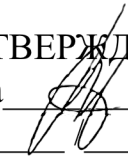


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.А. Небольсин

«19» апреля 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Генераторное оборудование»**

Специальность 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Направленность Интеллектуальные программно-аппаратные системы и комплексы

Квалификация выпускника Инженер

Нормативный период обучения 5,5 лет

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2025 г.

Автор программы



/Володько А.В./

Заведующий кафедрой
Радиоэлектронных устройств
и систем



/ Журавлёв Д.В./

Руководитель ОПОП



/Журавлёв Д.В./

Воронеж 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Усвоение основ теории радиочастотных колебаний и формирование сигналов различных видов модуляции радиочастотного диапазона; приобретение навыков анализа технических характеристик, расчета и проектирования функциональных узлов радиопередающих устройств; приобретение навыков экспериментального исследования характеристик отдельных функциональных узлов и всего радиопередатчика.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение основных физических процессов, происходящих в генераторных и усилительных устройствах. Освоение принципов работы генераторных, усилительных и модуляционных устройств. Приобретение навыков построения и расчета высокочастотных устройств. Приобретение навыков экспериментального исследования характеристик функциональных узлов устройств генерирования и формирования сигналов и всего устройства в целом. Приобретение навыков моделирования функциональных узлов устройств генерирования и формирования сигналов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Генераторное оборудование» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Генераторное оборудование» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 – Способен к проведению диагностики и проверки работоспособность при эксплуатации составных частей радиоэлектронных систем и комплексов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	Знать методы проектирование структурных, функциональных и принципиальных схем с применением современных САПР и пакетов прикладных программ
	Уметь использовать контрольно-измерительное оборудование для оценки состояния и настройки составных частей радиоэлектронных систем
	Владеть автоматизированными системами тестирования

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Генераторное оборудование» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		8	
Аудиторные занятия (всего)	72	72	
В том числе:			
Лекции	36	36	
Практические занятия (ПЗ)	0	0	
Лабораторные работы (ЛР)	36	36	
Самостоятельная работа	72	72	
Контроль	36	36	
Курсовой проект	-	-	
Контрольная работа			
Вид промежуточной аттестации		Экзамен	
Общая трудоемкость	час	180	180
	зач. ед.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
8 семестр							
1	Структурные схемы передатчиков и генераторы с внешним возбуждением. Режимы работы	Назначение и область применения и классификация передатчиков. Структурные схемы передатчиков различного назначения. Структурные схемы основных функциональных узлов и требования к ним Обобщенная структурная схема генератора с внешним возбуждением (ГВВ). Принцип работы усилителя мощности (УМ) и основные энергетические соотношения. Баланс мощностей. Статические характеристики активных элементов (АЭ) и их аппроксимация. Основы гармонического анализа УМ. Анализ режима работы УМ с помощью коэффициентов разложения. Определение оптимального режима АЭ с помощью коэффициентов разложения.	6	0	6	8	20
2	Режимы работы УМ по напряженности, модели транзисторов	Нагрузочные характеристики УМ. Классификация режимов работы УМ с помощью нагрузочных характеристик Влияние амплитуды напряжения возбуждения и напряжения питания на режим работы УМ. \ Генераторные биполярные и полевые транзисторы и их модели. Аппроксимированная модель генераторных высокочастотных транзисторов. Определение Y-параметров транзисторов с помощью аппроксимированной модели. Справочные параметры генераторных транзисторов.	6	0	6	8	20

		Ключевой режим работы УМ. Схемная реализация и принцип построения ключевых УМ. Энергетические соотношения определение эффективности ключевого режима. Влияние инерционности на эффективность КУМ. Умножители частоты. Назначение и принцип работы УЧ. Структурные схемы УЧ. Особенности УЧ на реактивных элементах.					
3	Построение схем генераторов	Построение принципиальных схем усилителей мощности. Функциональные схемы УМ. Эквивалентные схемы генераторов по постоянному току, основной частоте и побочным гармоникам. Примеры реализации. Схемы питания и выходных электродов АЭ. Схемы подачи отпирающего и запирающего смещений на управляющий электрод АЭ. Выбор точки заземления. Эквивалентные схемы одноконтурных АГ. Построение принципиальных схем УМ генераторов. Схемы питания генераторов. Особенности построения принципиальных схем одноконтурных генераторов. Основные расчетные соотношения. Схема одноконтурного генератора с дополнительным конденсатором. Выбор точки заземления.	6	0	6	8	20
4	Сложение мощностей	Методы сложения мощностей. Параллельное и двухтактное включение АЭ. Взаимное влияние АЭ. Методы уменьшения взаимного влияния АЭ и их схемная реализация Мостовые методы сложения мощностей и их реализация. Пространственное сложение мощностей	2	0	2	8	12
5	Стабилизация частоты, синтезаторы	Основные понятия и определения: относительная неустойчивость частоты. Влияние	2	0	2	8	12

