

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 20.03.2023 10:56:17  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Электрооборудование и автома-  
тика судов»



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

---

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**ДИСЦИПЛИНЫ**

**«НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

по профилю

«Электрооборудование и автоматика судов»

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. Доброскок Н.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры САУ  
14.02.2022, протокол № 02-2/2022

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭА, 22.02.2022, протокол № 2

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭА
Обеспечивающая кафедра	САУ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	3
Семестр	6
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	34
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	3
Все контактные часы (академ. часов)	88
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	92
Всего (академ. часов)	180
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Экзамен (курс)	3
Курсовая работа (курс)	3

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»**

Рассмотрены способы математического описания нелинейных систем автоматического управления; методы анализа нелинейных систем – фазового пространства (точечных преобразований, припасовывания граничных условий), гармонической линеаризации; методы исследования устойчивости нелинейных систем (прямой метод Ляпунова, критерий абсолютной устойчивости В. М. Попова); методы обеспечения качества нелинейных систем; приводится пример исследования релейных систем управления.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«NONLINEAR CONTROL SYSTEMS»**

The methods of mathematical description of nonlinear automatic control systems; methods of nonlinear systems analysis -the phase space point transformation, stitching boundary conditions, describing functions; research methods stability of nonlinear systemic direct Lyapunov method, absolute stability criterion of nonlinear systems; methods of quality assurance systems; methods of synthesis and quality assurance systems are considered.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Целью освоения дисциплины является формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков анализа и синтеза нелинейных систем управления объектов профессиональной деятельности, содержащих элементы с нелинейными характеристиками и/или использующих нелинейные законы управления.

2. Задачами освоения дисциплины являются:

-изучение основных положений теории автоматического управления в нелинейных системах;

-формирование навыков построения и преобразования моделей нелинейных систем управления;

-формирование навыков анализа нелинейных систем управления: исследование устойчивости равновесных состояний, автоколебательных и вынужденных режимов; определение показателей качества;

-освоение методов синтеза нелинейных систем управления при детерминированных воздействиях.

3. В ходе освоения дисциплины студенты должны овладеть знаниями:

-о формах математического описания нелинейных систем управления;

-о методах нелинейных систем управления, включая метод гармонической линеаризации, фазовой плоскости;

-о понятии устойчивости по Ляпунову и критериях устойчивости (метод функций Ляпунова; критерий абсолютной устойчивости Попова);

-о методах синтеза нелинейных систем управления при использовании логарифмических амплитудно-частотных характеристик, показателя колебательности, теории систем с переменной структурой.

4. В результате освоения дисциплины студенты должны приобрести умения:

- составления математических моделей нелинейных объектов управления;
- исследования нелинейных систем управления с целью определения наличия равновесных состояний и автоколебательных режимов при отсутствии управляющих воздействий и анализа их устойчивости;
- синтеза нелинейных систем управления

5. В результате освоения дисциплины студенты должны приобрести навыки:

- математического моделирования нелинейных систем управления с применением специализированных программных пакетов;
- синтеза системы управления с переменной структурой на примере нелинейного объекта третьего порядка;
- практической реализации управляющего устройством посредством широтно-импульсной модуляции.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Теория автоматического управления»
2. «Теоретические основы электротехники»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Теория оптимального управления»
2. «Моделирование систем управления»

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
СПК-3	Способен разрабатывать технические решения по проектированию судовых электроприводов, судовых электроэнергетических систем, гребных электрических установок, электротехнических комплексов единых электроэнергетических систем, используя средства автоматизации проектирования по отработанным прототипам
<i>СПК-3.1</i>	<i>Обосновывает выбор целесообразного решения</i>
<i>СПК-3.2</i>	<i>Выполняет сбор и анализ данных для проектирования</i>

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1	0			2
2	Тема 1. Нелинейные элементы и системы	2	1	4		4
3	Тема 2. Математическое описание и анализ нелинейных систем	8	4	6		24
4	Тема 3. Устойчивость нелинейных систем	6	5	2		20
5	Тема 4. Анализ процессов в нелинейных системах	4	5	4		12
6	Тема 5. Коррекция нелинейных систем управления	4	0	8		10
7	Тема 6. Исследование релейной системы управления	4	2	4		10
8	Тема 7. Исследование импульсных систем управления	4	0	6		10
9	Заключение	1	0		3	0
	Итого, ач	34	17	34	3	92
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5				

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Общие понятия о нелинейных системах управления. Особенности нелинейных систем.
2	Тема 1. Нелинейные элементы и системы	Типовые характеристики нелинейных элементов и их аналитическое описание. Типовые структуры нелинейных автоматических систем.
3	Тема 2. Математическое описание и анализ нелинейных систем	Обобщенная математическая модель нелинейных систем. Метод фазового пространства. Методика исследования нелинейных систем: метод точечных преобразований, метод припасовывания граничных условий; метод гармонической линеаризации, метод гармонического баланса.



