжения  
понижающего типа**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является понижающий преобразователь постоянного напряжения с П-, ПИ- и ПИД- регуляторами.</p> <p>Исходные данные преобразователя:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Входное напряжение: <math>U_{вх} = 310В</math>;</li><li>• Индуктивность: <math>L = 3мГн</math>;</li><li>• Конденсатор: <math>C = 100мкФ</math>;</li><li>• Нагрузка: <math>R_n = 50 Ом</math>;</li><li>• Частота: <math>f = 50кГц</math>;</li><li>• Режим непрерывного тока.</li></ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обзор литературы</li><li>2. Выбор и обоснование структурной и принципиальной схем ИППН</li></ol>

исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	понижающего типа с системой управления; 3. Исследование ИППН с П-, ПИ-, ПИД-регуляторами в системе MATLAB/Simulink; 4. Заключение.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Все разделы бакалаврской работы должны быть написаны на русском языке.	
Реферат должен быть написан на русском и на иностранном языке.	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Торгаев С.Н	Доцент, к.ф.м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А31	Нгуен Ха Ча Ми		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А31	Нгуен Ха Ча Ми

Институт	ИНК	Кафедра	ПМЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с определением информацией в установке, аналитических материалах, расчетов бюллетенях, нормативно-правовых документах;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение анализ: Потенциальные потребители результатов исследования, конкурентные технические решения с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, Технология QuaD, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИИ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А31	Нгуен Ха Ча Ми		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1А31	Нгуен Ха Ча Ми

Институт	ИНК	Кафедра	ПМЭ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Объектом исследования является импульсный преобразователь постоянного напряжения с робастным пропорционально-интегральным регулятором.</li> <li>– Источники вторичного электропитания являются одним из основных электронных компонентов любой функциональной аппаратуры. Они применяются во всех сферах современной индустрии: в различных областях промышленности, связи, электроприводе, автотранспорте, бытовых приборах, телекоммуникационной, военно-космической, компьютерной технике.</li> </ul>
---	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</p> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>– повышенная или пониженная влажность воздуха;</li> <li>– повышенная или пониженная подвижность воздуха;</li> <li>– отсутствие или недостаток естественного света;</li> <li>– повышенный уровень шума на рабочем месте.</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электрический ток.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b></p>	<p>Возможные ЧС на объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сильные морозы (в качестве мер по защите рекомендуется использовать резервное энергообеспечение и отопление);</li> <li>– пожары или взрывы.</li> </ul>

<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	<i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– компоновка рабочей зоны;</li> <li>– режимы труда и отдыха.</li> </ul>
---	---

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А31	Нгуен Ха Ча Ми		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН) понижающего типа.

Работа содержит 72 с., 25 рис., 18 табл., 7 источников.

Ключевые слова: импульсные преобразователи постоянного напряжения, П-регулятор, ПИ-регулятор, ПИД-регулятор, выходное напряжение.

Объектом исследования является понижающий преобразователь постоянного напряжения с П-, ПИ- и ПИД- регуляторами.

Целью работы является исследование импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН) понижающего типа с П-, ПИ-, ПИД- регуляторами.

Использованы следующие методы исследования: анализ литературы и моделирования в системе MATLAB/Simulink.

В процессе исследования проводилось исследование ИППН в системе MATLAB/Simulink.

В результате исследования были получены следующие результаты:

1. Разработаны структурная и принципиальная схемы ИППН понижающего типа с системой управления.

2. Моделирование ИППН с П-, ПИ- и ПИД- регуляторами в среде MATLAB-Simulink показало, что коэффициенты передачи регуляторов влияют на выходное напряжение понижающего ИППН.

3. При помощи ПИД-регулятора сочетает достоинства П-, ПИ-регуляторов. В большинстве случаев с помощью правильно настроенного ПИД-регулятора удается выполнить все требования к системе.

## СОДЕРЖАНИЯ

Введение.....	11
Глава 1. Обзор импульсного преобразователя постоянного напряжения.....	12
1.1. Понижающий ППН.....	12
1.2. Повышающий ППН.....	15
1.3.Инвертирующий ППН.....	17
Глава 2. Обзор регуляторов.....	19
2.1. Основные принципы.....	19
2.2. Классификация регуляторов.....	20
2.3. Свойства и типы регуляторов.....	21
Глава 3. Исследования влияния коэффициентов регуляторов на выходное напряжение понижающего ИППН.....	30
3.1. Выбор и обоснование структурной и принципиальной схем понижающего ИППН с системой управления.....	30
3.2. Исследование ИППН в системе Matlab/Simulink.....	32
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	42
4.1. Предпроектный анализ.....	42
4.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	49
4.3. Бюджет научно – технического исследования (НТИ).....	55
Глава 5. Безопасность жизнедеятельности.....	64
5.1. Производственная безопасность.....	64
5.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	68
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	68
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	69
Заключение.....	71
Список использованной литературы.....	72

## ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в преобразовательной технике представляет собой использование новых элементов базы (в том числе интегральные схемы, микроконтроллеры и т.п.) для силовой части и системы управления; исследование динамических процессов; анализ изменения сопротивления диода, конденсатора и других элементов, на которых было немного исследований.

Импульсные преобразователи постоянного напряжения в постоянное находят широкое применение в системах питания различной аппаратуры. Главным их достоинством по сравнению со стабилизаторами непрерывного типа является более высокий коэффициент полезного действия (КПД) из-за ключевого способа регулирования, однако за это приходится расплачиваться усложнением системы управления регулирующим элементом – высокочастотным транзисторным ключом, а также необходимостью введения в схему LCD-фильтра нижних частот (ФНЧ). [1]

Целью данной работы является исследование импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН) понижающего типа с П-, ПИ-, ПИД-регуляторами.

Задачи, которые были поставлены в данной работе:

1. Обзор литературы;
2. Выбор и обоснование структурной и принципиальной схем ИППН понижающего типа с системой управления;
3. Моделирование ИППН с П-, ПИ-, ПИД-регуляторами в программе MATLAB/Simulink;
4. Исследование влияния коэффициентов П-, ПИ- и ПИД- регуляторов на выходное напряжение схемы понижающего ИППН.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Импульсный преобразователи постоянного напряжения (ИППН) предназначены для преобразования постоянного напряжения одного уровня в постоянное напряжение другого уровня с высоким КПД. Иногда их называют конверторами. Они служат для питания нагрузки постоянным напряжением  $U_n$ , отличающимся по величине от напряжения источника питания  $U_d$ . [1]

Известно три базовых схемы преобразователей, в состав силовой части которых входят однотипные элементы: ключ, обратный диод, дроссель и конденсатор фильтра.

## 1.1. Понижающий ППН

Понижающая схема представлена на рисунке 1 вместе с временными диаграммами напряжений и токов. Она применяется для питания нагрузок, потребляющих большой ток при малом напряжении и может непосредственно заменить классический непрерывный регулятор, обеспечивая значительное увеличение КПД, уменьшение тепловыделения, габаритов и массы.

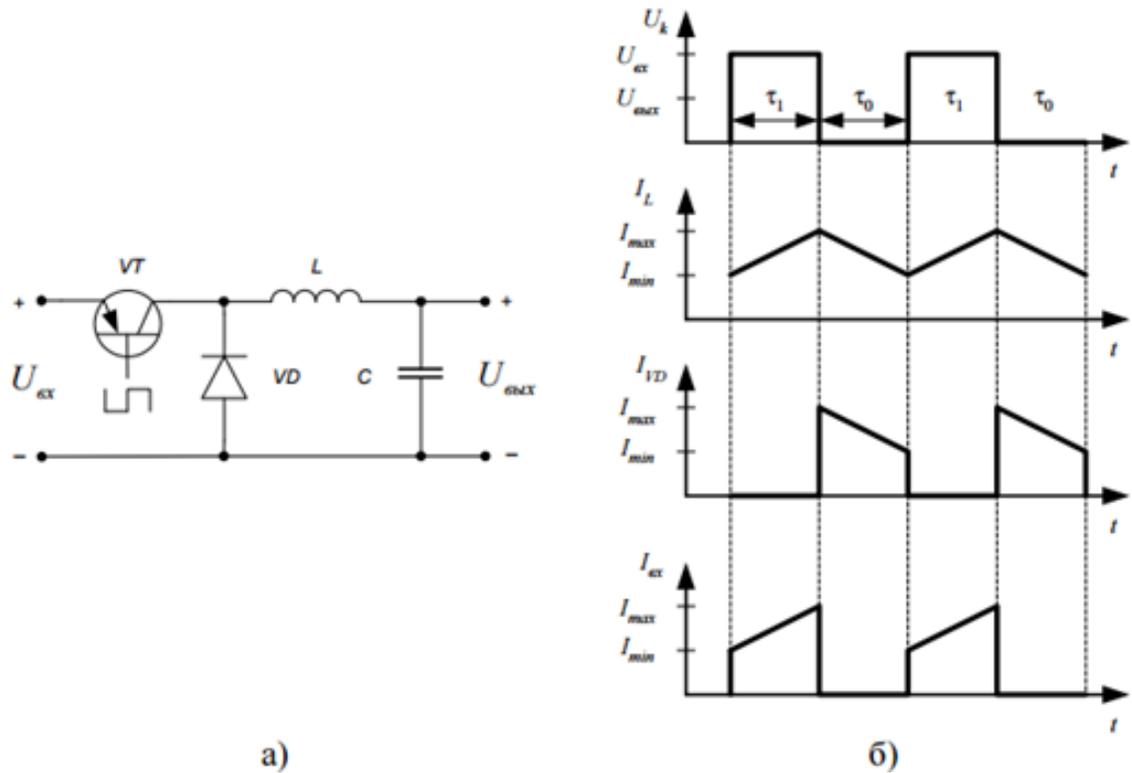


Рис.1. Упрощенная схема (а) и временные диаграммы работы (б) понижающего ИППН

Схема работает следующим образом. Транзистор VT, выполняя роль электронного ключа, под действием управляющих импульсов периодически переходит между состояниями насыщения (полностью открыт) и отсечки (полностью закрыт). В период насыщения длительностью  $\tau_1$  входной ток преобразователя поступает в нагрузку через накопительный дроссель индуктивностью  $L$ . В это время он находится под постоянным напряжением  $U_{L1} = U_{вх} - U_{вых}$ . Ток в дросселе изменяется по линейному закону и за время  $\tau_1$  увеличивается на величину

$$\Delta I_{L1} = \frac{U_{вх} - U_{вых}}{L} \tau_1$$

где  $U_{вх}$ ,  $U_{вых}$  - напряжение на входе и выходе схемы соответственно.

После размыкания ключа VT диод VD, открывшийся под действием ЭДС самоиндукции, обеспечивает протекание тока дросселя в нагрузку. При этом

напряжение на дросселе меняет знак, его модуль становится равным напряжению на нагрузке  $U_{L0} = U_{\text{ВЫХ}}$ , а ток в нём начинает линейно убывать, уменьшаясь за время паузы  $\tau_0$  на

$$\Delta I_{L0} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{L} \tau_0$$

Если, как мы условились, схема работает в установившемся режиме, то по окончании периода  $\tau_0$  ток в дросселе должен уменьшиться до того же значения, которое было в начале периода  $\tau_1$ . Иными словами,  $\Delta I_{L0} = \Delta I_{L1}$ .

Таким образом,  $\frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}}{L} \tau_1 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{L} \tau_0$  и

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \frac{\tau_1}{\tau_0 + \tau_1} = U_{\text{ВХ}} \gamma$$

Выходное напряжение можно регулировать, изменяя относительное время замкнутого состояния ключа

$$\gamma = \frac{\tau_1}{\tau_0 + \tau_1} = \frac{\tau_1}{T}$$

где  $T = \tau_0 + \tau_1$  – период переключения.

Величину  $\gamma$  называют также *коэффициентом заполнения*.

Особенностью такой схемы является риск поступления в нагрузку входного напряжения при пробое ключевого транзистора, что может вывести её из строя, особенно при большом отношении  $\frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}}$ . Для предотвращения этой опасности совместно с понижающей схемой, как правило, применяют устройства защиты нагрузки от перенапряжений.

## 1.2. Повышающий ППН

Повышающая схема, представленная на рисунке 2, используется в неизолированных преобразователях для получения напряжений больших, чем у первичного источника. Типичное применение повышающей схемы – питание мобильных устройств от батарей или получение высокого напряжения для газоразрядных ламп подсветки в дисплеях портативных компьютеров. Повышающая схема также используется в активных корректорах коэффициента мощности в составе AC/DC конверторов, поскольку она позволяет продолжать отбор тока от первичного источника в те периоды времени, когда мгновенное напряжение на входе меньше, чем на выходе.

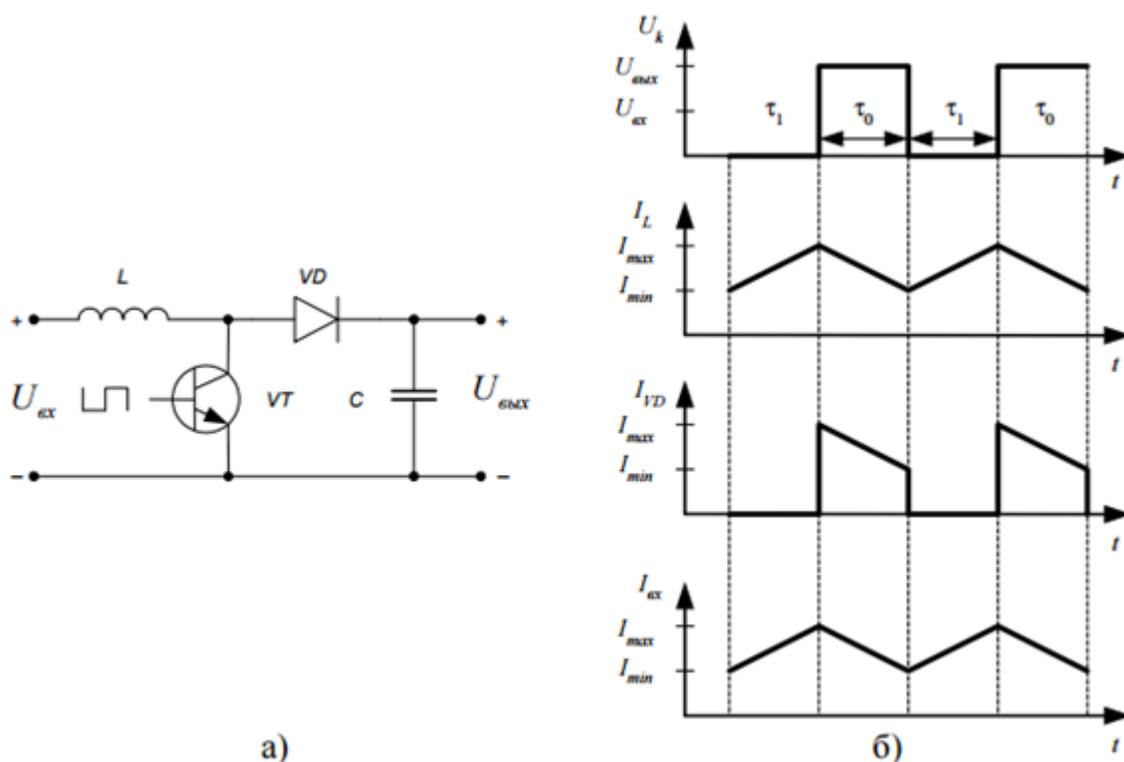


Рис.2. Упрощенная схема (а) и временные диаграммы работы (б) повышающего ИППН

Схема работает следующим образом. Во время замкнутого состояния ключа  $VT$  к дросселю прикладывается входное напряжение  $U_{L1} = U_{вх}$ . За время  $\tau_1$  ток дросселя увеличивается на величину  $\Delta I_{L1} = \frac{U_{вх}}{L} \tau_1$ . Нагрузка в это время отключена

диодом VD и получает питание только от сглаживающего конденсатора С. После размыкания ключа под действием ЭДС самоиндукции диод открывается и энергия, накопленная в дросселе вместе с энергией, поступающей от первичного источника, передаётся в нагрузку. При этом напряжение на дросселе меняет полярность, а линейно изменяющийся в нём ток за время  $\tau_0$  уменьшается на величину

$$\Delta I_{L0} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВХ}}}{L} \tau_0.$$

Аналогично понижающей схеме, из условия стационарной работы  $\Delta I_{L0} = \Delta I_{L1}$  получаем соотношение для выходного напряжения:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \frac{\tau_0 + \tau_1}{\tau_0} = U_{\text{ВХ}} \frac{1}{1 - \gamma}$$

### 1.3. Инвертирующий ППН

Инвертирующая схема, приведённая на рисунке 3, используется для получения напряжения противоположной полярности. При этом по модулю выходное напряжение может быть, как больше, так и меньше входного. В отличие от понижающей и повышающей схем здесь отсутствует контур протекания тока непосредственно из первичной цепи во вторичную. Энергия, потребляемая из первичного источника, сначала целиком накапливается в дросселе, и только потом передаётся из него в нагрузку.

