

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИИПНКТБ

Д.А. Седнев

«01» 09 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2020 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**Схемотехника аналоговых электронных устройств**

|                                                                                                                              |                                               |                 |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|---|
| Направление подготовки/<br>специальность                                                                                     | <b>11.03.04 Электроника и наноэлектроника</b> |                 |   |
| Образовательная программа<br>(направленность (профиль))                                                                      | <b>Прикладная электронная инженерия</b>       |                 |   |
| Специализация                                                                                                                | <b>Промышленная электроника</b>               |                 |   |
| Уровень образования                                                                                                          | высшее образование - бакалавриат              |                 |   |
| Курс                                                                                                                         | 3                                             | семестр         | 5 |
| Трудоемкость в кредитах<br>(зачетных единицах)                                                                               | 6                                             |                 |   |
| Виды учебной деятельности                                                                                                    | Временной ресурс                              |                 |   |
| Контактная (аудиторная)<br>работа, ч                                                                                         | Лекции                                        | 32              |   |
|                                                                                                                              | Практические занятия                          | 24              |   |
|                                                                                                                              | Лабораторные занятия                          | 32              |   |
|                                                                                                                              | ВСЕГО                                         | 88              |   |
| Самостоятельная работа, ч                                                                                                    |                                               | 128             |   |
| в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с<br>выделенной промежуточной аттестацией (курсовой<br>проект, курсовая работа) |                                               | Курсовой проект |   |
| ИТОГО, ч                                                                                                                     |                                               | 216             |   |

Вид промежуточной  
аттестации

**Экзамен  
дифзачет**

Обеспечивающее  
подразделение

**Отделение  
Электронной  
инженерии**

Заведующий кафедрой-  
руководитель Отделения

Руководитель ООП

Преподаватель

П.Ф. Баранов

В.С. Иванова

Е.В. Ярославцев

2020 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                                     | Индикаторы достижения компетенций |                                                                                                                                                              | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции) |                                                                                                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                                                                              | Код индикатора                    | Наименование индикатора достижения                                                                                                                           | Код                                                         | Наименование                                                                                                                                         |
| ОПК(У)-1        | Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности.                   | И.ОПК(У)-1.11                     | Демонстрирует способность использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для расчета и анализа схем аналоговых электронных устройств | ОПК(У)-1.11В1                                               | Владеет навыками использования знаний физики и математики при расчетах схем аналоговых электронных устройств                                         |
|                 |                                                                                                                                              |                                   |                                                                                                                                                              | ОПК(У)-1.11У1                                               | Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач расчета и анализа схем аналоговых электронных устройств                  |
|                 |                                                                                                                                              |                                   |                                                                                                                                                              | ОПК(У)-1.11З1                                               | Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы в области расчета и анализа схем аналоговых электронных устройств |
| ОПК(У)-2        | Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных. | И.ОПК(У)-2.5                      | Демонстрирует способность проводить экспериментальные исследования схем аналоговых электронных устройств                                                     | ОПК(У)-2.5В1                                                | Владеет навыками организации экспериментального исследования схем аналоговых электронных устройств                                                   |
|                 |                                                                                                                                              |                                   |                                                                                                                                                              | ОПК(У)-2.5У1                                                | Умеет проводить экспериментальные исследования схем аналоговых электронных устройств                                                                 |
|                 |                                                                                                                                              |                                   |                                                                                                                                                              | ОПК(У)-2.5З1                                                | Знает методы экспериментального исследования схем аналоговых электронных устройств                                                                   |

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к базовой части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

| Планируемые результаты обучения по дисциплине |                                                                                                                                       | Индикатор достижения компетенции |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Код                                           | Наименование                                                                                                                          |                                  |
| РД-1                                          | Применять знания общих законов, теорий, уравнений, методов для решения инженерных задач в области электрических и электронных цепей   | И.ОПК(У)-1.11                    |
| РД-2                                          | Выполнять расчеты и проектирование базовых узлов электронной аппаратуры.                                                              | И.ОПК(У)-1.11                    |
| РД-3                                          | Применять экспериментальные методы определения основных характеристик и параметров пассивных электрических цепей.                     | И.ОПК(У)-2.5                     |
| РД-4                                          | Выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях электрических и электронных цепей | И.ОПК(У)-2.5                     |