<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
4	Тема 3. Устойчивость нелинейных систем	Постановка задачи устойчивости нелинейных систем по А. М. Ляпунову. Прямой метод Ляпунова оценки устойчивости нелинейных систем. Критерий абсолютной устойчивости равновесного состояния В. М. Попова.
5	Тема 4. Анализ процессов в нелинейных системах	Качество нелинейных систем в статических режимах. Качество нелинейных систем в динамических режимах. Оценка влияния нелинейности на переходные процессы. Анализ качества процессов методом гармонической линеаризации. Анализ качества по критерию абсолютной устойчивости.
6	Тема 5. Коррекция нелинейных систем управления	Линейная коррекция нелинейных систем управления. Нелинейная коррекция. Системы с переменной структурой.
7	Тема 6. Исследование релейной системы управления	Исследование следящей системы с двух-и трехпозиционным реле.
8	Тема 7. Исследование импульсных систем управления	Способы квантования в импульсных системах: по уровню, по времени, смешанное. Модуляция квантованных сигналов: амплитудно-импульсная, широтно-импульсная, частотно-импульсная.
9	Заключение	Перспективы развития и практическая реализация нелинейных систем управления

## 4.2 Перечень лабораторных работ

<b>Наименование лабораторной работы</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Исследование статических характеристик типовых нелинейностей.	4
2. Влияние нелинейности звеньев на показатели качества системы управления.	4
3. Коррекция нелинейных автоматических систем.	4
4. Исследование метода вибрационной линеаризации.	4
5. Исследование фазовых траекторий релейной системы.	4
6. Исследование системы с переменной структурой.	4
7. Исследование нелинейной системы с частотно-импульсной модуляцией.	5
8. Исследование импульсной системы с широтно-импульсной модуляцией.	5
Итого	34

## 4.3 Перечень практических занятий

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Построение результирующей характеристики последовательного, параллельного и встречно-параллельного соединения нелинейных звеньев.	1
2. Построение фазовых траекторий релейной системы второго порядка.	2
3. Построение фазовых траекторий систем с несколькими нелинейностями	2
4. Вычисление коэффициентов гармонической линеаризации	2
5. Исследование автоколебаний в нелинейном генераторе незатухающих импульсов методом точечных преобразований.	2
6. Исследование автоколебаний в нелинейном генераторе незатухающих импульсов методом точечных преобразований. Анализ точности метода.	1
7. Частотный метод определения автоколебаний.	2
8. Исследование на устойчивость нелинейной системы методом функций А. М. Ляпунова.	1
9. Исследование на устойчивость нелинейной системы по критерию абсолютной устойчивости.	2
10. Оценка качества в нелинейных системах по показателю колебательности.	2
Итого	17

#### **4.4 Курсовое проектирование**

Цель работы (проекта): Овладение студентами методикой и инженерными навыками разработок нелинейных систем с практической реализацией управляющего устройства с широтно-импульсным модулятором.

Содержание работы (проекта): В курсовой работе необходимо синтезировать нелинейную систему, а именно систему с переменной структурой со скользящим режимом движения. Требуется оценить влияние на свойства синтезированной системы широтно-импульсного модулятора.

Исходные данные к выполнению курсовой работы:

1. Тема курсовой работы "Расчет импульсной системы управления с переменной структурой" -общая для всех вариантов.
2. Параметры нелинейного объекта управления третьего порядка с нелинейным элементом, обладающим характеристикой типа "насыщения" -по вариантам.
3. Технические требования к показателям качества синтезируемой системы (вид

переходного процесса, запасы устойчивости, быстродействие) -по вариантам. Оформление пояснительной записки по курсовой работе должно соответствовать следующим требованиям:

1. Текст реферата подготавливается в текстовом редакторе Microsoft Word (или аналогичных по функциональным возможностям).

