

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)

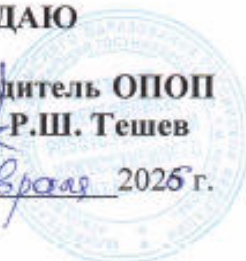
Институт электроники, робототехники и искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП

Алиев Р.Ш. Тешев

«12» февраля 2025 г.



**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Б1.О.20 «УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ
И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ»**

Специальность

11.05.01 Радиозлектронные системы и комплексы

Специализация

Радиозлектронные системы передачи информации

Квалификация (степень) выпускника

Инженер

Форма обучения

Очная

Нальчик 2025

1.Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1

Код и формулировка компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВ)
ПК-2. Способен использовать контрольно-измерительную технику и работать с конструкторской, технической, эксплуатационной документацией	ПК-2.1. Способен работать с конструкторской, технической, эксплуатационной документацией по обслуживанию радиоэлектронных систем. ПК-2.2. Способен использовать возможности контрольно-измерительной аппаратуры и методы обработки результатов измерений. ПК-2.3. Способен применять современные пакеты прикладных программ для обработки результатов.	Знать способы работы с конструкторской, технической, эксплуатационной документацией по обслуживанию радиоэлектронных систем.
		Уметь использовать возможности контрольно-измерительной аппаратуры и методы обработки результатов измерений.
		Владеть способами применения современных пакетов прикладных программ для обработки результатов.

2 Шкала оценивания планируемых результатов обучения

2.1 Текущий контроль

Оценка результатов текущей успеваемости в рамках контрольных точек осуществляется посредством 70-балльной системы, при этом за добросовестное посещение занятий обучающийся может набрать до 10 баллов, за качественное прохождение оценочных мероприятий – до 60 баллов.

Таблица 2

Карта распределения рейтинговых баллов в рамках текущего контроля

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Лабораторная работа № 1 «Исследование условий самовозбуждения LC-автогенератора. Влияние	Компьютерная	Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере	5	5 – все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 – все задания выполнены верно, выводы по работе содержат несущественные ошибки; 3 – задания выполнены

	нелинейности»				частично, выводы по работе неполные; 2 –; задания выполнены частично, выводы по работе содержат существенные ошибки; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат грубые ошибки; 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
2	Лабораторная работа № 2 «Синтез и анализ кварцевого генератора. Исследование эквивалентной схемы кварца»	Компьютерная	Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере	5	5 – все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 – все задания выполнены верно, выводы по работе содержат несущественные ошибки; 3 – задания выполнены частично, выводы по работе неполные; 2 –; задания выполнены частично, выводы по работе содержат существенные ошибки; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат грубые ошибки; 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
3	Лабораторная работа № 3 «Моделирование системы фазовой автоподстройки частоты (PLL)»	Компьютерная	Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере	5	5 – все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 – все задания выполнены верно, выводы по работе содержат несущественные ошибки; 3 – задания выполнены частично, выводы по работе неполные; 2 –; задания выполнены частично, выводы по работе содержат существенные ошибки; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат грубые ошибки; 0 – задания не выполнены или все задания выполнены

					неверно
4	Лабораторная работа № 4 «Генераторы специальной формы: исследование и проектирование мультивибратора и ГЛИН»	Компьютерная	Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере	5	5 – все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 – все задания выполнены верно, выводы по работе содержат несущественные ошибки; 3 – задания выполнены частично, выводы по работе неполные; 2 –; задания выполнены частично, выводы по работе содержат существенные ошибки; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат грубые ошибки; 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
5	Лабораторная работа № 5 «Принцип прямого цифрового синтеза (DDS). Генерация и анализ сигналов»	Компьютерная	Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере	5	5 – все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 – все задания выполнены верно, выводы по работе содержат несущественные ошибки; 3 – задания выполнены частично, выводы по работе неполные; 2 –; задания выполнены частично, выводы по работе содержат существенные ошибки; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат грубые ошибки; 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
6	Лабораторная работа № 6 «Формирование цифровых последовательностей и скремблиров	Компьютерная	Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере	5	5 – все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 – все задания выполнены верно, выводы по работе содержат несущественные ошибки; 3 – задания выполнены