	частот	дестабилизирующих факторов на стабильность частоты. Методы стабилизации частоты. Стабилизация частоты с помощью кварцевых резонаторов. Эквивалентные схемы и принцип возбуждения. Построение принципиальных схем. Основные расчетные соотношения. Автогенераторы с использованием поверхностных акустических волн (ПАВ). Возбуждение ПАВ. Принципы работы ПАВ-элементов. Построение АГ на ПАВ-резонаторах.					
6	Генераторы диапазонов УВЧ и СВЧ	Синтезаторы частот: основные характеристики, методы синтеза частот. Структурные схемы синтезаторов частот. СЧ, построенный по методу сравнения (на основе кольца ФАП). Реализация его отдельных функциональных узлов. СЧ вычислительного типа. Генераторы диапазонов УВЧ и СВЧ. Особенности работы СВЧ транзисторов. Базовые схемы усилителей мощности СВЧ диапазона. Особенности работы автогенераторы на транзисторах в диапазонах ВЧ и СВЧ. Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа. Общие сведения. Движение электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Структура поля при генерации СВЧ мощности.	2	0	2	8	12
7	Формирование радиосигналов	Амплитудная модуляция. Уравнение АМ- сигнала. Энергетические соотношения при АМ. Модуляционные характеристики АМ модуляторов. Схемная реализации АМ модуляторов. Угловая модуляция. Общие соотношения при ЧМ и ФМ. Принципы построения ЧМ модуляторов. Основные	4	0	4	8	16

		характеристики модуляторов ЧМ, их схемная реализация и основы расчета. Фазовая модуляция: методы осуществления ФМ. Характеристики ФМ модулятора. Схемная реализация и основы расчета. Формирование радиосигналов с дискретными видами модуляции. Методы реализации дискретных модуляторов. Спектры дискретных сигналов с ЧМ и ФМ. Схемы дискретных формирователей ЧМ и ФМ сигналов. Методы ограничения спектра.					
8	Построение передатчиков различного назначения	Передатчики с АМ. Особенности построения и применения передатчиков с АМ модуляцией. Передатчики с ЧМ. Построение передатчиков с угловой модуляцией. Структурные схемы. Особенности построения их функциональных узлов и режимы работы. Требования ГОСТ к передатчикам различного назначения. Передатчики с ОМ. Структурные схемы передатчиков с ОМ. Особенности режимов работы УМ. Двухтоновый метод измерения нелинейных искажений.	4	0	4	8	16
9	Побочные, внеполосные, интермодуляционные и шумовые излучения радиопередающих устройств	Классификация побочных излучений. Побочные излучения, возникающие в процессе формирования несущей. Интермодуляционное излучение. Методы уменьшения паразитного и побочного колебаний.	4	0	4	8	16
Итого			36	0	36	72	180

5.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы
8 семестр
Исследование электрических характеристик передатчика подвижной связи
Исследование усилителя мощности

Моделирование варакторных умножителей частоты
Исследование одноконтурного автогенератора с емкостной обратной связью
Фазовая синхронизация. Исследование основных свойств и метода стабилизации частоты с помощью автоподстройки.
Исследование основных свойств цифрового синтезатора частот
Исследование формирователя однополосного сигнала
Формирование ЧМ колебаний в LC-автогенераторах с помощью варикапов (Часть 1)
Формирование ЧМ колебаний в кварцевых генераторах (Часть 2)
Исследование электрических характеристик передатчика с аналоговыми и дискретными видами модуляции

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Не предусмотрено учебным планом.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«зачтено»;

«не зачтено».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-3	Знать методы проектирование структурных, функциональных и принципиальных схем с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Активная работа на лабораторных работах, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать контрольно-измерительное оборудование для	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	оценки состояния и настройки составных частей радиоэлектронных систем			
	Владеть автоматизированными системами тестирования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты текущего контроля знаний в 8 семестре оцениваются по следующей системе:

«отлично»;
«хорошо»;
«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-3	Знать методы проектирование структурных, функциональных и принципиальных схем с применением современных САПР и пакетов прикладных программ	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Использовать контрольно-измерительное оборудование для оценки состояния и настройки составных частей радиоэлектронных систем	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть автоматизированными системами тестирования	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

1.Какой математический аппарат используется для определения КПД генераторов (усилителей мощности):

А.Функции Бесселя. В.Разложения в ряд Фурье.
Б.Теорема Котельникова. Г.Разложения в ряд Тейлора.