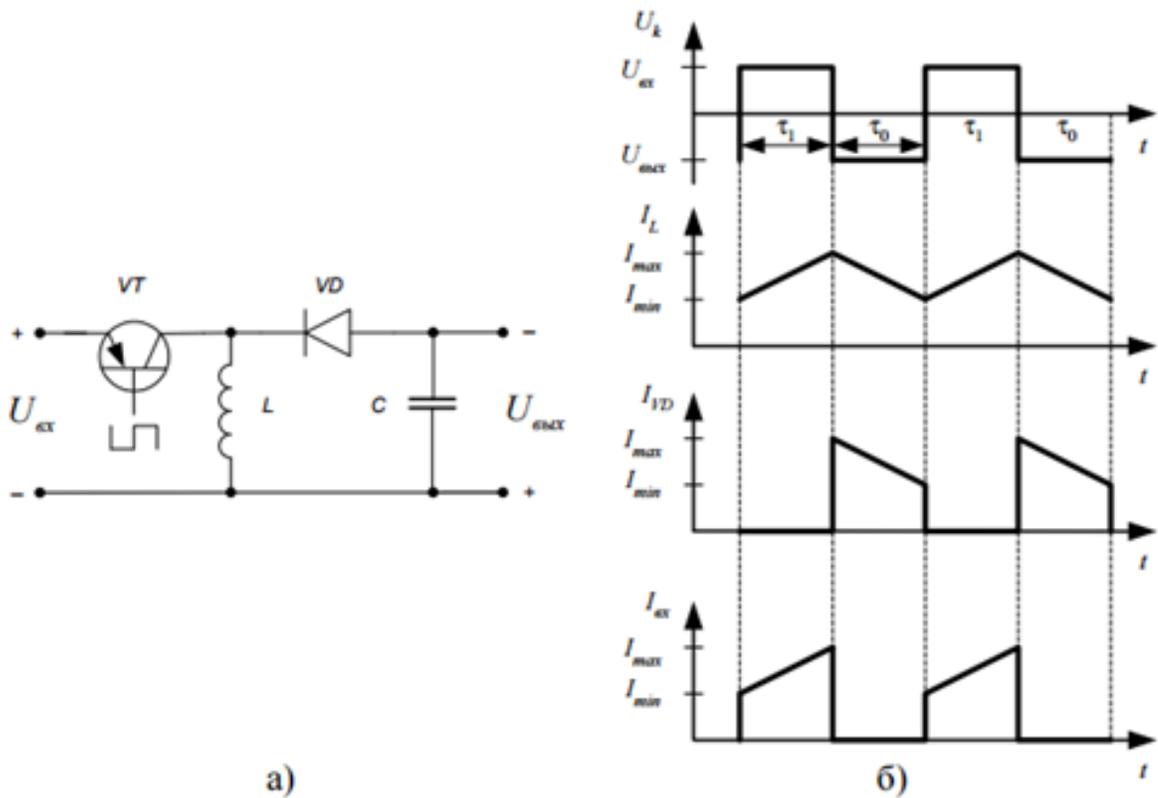


Рис.3. Упрощенная схема (а) и временные диаграммы работы (б) инвертирующего ИППН

Работает схема следующим образом. За время замкнутого состояния ключа VT  $\tau_1$  входное напряжение, приложенное к дросселю, вызывает в нём линейное увеличение тока на величину  $\Delta I_{L1} = \frac{U_{вх}}{L} \tau_1$ . Нагрузка в это время отключена диодом и получает питание только от сглаживающего конденсатора C. После размыкания ключа ЭДС в дросселе меняет знак, диод VD открывается и ток дросселя поступает в нагрузку. При этом он уменьшается по линейному закону на величину

$$\Delta I_{L0} = \frac{U_{вых}}{L} \tau_0.$$

Энергия, содержащаяся в дросселе, поступает в нагрузку и сглаживающий конденсатор, а потребление входного тока отсутствует.

Аналогично предыдущим случаям, из условия стационарной работы получаем соотношение для модуля выходного напряжения  $U_{вх} \tau_1 = U_{вых} \tau_0$ , следовательно

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \frac{\tau_1}{\tau_0} = U_{\text{ВХ}} \frac{\gamma}{1 - \gamma}$$

при этом выходное напряжение имеет противоположную полярность.

Следует обратить внимание на то, что в повышающей и инвертирующей схемах пульсация выходного напряжения при прочих равных условиях будет больше, чем в понижающей схеме. Это вызвано тем, что в понижающей схеме ток поступает в выходной ёмкостный фильтр без перерыва, а в повышающей и инвертирующей - только во время закрытого состояния ключа  $\tau_0$ .

## ГЛАВА 2. ОБЗОР РЕГУЛЯТОРОВ

Регулятор или управляющее устройство в теории управления является устройством, которое следит за состоянием объекта управления как системы и вырабатывает для неё управляющие сигналы. Регуляторы следят за изменением некоторых параметров объекта управления (непосредственно, либо с помощью наблюдателей) и реагируют на их изменение с помощью некоторых алгоритмов управления в соответствии с заданным качеством управления. [3]

### 1.1. Основные принципы регуляторов

Регуляторы в подавляющем большинстве работают по принципу отрицательной обратной связи с целью компенсировать внешние возмущения, действующие на объект управления и отработать заданный извне или заложенный в системе закон управления (программу). Примером может служить регулятор скорости двигателя. [5]

Реже используется прямая связь.

Критерии оценки качества регулирования:

- скорость регулирования (время уменьшения ошибки регулирования до заданной величины);
- точность, как установившаяся ошибка и как величина перерегулирования;
- запас устойчивости и отсутствие колебаний, в том числе затухающих.

[5]

Регуляторы могут быть выполнены в виде отдельного устройства или в виде прикладного пакета в основной программе управляющего устройства.

## 2.2. Классификация регуляторов

### *По использованию для работы внешней энергии*

– Регуляторы прямого действия, не используют внешнюю энергию. Работают за счёт энергии развиваемой датчиком, просты по конструкции, не дороги, но имеют не высокую точность. Используют в простейших системах регулирования.

– Регуляторы не прямого действия, используют внешнюю энергию для своей работы-это основной вид регуляторов.

### *По виду используемой внешней энергии*

- электрические;
- пневматические;
- гидравлические;
- комбинированные.

*По виду регулируемого параметра:* регуляторы температуры, давления, уровня, расхода и т. д.

*По закону регулирования,* т.е. по изменению регулирующего воздействия во времени при изменении регулируемого параметра (по виду переходной характеристике регулятора). Эти регуляторы могут быть аппаратного типа(аналоговые) и дигитальные, в виде программного пакета.

Различают следующие виды регулирований:

- P (П) - означает «пропорциональный»
- I (И) – «интегральный»
- D (Д) – «дифференциальный»
- PI (ПИ) – «пропорциональный и интегральный»
- PD (ПД) – «пропорциональный и дифференциальный»
- PID(ПИД)–«пропорциональный, интегральный и дифференциальный»

### 1.3. Свойства и типы регуляторов

Рассмотрим три простейших и наиболее распространенных типов линейных регуляторов:

#### 1.3.1. Пропорциональный регулятор (П-регулятор)

П-регулятор является одним из самых распространенных и простых устройств и алгоритмов управления. П-регулятор представляет собой устройство в обратной связи, которое может формировать управляющий сигнал. Он выдает выходной сигнал, пропорциональный входному, с коэффициентом пропорциональности  $K_P$ .

Управляющее воздействие  $u(t)$ , формируемое в регуляторе, пропорционально сигналу ошибки  $e(t)$ :

$$u(t) = k_P e(t),$$

где  $k_P$  – коэффициент передачи регулятора.

Передаточная функция регулятора равна:

$$W_p(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_P$$

Выходной сигнал, вырабатываемый пропорциональной частью П-регулятора, противодействует отклонению регулируемой величины от данного значения, которое наблюдается в данный момент. Выход П-регулятор выдаст тем больше, чем больше отклонение.

Если П-регулятор имеет входной сигнал, который равняется заданному значению, то выходной равен 0.

*Преимущества П-регулятора* – его быстрое действие (небольшое время регулирования  $t_p$ ) и высокая устойчивость процесса регулирования.

Недостаток П-регулятора состоит в наличии статической ошибки  $\delta X$ , то есть после окончания процесса регулирования (за время регулирования  $t_p$ ) параметр не возвращается точно к заданному значению, а отличается от заданного на  $\delta X$ , что

снижает точность регулирования. С увеличением коэффициента усиления  $K_p$ , величина  $\delta X$  уменьшается, но система может потерять устойчивость.

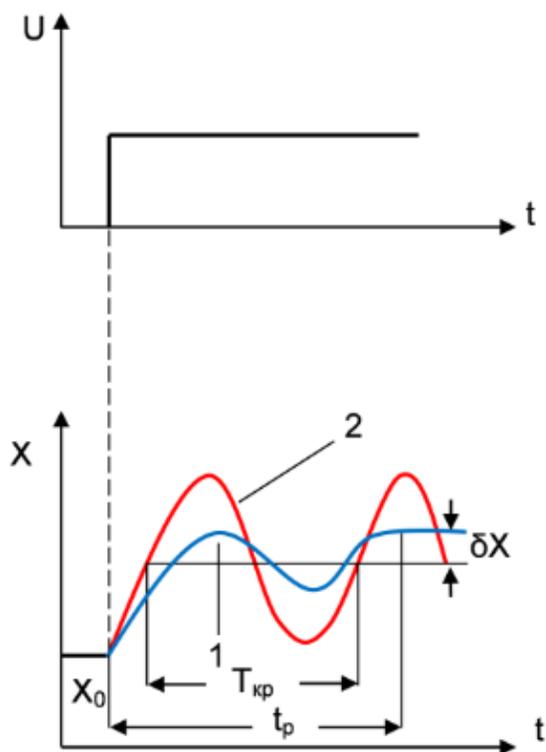


Рис.3. Процесс регулирования с П-регулятором

При  $K_p = K_{p.kr}$  в системе возникают не затухающие колебания с постоянной амплитудой, а при ещё большем  $K_p$ , с возрастающей амплитудой. (Рис. 3)

1 – регулируемый процесс с Р регулятором при  $K_p < K_{p.kr}$

2 – Регулируемый процесс при  $K_p = K_{p.kr}$

$T_{кр}$  – период не затухающих колебаний при  $K_p = K_{p.kr}$

$t_p$  – время регулирования для устойчивого процесса

$X_0$  – начальное значение регулируемого параметра

$\delta X$  – статическая ошибка

Для настройки П-регулятора следует сначала установить коэффициент пропорциональности максимальным, при этом выходная мощность регулятора уменьшится до нуля. После стабилизации измеренного значения, следует установить заданное значение и постепенно уменьшать коэффициент

пропорциональности, при этом ошибка регулирования будет уменьшаться. Когда в системе возникнут периодические колебания, коэффициент пропорциональности следует увеличить так, чтобы ошибка регулирования была минимальной, а периодические колебания максимально уменьшились.

Для устранения статической ошибки преобразователя в цепь обратной связи вводят интегрирующее звено.

### 1.3.2. Пропорционально-интегральный регулятор (ПИ- регулятор)

ПИ-регулятор представляет собой один из наиболее универсальных регуляторов. Фактически ПИ-регулятор является пропорциональным регулятором с дополнительной интегральной составляющей. И-составляющая, дополняющая алгоритм, предназначена для устранения статической ошибки, которая характерна для П- регулятора. По сути, интегральная часть - это накопительная, и таким образом позволяет осуществить то, что ПИ-регулятор учитывает в данный момент времени предыдущую историю изменения входной величины. Если добавить к алгоритму дифференциальную составляющую — он трансформируется в ПИД-закон регулирования. [5]

Управляющее воздействие  $u(t)$ , формируемое на выходе регулятора, содержит пропорциональную и интегральную составляющие:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d(\tau).$$

Здесь  $k_i$  – коэффициент передачи для интегральной составляющей.

Передаточная функция регулятора равна:

$$W_p(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_i}{s} = \frac{k_p s + k_i}{s}$$

Выходная мощность является суммой пропорциональной и интегральной составляющих. При одной и той же ошибке регулирования чем больше коэффициент  $K_p$ , тем меньше выходная мощность, и чем больше постоянная

времени интегрирования, тем медленнее накапливается интегральная составляющая.

Преимущества ПИ регулирования является обеспечением нулевой ошибки регулирования и нечувствительностью к помехам измерительного канала.

Недостаток ПИ регулирования состоит в медленной реакции на возмущающие воздействия. Введение интегральной составляющей в регулятор ухудшает условия устойчивости.

Для настройки ПИ регулятора следует сначала установить постоянную времени интегрирования равной нулю, а коэффициент пропорциональности-максимальным. Затем как при настройке пропорционального регулятора, уменьшением коэффициента пропорциональности нужно добиться появления в системе незатухающих колебаний. Близкое к оптимальному значение коэффициента пропорциональности будет в два раза больше того, при котором возникли колебания, а близкое к оптимальному значение постоянной времени интегрирования - на 20% меньше периода колебаний.

### **1.3.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор)**

Этот регулятор сочетает достоинства П-, ПИ- регуляторов и имеет повышенное быстродействие.

Управляющее воздействие  $u(t)$ , формируемое регулятором, содержит, кроме пропорциональной и интегральной составляющих, третью составляющую, пропорциональную производной сигнала ошибки:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}.$$

Здесь  $k_d$  – коэффициент передачи, определяющий величину воздействия по производной.