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

## 4. Структура и содержание дисциплины

### Основные виды учебной деятельности

| Разделы дисциплины                                     | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Раздел 1. Электронные усилители электрических сигналов | РД-1, РД-2, РД-3, РД-4                       | Лекции                    | 12                |
|                                                        |                                              | Практические занятия      | 12                |
|                                                        |                                              | Лабораторные занятия      | 16                |
|                                                        |                                              | Самостоятельная работа    | 50                |
| Раздел 2. Обратные связи (ОС) в электронных усилителях | РД-1, РД-2, РД-3, РД-4                       | Лекции                    | 4                 |
|                                                        |                                              | Практические занятия      | 4                 |
|                                                        |                                              | Лабораторные занятия      | 0                 |
|                                                        |                                              | Самостоятельная работа    | 8                 |
| Раздел 3. Специальные типы электронных усилителей      | РД-1, РД-2, РД-3, РД-4                       | Лекции                    | 8                 |
|                                                        |                                              | Практические занятия      | 4                 |
|                                                        |                                              | Лабораторные занятия      | 8                 |
|                                                        |                                              | Самостоятельная работа    | 30                |
| Раздел 4. Генераторы гармонических сигналов            | РД-1, РД-2, РД-3, РД-4                       | Лекции                    | 8                 |
|                                                        |                                              | Практические занятия      | 4                 |
|                                                        |                                              | Лабораторные занятия      | 8                 |
|                                                        |                                              | Самостоятельная работа    | 30                |

Содержание разделов дисциплины:

### Раздел 1. Электронные усилители электрических сигналов

Дается определение электронного усилителя (ЭУ), классификация усилительных устройств по различным признакам. Рассматриваются параметры и характеристики ЭУ, структурная схема, способы задания и стабилизации положения рабочей точки усилительного элемента, классы усиления. Поясняется принцип действия ЭУ на примере резистивно-емкостного усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером. Приводятся основные расчетные соотношения, области применения усилительных устройств.

#### Темы лекций:

1. Общие сведения об электронных усилителях (ЭУ), классификация. Параметры усилительных устройств: входные, выходные.
2. Коэффициенты усиления ЭУ, КПД. Частотная и фазовая характеристики усилителя, полоса пропускания. Линейные искажения выходного сигнала. Коэффициент частотных искажений.
3. Переходная характеристика ЭУ, переходные искажения и параметры, используемые для их количественного определения. Нелинейные искажения выходного сигнала, коэффициент нелинейных искажений.
4. Амплитудная характеристика усилителя, динамический диапазон. Шумы, помехи, фон. Борьба с шумами.
5. Резистивно-емкостной усилитель электрического сигнала (RC-усилитель). Назначение элементов и принцип действия базовой схемы RC-усилителя на примере каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером.
6. Динамические характеристики ЭУ, классы усиления, рекомендации по выбору положения рабочей точки усилительного элемента.

#### Темы практических занятий:

1. Задание рабочей точки биполярному транзистору при различных схемах включения от отдельного источника смещения. Достоинства и недостатки. Основные расчетные соотношения.
2. Задание рабочей точки биполярному транзистору при различных схемах включения

методом фиксированного тока базы. Расчет цепей смещения. Достоинства и недостатки метода.

3. Задание рабочей точки биполярному транзистору при различных схемах включения методом фиксированного потенциала базы. Методика расчета цепей смещения. Достоинства и недостатки метода.

4. Эмиттерная термостабилизация положения рабочей точки биполярного транзистора. Механизм термостабилизации. Расчет и выбор элементов термостабилизирующей цепи.

5. Коллекторная термостабилизация положения рабочей точки биполярного транзистора при разных схемах включения. Механизм термостабилизации. Методы термокомпенсации изменения положения рабочей точки.

6. Выбор сопротивления резистора в выходной цепи усилительного элемента.

#### **Названия лабораторных работ:**

1. Исследование  $RC$ -усилителей на биполярных транзисторах.
2. Исследование  $RC$ -усилителей на полевых транзисторах.

## **Раздел 2. Обратные связи (ОС) в электронных усилителях**

*Приводятся общие сведения об обратных связях (ОС) в электронных усилителях, дается классификация ОС в зависимости от способов снятия сигнала с выхода устройства и подачи на вход. Рассматривается влияние ОС на основные параметры и характеристики усилителя: величину и стабильность коэффициента усиления, входное и выходное сопротивление, частотные и нелинейные искажения. Даются рекомендации по обеспечению устойчивости ЭУ с обратными связями.*

#### **Темы лекций:**

1. Обратная связь в электронном усилителе – общие сведения о ОС, классификация в зависимости от способов снятия сигнала ОС с выхода устройства и подачи на вход.
2. Влияние ОС на основные параметры и характеристики усилителя: величину и стабильность коэффициента усиления, входное и выходное сопротивление, частотные и нелинейные искажения. Самовозбуждение и обеспечение устойчивости ЭУ с обратными связями.