2.Коэффициент разложения косинусоидального импульса по первой гармонике $\alpha_1(\theta)$ для угла отсечки $\theta=90^\circ$ равен:

А. 0.25 Б.0.45 В.0.5 Г.1.0 Д.0.75

3.Какой математический аппарат используется для оценки эффективности параметрических умножителей частоты и преобразователей частоты?

- А.Уравнение Максвелла. В.Фурье-преобразования.
Б.Теорема Мэнли-Роу. Г.Комплексное исчисление.

4.Максимальный КПД активного элемента(АЭ) по первой гармонике $\eta_1 = \alpha_1(\theta)/\alpha_0(\theta)$, $\alpha_0(\theta)$ - коэффициент разложения для постоянной составляющей выходного тока.

При каком угле отсечки η_1 максимален.

- А. $\theta=0^\circ$ Б. $\theta=60^\circ$ В. $\theta=90^\circ$ Г. $\theta=120^\circ$ Д. $\theta=180^\circ$

5.Индуктивность какого вывода БТ в диапазонах УВЧ и СВЧ оказывают влияние на входное сопротивление генераторного БД:

- А.Вывода базы. В.Вывода коллектора.
Б.Вывода эмиттера. Г.Вывода базы и коллектора.

6.Какой из режимов работы активного элемента (транзистора) обеспечивает наибольшую генерируемую мощность:

- А. перенапряженный. Б. недонапряженный
В. критический Г.слегка перенапряженный

7.Как влияет индуктивность вывода эмиттера генераторного БТ на его входное сопротивление:

- А.Уменьшает $R_{вх}$. В.Никак не влияют.
Б.Увеличивают $R_{вх}$. Г.Делают его очень малым.

8.Для какой цели в усилителях мощности ВЧ диапазона применяются блокировочные индуктивности $L_{бл}$ (дрессели).

Какое соотношение между сопротивлениями нагрузки R_n (эквивалентным сопротивлением нагрузки R_Σ) для параллельного контура является оптимальным?

- А. $\omega_0 L_{бл} = R_n$ Б. $\omega_0 L_{бл} = 0.2 R_n$ В. $\omega_0 L_{бл} = 2 R_n$
Г. $\omega_0 L_{бл} = 15 R_n$ Д. $\omega_0 L_{бл} = 5 R_n$

9.Какой физический принцип положен в основу электрической модели БТ:

- А.Связь тока коллектора с избыточным зарядом неосновных носителей в базе.
Б.Связь тока базы с избыточным зарядом неосновных носителей в базе.
В.Связь тока коллектора с зарядом барьерной емкости эмиттерного перехода.
Г.Связь тока базы с зарядом барьерных емкостей коллекторного и эмиттерного переходов.

10.Укажите преимущества схемы одноконтурного LC-автогенератора с емкостной обратной связью (ОС) по сравнению со схемой с индуктивной ОС.

- А.более высокая стабильность частоты;
Б.меньший уровень нелинейных искажений;
В.меньшее влияние паразитных реактивностей транзистора;
Г.более высокая фильтрующая способность колебательной системы АГ

11.Чему равен максимальный КПД выходной цепи УМ, если угол отсечки θ равен 90° .

- А.0.4. В.0.78.
Б.0.6. Г.0.95

12. Нестабильность частоты одноконтурного LC-автогенератора более всего зависит:

- А. от крутизны проходной характеристики АЭ;
- Б. от входного сопротивления АЭ;
- В. от граничной частоты АЭ;
- Г. от крутизны фазовой характеристики LC-контура;
- Д. от напряжения источника питания.

13. При каком угле отсечки в УМ можно реализовать режим работы с минимальными нелинейными искажениями:

- А. $\theta = 60^\circ$. В. $\theta = 120^\circ$.
- Б. $\theta = 90^\circ$. Г. $\theta = 180^\circ$.