Регулятор описывается передаточной функцией

$$W_p(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_{\text{п}} + \frac{k_{\text{и}}}{s} + k_{\text{д}}s = \frac{k_{\text{д}}s^2 + k_{\text{п}}s + k_{\text{и}}}{s}$$

Так как выполнить идеальное дифференцирование сигнала ошибки нельзя, в реальных системах передаточная функция ПИД - регулятора принимает вид

$$W_p(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_{\text{п}} + \frac{k_{\text{и}}}{s} + \frac{k_{\text{д}}s}{T_{\text{д}}s + 1}$$

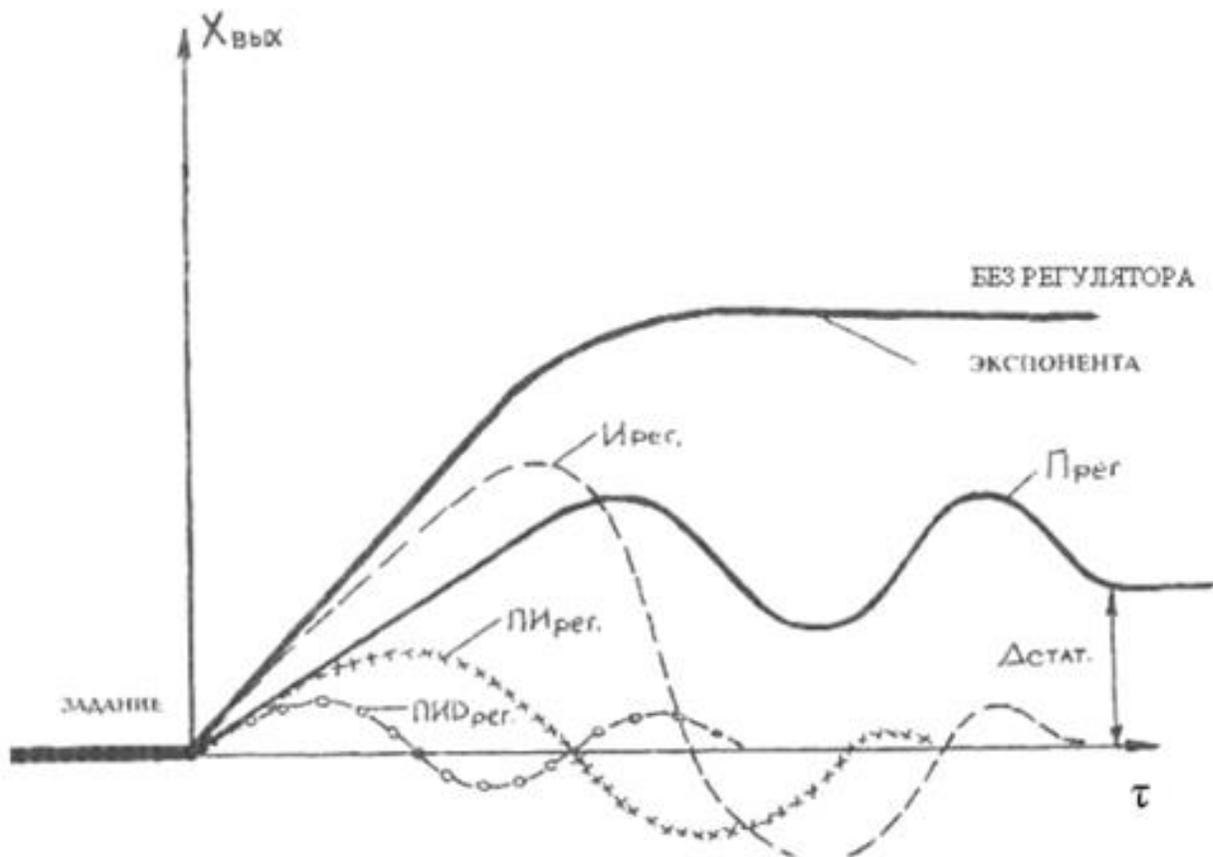
где  $T_{\text{д}}$  – постоянная времени, характеризующая инерционные свойства реального дифференцирующего звена.

Выходная мощность является суммой трех составляющих: пропорциональной, интегральной и дифференциальной.

При одной и той же ошибке регулирования чем больше коэффициент пропорциональности, тем меньше выходная мощность; чем больше постоянная времени интегрирования, тем медленнее накапливается интегральная составляющая; чем больше постоянная времени дифференцирования, тем сильнее реакция системы на возмущающее воздействие.

ПИД-регулятор применяется в инерционных системах с относительно малым уровнем помех измерительного канала. Достоинством ПИД регулятора является быстрый выход на режим, точное удержание заданной температуры и быстрая реакция на возмущающие воздействия.

Графики процессов регулирования параметра статического объекта в системе с П-, И-, ПИ-, ПИД-регуляторами приведены на рис. 4.



*Рис. 4. Графики процессов регулирования параметра статического объекта в системе с П-, И-, ПИ-, ПИД-регуляторами.*

Статический объект обладает свойством самовыравнивания и поэтому регулируемый параметр без регулятора с течением времени по экспоненте приходит к постоянной величине. САУ с П-регулятором имеет статическую ошибку. САУ с ПИД-регулятором имеет минимальную динамическую ошибку и время регулирования. [5]

В большинстве случаев с помощью правильно настроенного ПИД-регулятора удастся выполнить все требования к системе. Согласно статистике, более 90 % промышленных регуляторов представляют собой именно ПИД-регуляторы.

### 1.3.4. Схемы регуляторов на операционных усилителях

В системах подчиненного регулирования с последовательной коррекцией используется  $n$  последовательных суммирующих усилителей. На эти усилители возлагаются функции не только суммирования и усиления сигналов, но и выполнения некоторых других математических операций над сигналами, поэтому суммирующие усилители в этих системах называют регуляторами. [5]

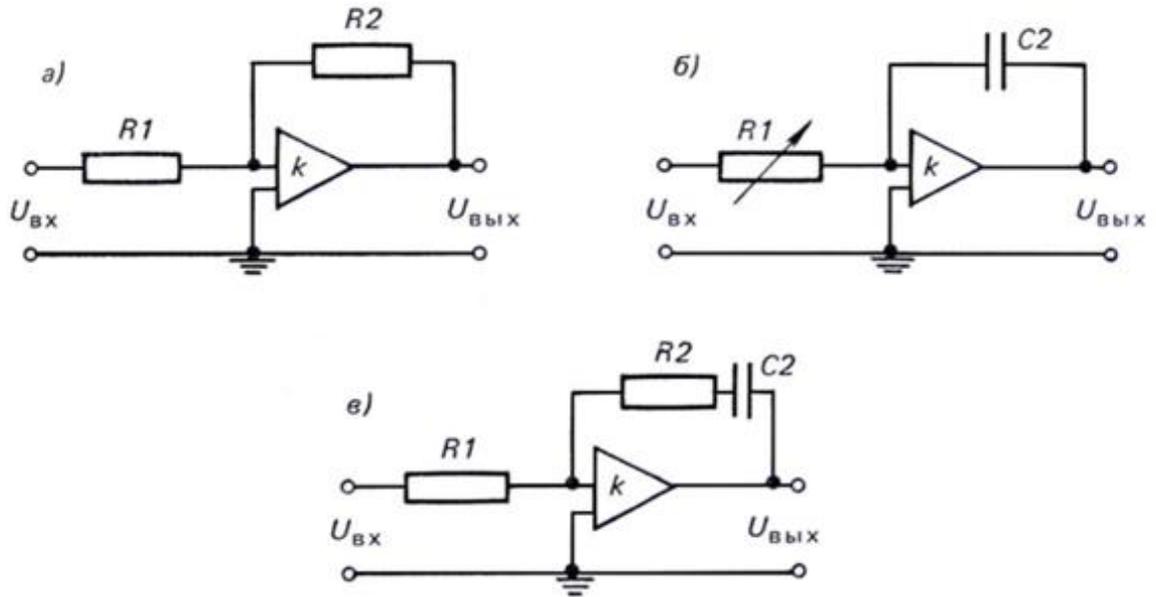


Рис. 5. Схемы П-, И- и ПИ- регуляторов на операционных усилителях

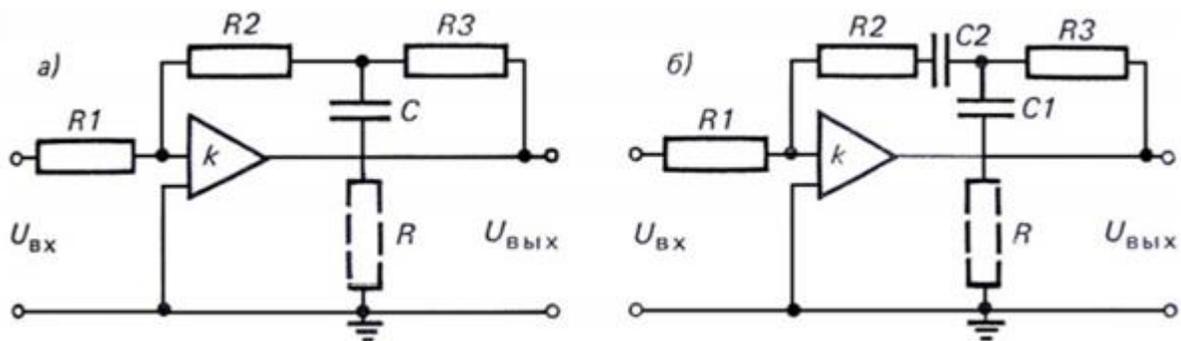


Рис. 6. Схемы ПД- и ПИД- регуляторов на операционных усилителях

### **1.3.5. Исследование импульсных преобразователей постоянного напряжения в системе MATLAB/Simulink**

Программа Simulink является приложением к пакету MATLAB. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний, требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области в которой он работает.

Simulink является достаточно самостоятельным инструментом MATLAB и при работе с ним совсем не требуется знать сам MATLAB и остальные его приложения. С другой стороны, доступ к функциям MATLAB и другим его инструментам остается открытым и их можно использовать в Simulink.

Часть входящих в состав пакетов имеет инструменты, встраиваемые в Simulink (например, LTI-Viewer приложения Control System Toolbox – пакета для разработки систем управления). Имеются также дополнительные библиотеки блоков для разных областей применения (например, Power System Blockset – моделирование электротехнических устройств, Digital Signal Processing Blockset – набор блоков для разработки цифровых устройств и т.д).

При работе с Simulink пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав

библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

# ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГУЛЯТОРОВ НА ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ИППН ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА

## 3.1. Выбор и обоснование структурной и принципиальной схем понижающего ИППН с системой управления

Рассмотрим импульсный стабилизатор постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Силовая часть стабилизатора (рис. 7) включает регулирующий транзистор  $VT$ , сглаживающий  $LC$ -фильтр и активную нагрузку  $R_H$ .

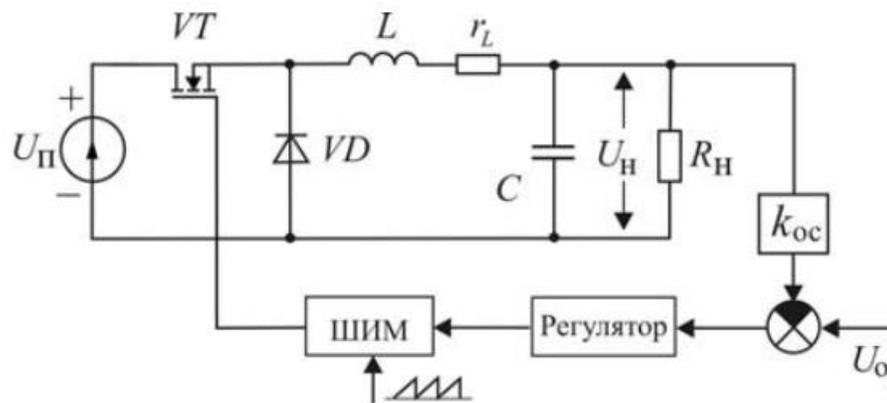


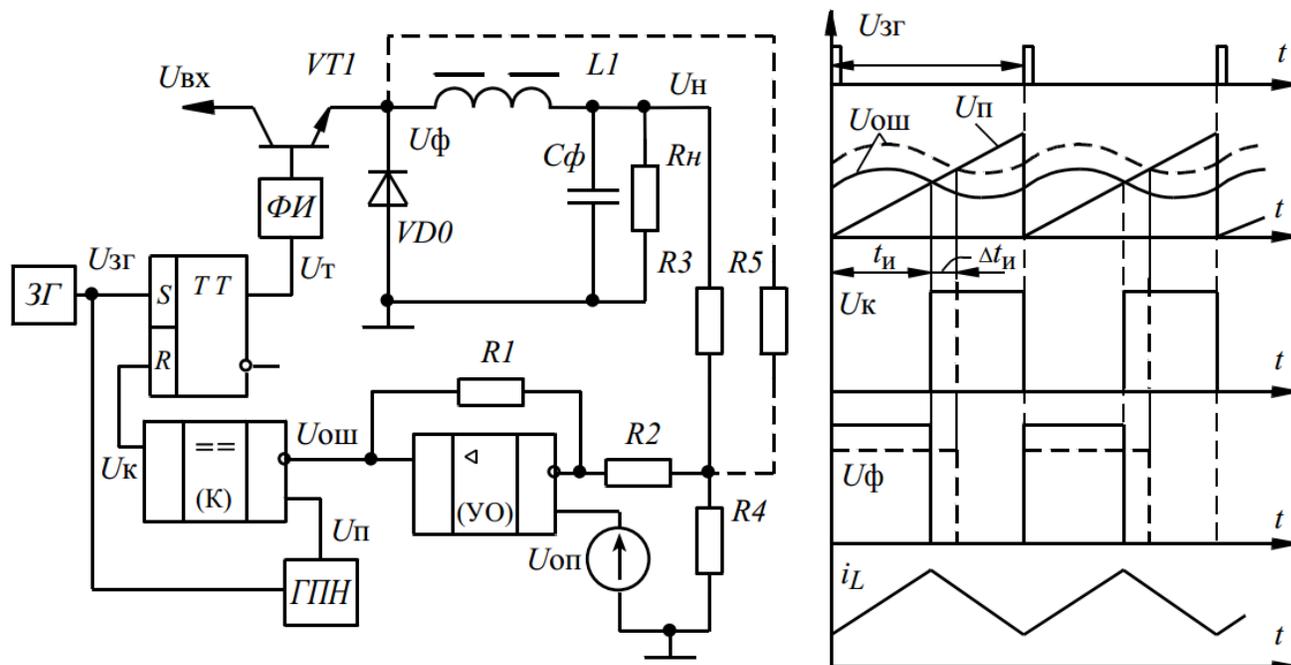
Рис. 7. Схема ИППН

Предположим, что в ИППН установился периодический процесс с периодом  $T$  и относительной длительностью  $\gamma$  замкнутого состояния ключа.

Стабилизация выходного напряжения в рассмотренных схемах преобразователей осуществляется путем изменения коэффициента заполнения при воздействии всех дестабилизирующих факторов, в основном входного напряжения и сопротивления нагрузки. Требуемый закон изменения коэффициента заполнения задается специальной схемой широтно-импульсным модулятором (ШИМ). Широко применяются ППН с обратной связью по напряжению (пропорциональное регулирование) (рис. 8).

В состав схемы управления входят задающий генератор (ЗГ), генератор пилообразного напряжения ГПН, усилитель цепи обратной связи (УОС), часто

называемый усилителем ошибки, источник опорного напряжения, RS-триггер, компаратор (К) и формирователь импульсов управления (ФИ) (см. рис. 8).



*Рис. 8. Упрощённая принципиальная схема ИППН с П-регулятором и временные диаграммы*

Выходное напряжение через делитель поступает на вход усилителя ошибки. Также на усилитель ошибки поступает сигнал с источника опорного напряжения, причем таким образом, чтобы на выходе усилителя формировался разностный сигнал между опорным и выходным (с коэффициентом деления) напряжениями. Сигнал ошибки сравнивается на компараторе с пилообразным напряжением ГПН и в момент равенства этих напряжений происходит сброс выходного триггера и выключение силового ключа. Включение силового ключа происходит во время обратного хода «пилы» по сигналу с задающего генератора (Рис. 8.).