#### **Темы практических занятий:**

1. Применение частотного метода для определения устойчивости многокаскадного электронного усилителя.
2. Практические рекомендации по повышению устойчивости электронных усилителей с ОС.

## **Раздел 3. Специальные типы электронных усилителей**

*Рассматриваются специальные типы электронных усилителей: усилители постоянного тока с непосредственными связями, дифференциальные каскады на биполярных и полевых транзисторах, однотактный и двухтактный трансформаторные усилители мощности, двухтактные бестрансформаторные усилители мощности – схемы на одиночных и составных транзисторах одинакового и различного типа проводимости (с дополнительной симметрией). Приводятся схемы устройств, поясняется принцип действия и особенности схемотехники, даются основные расчетные соотношения. Указываются достоинства и недостатки, а также области применения.*

#### **Темы лекций:**

1. Усилители постоянного тока с непосредственными связями – особенности схемотехники, дрейф нуля, основные расчетные соотношения, достоинства и недостатки,

области применения.

2. Дифференциальные каскады на биполярных и полевых транзисторах – базовая схема, принцип действия, коэффициенты усиления по основному и дифференциальному выходам.

3. Однотактный и двухтактный трансформаторные усилители мощности. Схемотехника, принцип действия, основные расчетные соотношения и параметры, области применения, достоинства и недостатки.

4. Двухтактные бестрансформаторные усилители мощности – схемы на одиночных и составных транзисторах одинакового и различного типа проводимости (с дополнительной симметрией) – особенности схемотехники, принцип работы, основные расчетные соотношения, достоинства и недостатки, области применения.

#### **Темы практических занятий:**

1. Расчет дифференциального каскада с несимметричной нагрузкой на биполярных (полевых) транзисторах.

2. Расчет двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности на комплементарной паре одиночных биполярных транзисторов.

#### **Названия лабораторных работ:**

1. Исследование бестрансформаторного усилителя мощности на комплементарной паре биполярных транзисторов.

### **Раздел 4. Генераторы гармонических сигналов**

*Дается определение и классификация генераторов гармонических колебаний. Раскрываются понятия «Зависимые генераторы» и «Автогенераторы». Рассматриваются условия возникновения автоколебаний в схеме автогенератора – мягкий и жесткий режимы самовозбуждения; LC-автогенераторы с трансформаторной и автотрансформаторной положительной обратной связью – схемотехника, принцип работы, основные расчетные соотношения и параметры, области применения; RC-автогенераторы – с мостом Вина, с фазизирующими цепями, с двойным Т-образным мостом. Указываются особенности схемотехники, достоинства и недостатки схемных решений, области применения.*

#### **Темы лекций:**

1. Генераторы электрических колебаний: определение и классификация по основным признакам. Генераторы гармонического сигнала (ГСС) – условия самовозбуждения.

2. Режимы самовозбуждения ГСС: мягкий, жесткий. LC-автогенератор с трансформаторной положительной обратной связью: схема, принцип действия, основные расчетные соотношения и параметры, области применения.

3. LC-автогенераторы с автотрансформаторной положительной обратной связью: схемотехника, условия самовозбуждения, основные расчетные соотношения и параметры, области применения.

4. RC-автогенераторы – с мостом Вина, с фазизирующими цепями, с двойным Т-образным мостом. Особенности схемотехники, достоинства и недостатки, области применения.

#### **Темы практических занятий:**

1. Расчет автогенератора с трансформаторной положительной обратной связью.

2. Расчет RC-автогенератора с фазизирующей цепью в цепи положительной обратной связи.

#### **Названия лабораторных работ:**

1. Исследование базовых схем автогенераторов гармонических колебаний.

### **Темы курсового проектирования**

Курсовой проект, реализующий индивидуальное техническое задание, выполняется на тему: «Проектирование *RC*-усилителя».

## **5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Подготовка к предстоящей лекции и работа с лекционным материалом.
- Подготовка к предстоящему практическому занятию, работа с материалом занятия, выполнение домашних заданий.
- Подготовка к выполнению лабораторных работ.
- Выполнения отчетов, подготовка к защите и защита лабораторных работ.
- Выполнение, подготовка к защите и защита индивидуальных домашних заданий (ИДЗ).
- Подготовка к контрольным работам, написание контрольных работ.
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку.
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме.
- Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Учебно-методическое обеспечение**