14. Синтезатор частоты в РПДУ:

- А. Формирует одну несущую частоту;
- Б. Сетку высокостабильных частот;
- В. Модулирует несущую частоту;
- Г. излучает радиочастотное колебание;
- Д. защищает от внешних помех.

15. При каком режиме работы транзисторов по напряженности можно получить максимальную генерируемую мощность:

- А. Ненапряженном. В. Ключевом.
- Б. Перенапряженном. Г. Критическом.

16. РПДУ с АМ модуляцией обеспечивает:

- А. высокую помехозащищенность.
- Б. малый уровень излучения радиосигнала;
- В. стабильность характеристик радиосигнала;
- Г. высокий КПД;
- Д. низкую помехозащищенность.

17. Полевые транзисторы МДП-типа применяются в УМ:

- А. На относительно низких частотах. В. В широкой полосе частот.
- Б. В диапазоне СВЧ. Г. Линейных УМ.

18. РПДУ с частотной модуляцией обеспечивает:

- А. узкий спектр излучаемого радиосигнала;
- Б. возможность реализации усилителя мощности с высоким КПД (энергетически выгодными режимами);
- В. высокую помехозащищенность;
- Г. сложность схемных решений функциональных узлов устройства;

19. Генераторные ВЧ и СВЧ, БТ-транзисторы имеют следующие недостатки:

- А. Вторичный пробой на относительно низких частотах.
- Б. Малое выходное сопротивление.
- В. Малое входное сопротивление.
- Г. Большую инерционность.

20. Недостатками цифровых РПДУ с дискретными модуляцией являются:

- А. низкий КПД;

- Б. широкий спектр радиосигнала;
- В. низкая помехозащищенность;
- Г. высокий уровень побочных колебаний;
- Д. сложность технологической реализации.

21. Ненапряженный режим работы биполярного транзистора (БТ) в усилителе мощности характеризуется следующими состояниями транзистора:

- А. Переход база-эмиттер открыт, база-коллектор открыт.
- Б. Переход база-эмиттер закрыт, база-коллектор закрыт.
- В. Переход база-эмиттер открыт, база-коллектор закрыт.
- Г. Переход база-эмиттер закрыт, база-коллектор открыт.

22. Перенапряженный режим работы БТ в УМ при работе с отсечкой характеризуется следующими формами импульса выходного тока, протекающего через транзистор:

- А. Форма импульса выходного тока отличается от косинусоиды и имеет провал.
- Б. Представляет отсеченную косинусоиду.
- В. Отсеченную косинусоиду с уплощенной вершиной.
- Г. Форма выходного сигнала является косинусоидальной (синусоидальной).

23. Полевые транзисторы МДП-типа применяются в УМ:

- А. На относительно низких частотах.
- Б. В диапазоне СВЧ.
- В. В широкой полосе частот.
- Г. Линейных УМ.

24. Неустойчивость состояния одноконтурного LC-автогенератора определяется выражениями:

- А. $S \cdot K_{oc} \cdot Z_3 = 1$;
- Б. $S \cdot K_{oc} \cdot Z_3 < 1$;
- В. $S \cdot K_{oc} \cdot Z_3 > 1$;
- Г. $S \cdot K_{oc} \cdot Z_3 = 0.5$.

25. Шаг дискретной перестройки синтезатора частоты определяет следующие его характеристики:

- А. Нестабильность частоты;
- Б. Время перехода с одной частоты на другую;
- В. Уровень побочных колебаний на выходе;
- Г. Дискретность изменения частоты выходного сигнала.

26. Кварцевый автогенератор наиболее просто возбудить:

- А. На гармонике основной частоты;
- Б. На субгармониках основной частоты;
- В. На второй гармонике;
- Г. На нечетных гармониках.

27. Амплитудную модуляцию можно осуществить при работе транзистора в режимах:

- А. В недонапряженном;
- Б. Критическом;
- В. Перенапряженном;
- Г. При закрытом транзисторе.

28. Динамическая амплитудная модуляционная характеристика АМ модулятора это:

А.Изменение коэффициента модуляции от частоты управляющего (модулирующего) сигнала;

Б.От изменения напряжения питания;

В.От изменения амплитуды модулирующего сигнала;

Г.От напряжения смещения.

29.Девияция частоты – это:

А.Отклонение несущей частоты от среднего значения;

Б.Максимальная разность частот между максимальным и минимальным значениями частоты выходного сигнала.

В.Максимальное отклонение частоты выходного сигнала от среднего значения;

Г.Удвоенное значение модулирующей частоты.