2. Формат бумаги А4 (210x297 мм). Параметры страницы: сверху – 3,0 см; снизу – 2,0 см; слева – 2,5 см; справа – 2,0 см; переплет – 0 см; зеркальные поля; до верхнего колонтитула – 2,0 см, до нижнего колонтитула – 1,25 см. Различать колонтитулы четных и нечетных страниц.

3. Структура курсовой работы:

-титульный лист,

-содержание,

-введение,

-основная часть:

-Изучение свойств управляемого объекта

-Обоснование структуры системы управления

-Принципы построения систем с переменной структурой

-Синтез системы с переменной структурой со скользящим режимом при отклонениях системы от положения равновесия в ”малом” и ”большом”

-Учет влияния широтно-импульсной модуляции непрерывных управляющих воздействий

-заключение,

-список литературы.

4. Текст печатается шрифтом «Times New Roman» 14 pt, межстрочный интервал – 1.2, абзацный отступ – 1,0 см. Включить автоматическую расстановку переносов.

5. Формулы подготавливаются в редакторе MathType.

6. Рисунки и таблицы нумеруются и снабжаются названиями. Подрисуночные подписи оформляются не в теле рисунка, а в тексте. Все рисунки делаются в

формате jpg с разрешением не менее 300 dpi.

7. Количество страниц -от 20 до 30. Страницы нумеруются.

8. Количество источников в списке литературы от 5 до 10.

9. В остальном отчет рекомендуется выполнять в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ. Структура и правила оформления.

Пояснительная записка по курсовой работе вместе с разработанными моделями размещаются в системе Moodle. После проверки пояснительная записка представляется преподавателю в печатном виде для защиты.

Темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Расчет импульсной системы управления с переменной структурой	Tracking pulse control system with variable structure

#### **4.5 Реферат**

Реферат не предусмотрен.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### 4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	2
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	4
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	8
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	23

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>92</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Мирошник, Илья Васильевич. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы [Текст] : учеб. пособие для вузов по группе направлений подгот. бакалавров и магистров 550000 - "Техн. науки" и диплом. специалистов 650000 - "Техника и технологии" дисциплине "Теория автомат. управления" / И.В. Мирошник, 2006. -271 с.	51
2	Бруслиновский, Борис Васильевич. Теория управления. Нелинейные дискретные системы [Текст] : учеб. пособие / Б.В. Бруслиновский, А.М. Усачев, 2005. -87 с.	97
3	Бруслиновский, Борис Васильевич. Нелинейные системы управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Б. В. Бруслиновский, Н. А. Доброскок, А. В. Морозов, 2017. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
4	Бруслиновский, Борис Васильевич. Лабораторный практикум по нелинейным системам управления [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / Б. В. Бруслиновский, Н. А. Доброскок, А. Н. Лукичев, 2018. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
Дополнительная литература		
1	Методы классической и современной теории автоматического управления [Текст] : в 5 т.: учеб. для вузов по машиностроит. и приборостроит. специальностям / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. -(Методы теории автоматического управления). Т. 5 : Методы современной теории автоматического управления / [К.А. Пупков [и др.]], 2004. -782 с.	16
2	Изерман, Рольф. Цифровые системы управления [Текст] / Р. Изерман ; пер. с англ. С.П. Забродина [и др.] ; под ред. И.М. Макарова, 1984. -541 с.	24
3	Попов, Евгений Павлович. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления [Текст] : учеб. пособие для втузов / Е.П. Попов, 1979. -255 с.	21
4	Первозванский, Анатолий Аркадьевич. Курс теории автоматического управления [Текст] : учеб. пособие / А. А. Первозванский, 2010. -615 с.	неогр.