При изменении  $U_n$  изменяется выходное напряжение УОС, которое сравнивается компаратором с сигналом ГПН. В этом случае происходит такое изменение коэффициента заполнения выходных импульсов компаратора, а соответственно и силового ключа, при котором выходное напряжение возвращается к прежнему уровню.

Задача проектирования преобразователя состоит в выборе такого типа регулятора, который при максимальной надёжности обеспечивал бы требуемое качество регулирования.

### Оценки качества переходных процессов

В данной работе используются показатели, определяемые непосредственно по кривой переходных процессов. Эти показатели характеризуют длительность и колебательность переходных процессов.

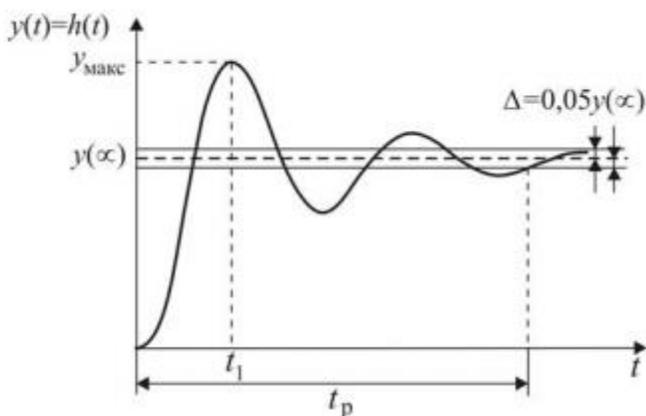


Рис. 9. Переходная функция системы

Для оценки длительности переходных процессов применяют следующие показатели: время достижения первого максимума  $t_1$ ; время регулирования  $t_p$ .

Временем регулирования  $t_p$  считают интервал времени от момента приложения внешнего воздействия до момента, после которого отклонения переходной функции от установившегося значения не превышают заданной величины  $\Delta$ :

$$|y(t) - y(\infty)| < \Delta \text{ при } t > t_p$$

Обычно принимают  $\Delta = 0.05y(\infty)$ .

### 3.2. Исследование ИППН в системе Matlab/Simulink

Составим в среде моделирования MATLAB/Simulink модель ИППН с П-, ПИ- и ПИД- регуляторами согласно схеме моделирования, на рис. 10.

$L = 3 \text{ мГн}; C = 100 \text{ мкФ}; R_H = 50 \text{ Ом}; U_{оп} = 2\text{В}; U_{ГПН} = 1 \text{ В}; f = 50 \text{ кГц}$

$E=310\text{V}, R_3=125\text{e}6, R_4=1\text{e}6$

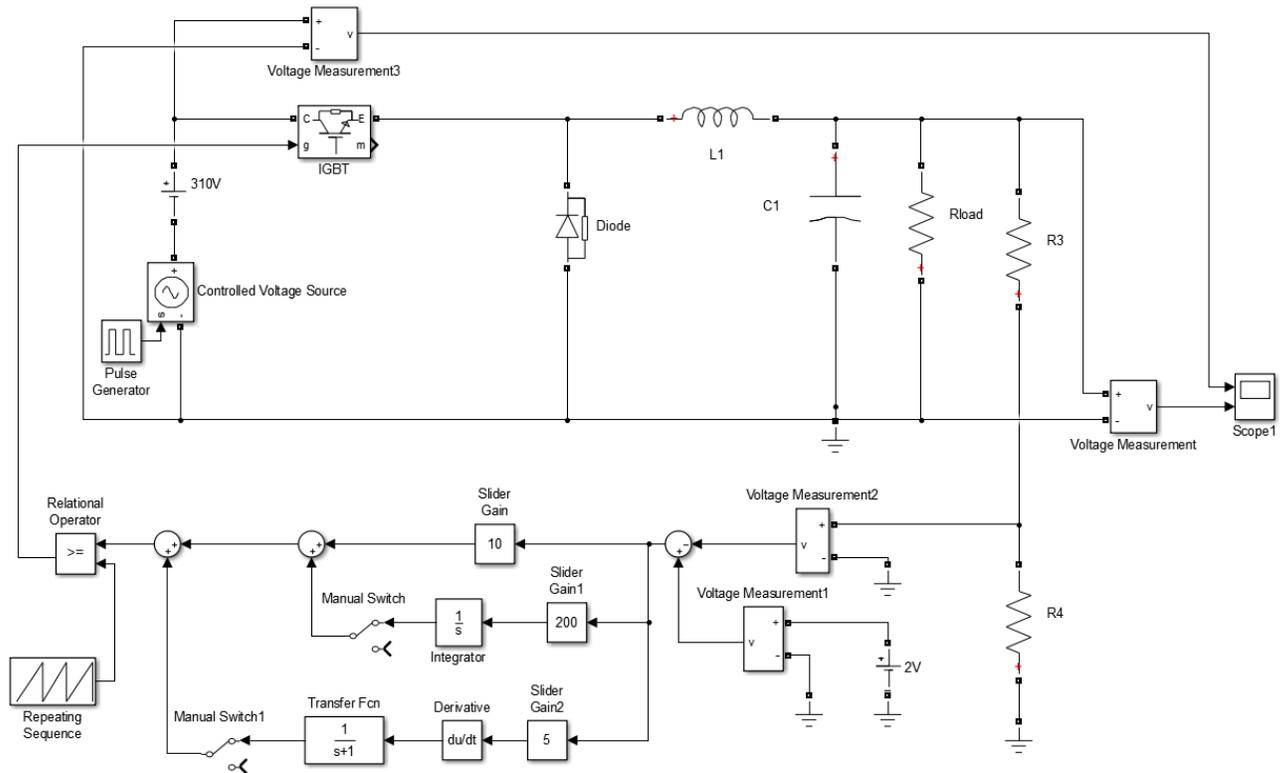


Рис. 9. Схема моделирования ИППН с П-, ПИ- и ПИД-регуляторами в среде MATLAB-Simulink

Исследование данной схемы показало, что коэффициенты передачи регуляторов влияют на выходное напряжение ИППН, то есть при изменении  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  изменяется качества переходных процесса.

Посмотрим влияние от П-, ПИ- и ПИД-регуляторов на диаграммы выходного напряжения ИППН.