#### **Основная литература**

1. Калашников, Владимир Иванович. Электроника и микропроцессорная техника : учебник в электронном формате [Электронный ресурс] / В. И. Калашников, С. В. Нефедов; под ред. Г. Г. Раннева. — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740MB). — Москва: Академия, 2012. — 1 Мультимедиа CD-ROM. — Высшее профессиональное образование.— ISBN 978-5-7695-8797-9. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/FN/fn-111.pdf> (контент)
2. Гусев, Владимир Георгиевич. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. — 5-е изд., стер.. — Москва: Высшая школа, 2008. — 798 с.: ил.. — Для высших учебных заведений. — Библиогр.: с. 786-787.. — ISBN 978-5-06-005680-8.
3. Забродин, Юрий Сергеевич. Промышленная электроника: учебник для вузов / Ю.С. Забродин. — 2-е изд., стер. — Москва: Альянс, 2014. — 496 с.: ил. — Библиогр.: с. 486-488. — Предметный указатель: с. 489—494. — ISBN 987-5-903-034-34-5.
4. Прянишников, Виктор Алексеевич. Электроника: полный курс лекций / В.А. Прянишников. — Санкт-Петербург: Корона-Век, 2014. — 415 с.: ил.. — Учебник для высших и средних учебных заведений. — ISBN 978-5-7931-0944-4.

#### **Дополнительная литература**

1. Титце, Ульрих. Полупроводниковая схемотехника [Электронный ресурс] пер. с нем.: в 2-х т. Том 1: Полупроводниковая схемотехника. / Титце У., Шенк К. – 12-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2009. – 832 с.

Схема доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=915](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=915)

2. Расчет электронных схем. Примеры и задачи: учебное пособие / Г.И. Изъюрова, Г.В. Королев, В.А. Терехов, М.А. Ожогин. – Москва: Высшая школа, 1987. – 334 с.

## 6.2 Информационное обеспечение

### Internet-ресурсы:

1. <http://portal.tpu.ru/SHARED/y/YAROSLAVTSEV> – персональный сайт преподавателя
2. <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb> – информационно-справочные системы и профессиональные базы данных НТБ.

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Adobe Acrobat Reader DC;
2. Adobe Flash Player;
3. Cisco Webex Meetings;
4. Document Foundation LibreOffice;
5. Google Chrome;
6. Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic;
7. Microsoft Office 2016 Standard Russian Academic;
8. Mozilla Firefox ESR; Zoom Zoom

## 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее оборудование:

| №  | Наименование специальных помещений                                                                                                                                                                                                        | Наименование оборудования                                                                                                                                                                                              |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (учебная лаборатория)<br>634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, аудитория 107 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Комплект учебной мебели на 15 посадочных мест;</li><li>• Стол письменный - 6 шт.;</li><li>• Осциллограф GOS-620 - 10 шт.;</li><li>• Генератор АКИП -3408/1 – 10 шт.;</li></ul> |
|    | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 30 234                                | Доска аудиторная настенная - 1 шт.;<br>Комплект учебной мебели на 168 посадочных мест;<br>Проектор - 3 шт.; Компьютер - 90 шт.;                                                                                        |
|    | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации                                                                                                 | Комплект учебной мебели на 42 посадочных мест;<br>Компьютер - 1 шт.                                                                                                                                                    |

|  |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                           |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 634028, Томская область, г. Томск, Тимакова улица, 12 301                                                                                                                                              |                                                                                                                           |
|  | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634028, Томская область, г. Томск, Тимакова улица, 12 317 | Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 68 посадочных мест;<br>Проектор - 1 шт.; Компьютер - 1 шт. |

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, специализации «Промышленная электроника» (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

| Должность  | ФИО             |
|------------|-----------------|
| Доцент ОЭИ | Е.В. Ярославцев |

Программа одобрена на заседании Отделения электронной инженерии ИШНКБ (протокол № 37 от 01.09.2020).

Зав. кафедрой – руководитель отделения  
на правах кафедры,  
к.т.н.

П.Ф. Баранов

подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

| Учебный год              | Содержание /изменение                                                                                                                                                                                                                                                         | Обсуждено на заседании ОЭИ<br>ИШНКБ<br>(протокол) |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 2021/2022<br>учебный год | 1. Обновлено содержание разделов дисциплины<br>2. Обновлено ПО в рабочей программе дисциплины<br>3. Обновлен список литературы<br>4. Обновлен перечень профессиональных баз<br>5. Обновлена аннотация рабочей программы дисциплины<br>6. Обновлены материалы в ФОС дисциплины | от 30.08.2021 г. № 54                             |
| 2022/2023<br>учебный год | 1. Обновлено содержание разделов дисциплины<br>2. Обновлено ПО в рабочей программе дисциплины<br>3. Обновлен список литературы<br>4. Обновлен перечень профессиональных баз<br>5. Обновлены материалы в ФОС дисциплины                                                        | от 27.06.2022 г. № 67                             |