### 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Фрадков А. Л. Обзор работ по нелинейным системам. Сайт Института проблем машиноведения РАН <a href="https://ipme.ru/ipme/labs/ccs/alf/Fr09Khalil-dop.pdf">https://ipme.ru/ipme/labs/ccs/alf/Fr09Khalil-dop.pdf</a>

№ п/п	Электронный адрес
-------	-------------------

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=5057>



## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Нелинейные системы управления» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

#### Экзамен

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

## Особенности допуска

Допуск к экзамену происходит при одновременном выполнении следующих условий:

1. Посещение не менее 80 % лекционных занятий
2. Выполнение и защита курсовой работы
3. Выполнение и защита 3 контрольных заданий с индивидуальным вариантом на практических занятиях
4. Выполнение не менее 6 лабораторных работ, сдача в срок отчетов по ним и их защита

Экзамен производится в устной форме по билетам, содержащим два теоретических вопроса. Время на подготовку к ответу ограничено.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Структуры нелинейных систем и их особенности.
2	Обобщенная математическая модель нелинейной системы.
3	Метод фазового пространства. Общие свойства фазовых траекторий.
4	Фазовые траектории линейной системы второго порядка.
5	Фазовые траектории нелинейных систем. Методика исследования на фазовой плоскости.
6	Метод точечных преобразований.
7	Метод припасовывания или «сшивания» граничных условий.
8	Метод гармонической линеаризации.
9	Метод гармонического баланса.
10	Постановка задачи устойчивости нелинейных систем по А. М. Ляпунову.
11	Прямой метод А. М. Ляпунова оценки устойчивости нелинейных систем.
12	Критерий абсолютной устойчивости В. М. Попова равновесного состояния нелинейной системы.
13	Качество нелинейной системы в установившихся режимах.
14	Оценка влияния нелинейности на переходный процесс в нелинейной системе.
15	Оценка качества процессов методом гармонической линеаризации.

16	Анализ качества нелинейной системы по абсолютному критерию устойчивости.
17	Линейная коррекция нелинейных систем.
18	Коррекция нелинейных систем нелинейными корректирующими устройствами.
19	Общие принципы построения систем с переменной структурой.
20	Релейные системы. Математическое описание релейных элементов.
21	Исследование релейной системы во временной области.
22	Исследование релейной системы на фазовой плоскости.
23	Импульсные нелинейные системы. Широтно-импульсные и частотно-импульсные модуляторы.
24	Математическое описание процессов модуляции импульсных сигналов.
25	Исследование динамики нелинейных систем с широтно-импульсной модуляцией.
26	Исследование динамики нелинейных систем с частотно-импульсной модуляцией.

### **Форма билета**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

---

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

Дисциплина **Нелинейные системы управления ФЭА**

1. Структуры нелинейных систем и их особенности.
2. Линейная коррекция нелинейных систем.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. Н. Шелудько

**Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ**

**Контрольное задание № 1. Вариант 1. Тема: Построение фазовых траекторий релейных систем**

**Задание:** Построить фазовые траектории релейной системы второго по-

рядка для трех видов нелинейного элемента.

**Значения параметров:**  $c = 1, a = 0.5, x(0) = 0, y(0) = 2$

**Описание системы:** Нелинейная система представляет собой релейную систему, приведенную на рисунке 1, с нелинейностями, приведенными на рисунке 2.