30.Ширина спектра ЧМ колебания пропорциональна:

А.Индексу модуляции;

Б.Частоте управляющего сигнала;

В.Амплитуде модулирующего сигнала;

Г.Сдвигу центральной (несущей) частоты.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1.Чему равен максимальный КПД усилителя мощности, выполненном на транзистора, при угле отсечки $\theta = 90^\circ$:

А.0.05. Б.0.9. В.0.78. Г.0.32.

2.Чему равно напряжение отсечки кремниевых БТ:

А.0.6В. Б.-1.5В. В.0. Г.1В.

3.Мощность генерируемая транзистором при работе в УМ максимальна при угле отсечки равно:

А. 60° . Б. 180° . В. 120° . Г. 90° .

4.Чему равен коэффициент фильтрации выходной согласующей цепи в УМ по второй гармонике? Если выходная согласующая цепь – параллельный контур, имеющий нагруженную добротность $Q_n=8$:

А.10. Б.12. В.5. Г.20.

5.При каком значении фазового угла по крутизне (φ_s) транзисторный LC-генератор работает с максимальной стабильностью частоты:

А. -10° . Б. -60° . В. 30° . Г. -45° .

6.Чему равны значения усредненной крутизны транзистора, при которой устанавливается стационарный режим работы автогенератора, если коэффициент обратной связи $K_{ос} = 0.5$, а эквивалентное сопротивление контура $R_s=1\text{кОм}$:

А. 5 мА/В. Б. 2 мА/В. В. 1 мА/В. Г. 0.5 мА/В.

7.Приведите частоты на которых возможно возбуждение кварцевого автогенератора с резонатором в цепи обратной связи, если паспортная частота кварцевого резонатора $f_1 = 10\text{МГц}$:

А.5 МГц. Б.15 МГц. В.10 МГц. Г.20 МГц. Д.30 МГц.

8.Чему равна максимальная мощность передатчика с АМ-модуляцией, если амплитуда тока первой гармоники, в режиме несущей частоты $I_{A1} = 1\text{А}$, эквивалентное сопротивление контура $R_3 = 100\text{ Ом}$, а коэффициент модуляции $m = 0.5$:

А.50.5 Вт. Б. 200 Вт. В.112.5 Вт. Г.400 Вт.

9.Полоса частот, занимаемая спектром ЧМ-колебания с девиацией частоты $\Delta f_d = 3\text{ кГц}$ и частотой модулирующего сигнала $F=3\text{ кГц}$, равна:

А.3 кГц. Б.10 кГц. В.18 кГц. Г.48 кГц.

10.Приведите значение коэффициента нелинейных искажений, если девиация частоты по первой гармонике $\Delta f_{d1} = 5\text{ кГц}$, а по второй гармонике $\Delta f_{d2} = 0.25\text{ кГц}$:

А.2%. Б.1%. В.5%. Г.10%.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1.Чему равен максимальный КПД усилителя мощности, выполненном на транзистора, при угле отсечки $\theta = 90^\circ$:

А.0.5. Б.0.9. В.0.78. Г.0.32.

2.Чему равно напряжение отсечки кремниевых БТ:

А.0.6В. Б.-1.5В. В.0. Г.1В.

3.Мощность генерируемая транзистором при работе в УМ максимальна при угле отсечки равном:

А. 60° . Б. 180° . В. 120° . Г. 90° .

4.Чему равен коэффициент фильтрации выходной согласующей цепи в УМ по второй гармонике? Если выходная согласующая цепь – параллельный контур, имеющий нагруженную добротность $Q_n=8$:

А.10. Б.12. В.5. Г.20.

5.При каком значении фазового угла по крутизне (φ_s) транзисторный LC-генератор работает с максимальной стабильностью частоты:

А. -10° . Б. -60° . В. 30° . Г. -45° .

6.Чему равны значения усредненной крутизны транзистора, при которой устанавливается стационарный режим работы автогенератора, если коэффициент обратной связи $K_{ос} = 0.5$, а эквивалентное сопротивление контура $R_3=1\text{кОм}$:

А. 5 мА/В. Б. 2 мА/В. В. 1 мА/В. Г. 0.5 мА/В.

7.Приведите частоты на которых возможно возбуждение кварцевого автогенератора с резонатором в цепи обратной связи, если паспортная частота кварцевого резонатора $f_1 = 10\text{ МГц}$:

А.5 МГц. Б.15 МГц. В.10 МГц. Г.20 МГц. Д.30 МГц.