### 3.2.1. Влияния коэффициентов П-регулятора на выходное напряжение понижающего ИППН

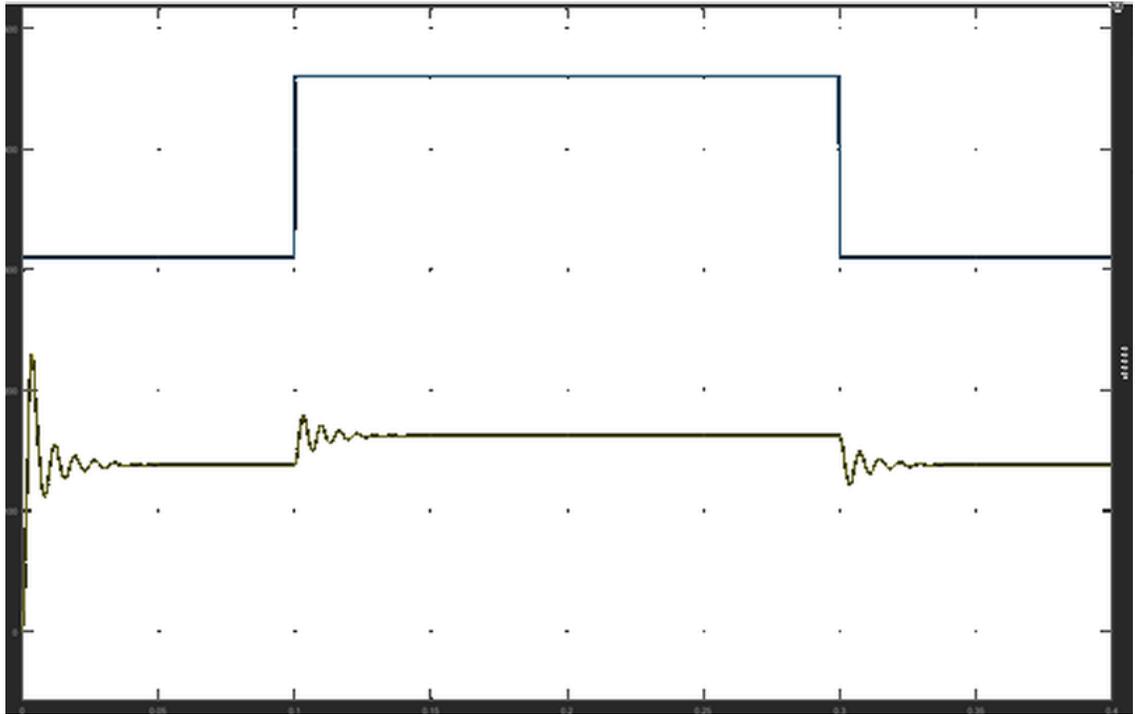


Рис. 10. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=0,5$

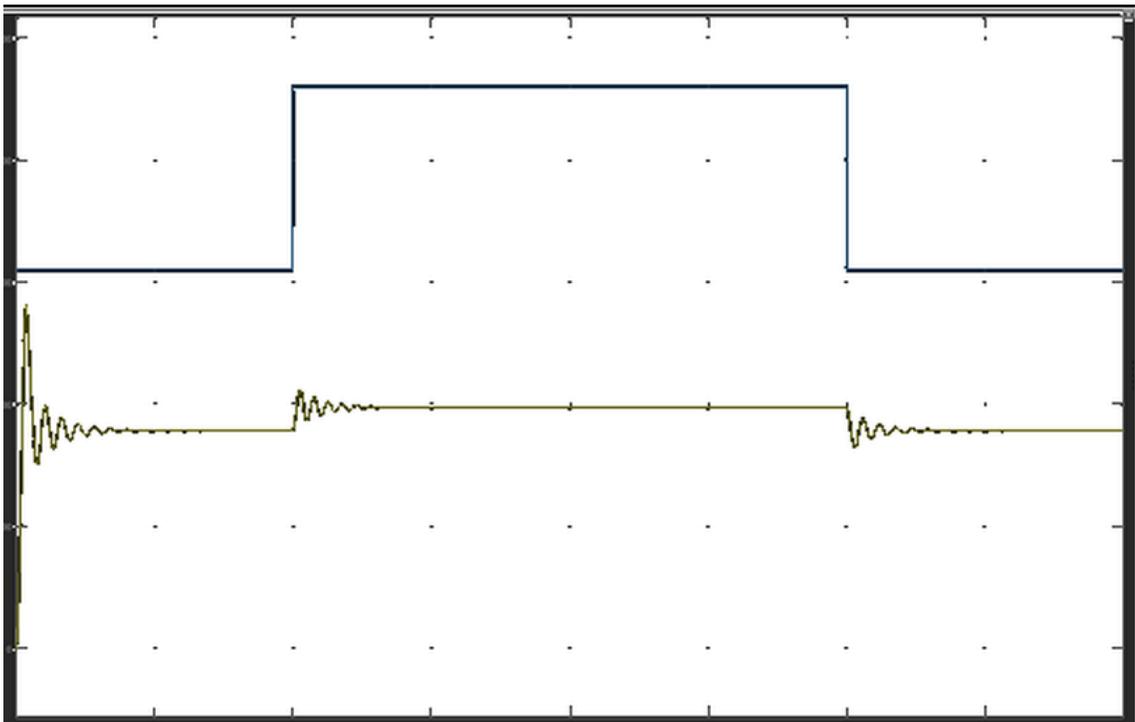


Рис. 11. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$

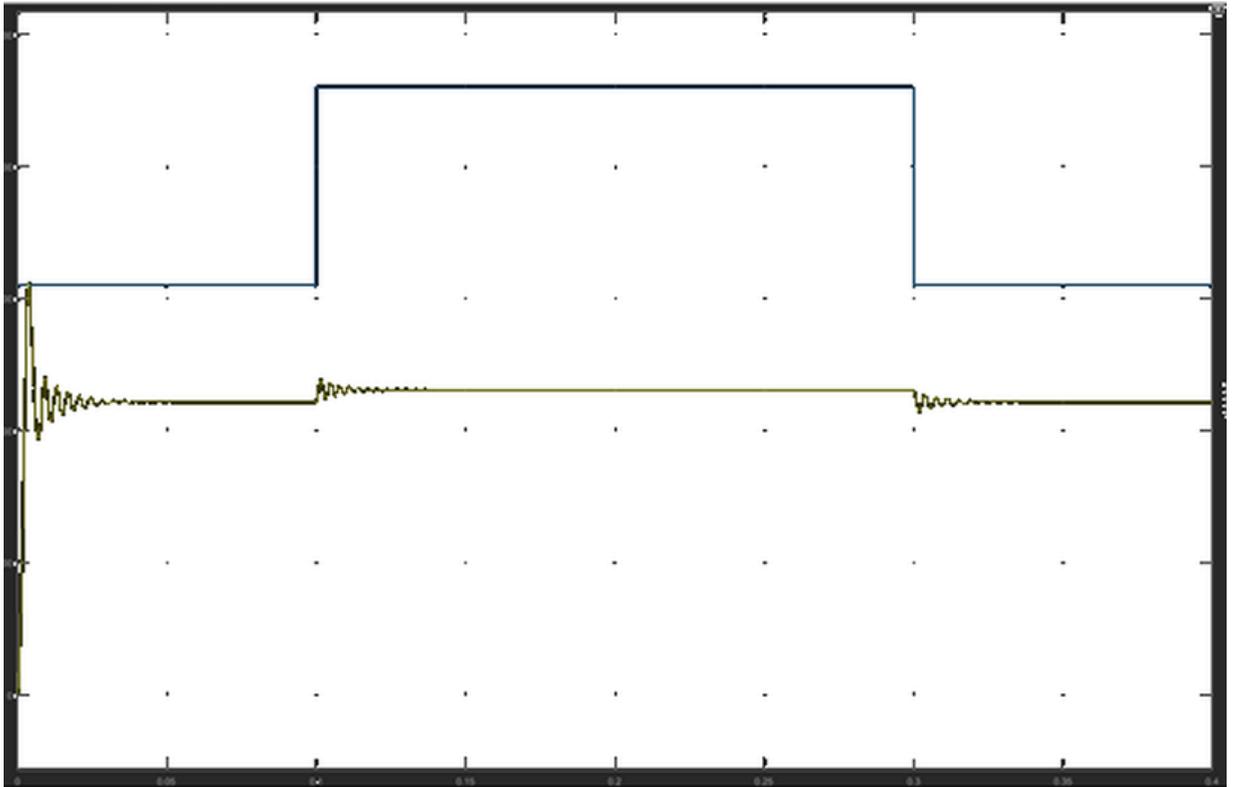


Рис. 12. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=3$

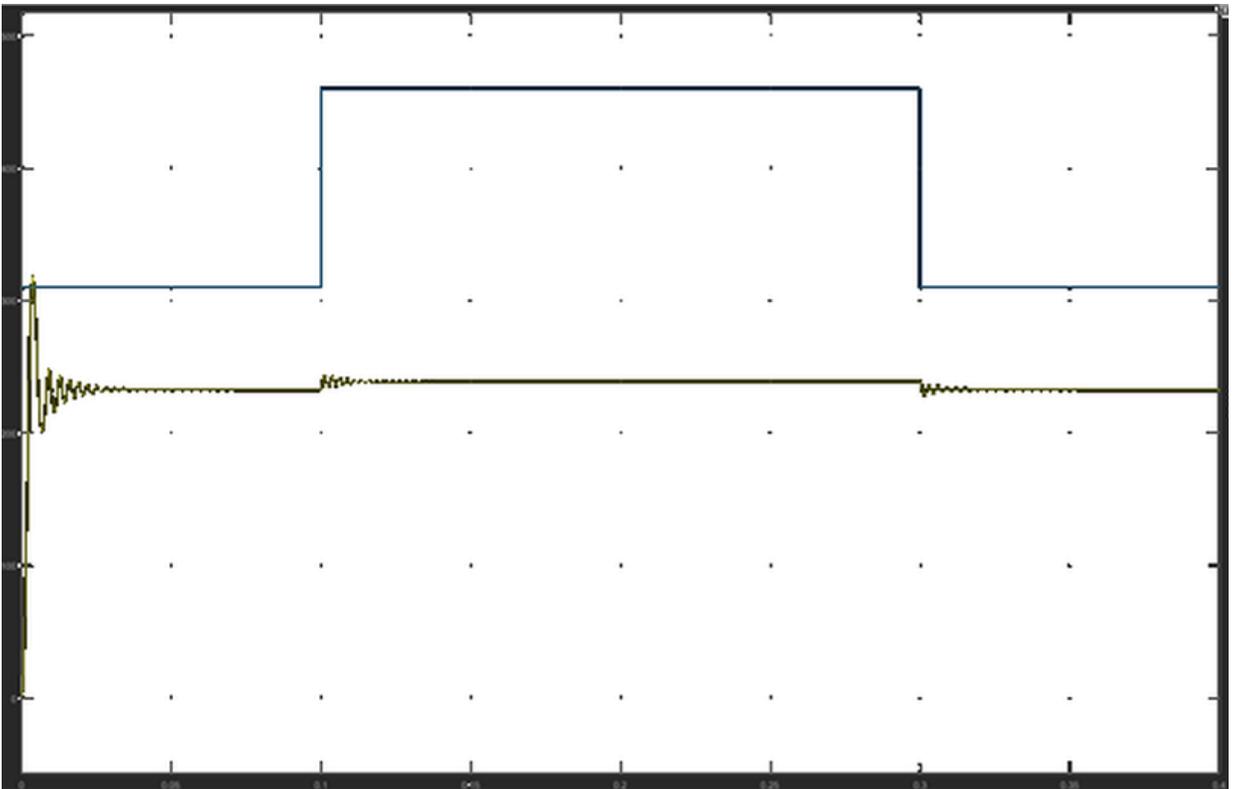


Рис. 13. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=5$

Переходный процесс в схеме с П-регулятором при  $K_p=1$  и разных  $K_p$  показан на табл.1.

Табл. 1. Значения показателей переходного процесса с П-регулятором

$K_p$	$\Delta U_{н1}, V$	$\Delta U_{н2}, V$	$t_p, ms$
0,5	16,69	16,26	38,764
1	14,41	13,8	37,904
3	7,75	7,32	37,596
4	6,253	6,069	35,847
5	5,244	5,085	33,436

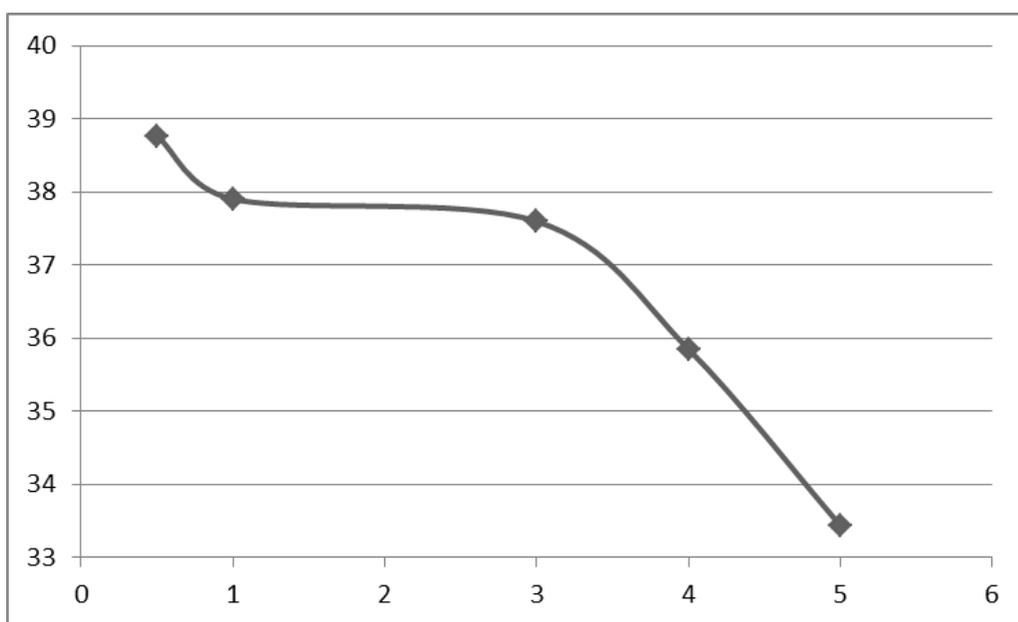


Рис. 14. График зависимость  $t_p=f(K_p)$

Из графики, диаграмм и таблицы значений показателей переходных процесса схемы ИППН с П-регулятором видно, что при увеличении коэффициента передачи регулятора  $K_p$ , уменьшается время регулирования, т.е переходная функция медленнее достигает установившегося значения.

При малых  $K_p$  система имеет малое перерегулирование, но большую статическую погрешность. С ростом  $K_p$  погрешность уменьшается.

### 3.2.2. Влияния коэффициентов ПИ-регулятора на выходное напряжение понижающего ИППН

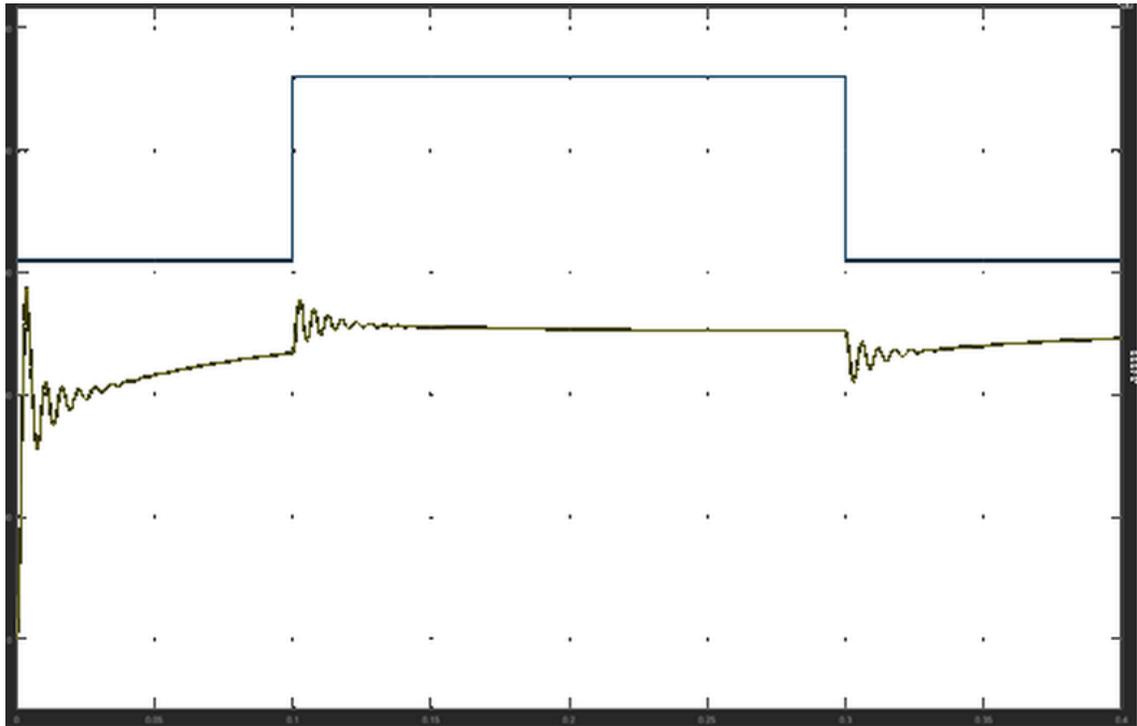


Рис. 15. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=20$

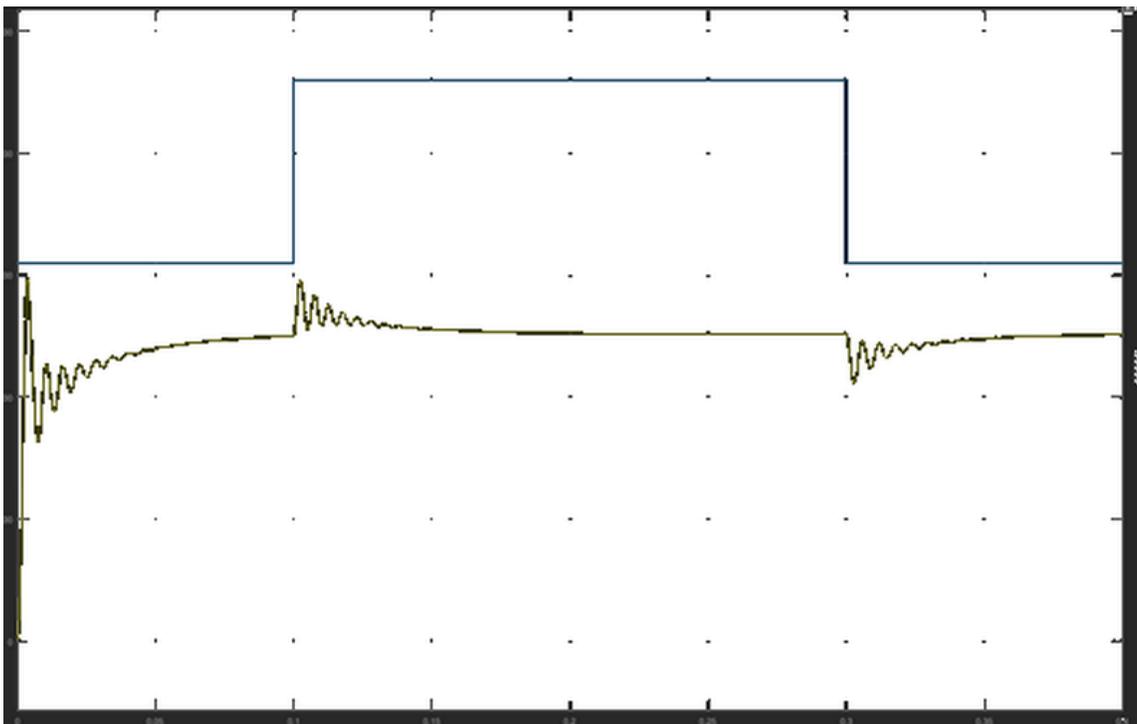


Рис. 16. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=50$

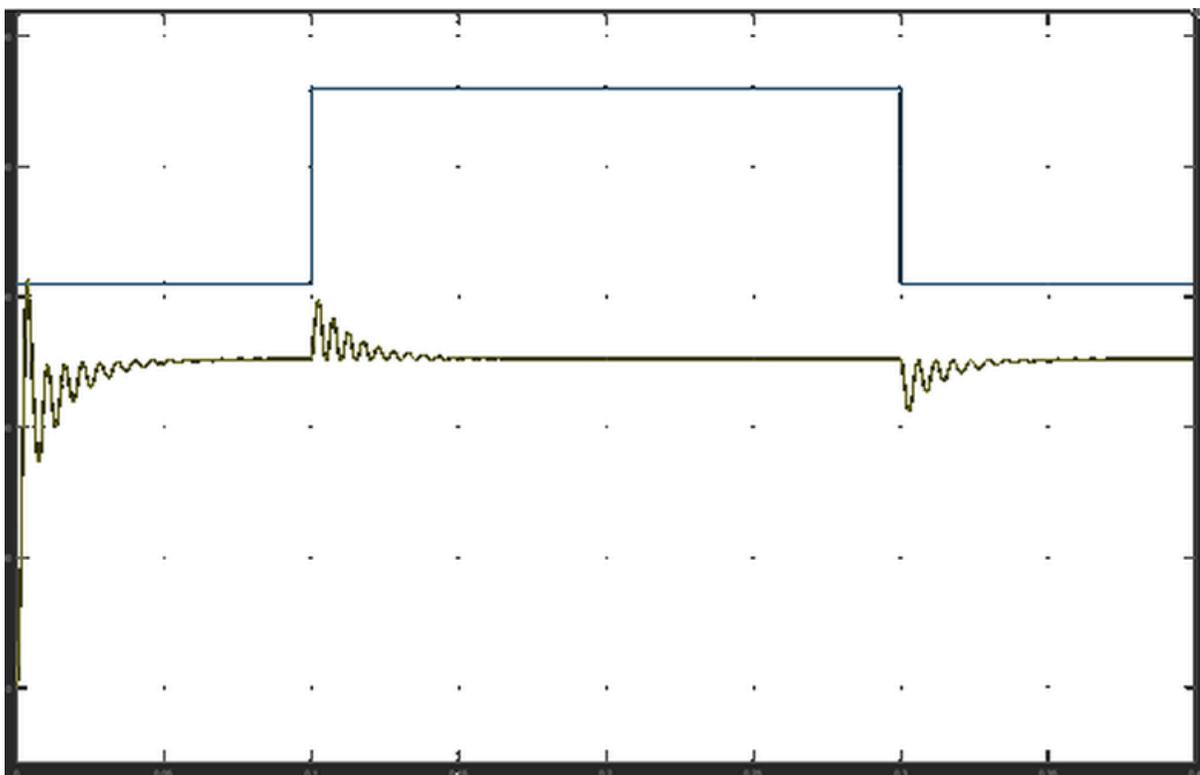


Рис. 17. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=130$

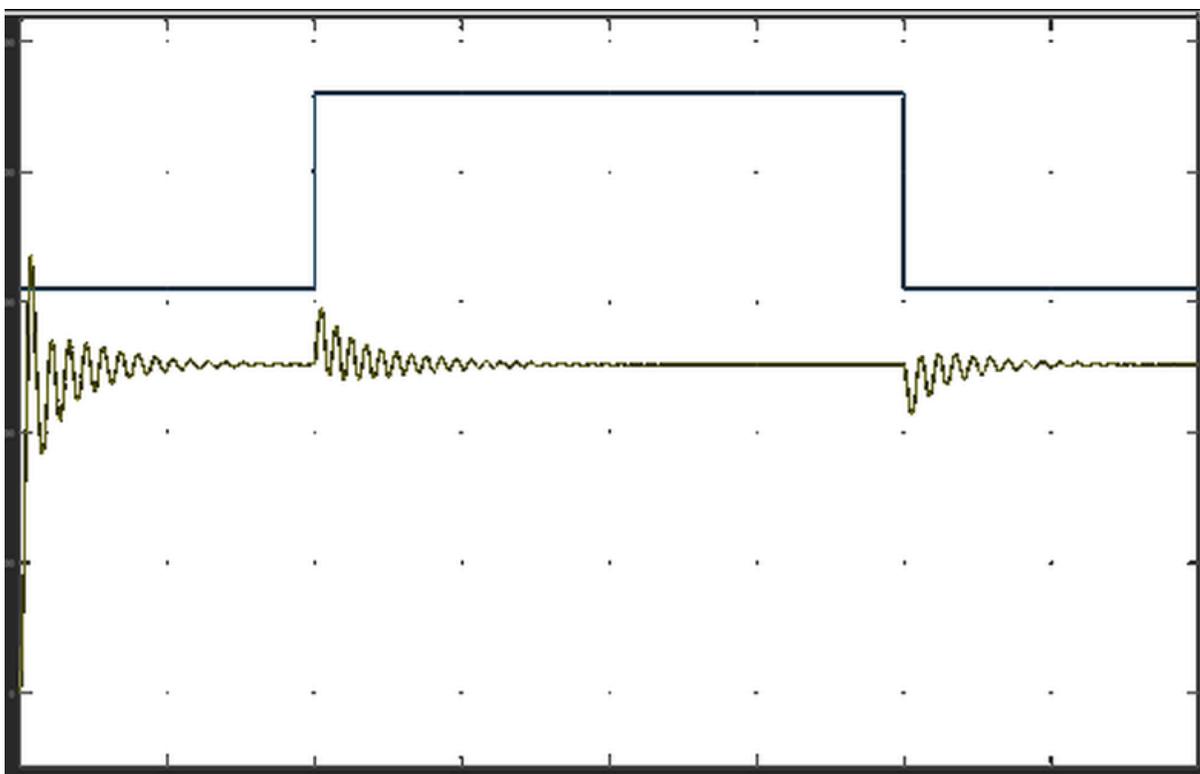


Рис. 18. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=180$

Переходный процесс в схеме с ПИ-регулятором при разных  $K_i$  показан на табл. 2.