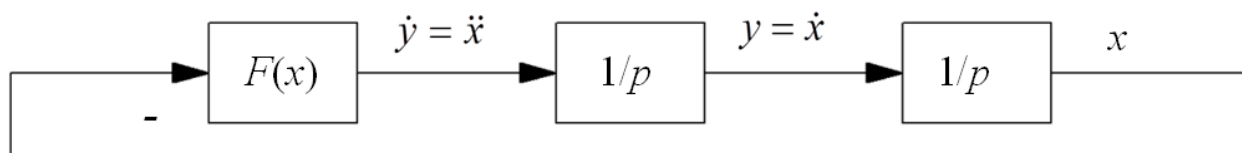


Рисунок 1 - Структурная схема исследуемой нелинейной системы

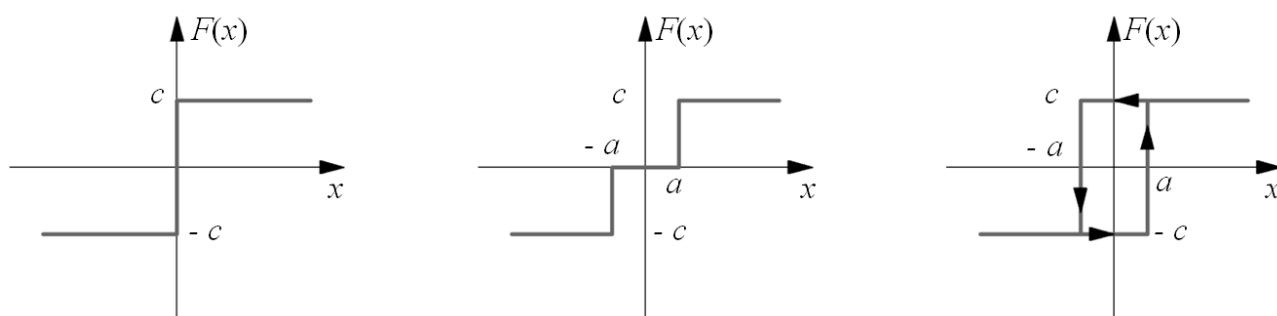


Рисунок 2 - Статические характеристики рассматриваемых релейных элементов

**Контрольное задание № 2. Вариант 1. Тема: Исследование автоколебаний в нелинейной системе методом точечных преобразований и гармонического баланса**

**Задание:** Определить методом точечных преобразований и гармонического баланса параметры автоколебательного режима (амплитуду и частоту) и исследовать его на устойчивость.

**Значения параметров:**  $k = 1, \xi = 0.8, T_0 = 1, c = 1$ .

**Описание системы:** Нелинейная система представляет собой упрощенную модель генератора незатухающих колебаний, заданную колебательным звеном с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k}{T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1},$$

замкнутым положительной обратной связью по скорости через релейный элемент вида  $u = c \operatorname{sign}(\dot{x})$ , структурная схема которого приведена на рисунке.

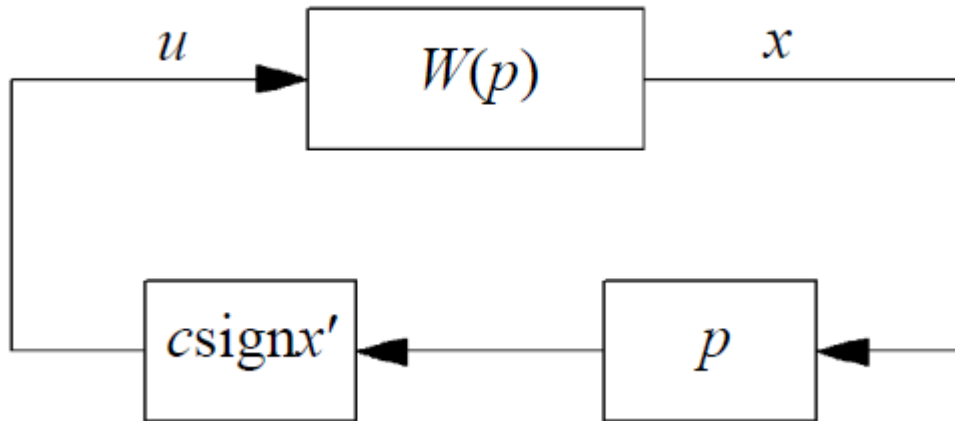


Рисунок - Структурная схема генератора незатухающих колебаний

### Контрольное задание № 3. Вариант 1. Тема: Частотный метод определения автоколебаний

**Задание:** Определить параметры автоколебательного режима (амплитуду и частоту) и исследовать его на устойчивость.

**Значения параметров:**  $k = 2, T_1 = 0.05, T_2 = 0.02, a = 0.25, c = 110$

**Описание системы:** Нелинейная система представляет систему, у которой в прямом канале расположена передаточная функция, описывающая линейную часть с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)},$$

а в канале обратной связи расположено нелинейное звено типа трехпозиционное реле (см. рисунок 2, контрольное задание № 1), структурная схема которой приведена на рисунке.