8.Чему равна максимальная мощность передатчика с АМ-модуляцией, если амплитуда тока первой гармоники, в режиме несущей частоты $I_{A1} = 1\text{А}$, эквивалентное сопротивление контура $R_3 = 100\text{ Ом}$, а коэффициент модуляции $m = 0.5$:

А.50.5 Вт. Б. 200 Вт. В.112.5 Вт. Г.400 Вт.

9.Полоса частот, занимаемая спектром ЧМ-колебания с девиацией частоты $\Delta f_d = 3$ кГц и частотой модулирующего сигнала $F=3$ кГц, равна:

А.3 кГц. Б.10 кГц. В.18 кГц. Г.48 кГц.

10.Приведите коэффициент нелинейных искажений, если девиация частоты по первой гармонике $\Delta f_{d1} = 5$ кГц, а по второй гармонике $\Delta f_{d2} = 0.25$ кГц:

А.2%. Б.1%. В.5%. Г.10%.

7.2.4.1 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Обобщенная структурная схема радиопередающего устройства. Принцип формирования радиосигнала.
2. Структурная схема генератора с внешним возбуждением (усилителя мощности).
3. Принципиальная схема УМ. Принцип работы схемы.
4. Энергетические соотношения в УМ.
5. Статические характеристики активных элементов и их аппроксимация.
6. Методика проведения гармонического анализа и ее применение для определения спектра выходного тока АЭ.
7. Определение энергетических выгодных режимов работы АЭ с помощью коэффициентов разложения.
8. Выходные динамические характеристики УМ.
9. Режим работы АЭ по напряженности.
10. Нагрузочные характеристики. Анализ режимов работы УМ с помощью нагрузочных характеристик.
11. Зарядовая модель биполярного транзистора.
12. Аппроксимированная зарядовая модель БТ.
13. Модель мощного высокочастотного БТ. Связь параметров модели со справочными данными.
14. Модели транзисторов, используемые при автоматизированном проектировании электронных схем.
15. Параллельный контур и П- контур как согласующие и фильтрующие цепи.
16. Высокочастотный трансформатор как согласующая цепь.
17. Трансформаторы – линии. Трансформаторы специальной конструкции.
18. Общие принципы построения схем УМ.
19. Последовательная и параллельная схемы питания выходного электрода АЭ. Определение параметров элементов цепей питания.
20. Схемы отпирающего и нулевого смещения.
21. Схемы запирающего смещения, построенные по принципу автоматического смещения.
22. Умножители частоты. Принцип работы умножителя частоты на АЭ.
23. Умножители частоты на нелинейных реактивных элементах.
24. Сложение мощностей. Параллельное и двухтактное включение АЭ.
25. Мостовые методы сложения мощностей.
26. Пространственное сложение мощностей.