Табл. 2. Значения показателей переходного процесса с ПИ-регулятором

$K_p$	$K_i$	$\Delta U_{н1}, V$	$\Delta U_{н2}, V$	$t_p, ms$
1	20	4,33	4,002	29,608
1	50	4,593	3,971	34,487
1	130	4,462	3,969	54,572
1	180	4,33	3,74	75,181

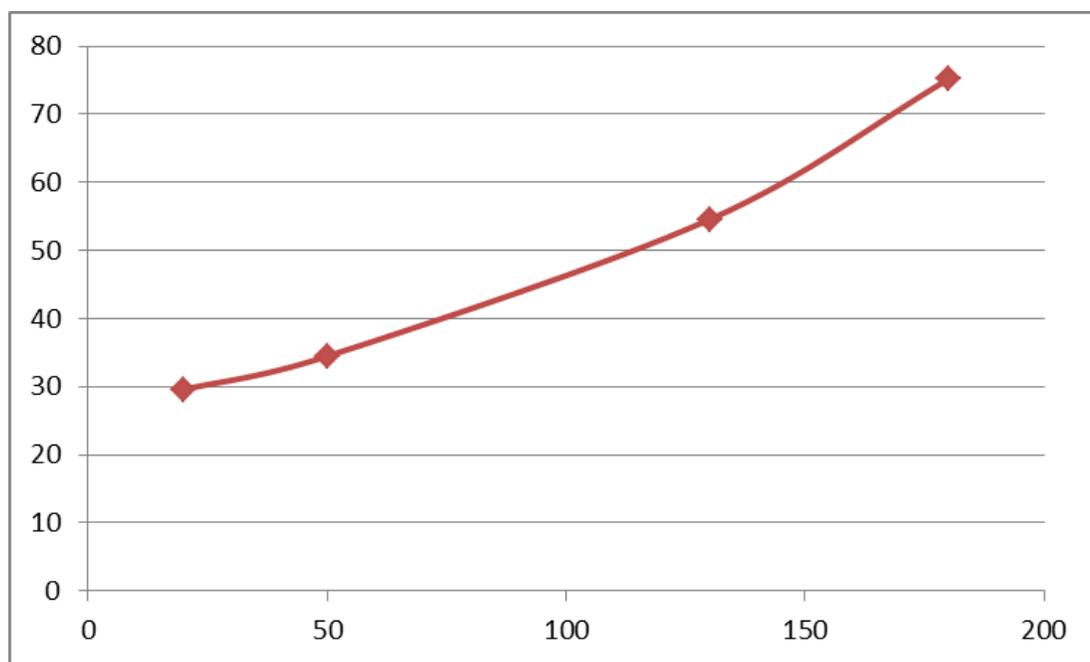


Рис. 19. График зависимость  $t_p=f(K_i)$

Из графики, диаграмм и таблиц значений показателей переходного процесса с ПИ-регулятором видно, что ПИ регулирование обеспечивает нулевую ошибку регулирования. Чем больше коэффициент пропорциональности, тем больше время регулирования при одной и той же ошибке регулирования, то есть переходная функция медленнее достигает установившегося значения.

Таким образом, недостатком ПИ регулирования является медленная реакция на возмущающие воздействия. Введение интегральной составляющей в регулятор ухудшает условия устойчивости.

### 3.2.3. Влияния коэффициентов ПИД-регулятора на выходное напряжение понижающего ИППН

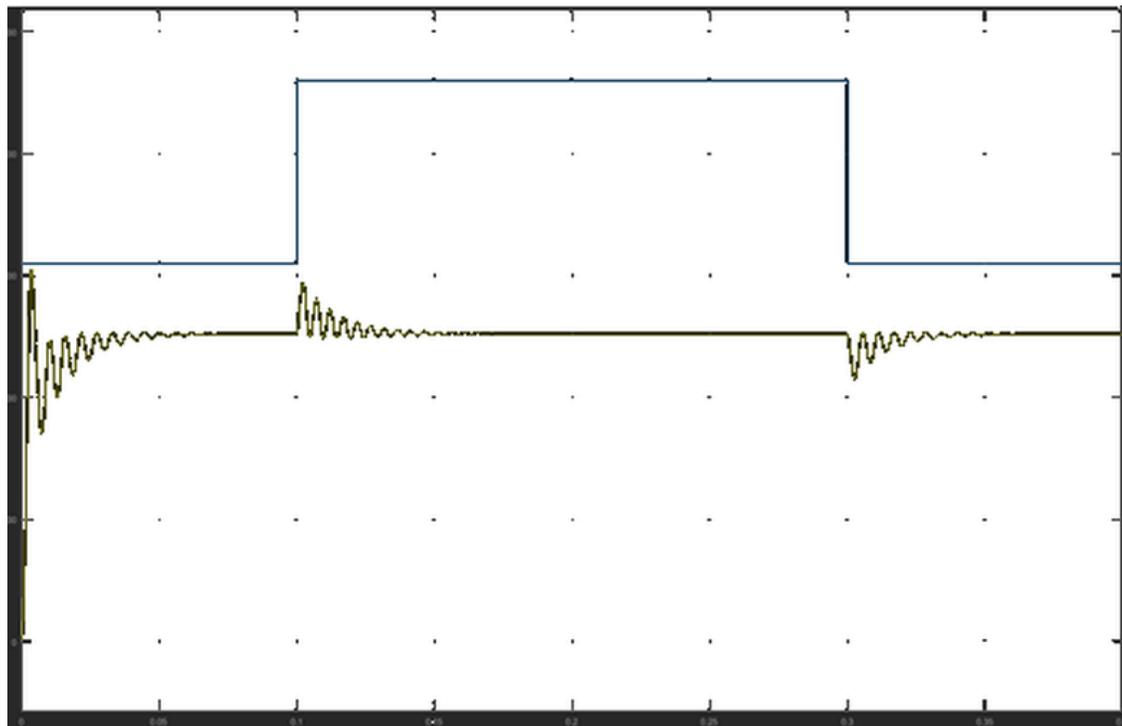


Рис. 20. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=130$ ,  $K_d=0.1$

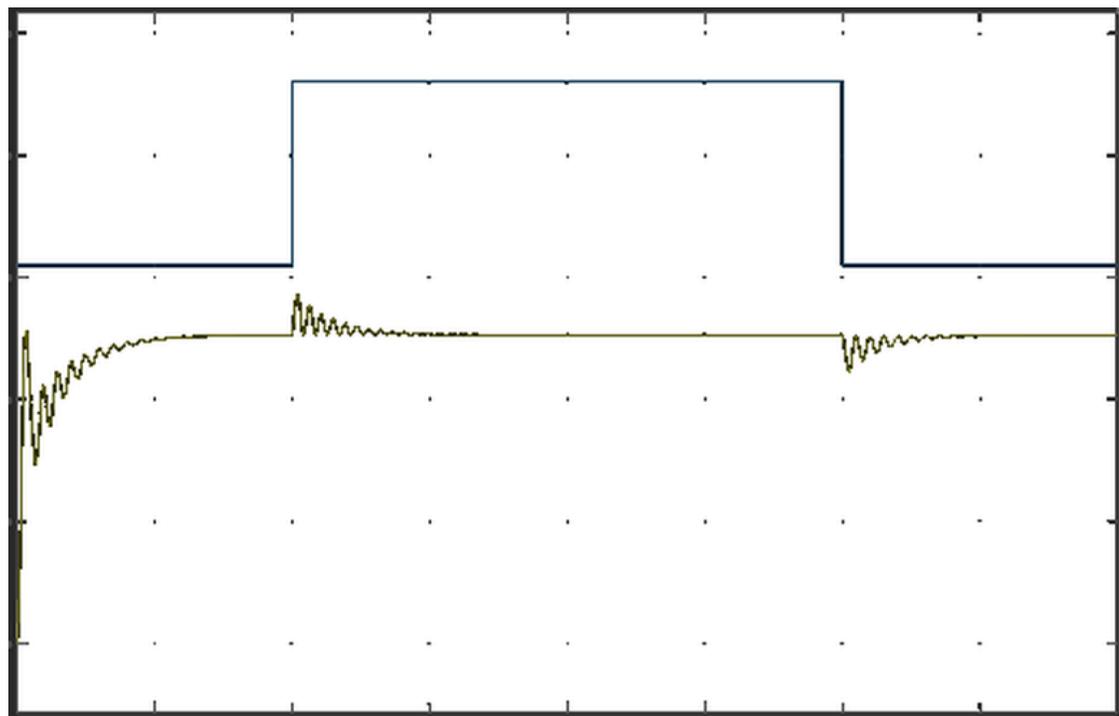


Рис. 21. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=130$ ,  $K_d=0.5$

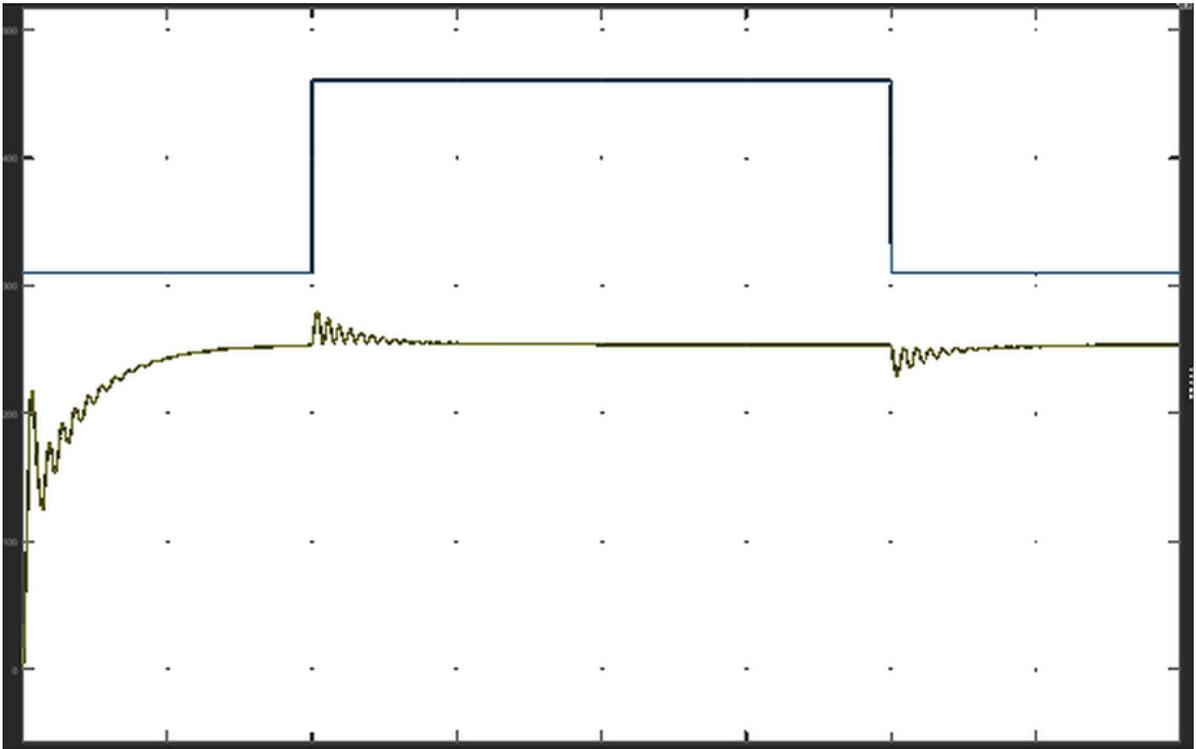


Рис. 22. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=130$ ,  $K_d=1$

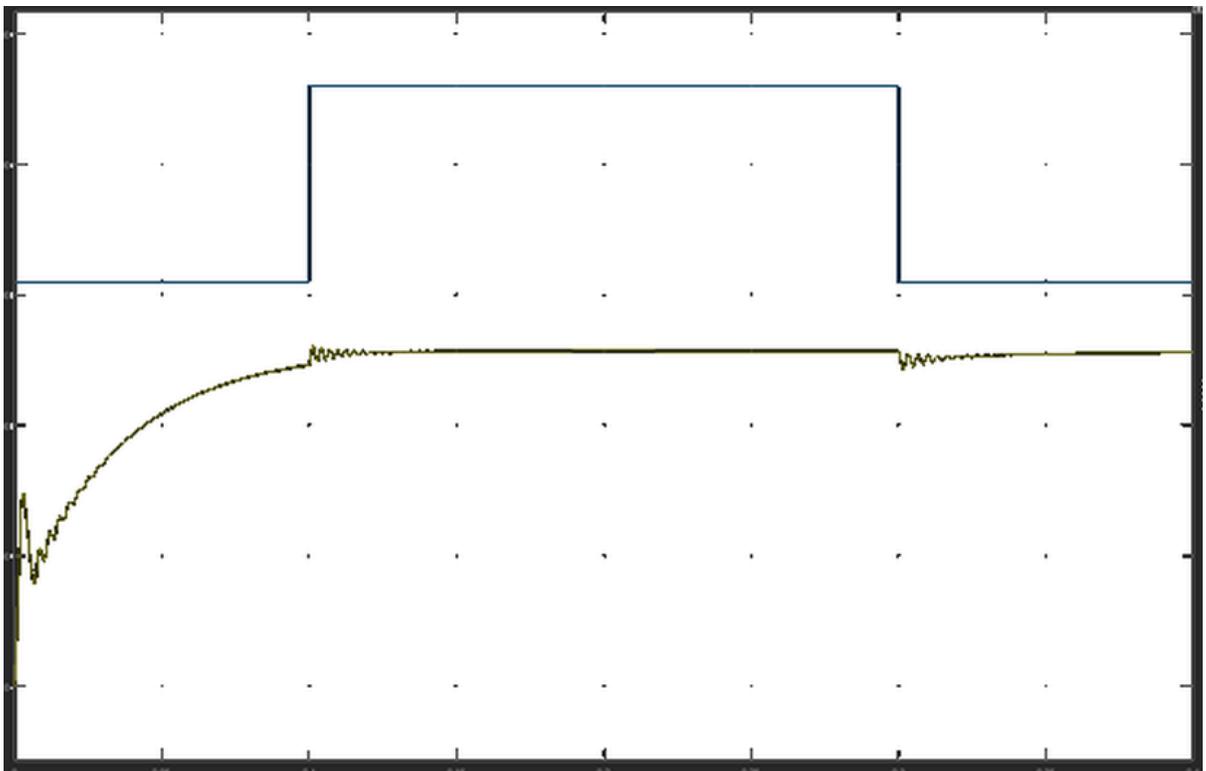


Рис. 23. Диаграмма выходного напряжения ИППН при  $K_p=1$ ,  $K_i=130$ ,  $K_d=3$

Переходный процесс в схеме с ПИД-регулятором при разных  $K_i$  показан на табл. 3.

Табл. 3. Значения показателей переходного процесса с ПИД-регулятором

$K_p$	$K_i$	$K_d$	$\Delta U_{н1}, V$	$\Delta U_{н2}, V$	$t_p, ms$
1	130	0,1	4,199	3,74	49,057
1	130	0,5	3,218	3,018	42,671
1	130	1	2,69	2,46	41,509
1	130	3	1,575	1,509	27,479

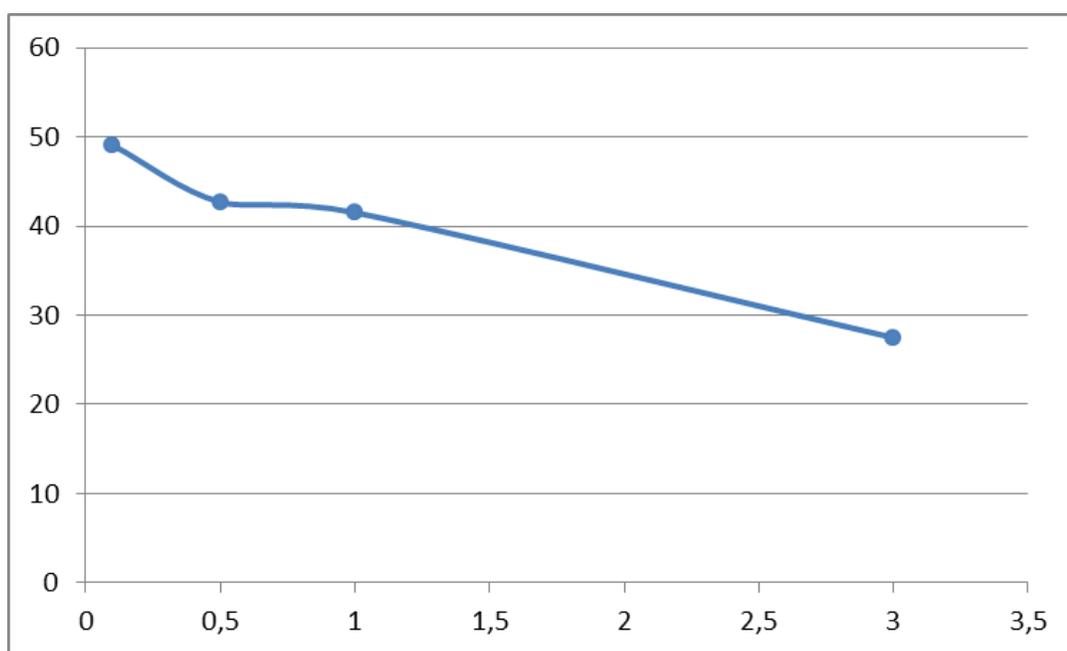


Рис. 24. График зависимость  $t_p=f(K_d)$

Из диаграмм и таблиц значений показателей переходного процесса с ПИД-регулятором видно, что чем больше дифференциальный коэффициент, тем меньше время регулирования.

ПИД-регулятор можно получить добавлением дифференциального члена к ПИ-регулятору. Поэтому на ПИД-регулятор переносятся все свойства ПИ-регулятора и добавляются новые. Дифференциальный член позволяет обеспечить устойчивость или улучшить качество регулирования системы в случаях, когда это невозможно сделать с помощью ПИ-регулятора.

## ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

При разработке любого технического или программного решения необходимо учитывать коммерческую ценность разработки, так как определить перспективность разработки на первых этапах жизненного цикла, с точки зрения её ресурсоэффективности и уровня технологий, трудности. Оценка коммерческой ценности разработки важна для поиска источников финансирования и коммерциализации результатов. Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

### 2.2. Предпроектный анализ

#### 2.2.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: преобразователя постоянного напряжения понижающего типа.

Целевой рынок: академии, технические университеты, институты, школы.

		Вид импульсного преобразователя постоянного напряжения		
		с ПИД- регулятором	с ПИ- регулятором	с П- регулятором
<i>Потребители</i>	ТГУ			
	ТПУ			
	ТПТ			

*Рис. 25. Карта сегментирования рынка услуг по разработке преобразователя постоянного напряжения.*

ТГУ – Томский государственный университет;

ТПУ – Томский политехнический университет;

ТПТ – Томский политехнический техникум

В карте сегментирования показано, что ниша на рынке разработки импульсного преобразователя постоянного напряжения с ПИ- и П-регулятором имеет низкие уровни конкуренции. Поэтому предприятие намерено ориентировать на разработку импульсного преобразователя постоянного напряжения с ПИ - регулятором.

С развитием электроники и нанoeлектроники, спрос современных импульсных преобразователей постоянного напряжения скоро увеличивается, поэтому в дальнейшем предприятие будет привлекаться этим направлением.

### **Анализ конкурентных решений позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. В качестве конкурентов можно выбирать Диамех 2000 (К1) и Томский приборный завод (К2).

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в табл. 4.

Табл. 4. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	5	3	1	1	0,6
3. Надежность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
4. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	4	5	4	0,32	0,4	0,32
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	4	0,21	0,35	0,28
3. Цена	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	3	4	5	0,24	0,32	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,06	3	5	4	0,18	0,3	0,24
6. Срок выхода на рынок	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
7. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	5	0,24	0,3	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>46</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>4,34</b>	<b>4,57</b>	<b>4,09</b>

Изучая полученные результаты можно сказать, что разрабатываемый преобразователь постоянного напряжения является конкурентоспособной. Сильными сторонами являются удобство в эксплуатации, надежность и низкая цена. Слабыми сторонами являются предполагаемый срок эксплуатации, уровень проникновения на рынок и послепродажное обслуживание. Для устранения этих недостатков необходимо производить более глубокие маркетинговые исследования, разрабатывать более детальные условия обслуживания после продажи.

### 2.2.2. SWOT – анализ

SWOT-анализ предполагает возможность оценки фактического положения и стратегических перспектив научно-исследовательского проекта, получаемого в результате изучения сильных и слабых сторон проекта, ее возможностей и факторов риска. S и W - факторы внутренней среды проекта, О и Т - факторы внешней среды, которые влияют на проект извне и не поддаются его контролю. Чтобы провести SWOT- анализ необходимо последовательно рассмотреть различные парные сочетания факторов внешней и внутренней среды и выделить те, которые оказывают наибольшее влияние.

В ходе анализа, были определены и описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для его реализации, которые проявились или могут появиться. По проведенному анализу была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в табл. 5.

Табл. 5. Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Простота в эксплуатации.  С2. Ремонтопригодность  С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.  С4. Экологичность технологии.  С5. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Отсутствие интеллектуального интерфейса.  Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.  Сл3. Отсутствие инженеринговой компании, способной построить производство под ключ.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Использование современной электроники в создание интеллектуального интерфейса.  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.  В3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях.  В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В1С1С3С4С5; В2С1С3С4С5;  В3С3С5; В4С3С4С5</p>	<p>В1Сл1Сл3; В2Сл3; В4Сл4</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Уменьшение спроса на без микропроцессорных технологий производств.  У2. Развитая конкуренция технологий производства.  У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции  У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Уг1С1С2С5; Уг2С1С2С4С5;  Уг3С3С4; Уг4С3С4</p>	<p>Уг1Сл1Сл2Сл3; Уг2Сл1Сл2;  Уг4Сл1Сл4</p>

Из таблицы SWOT видно, что необходимо сделать упор на последнюю сильную сторону проекта, а именно: «Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии» и «Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями», так как они соответствуют сразу всем

возможностям. Что касается слабых сторон проекта, то необходимо реализовать в приборе такой интерфейс, который способен контролировать состояние системы при различных действиях пользователя. Наличие такого интерфейса позволит сократить время на разработку интерфейса человек-прибор, а значит и время на разработку прибора в целом, на адаптацию к прибору и упростить взаимодействие с измерительной системой.

## 2.3. Планирование научно-исследовательских работ

### 2.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе будет составлен перечень работ по проведению научного исследования и распределению исполнителей. Исполнителями являются студент, научный руководитель и работник. В табл. 6 представлены все нужные данные.

Табл. 6. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб.	Наименование работ	Исполнитель
Подготовительный	1	Постановка задачи и целей дипломного проекта, принятие задания к выполнению	Руководитель Студент
	2	Подбор и изучение материалов по тематике	Руководитель Студент
	3	Анализ предметной области	Руководитель Студент
	4	Выявление участников и основных шагов выполнения	Руководитель Студент
Проектирование	5	Выбор исполнительных, измерительных, коммутационных устройств	Руководитель Студент
	6	Изучение конструкторской документации, паспорта приборов, устройств	Студент
	7	Расчет параметров импульсного преобразователя постоянного напряжения	Студент
	8	Выбор элементов ИППН	Студент
	9	Разработка проектных конструкций ИППН в MATLAB/Simulink	Студент
	10	Разработка конструкции электрооборудований, входящих в ИППН	Руководитель Студент
	11	Расчет параметров электронных компонентов.	Студент
	12	Разработки технологического процесс изготовления и методики выполнения работ	Руководитель Работник Студент
Оформление документации и подготовка отчета	13	Оформление пояснительной записки и подготовка к защите	Руководитель Студент

### 2.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

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

$t_{\max i}$  – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

### 2.3.3. Разработка график проведения научного исследования

Для разработки графика проведения научного исследования используется диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для подсчета календарных дней необходимо вычислить коэффициент календарности и умножить его на продолжительность выполнения в рабочих днях. Для 2017 года коэффициент календарности равен 1,48 (количество дней в 2017 году: календарных – 365 дней; рабочих – 274 дней; выходных – 104 дня; праздничных – 14 дней).

Табл. 7. Временные показатели проведения научного исследования

№ р а б о т ы	Трудоёмкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ожі}$ , чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	1	1	1	2	2	2	1,4			НР, С	НР, С	НР, С	0,7	0,7	0,7	1,0 36	1,0 36	1 0 3 6
2	3	2	4	4	3	4	3,4	1,4	1,4	НР, С	НР, С	НР, С	1,7	1,2	2	2,5 16	1,7 76	2 ,

																			9 6
3	2	1	1	2	2	3	2			HP, C	HP ,C	HP ,C	1	0,7	0,9	1,4 8	1,0 36	1 , 3 3 2	
								1,4	1,8										
4	1	1	1	2	1	2	1,4			HP, C	HP ,C	HP ,C	0,7	0,5	0,7	1,0 36	0,7 4	1 , 0 3 6	
								1	1,4										
5	5	5	6	6	7	8	5,4			C	C	C	5,4	5,8	6,8	7,9 92	8,5 84	1 , 0 6 4	
								5,8	6,8										
6	3	3	5	4	5	5	3,4			C	C	C	3,4	3,8	5	5,0 32	5,6 24	7 , 4	
								3,8	5										
7	2	2	3	2	2	3	2			C	C	C	2	2	3	2,9 6	2,9 6	4 , 4 4	
								2	3										
8	4	3	4	5	4	6	4,4			C	C	C	4,4	3,4	4,8	6,5 12	5,0 32	7 , 1 0 4	
								3,4	4,8										
9	1 4	1 4	15	1 7	1 5	2 0	15, 2			C	C	C	7,6	7,2	8,5	11, 248	10, 65 6	1 , 2 , 5 8	
								14, 4	17										

10	10	9	12	10	11	15	10			HP, C	HP, C	HP, C	10	9,8	13,2	14,8	14,504	19,536
11	3	4	3	5	4	5	3,8			C	C	C	3,8	4	3,8	5,624	5,92	5,624
12	9	8	10	11	10	12	9,8			HP, C, P	HP, C, P	HP, C, P	3,3	2,9	3,6	4,8	4,3	5,328
13	10	11	14	12	14	15	10,8			HP, C	HP, C	HP, C	5,4	6,1	7,2	7,992	9,028	10,656
<b>Итого</b>	67	64	79	82	80	100	73	70,4	87,4				49,4	48,1	60,2	73,1	73,23	89,1

Табл. 8. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кп</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.		март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Постановка задачи и целей дипломного проекта, принятие задания к выполнению	HP, C	1,036	█														
2	Подбор и изучение материалов по тематике	HP, C	1,776	█														
3	Анализ предметной области	HP, C	1,036	█														
4	Выявление участников и основных шагов выполнения	HP, C	0,74	█	█													

5	Выбор исполнительных, измерительных, коммутационных устройств	НР С	8,58 4																	
6	Изучение конструкторской документации, паспорта приборов, устройств	С	5,62 4																	
7	Измерение габаритов деталей, приборов	С	2,96																	
8	Расчет параметров установки по методу размерной цепи	С	5,03 2																	
9	Разработка проектных конструкций установки в MATLAB	С	10,6 56																	
10	Разработка конструкции электрооборудований, входящих в ИППН	НР С	14,5 04																	
11	Расчет параметров электронных компонентов.	С	5,92																	
12	Разработки технологического процесс изготовления и методики выполнения работ	НР С Р	4,3																	
13	Оформление пояснительной записки и подготовка к защите	НР С	9,02 8																	

## 2.4. Бюджет научно – технического исследования (НТИ)

### 2.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

В данной части рассчитывается стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В табл. 9 представлены все затраты.

Табл. 9. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.		Затраты на материалы	
			Пост. 1	Пост.2	Пост. 1	Пост.2
Печатная плата	шт.	1	50	65	250	325
Транзисторы	шт.	3	120	125	240	250
Диоды	шт.	4	4,25	3,50	17	14
Конденсаторы	шт.	2	2,5	4	2,5	4
Резисторы	шт.	5	2	3,5	10	17,5
Итого					519,5	610,5

Из данной таблицы видно, что самым дешевым оказался вариант второго исполнения, самым дорогим – второго.

## 2.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

*Табл. 10. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования  
для научных работ*

Оборудование	Время работы $t_{об}$ (ч.)	Потребляемая мощность $P_{об}$ (кВт.)	тарифная цен $C_э$ (кВт/ч);	Затраты $\mathcal{E}_{об}$ (руб.)
Осциллограф	135	0,05	4.3	29,025
Вольтметр	135	0,01		5,805
Источник питания	135	0,03		17,415
Персональный компьютер	120	0,3		154,8
Итого:	525	0,39		207,045

Итоговые затраты на электроэнергию составляют:

$$\mathcal{E}_{общ.} = 207,045 * 1,15 = 238,1 \text{ руб.}$$

### 2.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

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

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_{д}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20% от  $Z_{тс}$ );

$k_{р}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Табл. 11. Заработная плата

Исполнитель	Разряд	$k_{т}$	$Z_{тс}$ руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ руб.	$Z_{дн}$ руб.	$T_{р}$	$Z_{осн}$ руб.
Научный руководител ь	Доцент, к. т. н.	3,5 1	23264,86	0	0,2	1,3	36293,1 8	1387,68	138, 3	191916,1 4
Инженер	1	1,0 4	6595,7	0, 3	0,2	1,3	12861,6 1	491,76	138, 3	67961,23
Итого										259877,3 7

#### 2.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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).

Выбираем  $k_{доп}=0,15$  тогда для инженера дополнительная заработная плата составила:  $Z_{доп}=0,15 \cdot 67961,23=10194,18$  руб.

#### 2.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

$$K_{внеб} = K_{пен.ф} + K_{оц.стр} + K_{мед.стр},$$

где

$K_{пен.ф}$  – коэффициент отчислений в пенсионные фонды (0,22);

$K_{оц.стр}$  – коэффициент социального страхования (2,9);

$K_{мед.стр}$  – коэффициент медицинского страхования (5,1).

Отсюда получаем:

$$k_{внеб} = 0,3$$

$$З_{внеб} = 0,3 * 78155,41 = 23446,62 \text{руб.}$$

Суммируя все статьи расходов получаем общую себестоимость дипломного проекта, полученные результаты заносятся в общую табл. 12:

Табл. 12.

Статья расходов	Стоимость (Ист. 1) руб.	Стоимость (Ист. 2) руб.
Материальные затраты	2507	3193
Затраты на электроэнергию	279,51	179,51
Затраты на основную заработную плату	259877,37	259877,37
Затраты на дополнительную заработную плату	10194,18	10194,18
Затраты на отчисление во внебюджетные фонды	23446,62	23446,62
Итого	296304,68	296890,68

В итоге общие затраты на реализацию научного проекта составило:

$$C_{\text{общ.1}}=296304,68 \text{ руб}$$

$$C_{\text{общ.2}}=296890,68 \text{ руб}$$

Вывод: Видно, что величина общих затрат отличаются незначительно, ввиду того, что доля материальных затрат незначительна. Основную долю затрат составила зарплата.

#### 2.4.6. Оценка эффективности проекта

Немаловажным критерием расчета является оценка эффективности дипломного проекта, определяются две важные составляющие:

- показатель финансовой эффективности;
- показатель ресурсоэффективности.

Показатель финансовой рассчитывается по следующей формуле:

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

где

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения проекта (в т.ч. аналоги).

Табл. 13.

Параметр	$\Phi_{pi}$ , руб.	$\Phi_{\text{max}}$ , руб.	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Исполнитель 1	296304,68	296890,68	1
Исполнитель 2	296890,68		0,99

Из таблицы видно, что интегральный показатель не сильно отличается. Он имеет величину меньшую единицы, соответственно разработка эффективна.

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot b_i$$

где

$I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$b_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах (от 1 до 10).

Расчет ресурсоэффективности производится по каждому критерию, по которому характеризуется готовый рабочий прототип (удобство эксплуатации, точность позиционирования и т.д.) и заносится в табл. 14:

Табл. 14.

Критерий	Весовой коэффициент	Балльная оценка	
		Исп.1	Исп.2
Удобство в эксплуатации	0,1	7	2
Точность позиционирования	0,25	7	9
Помехоустойчивость	0,1	8	9
Энергосбережение	0,15	2	5
Надежность	0,25	6	8
Материалоемкость	0,05	2	5
Цена	0,1	2	4
Итого	1	34	42

Анализируя таблицу рассчитывается интегральная оценка эффективности для двух исполнений.

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

$I_{p2} = 6,75$  – показатель ресурсоэффективности для второго исполнения.

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{pi}}{I_{исп.iфинр}}$$

$I_{исп.1} = 11,14$  – интегральный показатель эффективности вариантов;

$I_{исп.2} = 13,97$  – интегральный показатель эффективности вариантов.

Для качественного анализа используется сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp.} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

$$\mathcal{E}_{cp.} = 0,79$$

Все полученные параметры сравнительного анализа заносятся в табл. 15:

*Табл. 15.*

<b>Показатели</b>	<b>Исп. 1</b>	<b>Исп. 2</b>
Интегральный показатель финансовой эффективности	1	0,99
Интегральный показатель ресурс эффективности	5,35	6,75
Интегральный показатель эффективности вариантов	11,14	13,97
Сравнительная эффективность	0,79	

Сравнив эффективности всех исполнений можно сделать вывод, что самым экономически выгодным исполнением является исполнение номер два. Интегральный финансовый показатель разработки вариантов один и два отличаются лишь на 1 процент. Кроме того, эффективность второго исполнения выше, чем у первого. Тем более научная новизна в втором исполнении гораздо выше и это оказывает положительное влияние на спрос на продукт. Поэтому целесообразно выбрать исполнение номер два.

## **ГЛАВА 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Проектирование и изготовление импульсного преобразователя постоянного напряжения осуществлялось в лаборатории кафедры промышленной и медицинской электроники. В целях безопасности для работников, общества и окружающей среды разработаем комплекс мероприятий технического, организационного характера, которые минимизируют негативные последствия проектируемой деятельности.

### **5.1. Производственная безопасность**

#### **5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

##### **5.1.1.1. Отклонение показателей микроклимата**

Микроклимат производственного помещения оказывает большое влияние на организм человека, на его здоровье и самочувствие, работоспособность и производительность труда.

К показателям, характеризующим микроклимат, относятся:

- температура воздуха [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- относительная влажность [%];
- скорость движения воздуха [ $\text{м/с}$ ];

Согласно СанПиН 2.2.4.548–96, по энергозатратам работа в лаборатории относится к 1б категории – это работа легкая физическая, которая не требует поднятия и переноса тяжестей, производится сидя или связана с ходьбой.

Влияние температуры окружающего воздуха на человеческий организм связано в первую очередь с сужением или расширением кровеносных сосудов кожи. Под действием низких температур воздуха кровеносные сосуды кожи сужаются, в результате чего замедляется поток крови к поверхности тела и снижается теплоотдача от поверхности тела за счет конвекции и излучения. При высоких температурах окружающего воздуха наблюдается обратная картина: за счет расширения кровеносных сосудов кожи и увеличения притока крови существенно

увеличивается теплоотдача в окружающую среду.

Повышенная влажность ( $\varphi > 85\%$ ) затрудняет теплообмен между организмом человека и внешней средой вследствие уменьшения испарения влаги с поверхности кожи, а низкая влажность ( $\varphi < 20\%$ ) приводит к пересыханию слизистых оболочек дыхательных путей. Движение воздуха в производственном помещении улучшает теплообмен между телом человека и внешней средой, но излишняя скорость движения воздуха (сквозняки) повышает вероятность возникновения простудных заболеваний.

Постоянное отклонение от нормальных параметров микроклимата приводит к перегреву или переохлаждению человеческого организма и связанным с ними негативным последствиям:

при перегреве – к обильному потоотделению, учащению пульса и дыхания, резкой слабости, головокружению, появлению судорог, а в тяжелых случаях – возникновению теплового удара. При переохлаждении возникают простудные заболевания, хронические воспаления суставов, мышц и др.

Приведем оптимальные и допустимые показатели микроклимата производственных помещений согласно СанПиН 2.2.4.548–96.

*Табл. 16. Оптимальные показатели микроклимата*

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

Табл. 17. Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Холодный	19 – 20,9	23,1 – 24	15 – 75	0,1	0,2
Теплый	20 – 21,9	24,1 – 28	15 – 75	0,1	0,3

Отопление лаборатории и корпуса в целом водяное с применением радиаторов.

Лаборатория оборудована системой вентиляции. Измеренные показатели микроклимата лаборатории соответствуют оптимальным показателям.

#### 5.1.1.2. Отсутствие или недостаток естественного света

Плохое освещение утомляет не только зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Неправильное освещение может быть причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю зрения, ориентации.

На практике используются два вида освещения: естественное и искусственное. Естественное боковое и искусственное рабочее, а также комбинированное, которое состоит из местного освещения рабочих мест и общего освещения помещения. Данные виды освещения нормируется СП 52.13330.2011. В данной лаборатории проводятся работы средней точности с наименьшим размером объекта различения менее 0,15 мм. Разряд зрительной работы 1, подразряд В. Освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения составляет 300лк. В таб. 18 приведены требования к освещению помещений промышленных предприятий:

Табл. 18. Нормы естественного и искусс

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение				Естественное освещение		Совмещенное освещение		
						Освещенность, лк		Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО, е <sub>в</sub> , %				
						ПРИ СИСТЕМЕ КОМБИНИРОВАННОГО ОСВЕЩЕНИЯ		при системе общего освещения	Р	К <sub>п</sub> , %	при верхнем или комбинированном освещении	ПРИ БОКОВОМ ОСВЕЩЕНИИ	при верхнем или комбинированном освещении	ПРИ БОКОВОМ ОСВЕЩЕНИИ
						всего	в т.ч. от общего							
Наименьшей точности	менее 0,15	I	a	Малый	Темный	5000	500	-	20	10				
			б	Малый	Средний	4000	400	1250	20	10	-	-	6,0	
				Средний	Темный	3500	400	1000	10	10				
				Малый	Светлый	2500	300	750	20	10				
в	Средний	Средний	2000	200	600	10	10							
	Большой	Темный												
г	Средний	Большой	«	Светлый	1500	200	400	20	10					
			Средний	«	1250	200	300	10	10					

В качестве источника света используются газоразрядные лампы низкого давления белой цветности. Освещенность на поверхности стола в зоне работы должна быть более 300 лк. На рабочем месте коэффициент пульсации ламп К<sub>п</sub> не должен превышать 5% [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

## **5.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды Электробезопасность**

Согласно ГОСТ Р 12.1.019–2009 данная лаборатория относится к первому классу опасности, так как в ней учтены все необходимые правила по электробезопасности, это сухое помещение без повышенного напыления, температура воздуха нормальная, пол покрыт изоляционным материалом. Все электрооборудование и приборы находятся на своих местах и имеют защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом, согласно ГОСТ 12.1.030–81. Все сотрудники проходят первичный инструктаж по электробезопасности.

### **5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Корпус, в котором располагается учебная лаборатория, находится в городе Томске с континентально – циклоническим климатом, природные явления, такие как землетрясение, засухи, наводнения, практически отсутствуют.

К возможным чрезвычайным ситуациям можно отнести сильные морозы, пожары или взрывы. Причиной вспышек и пожаров в лаборатории чаще всего бывает несоблюдение правил пожарной безопасности или электробезопасности, а также невнимательность и небрежность, допущенные в работе.

Причинами пожара могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- незнание или небрежность обслуживающего персонала;
- курение в неположенных местах.

В связи с этим в лаборатории необходимо выполнять следующие нормы пожарной безопасности:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается включать дополнительные не предусмотренные потребители;
- работы в лаборатории проводить только при исправном состоянии

оборудования, электропроводки;

- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);

- иметь в наличии план эвакуации людей, который должен висеть на видном месте;

- оборудование размещать так, чтобы был достаточный проход к выходу.

Так же в лаборатории запрещается:

- пользоваться открытым огнем, курить;

- производить зарядку аккумуляторных батарей;

#### **5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В соответствии с трудовым законодательством организация обеспечения безопасности труда в подразделениях возложена на их руководителей. Они проводят инструктаж по охране труда на рабочих местах. Общую ответственность за организацию работ по охране труда несет руководитель предприятия, а в его отсутствие – главный инженер.

В соответствии со ст. 218 ТК РФ, комитет (комиссия) по охране труда организует совместные действия работодателя и работников по обеспечению требований охраны труда, предупреждению производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Также организует проведение проверок условий и охраны труда на рабочих местах и информирование работников о результатах указанных проверок, сбор предложений к разделу коллективного договора (соглашения) об охране труда.

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда.

Работа в лаборатории обычно отличается малой двигательной активностью, монотонностью, длительным нахождением в закрытом помещении. Всё это вызывает быструю утомляемость и естественно отражается на результатах труда.

В лаборатории площадью 18,5 м<sup>2</sup> может работать одновременно не более 3

человек, следовательно, учтены нормы площади служебного помещения. Для обеспечения благоприятных условий микроклимата помещение оборудовано вытяжкой. Глубина стола составляет 80 см, ширина 1,5м. Расстояние между работающими составляет не менее 1,5м. Ширина прохода составляет около 2м. Плоскости экранов компьютеров расположены перпендикулярно окнам, габариты мебели соответствуют размерам помещения, загромождения нет.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Трудовая деятельность в лаборатории относится к категории В – творческая работа в режиме диалога с ПК, третья категория тяжести [СанПиН 2.2.1340–03].

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены. Так как рабочая смена составляет около 8 часов, то перерывы происходят через 1,5 – 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5 – 2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый [СанПиН 2.2.1340–03].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были изучены ИППН понижающего типа с системой управления. Также поучила навыки работы в среде MATLAB-Simulink.

При исследовании понижающего ППН с П-, ПИ- и ПИД-регуляторами в среде MATLAB-Simulink показало, что коэффициенты передачи регуляторов влияют на качества переходных процессов.

П-регулятор имеет надежность работы в неустановившихся режимах, простоту конструкции. Однако его недостаток заключается в наличии остаточного отклонения регулируемого параметра, т.е. текущее значение регулируемой величины немного не достигает заданного значения.

ПИ регулирование обеспечивает нулевую ошибку регулирования. Чем больше коэффициент пропорциональности, тем меньше выходная мощность при одной и той же ошибке регулирования, чем больше постоянная времени интегрирования, тем медленнее накапливается интегральная составляющая.

Недостатком ПИ регулирования является медленная реакция на возмущающие воздействия. Введение интегральной составляющей в регулятор ухудшает условия устойчивости.

ПИД-регулятор можно получить добавлением дифференциального члена к ПИ-регулятору. Поэтому на ПИД-регулятор переносятся все свойства ПИ-регулятора и добавляются новые. Дифференциальный член позволяет обеспечить устойчивость или улучшить качество регулирования системы в случаях, когда это невозможно сделать с помощью ПИ-регулятора.

ПИД-регулятор позволяет нам уменьшить перерегулирование, но, чем больше дифференциальный коэффициент, тем больше погрешность из-за влияния шумов.

Шумы идут по каналу обратной связи, поэтому мы можем их отфильтровать с помощью фильтра низкой частоты, но чем больше постоянная этого фильтра, тем медленнее регулятор будет обрабатывать возмущения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабораторный практикум по силовой электронике: учебное пособие / Е. Ю. Буркин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 80 с.
2. Буркин Е. Ю. Макаревич В.Н. Исследование импульсных преобразователей постоянного напряжения. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов электрофизического направления и специальностей. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 40 с.
3. Автоматические регуляторы и типовые законы регулирования: метод. указания к лабораторной работе / А. Р. Герке [и др.] – Казань: Изд-во Казан. нац. иссл-го технол. ун-та, 2012 – 30 с.
4. Вадутов О.С. Импульсный стабилизатор напряжения с пропорционально-интегральным регулятором: Методические указания к выполнению лабораторной работы. – Томск.: ТПУ, 2014 – 8с.
5. Вадутов О.С. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Никольса: Методические указания к выполнению лабораторной работы. – Томск.: ТПУ, 2014 – 10с.
6. Вадутов О.С. Оценки качества переходных процессов: Методические указания к выполнению лабораторной работы. – Томск.: ТПУ, 2014 – 10с.
7. Ким П.Д. Теория автоматического управления. Часть 1. Линейные системы: учебное пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003 – 288с.