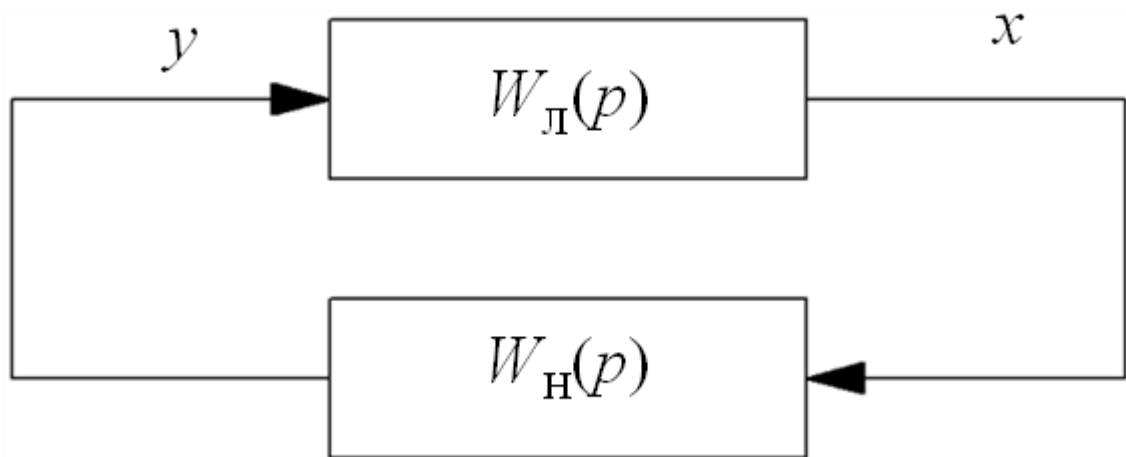


Рисунок - структурная схема нелинейной системы

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
4	Тема 2. Математическое описание и анализ нелинейных систем	
5		Контрольная работа
8	Тема 1. Нелинейные элементы и системы Тема 2. Математическое описание и анализ нелинейных систем	Коллоквиум
9	Тема 2. Математическое описание и анализ нелинейных систем	
10		Контрольная работа
12	Тема 6. Исследование релейной системы управления Тема 2. Математическое описание и анализ нелинейных систем	Коллоквиум
13	Тема 3. Устойчивость нелинейных систем	
14		Контрольная работа
16	Тема 5. Коррекция нелинейных систем управления	Коллоквиум
17	Заключение	
18		Защита КР / КП

### 6.4 Методика текущего контроля

#### на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

#### на лабораторных занятиях

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения по дисциплине «Нелинейные системы управления» студент обязан выполнить 6 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После каждых 2 лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиума на 8, 12 и 16 неделях, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется индивидуально или в бригадах до 2 человек. Оформление отчета студентами осуществляется в

количестве одного отчета на бригаду в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

*Примеры контрольных вопросов к коллоквиуму № 1 по лабораторным работам "Исследование статических характеристик типовых нелинейностей" и "Влияние нелинейностей звеньев на показатели качества систем управления":*

1. Приведите пример непреднамеренной нелинейности.
2. Приведите пример преднамеренной нелинейности.
3. Свойства характеристик нелинейных элементов. Гладкость.
4. Свойства характеристик нелинейных элементов. Симметричность.
5. Свойства характеристик нелинейных элементов. Однозначность.



6. Приведите примеры типовых однозначных нелинейных характеристик.
7. Приведите примеры типовых неоднозначных нелинейных характеристик.
8. Аналитическое описание кусочно-линейных типовых характеристик.
9. Типовые соединения нелинейных элементов. Параллельное.
10. Типовые соединения нелинейных элементов. Последовательное.
11. Типовые соединения нелинейных элементов. Встречно-параллельное.
12. Назовите показатели качества систем автоматического управления.
13. В чем отличие прямых и косвенных показателей качества?
14. Дайте определение показателя колебательности.
15. Дайте определение степени устойчивости.

*Примеры контрольных вопросов к коллоквиуму № 2 по лабораторным работам "Коррекция нелинейных автоматических систем" и "Исследование метода вибрационной линеаризации":*

1. С какой целью может выполняться нелинейная коррекция?
2. Назовите методы компенсации естественных нелинейностей.
3. С какой целью производится нелинейная коррекция линейных систем?
4. Преднамеренные и непреднамеренные нелинейности.
5. Методика синтеза линейных корректирующих систем.
6. В чем заключается идея гармонической линеаризации?
7. Какие гипотезы лежат в основе метода гармонической линеаризации?
8. Дайте определение коэффициенту гармонической линеаризации.
9. Почему метод гармонической линеаризации является приближенным?
10. Каким образом вычислить фазовый сдвиг между воздействием и реакцией нелинейного элемента через коэффициенты разложения в ряд Фурье?
11. В чем заключается идея метода вибрационной линеаризации?
12. Какие ограничения накладываются на линейную часть при использовании метода вибрационной линеаризации?
13. Какой результат может дать вибрационная линеаризация нелинейного звена типа "насыщение"?