7.2.4.2 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету с оценкой

1. Автогенераторы. Условия самовозбуждения и уравнения стационарного режима.
2. Схема возбудителя ОМ сигнала, построенного по фильтровому методу.
3. Необходимые условия возникновения колебаний. Эквивалентные схемы одноконтурных АГ.
4. Схема балансного модулятора, принцип работы БМ, спектр выходного сигнала.
5. Принципиальная схема автогенератора с емкостной обратной связью.
6. Однополосная модуляция. Уравнения ОМ сигнала.
7. Схема автогенератора с емкостной обратной связью и дополнительным конденсатором.
8. Методы формирования ОМ сигнала и их схемная реализация.
9. Нестабильность частоты, основные понятия.
10. Особенности усиления ОМ колебаний. Схемная реализация и режимы работы.
11. Стабилизирующие свойства пьезо резонатора (ПР). АЧХ и ФЧХ резонатора.
12. Структурная схема ОМ передатчика, построенного по фильтровому методу.
13. Схемы кварцевых АГ, в которых ПР используется как эквивалентная индуктивность.
14. Структурная схема ЧМ передатчика подвижной связи, построенного по косвенному методу.
15. Схема кварцевого АГ, в которой ПР используется как эквивалентная индуктивность.
16. Угловая модуляция. Основные характеристики сигнала с угловой модуляцией.
17. Возбуждение кварцевого автогенератора на частоте последовательного резонатора.
18. Формирование дискретных сигналов. Схема формирователя сигнала ЧТ, и его спектр.
19. Схема автогенератора с кварцем в контуре.
20. Формирование ЧМ колебаний в кварцевом автогенераторе.
21. Принцип возбуждения поверхностных акустических волн.
22. Получение ЧМ колебаний в LC-автогенераторах с помощью варикапах.
23. Автогенераторы с использованием ПАВ элементов.
24. Формирователь радиосигнала с частотной телеграфией.
25. Основные характеристики синтезатора частот. Методы синтеза частот, структурные схемы.
26. Структурная схема цифрового передатчика.
27. Структурная схема СЧ, построенная по методу прямого синтеза частот.
28. Принципиальная схема усилителя мощности передатчика подвижной связи.
29. Синтезатор частот с использованием кольца ФАП.
30. Цифровые методы формирования ОМ сигнала и их схемная реализация.
31. ИФД, назначение и принципы построения, схемная реализация и особенности работы.
32. Относительная фазовая телеграфия.
33. Схема генератора, управляемого напряжением.
34. Дискретные виды модуляции: амплитудная, частотная и фазовая телеграфия.
35. Параметрическая стабилизация частоты.
36. Структурная схема ЧМ передатчика подвижной связи, построенного по прямому методу.
37. Понятие о модуляции. Основные характеристики модулирующего сигнала.
38. Формирователь радиосигнала с фазовой телеграфией.
39. Основные характеристики АМ сигнала.
40. Двух тоновый метод измерения нелинейных искажений УМ однополосного сигнала.
41. Возбудитель однополосного возбудителя, построенного по фазоразностному методу.
42. Побочные излучения передатчика.
43. Модуляционные характеристики АМ модуляторов.
44. Формирование дискретных сигналов. Структурная схема формирователя ЧТ.
45. Импульсно-фазовый детектор. Схема, принцип работы.

46. Типовая схема АМ модулятора при модуляции смещением и принципы ее работы.
 47. Работа автогенераторов на высоких частотах
 48. Влияние дестабилизирующих факторов на стабильность частоты.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 10 стандартных задач и 10 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Не аттестован» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.
2. Оценка «Аттестован» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 30 баллов.

Зачет с оценкой проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 10 стандартных задач и 10 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

3. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.
4. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
5. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.
6. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Структурные схемы передатчиков и генераторы с внешним возбуждением. Режимы работы	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
2	Режимы работы УМ по напряженности, модели транзисторов	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос, КП
3	Построение схем генераторов	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
4	Сложение мощностей	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
5	Стабилизация частоты, синтезаторы частот	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос, КП
6	Генераторы диапазонов УВЧ и СВЧ.	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос, КП
7	Формирование радиосигналов	ПК-3	Тест, зачет,

			устный опрос, КП
8	Построение передатчиков различного назначения	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос, КП
9	Побочные, внеполосные, интермодуляционные и шумовые излучения радиопередающих устройств	ПК-3	Тест, зачет, устный опрос, КП

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов. Под ред. Н.Н. Удалова и В.Н. Кулешова, М.Юрайт, 2018.- 421 с.
2. Радиопередающие устройства. Под ред. В.В. Шахгильдяна. М. Радио и связь, 2003.- 560 с.
3. Бочаров М.И. Устройства генерирования и формирования сигналов. Дискретные виды модуляции. 2014. – 1 электрон.опт.дист (CD-ROM).
4. Бочаров М.И. Устройства генерирования и формирования сигналов. Основы теории и расчета генераторов с внешним возбуждением, ВГТУ [электронный ресурс], 2017. – 1 электрон.опт.диск (CD-ROM).
5. Бочаров М.И. Построение и расчет схем генераторов, ВГТУ, 2007.- 184 с.
6. Бочаров М.И. Формирование радиосигналов. Часть 1. Аналоговые виды модуляции, ВГТУ, 2010.- 1 электрон.опт.диск (CD-ROM).
7. Шумилин М.С., Козырев В.Б., Власов В.В. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков. М. Радио и связь, 1987.- 320 с.
8. Проектирование радиопередатчиков ; под ред. В.В. Шахгильдяна, М.: Радио и связь, 2000.- 653 с.
9. Бочаров М.И. Исследование электрических характеристик передатчика радиостанции подвижной связи. Методические указания к выполнению лабораторной работы.- Воронеж, ВГТУ, 2018.- 32 с.
10. Бочаров М.И. Генераторы с внешним возбуждением и автогенераторы. Методическое указание для практических занятий. Воронеж. ВГТУ, 2013.- 48 с.
11. Бочаров М.И. Методические указания к выполнению лаб. работы «Исследование усилителя мощности».- Воронеж, ВГТУ, 2015.- 23 с.
12. Бочаров М.И. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Моделирование варакторных умножителей частоты». 2016.- 1 электрон.опт.дист (CD-ROM).
13. Бочаров М.И. Фазовая синхронизация. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование основных свойств и методов стабилизации частоты с помощью автоподстройки» - Воронеж, ВГТУ, 2012. – 34 с.
14. Бочаров М.И. Исследование аналогового и цифрового формирователей однополосного радиосигнала. Часть 1. Методические указания к выполнению лабораторной работы. Воронеж, 2020.-27с.
15. Бочаров М.И. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Формирование ЧМ-колебаний в LC и кварцевых генераторах с помощью варикапов».- Воронеж, ВГТУ, 2017.- 25 с.
16. Бочаров М.И. Формирование радиосигналов. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование электрических характеристик передатчика с аналоговыми и дискретными видами модуляции».- Воронеж, ВГТУ, 2016.- 1 электрон.опт.дист (CD-ROM).
17. Бочаров М.И. Расчет и моделирование одноконтурного LC-автогенератора. Методические указания к лабораторной работе.- Воронеж, ВГТУ, 2021.-30 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов

информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

При проведении лабораторных и практических работ используется следующее информационное обеспечение:

1. Научная электронная библиотека e-library, <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.
2. Информационный портал <http://сахара.ru/>.
3. Справочный сайт по транзисторам <http://www.texnic.ru/data/vt/index.htm>.
4. Справочный сайт по ПАВ-резонаторам <http://www.aec-design.com/RU/resru.htm>.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Учебная лаборатория: для изучения дисциплины имеется лаборатория со специализированными лабораторными стендами и измерительной аппаратурой: вольтметры, генераторы, осциллографы, частотомеры, измерители модуляции.

1. Исследование электрических характеристик передатчика подвижной связи.
Используемое оборудование: лабораторные установки (р/с ВЭЛС), измерители модуляции, генераторы сигналов низкочастотные, вольтметры, частотомеры, эквиваленты нагрузки.

2. Исследование усилителя мощности.
Используемое оборудование: лабораторные установки, высокочастотные вольтметры, осциллографы, частотомеры.

3. Моделирование варакторных умножителей частоты
Используемое оборудование: персональные компьютеры.

4. Управление частотой в автогенераторах с помощью варикапов
Используемое оборудование: лабораторная установка, измеритель модуляции, генератор сигналов низкочастотный, частотомер, осциллограф.

5. Формирование ЧМ-колебаний в LC и кварцевых генераторах с помощью варикапов.

Используемое оборудование: персональные компьютеры преподавателей и студентов.

6. Исследование основных свойств и методов стабилизации частоты с помощью автоподстройки.
Используемое оборудование: лабораторная установка, измеритель модуляции, генератор сигналов низкочастотный, частотомер, осциллограф.

7. Исследование электрических характеристик передатчика с аналоговыми и дискретными видами модуляции.
Используемое оборудование: лабораторная установка, измеритель модуляции, генератор сигналов низкочастотный, частотомер, осциллограф.

8. Устройства синхронизации частоты.
Используемое оборудование: лабораторная установка, измеритель модуляции, генератор сигналов низкочастотный, частотомер, осциллограф.

9. Исследование аналогового и цифрового формирователей однополосного радиосигнала. Часть 1.

Используемое оборудование: персональные компьютеры преподавателей и студентов.

10. Расчет и моделирование одноконтурного LC-автогенератора.

Используемое оборудование: персональные компьютеры преподавателей и студентов.

При наличии среди обучающихся студентов-инвалидов и лиц с ОВЗ особенности изучения ими дисциплины согласуются с преподавателями в индивидуальном порядке.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Генераторное оборудование» читаются лекции, проводятся лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы направлены на приобретение практических навыков расчета типовых инженерных радиотехнических задач и использования полученных результатов при проведении моделирования с применением САПР или экспериментально с использованием лабораторной установки.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью закрепления лекционного материала и совершенствованию знаний. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях (указано в п.5.1) и включает тематику каждой из изучаемых тем.

Освоение дисциплины оценивается на зачете (5 семестр) и при проведении зачета с оценкой (6 семестр).

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на лабораторных работах.
Подготовка к зачету с оценкой	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решению стандартных прикладных задач.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП