|  |
| --- |
|  |

1. Название

Нелинейные радиотехнические цепи

1. Лектор

Доцент Сочава Александр Андреевич

1. Ассистент

Корешин Евгений Алексеевич (на 2021 г.)

1. Язык обучения

Русский

1. Зачётные единицы (кредиты) и форма оценивание (экзамен, зачёт, зачёт с оценкой)

5 з.е./зачёт с оценкой

1. Образовательная программа (ы) и семестр изучения

Бакалавриат: Физика и техника, 7 семестр

1. Пререквизиты (базовые курсы: Высшая математика; Линейная алгебра; Физика; Теоретические основы электротехники; Электроника
2. Краткая аннотация:

*-В курсе дисциплины излагаются основные свойства нелинейных радиоэлектронных элементов и устройств, основные методы их расчета, методы расчёта цепей с распределенными параметрами, принципы построения различных устройств усиления, генерирования и преобразования сигналов*

*- Знать основные способы построения и принципы действия устройств радиоэлектроники; физические процессы, протекающие в них; методы анализа и расчета нелинейных электрических цепей.*

*- курс является базовым и проверенным временем*

1. Содержание курса

*Формат занятий из официального учебного плана –*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № раздела | Название раздела | Основные темы раздела, разделенные на лекции, практики | Формат занятия |
| 1 | Волновые процессы в цепях с распределенными параметрами | Процессы в линиях без потерь при разных нагрузках. Уравнения передачи для фрагмента длинной линии. Входное сопротивление отрезка длинной линии. Коэффициент отражения. | Лекция, Практика |
| Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль линии. Коэффициент стоячей и бегущей волны. Круговые диаграммы сопротивлений и проводимостей. Согласование длинной линии с нагрузкой | Лекция, Практика |
| 2 | Усиление электрических колебаний. Общая теория усилителей | Четырехполюсники: классификация, системы параметров, схемы замещения, соединения четырехполюсников. Согласование четырехполюсников. Неопределенная матрица проводимостей и поворот трехполюсников. Классификация усилителей. Нелинейный трехполюсник в режимах постоянного тока и малых колебаний. Малосигнальные параметры биполярных и полевых транзисторов. Схемы замещения.  | Лекция, Практика |
| Основные показатели усилителей: коэффициенты усиления, входное и выходное сопротивления. Усилители с общим эмиттером, общей базой, общим коллектором, сопоставление их свойств. Способы подачи напряжения питания. Выбор рабочей точки. Термостабилизация режима работы усилителя. Амплитудная характеристика усилителя. Схемы усилителей на полевых транзисторах и лампах Параметры полевых и биполярных транзисторов на высоких частотах. | Лекция, Практика |
| Эквивалентная схема, амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики RC-усилителя. Переходная характеристика усилителя. Резонансные усилители на полевом и биполярном транзисторах. Каскодная схема. Полосовой усилитель.  | Лекция, Практика |
| Усилители мощности класса А. Двухтактный трансформаторный усилитель мощности класса В. Бестрансформаторный усилитель на комплементарных транзисторах | Лекция, Практика |
| 3 | Обратные связи в усилителях | Виды обратной связи (ОС). Коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление усилителя с ОС. Положительная и отрицательная ОС.  | Лекция, Практика |
| Положительная и отрицательная ОС. Примеры схем усилителей с отрицательной ОС по напряжению и по току. | Лекция, Практика |
| Влияние обратной связи на частотную характеристику усилителя, стабильность, уровень помех и нелинейные искажения. Устойчивость усилителей с ОС.Критерий Найквиста | Лекция, Практика |
| 4 | Генерирование электрических колебаний синусоидальной формы | Автогенераторы гармонических колебаний. Самовозбуждение генератора. Стационарный режим работы автогенератора.  | Лекция, Практика |
| Уравнения стационарного режима, средняя крутизна. Уравнение баланса фаз, частота автогенератора и ее стабильность. | Лекция, Практика |
| Уравнение баланса амплитуд. Мягкий и жесткий режимы работы автогенератора. Кварцевая стабилизация частоты автогенератора | Лекция, Практика |
| Трехточечные схемы автогенераторовRC-автогенератор. Импульсные устройства.Триггеры | Лекция |
| 5 | Преобразование частотного состава электрических колебаний | Воздействие гармонических сигналов на нелинейный элемент. Преобразование частот. Амплитудная модуляция. Спектр амплитудно-модулированных колебаний. Схема осуществления амплитудной модуляции.  | Лекция, Практика |
| Балансный модулятор. Частотная и фазовая модуляции. Спектр сигнала при гармоническо-угловой модуляции. Методы осуществления и схемы частотной и фазовой модуляции. | Лекция, Практика |
| Детектирование амплитудно-модулированных колебаний. Детектирование частотно- и фазомодулированных колебаний. Синхронный детектор. | Лекция, Практика |

1. Литература
2. *Радиотехнические цепи и сигналы : рек. УМО вузов РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 210400 "Радиотехника" / М. Т. Иванов, А. Б. Сергиенко, В. Н. Ушаков .— СПб. [и др.] : Питер, 2014 .— 334, [2] с. : ил. — (Учебник для вузов) (Стандарт третьего поколения) .— Прил.: с. 305-319 .— Библиогр.: с. 320 .— Алф. указ.: с. 321334 .— ISBN 978-5-496-00503-6.*
3. *Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г. И. Атабеков .— Изд. 8-е, стер. — СПб. [и др.] : Издательство "Лань", 2010 .— 591, [1] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Прил.: с. 558-580 .— Библиогр.: с. 581 .— Предм. указ.: с. 582-586 .— ISBN 978-5-8114-0800-9.*
4. *Электротехника и электроника. Теория цепей и сигналов, методы анализа : рек. УМО по унив. политехн. образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направл. подготовки бакалавров 553100 - "Техническая физика" и дипломир. спец-стов 651100 - "Техническая физика" дисциплины "Электротехника и электроника" / Ю. Н. Новиков .— СПб. : Питер, 2005 .— 383 с. : ил. — (Учебное пособие) .— Изд. программа: 300 лучших учебников для высшей школы в честь 300-летия Санкт-Петербурга .— Библиогр.: с. 368-369 .— Алф. указ.: с. 373-382 .— ISBN 5-94723-515-3.*
5. *Теоретические основы радиотехники. Сигналы : учебное пособие / Ю. В. Мощенский, А. С. Нечаев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 216 с. — ISBN 978-5-8114-2230-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/103907 (дата обращения: 12.11.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.*

Оценка успеваемости по курсу и примеры заданий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Форма контроля | Тип задания | Вес % | Минимальный порог выполнения для получения аттестации (оценка 3 или зачёт) % | Сроки выполнения | Комментарии |
| Текущий контроль | Посещаемость, домашние задачи, тест | 20 | Посещаемость >50% занятий, Решение всех задач, оценка >=4 за тест | В течении семестра, тест через 9 недель |  |
| Аттестация (экзамен/зачёт) | Зачёт с оценкой | 80 |  |  |  |
| ∑ |  | 100 |  |  |  |

Примеры заданий

Задача 1.

Даны параметры схемы:

E= 12 B R3= 1,0 кОм

R1= 10 кОм R4= 4,3 кОм

R2=240 кОм Rн= 5,1 кОм

Емкость нагрузки Сн= 10 пФ

Параметры транзистора КП307А

Iс нач = 6 мА, Uотс = –2 В, g22= 20 мкСм

Сзи= 5 пФ, Сзс= 1,5 пФ.

Рассчитайте режим постоянного тока.

Для найденной рабочей точки определите малосигнальные Y-параметры на низких частотах.

Рассчитайте рабочие параметры усилителя: KU, KI, KP, Rвх, Rвых на НЧ.

Определите верхнюю частоту fв полосы пропускания по KU. Рассчитайте Zвх на частотах fв и 0,1 fв.

Как повлияет на значения KU, Rвх (только в диапазоне НЧ) отключение блокировочного конденсатора С3?

Задача 2.

|  |  |
| --- | --- |
| Определите условие самовозбуждения и частоту автоколебаний генератора, эквивалентная схема которого по переменному току показана на рисунке. Транзисторы считать одинаковыми, имеющими параметры *y*11 = 1/*R*, *y*21 = *S*, *y*12 = *y*22 = 0, то есть входное сопротивление равно R, крутизна — S. |  |

Задача 3.

На нелинейный двухполюсник с вольт-амперной характеристикой, заданной уравнением *i*(*u*) = *i*0 + α1*u*+ α2*u*3 воздействует гармоническое колебание *u*1(*t*)=*Um*cos(ω1*t*) и посто­янное напряжение *U*0, причем *u* = *u*1(*t*) + *U*0, где *U*0 = 0.7 В, *Um*= 0.5 В, α1=2 10-3 См, α3=1 10-3 А/В3, *i*0=0.5 мА. Качественно проанализировать спектр тока и определить уровень составляющей на частоте 2ω1.

Примерный перечень возможных заданий для заполнения и как они могут быть оценены

| **№ п/п** | **Тип задания** | **Составные части задания** | **Как используются** |
| --- | --- | --- | --- |
|  ***Текущий* контроль успеваемости** |  |
|  | Задача/домашнее задание | * Комплект задач
* Требования к выполнению задач: строгое решение задачи после консультаций с преподавателем
 | Решение задач индивидуально |
|  | Тест | * Требования к выполнению тестов: правильный выбор ответов на вопросы (пример вопроса теста ниже)
 | тест для самоконтроля |
| ***Промежуточная аттестация / Сессия*** |
| 3 | Собеседование по экзаменационным билетам | * Описание технологии применения
* Примерный перечень вопросов к экзамену (приведён ниже)
* Порядок формирования экзаменационного билета: 3 вопроса в билете
* Шкала оценивания и критерии оценки (приведены ниже)
 | письменный ответ на билет, перекрестное собеседование |

Пример тестового вопроса:

– Волновое сопротивление длинной линии равно 50 Ом. Линия нагружена на сопротивление 100 Ом. Чему равен коэффициент отражения по напряжению в линии?

Ответы:

1.-0.5

2.+0.5

3.1/3

4.-1/3

Перечень вопросов к экзамену:

1. Входное сопротивление отрезка длинной линии.
2. Коэффициент отражения длинной линии.
3. Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль длинной линии. Коэффициенты стоячей волны и бегущей волны.
4. Согласование длинной линии с нагрузкой.
5. Четырехполюсники: классификация, системы параметров, схемы замещения, соединения четырехполюсников, согласование четырехполюсников
6. Основные параметры четырехполюсников (усилителей)
7. Неопределенная матрица проводимостей. Поворот трехполюсников
8. Основные характеристики усилителей. Классификация усилителей
9. Расчет нелинейных трех и четырехполюсников в режиме постоянного тока
10. Нелинейные элементы в режиме малых колебаний. Малосигнальные параметры полевых и биполярных транзисторов
11. Усилитель с общим эмиттером, с общей базой, с общим коллектором
12. Цепи питания усилителей на полевых и биполярных транзисторах
13. Термостабилизация рабочей точки транзисторов
14. Усилитель низких частот (резисторный). Эквивалентная схема. Коэффициент усиления на средних, низких и высоких частотах
15. Эквивалентные схемы полевого и биполярного транзисторов на высоких частотах
16. Связь между частотной и переходной характеристиками усилителя
17. Резонансные усилители на полевом и биполярном транзисторах. Каскодная схема
18. Полосовой усилитель
19. Усилители мощности класса А
20. Двухтактный трансформаторный усилитель мощности класса В
21. Бестрансформаторный усилитель на комплементарных транзисторах
22. Обратные связи в усилителях. Классификация ОС. Коэффициент усиления усилителя с ОС
23. Входное и выходное сопротивления усилителя с ОС. Влияние ОС на стабильность, уровень помех и нелинейные искажения усилителей
24. Усилители постоянного тока. Дифференциальный усилитель постоянного тока
25. Операционный усилитель. Идеальный ОУ. Принцип виртуального замыкания. Примеры схем.
26. Входные токи и напряжение смещения ОУ. Частотная характеристика неинвертирующего усилителя на ОУ
27. Устойчивость усилителей с ОС. Критерий Найквиста
28. Автогенераторы гармонических колебаний. Самовозбуждение генератора
29. Стационарный режим работы автогенератора. Уравнения стационарного режима, средняя крутизна
30. Уравнение баланса фаз, частота автогенератора и ее стабильность
31. Уравнение баланса амплитуд. Мягкий и жесткий режимы работы автогенератора
32. Кварцевая стабилизация частоты автогенератора
33. Трехточечные схемы автогенераторов
34. RC-автогенератор. Импульсные устройства
35. Преобразование спектров в нелинейных цепях. Умножитель частоты, смеситель
36. Амплитудная модуляция. Балансный модулятор. Однополосный модулятор
37. Частотная и фазовая модуляции. Спектр сигнала при угловой модуляции.
38. Схемы осуществления частотной и фазовой модуляций
39. Детектор амплитудно-модулированных колебаний.
40. Частотный и фазовый детекторы
41. Синхронный детектор

Знания, умения и навыки обучающихся при промежуточном контроле в форме экзамена (дифференцированного зачета) определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» (зачтено (отлично), зачтено (хорошо), зачтено (удовлетворительно), не зачтено (неудовлетворительно)).

 «Отлично» – обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.

 «Хорошо» – обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических заданий.

 «Удовлетворительно» – обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.

«Неудовлетворительно» – обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические задания, задачи.

1. Дополнительные комментарии

*Информация станет доступна только для записанных на курс: формат общения с преподавателем: личное, на занятиях; на платформах Scype, ZOOM, MS Teams; по электронной почте*