14. Какие ограничения накладываются на вибрационное воздействие?

15. Какую форму должно иметь вибрационное воздействие?

*Примеры контрольных вопросов к коллоквиуму № 3 по лабораторным работам "Исследование фазовых траекторий релейных систем" и "Исследование системы с переменной структурой":*

1. Метод фазового пространства. Основные определения: изображающая точка, фазовая траектория, фазовое пространство.
2. Методы построения фазовых траекторий.
3. Общие свойства фазовых траекторий.
4. Фазовые траектории линейных систем. Типы особых точек.
5. Фазовые траектории линейных систем с устойчивым состоянием равновесия.
6. Фазовые траектории линейных систем с неустойчивым состоянием равновесия.
7. Аналитическое описание релейных элементов.
8. Связь фазовых траекторий и изменения фазовых координат во времени.
9. Модель нелинейной системы в переменных состояниях.
10. Метод построения фазовой траектории посредством сведения системы уравнений к дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными на примере релейной системы.
11. Поясните принцип действия систем с переменной структурой.
12. Какие виды движения выбираются для синтеза систем с переменной структурой?
13. Что понимается под релейной системой?
14. Поясните, что такое скользящий режим?
15. Что такое линия переключения на фазовой плоскости?

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает допуск на экзамен.

### **на практических (семинарских) занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий) и решение 3 контрольных заданий с индивидуальными вариантами, оценка за которые выставляется по системе "зачет/незачет", по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

### **при выполнении курсовой работы**

Текущий контроль при выполнении курсовой работы осуществляется в соответствии с методическими указаниями по курсовой работе и заданием на курсовую работу.

Результаты курсовой работы должны быть представлены в форме пояснительной записки, выполненной в соответствии с требованиями к студенческим работам принятым в СПбГЭТУ, и набора компьютерных моделей разработанных систем управления в формате \*.slx пакета MatLab.

Набор компьютерных моделей должен позволять продемонстрировать соответствие заданию на курсовой проект следующих систем:

- линейная система управления нелинейным объектом с ПД-регулятором;
- варианты системы управления, построенной по принципу систем с перемен-

ной структурой, объектом второго порядка с различными видами движений и скользящим режимом;

- варианты системы управления, построенной по принципу систем с переменной структурой, объектом третьего порядка;

- релейная система управления объектом третьего порядка;

- схема практической реализации релейного алгоритма посредством широтно-импульсного модулятора.

Защита курсовой работы осуществляется в соответствии с требованиями «Положения о промежуточной аттестации».

К защите допускаются студенты, полностью и правильно выполнившие задание курсовой работы, оформившие пояснительную записку в соответствии с требованиями настоящей РПД и представившие разработанные компьютерные модели. Оценка курсовой работы выставляется на основе результата ее устной защиты.

Примеры контрольных вопросов к защите курсовой работы:

1. Назовите условия существования скользящих режимов для систем второго порядка.
2. Объясните различие терминов "устойчивое вырожденное движение" и "скользящее движение".
3. Какие фазовые траектории используются для синтеза систем с переменной структурой?
4. Поясните принцип вибрационной линеаризации.
5. В чем заключается особенность практической реализации управляющих воздействий методом широтно-импульсной модуляции.

Оценка за курсовую работу выставляется в соответствии с четырехбалльной системой оценок:

- ”отлично” - на заданные вопросы даны исчерпывающие ответы, студент продемонстрировал как теоретические знания, так и практические навыки применения этих знаний с целью синтеза импульсных систем с переменной структурой;
- ”хорошо” - на заданные вопросы даны полные ответы, содержащие незначительные неточности, студент демонстрирует практические навыки синтеза импульсных систем с переменной структурой;
- ”удовлетворительно” - на заданные вопросы получены ответы, которые в принципе правильны, но в формулировках имеются существенные ошибки;
- ”неудовлетворительно” - отсутствуют ответы на вопросы или содержание ответа не совпадает с поставленным вопросом.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, компьютер	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Adobe Acrobat Reader
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, количество персональных компьютеров – в соответствии с контингентом	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Adobe Acrobat Reader; 4) MatLab R2014b и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, меловая или маркерная доска.	
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Adobe Acrobat Reader; 4) MatLab R2014b и выше; 5) Веб-браузер

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>