	ание»				частично, выводы по работе неполные; 2 –; задания выполнены частично, выводы по работе содержат существенные ошибки; 1 – задания выполнены частично, выводы содержат грубые ошибки; 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
7	Тест 1	Компьютерная	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС	8	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
8	Тест 2	Компьютерная	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС	8	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
9	Коллоквиум 1	Компьютерная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	7	7-6– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 5-4 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 3- ответы недостаточно полные; 2 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 1-ответы не на все вопросы, частичные. 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.
10	Коллоквиум 2	Компьютерная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	7	7-6– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 5-4 – ответы в основном правильные, но содержат

					<p>незначительные ошибки;</p> <p>3- ответы недостаточно полные;</p> <p>2 – ответы частичные, содержат ошибки</p> <p>или требуют наводящих вопросов;</p> <p>1-ответы не на все вопросы, частичные.</p> <p>0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.</p>
	Итого:			60	

3. Оценочные материалы для текущего и промежуточного контроля успеваемости

3.1. Оценочные материалы для текущего контроля

Лабораторная работа № 1 «Исследование условий самовозбуждения LC-автогенератора. Влияние нелинейности».

Цель: Экспериментально (в модели) проверить условия баланса амплитуд и баланса фаз. Исследовать роль нелинейного элемента для установления стационарного режима.

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

- **Задачи:**

1. Собрать схему трехточечного LC-генератора (например, емкостная трехточка).
2. В линейном режиме (малый сигнал) подобрать коэффициент усиления для выполнения условия баланса амплитуд ($K \cdot \beta \geq 1$). Наблюдать нарастание колебаний.
3. Ввести нелинейность (например, за счет ограничения на транзисторе). Показать установление устойчивой амплитуды.
4. Исследовать спектр установившихся колебаний (уровень гармоник).

- **Виртуальные приборы:** Осциллограф, спектральный анализатор, Vode-plotter (для анализа петлевого усиления).

Лабораторная работа № 2 «Синтез и анализ кварцевого генератора. Исследование эквивалентной схемы кварца».

Цель: Изучить особенности кварцевого резонатора как высокочастотного резонансного элемента.

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

- **Задачи:**

1. Смоделировать эквивалентную схему кварцевого резонатора (R, L, C-последовательный контур + параллельная C0).
2. Снять его полную комплексную проводимость (импеданс) вблизи резонанса. Определить последовательную и параллельную резонансные частоты, добротность.

3. Собрать и исследовать работу генератора Пирса или Клаппа на заданной модели кварца.
 4. Сравнить стабильность частоты (методом статистического анализа Монте-Карло при варьировании пассивных компонентов) с аналогичным LC-генератором.
- **Виртуальные приборы:** Импеданс-анализатор, осциллограф, анализатор вариаций.

Лабораторная работа № 3 «Моделирование системы фазовой автоподстройки частоты (PLL)».

Цель: Исследовать динамические процессы в PLL: захват, удержание, переходные процессы.

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

- **Задачи:**

1. Создать функциональную модель PLL 2-го порядка в Simulink/MathCAD (Фазовый детектор, ФНЧ, ГУН, делитель).
 2. Исследовать переходной процесс при скачкообразном изменении частоты опорного сигнала или коэффициента деления. Измерить время установления.
 3. Определить полосу удержания и полосу захвата петли. Показать их зависимость от параметров фильтра.
 4. Продемонстрировать режимы: синхронизация (когерентный прием), демодуляция ЧМ-сигнала.
- **Виртуальные приборы:** Осциллограф для наблюдения за фазовой ошибкой, анализатор спектра на выходе ГУН.

Лабораторная работа № 4 «Генераторы специальной формы: исследование и проектирование мультивибратора и ГЛИН».

Цель: Освоить принципы формирования прямоугольных и пилообразных колебаний.

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

- **Задачи:**

1. Собрать и исследовать симметричный и несимметричный мультивибраторы на ОУ или транзисторах.
 2. Получить зависимость длительности импульса/периода от номиналов RC-цепи.
 3. Смоделировать генератор линейно нарастающего напряжения (ГЛИН) на основе источника тока, заряжающего конденсатор, и схемы сброса.
 4. Оценить нелинейность пилообразного напряжения, определить факторы, ее вызывающие.
- **Виртуальные приборы:** Осциллограф, измерители длительности и периода.

Лабораторная работа № 5 «Принцип прямого цифрового синтеза (DDS). Генерация и анализ сигналов».

Цель: Изучить архитектуру DDS и ее ключевые параметры на алгоритмическом уровне.

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

- **Задачи (реализуется в MATLAB/Python):**

1. Написать скрипт, реализующий базовый DDS: аккумулятор фазы, таблица синуса (LUT), цифро-аналоговое преобразование (моделируемое).
 2. Сгенерировать синусоидальный сигнал. Исследовать влияние разрядности аккумулятора фазы и LUT на уровень фазового шума и гармоник.
 3. Продемонстрировать быструю перестройку частоты путем изменения шага приращения фазы (FTW).
 4. Сгенерировать частотно- или фазомодулированный сигнал, подавая управляющий код на FTW или напрямую на фазу.
- **Выходные данные:** Графики сигналов, спектры, графики зависимости SFDR от разрядности.

Лабораторная работа № 6 «Формирование цифровых последовательностей и скремблирование».

Цель: Изучить методы генерации псевдослучайных последовательностей (ПСП) и их применение.

Работа включает в себя задание, выполняемое на компьютере.

- **Задачи (реализуется в MATLAB/Python/HDL-модели):**

1. Смоделировать работу линейного регистра сдвига с обратной связью (LFSR) максимальной длины.
 2. Получить M-последовательность. Построить ее автокорреляционную функцию (АКФ). Оценить период.
 3. Реализовать скремблер/дескремблер на основе LFSR. Показать восстановление исходной последовательности.
 4. Продемонстрировать применение ПСП для расширения спектра: смоделировать умножение информационного сигнала на ПСП и наблюдать расширение его спектра.
- **Выходные данные:** Временные диаграммы последовательностей, график АКФ, спектры до и после расширения.

Примерные темы курсовых работ

1. Проектирование и моделирование синтезатора частоты с дробным коэффициентом деления (Fractional-N PLL) для систем связи стандарта 5G NR.
2. Разработка и исследование широкополосного ГУН (Генератора, Управляемого Напряжением) на диапазон 2-6 ГГц.
3. Сравнительный анализ архитектур синтезаторов: PLL на основе выравнивания заряда (Charge-Pump PLL) и PLL на основе фазового детектирования (PFD) для тактовых генераторов с ультранизким джиттером.
4. Исследование методов подавления выбросов (spurs) в синтезаторах частоты с PLL.
5. Проектирование когерентного многоканального формирователя сигналов на основе одной опорной петли PLL.
6. Разработка ядра прямого цифрового синтеза (DDS) с повышенной спектральной чистотой для ПЛИС.
7. Проектирование формирователя сложных широкополосных сигналов (ЛЧМ, ФМн) на основе гибридной архитектуры DDS+PLL.
8. Синтез и анализ цифровых модуляторов (QPSK, 16-QAM) на базе DDS в ПЛИС.
9. Разработка алгоритма и структуры генератора псевдослучайных последовательностей (ПСП) с программируемыми свойствами в среде HDL.
10. Реализация произвольного формирователя сигналов (Arbitrary Waveform Generator - AWG) на основе высокоскоростного ЦАП и ПЛИС.

11. Проектирование высокостабильного кварцевого генератора (ОСХО) с термостатированием и системой термокомпенсации.
12. Исследование и проектирование LC-генератора с низким фазовым шумом для гетеродина приемопередатчика диапазона 900 МГц.
13. Моделирование и анализ параметрического генератора/усилителя на варакторе для СВЧ-диапазона.
14. Исследование генераторов на диодах с накоплением заряда (SRD) для формирования субнаносекундных импульсов.
15. Проектирование формирователя тактовых импульсов с регулируемой скважностью и задержкой для систем цифровой обработки сигналов.
16. Разработка и моделирование системы формирования и управления мощными импульсами для ультразвукового пьезопреобразователя.
17. Исследование методов линейной частотной модуляции (ЛЧМ) сигналов в аналоговых и цифровых формирователях.
18. Проектирование квадратурного генератора (I/Q) для систем с квадратурной модуляцией.
19. Метрологическое исследование источников фазового шума и дрожания фазы (jitter) в тактовом тракте высокоскоростной цифровой системы (на примере интерфейса PCIe или Ethernet).
20. Анализ и проектирование системы формирования зондирующих сигналов для радара с синтезированной апертурой (РСА).

Вопросы для тестирования

I:

S: Условием самовозбуждения автогенератора является:

-: $K\beta < 1$

+: $K\beta = 1$

-: $K\beta > 1$

-: $K\beta = 0$

I:

S: При балансе фаз в автогенераторе сдвиг фаз в петле обратной связи равен:

-: 90°

-: 180°

+: 0° или 360°

-: 270°

I:

S: Какой элемент в LC-генераторе обеспечивает нелинейность, необходимую для стабилизации амплитуды?

+: Собственная нелинейность усилительного элемента (транзистора, ОУ)

-: Катушка индуктивности

-: Конденсатор

-: Резистор в цепи обратной связи

I:

S: Трехточечная схема генератора, в которой цепь обратной связи образована двумя конденсаторами и катушкой, называется:

- + : Емкостной трехточкой
- : Индуктивной трехточкой
- : Трансформаторной обратной связью
- : Мостом Вина

I:

S: Для чего в схему генератора Клаппа вводится последовательный конденсатор?

- + : Для повышения стабильности частоты и уменьшения влияния паразитных емкостей транзистора
- : Для увеличения выходной мощности
- : Для расширения диапазона перестройки частоты
- : Для упрощения настройки

I:

S: Кварцевый резонатор в режиме параллельного резонанса в схеме генератора эквивалентен:

- + : Индуктивности
- : Емкости
- : Активному сопротивлению
- : Короткому замыканию

I:

S: Основное преимущество кварцевого генератора перед LC-генератором:

- + : На несколько порядков выше стабильность частоты
- : Значительно выше выходная мощность
- : Шире диапазон перестройки частоты
- : Проще конструкция

I:

S: Генератор, в котором частота задается RC-цепями, а не LC-контуром, называется:

- : Кварцевым генератором
- : Генератором на связанных резонаторах
- + : RC-генератором
- : Мультивибратором

I:

S: Генератор прямоугольных импульсов на основе усилителя с положительной обратной связью называется:

- : Генератором синусоидальных колебаний
- + : Мультивибратором
- : Генератором пилообразного напряжения
- : Блокинг-генератором

I:

S: Генератор линейно нарастающего напряжения (ГЛИН) формирует сигнал:

- : Синусоидальной формы
- : Прямоугольной формы
- + : Пилообразной формы
- : Треугольной формы

I:

S: Устройство, выходная частота которого пропорциональна входному управляющему напряжению, называется:

- + : ГУН (Генератор, Управляемый Напряжением)
- : ФАПЧ (Фазовая АвтоПодстройка Частоты)
- : ДДС (Прямой Цифровой Синтез)
- : Генератор стандартных сигналов

I:

S: Основными элементами системы ФАПЧ (PLL) НЕ являются:

- + : Амплитудный детектор
- : Фазовый детектор
- : Фильтр нижних частот
- : Генератор, управляемый напряжением (ГУН)

I:

S: В установившемся режиме синхронизации системы ФАПЧ разность фаз между опорным и выходным сигналом:

- : Равна нулю
- + : Имеет постоянное значение, необходимое для поддержания нужной частоты ГУН
- : Бесконечно растет
- : Изменяется по линейному закону

I:

S: Полоса удержания (hold-in range) системы ФАПЧ - это:

- : Максимальная скорость изменения частоты входного сигнала
- + : Диапазон частот входного сигнала, в котором система может сохранять синхронизм
- : Диапазон частот, в котором система может захватить сигнал
- : Полоса пропускания фильтра нижних частот

I:

S: Принцип прямого цифрового синтеза (DDS) основан на:

- : Фазовой автоподстройке частоты
- + : Прямом вычислении (или выборке из таблицы) отсчетов сигнала
- : Перестройке частоты LC-контура напряжением
- : Использовании кварцевого резонатора

I:

S: Какое устройство является ключевым для формирования аналогового сигнала в синтезаторе DDS?

- + : Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)
- : Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)
- : Фазовый детектор
- : Генератор, управляемый напряжением

I:

S: Основное преимущество DDS перед синтезатором на основе PLL:

- + : Очень высокая скорость перестройки частоты и высокое разрешение
- : Более широкий диапазон генерируемых частот
- : Отсутствие побочных спектральных составляющих
- : Более высокий уровень выходной мощности

I:

I: В синтезаторе частоты с PLL частота на выходе ГУН равна:

- : Частоте опорного генератора
- +: Частоте опорного генератора, умноженной на коэффициент деления делителя в цепи обратной связи
- : Частоте фазового детектора
- : Постоянной величине

I:

S: Fractional-N синтезатор частоты позволяет:

- +: Получить шаг перестройки выходной частоты меньше частоты опорного генератора
- : Увеличить выходную мощность синтезатора
- : Упростить схему фильтра нижних частот
- : Избавиться от необходимости использования ГУН

I:

S: Псевдослучайная последовательность (ПСП) генерируется с помощью:

- : RC-генератора
- +: Регистра сдвига с линейной обратной связью (LFSR)
- : Кварцевого резонатора
- : Мультивибратора

I:

S: Основное назначение скремблера в системах передачи данных:

- +: Исключение длинных последовательностей одинаковых символов для улучшения самосинхронизации
- : Усиление полезного сигнала
- : Сжатие данных
- : Шифрование информации

I:

S: Сигнал, у которого информация закодирована в изменении амплитуды несущего колебания, называется:

- +: Амплитудно-манипулированным (ASK)
- : Частотно-манипулированным (FSK)
- : Фазоманипулированным (PSK)
- : Ортогональным с частотным разделением (OFDM)

I:

S: Векторный (IQ) модулятор позволяет формировать сигналы:

- : Только с амплитудной модуляцией
- : Только с фазовой модуляцией
- +: С любыми видами амплитудной и фазовой модуляции (QAM, PSK)
- : Только с частотной модуляцией

I:

S: Параметр "джиттер" (jitter) характеризует:

- : Амплитуду выходного сигнала
- +: Случайные отклонения моментов перепада сигнала от идеального положения
- : Нелинейные искажения формы сигнала
- : Коэффициент гармоник

I:

S: Наиболее значимый источник фазового шума в генераторе на биполярном транзисторе вблизи несущей частоты (малые отстройки):

- + : Дробовой шум и шум мерцания ($1/f$) активного прибора
- : Тепловой шум резисторов
- : Квантовый шум
- : Внешние помехи

I:

S: Какой тип генератора обеспечивает наименьший фазовый шум в диапазоне СВЧ?

- + : Генератор на диоде Ганна с резонатором из целого металлического блока
- : LC-генератор на полевом транзисторе
- : RC-мультивибратор
- : Генератор на логических элементах

I:

S: Принцип работы генератора на диоде Ганна основан на:

- : Пробое p-n перехода
- + : Области отрицательного дифференциального сопротивления в арсениде галлия (GaAs)
- : Туннельном эффекте
- : Тепловой генерации носителей

I:

S: Устройство для умножения частоты входного сигнала строится на основе:

- + : Нелинейного элемента (например, варактора) и полосового фильтра
- : Линейного усилителя
- : Интегрирующей RC-цепи
- : Триггера

I:

S: Для формирования коротких импульсов наносекундной длительности часто используют диоды с:

- + : Резким восстановлением обратного сопротивления (диоды с накоплением заряда, SRD)
- : Медленным восстановлением
- : Стабилитроны
- : Варикапы

I:

S: Источником эталонной частоты высочайшей точности являются:

- + : Атомные (квантовые) часы (на рубидии, цезии)
- : Кварцевые генераторы (ОСХО)
- : RC-генераторы
- : Генераторы на линии задержки

I:

S: Микромеханический резонатор (MEMS) является конкурентом кварцевого резонатора благодаря:

- + : Возможности полной интеграции в микросхему (технология "система на кристалле")
- : Более высокой добротности
- : Более широкому диапазону рабочих частот
- : Большой устойчивости к ударам

I:

I:
S: Автогенератор работает в ключевом (прерывистом) режиме в:

- : Генераторе синусоидальных колебаний
- +: Блокинг-генераторе
- : Генераторе Клаппа
- : Генераторе на мосте Вина

I:

S: Для получения двух связанных по частоте, но сдвинутых по фазе на 90° сигналов (sin/cos) используют:

- +: Квадратурный генератор (например, на основе фазовращателя 90° в цепи ОС)
- : Два независимых мультивибратора
- : Одинарный интегрирующий усилитель
- : Фазовый детектор

I:

S: Параметр "добротность" (Q) колебательного контура определяет:

- : Выходную мощность генератора
- +: Относительную ширину полосы пропускания и избирательность контура
- : Рабочую частоту генератора
- : Коэффициент нелинейных искажений

I:

S: В схеме емкостной трехточки катушка индуктивности включена:

- +: Между коллектором и эмиттером (стоком и истоком)
- : Между базой и эмиттером (затвором и истоком)
- : Между коллектором и базой (стоком и затвором)
- : В цепи питания

I:

S: Генератор, управляемый напряжением (ГУН), в системе PLL выполняет функцию:

- : Сравнения фаз
- : Фильтрации напряжения
- +: Исполнительного элемента, частота которого изменяется управляющим сигналом
- : Задания опорной частоты

I:

S: В схеме DDS увеличение разрядности аккумулятора фазы приводит к:

- : Увеличению скорости перестройки частоты
- +: Увеличению разрешения по частоте (уменьшению шага перестройки)
- : Увеличению уровня выходного сигнала
- : Расширению диапазона генерируемых частот

I:

S: Гармоники в спектре сигнала прямоугольной формы имеют амплитуду, убывающую пропорционально:

- : $1/n$ (где n - номер гармоники)
- +: $1/n$
- : $1/\sqrt{n}$
- : Не убывают

I:

S: Для формирования последовательности чипов в системе с расширенным спектром (DSSS) используется:

- : Генератор синусоидальных колебаний
- +: Генератор псевдослучайной последовательности (ПСП)
- : Генератор пилообразного напряжения
- : Фазовый модулятор

I:

S: Синтезатор с архитектурой PLL, в котором для дробного коэффициента деления N используется дельта-сигма модуляция, предназначен для:

- +: Подавления побочных составляющих (спур) в спектре выходного сигнала
- : Увеличения скорости перестройки
- : Упрощения схемы делителя
- : Генерации сигналов с частотной модуляцией

I:

S: Активный элемент в генераторе на мосте Вина - это:

- : Биполярный транзистор
- +: Операционный усилитель
- : Диод Ганна
- : Тиристор

I:

S: Триггер Шмитта в формирователе импульсов используется для:

- +: Компарации с гистерезисом, что обеспечивает помехоустойчивость и формирование крутых фронтов
- : Интегрирования входного сигнала
- : Задержки импульсов
- : Умножения частоты

I:

S: Параметр "время установления частоты" в синтезаторе характеризует:

- : Время работы на отказ
- +: Быстродействие, время перехода от одной частоты к другой с заданной точностью
- : Время прогрева до выхода на номинальный режим
- : Длительность импульса на выходе

I:

S: Коэффициент обратной связи (β) в автогенераторе определяется:

- : Только коэффициентом усиления активного элемента
- +: Параметрами пассивной цепи обратной связи (делителя)
- : Напряжением питания
- : Сопротивлением нагрузки

I:

S: Для увеличения стабильности амплитуды синусоидального генератора применяют:

- +: Автоматическую регулировку усиления (АРУ) в цепи обратной связи
- : Увеличение добротности контура
- : Увеличение напряжения питания
- : Введение дополнительной нелинейности

I:

S: Режим, при котором в генераторе до начала колебаний выполняется условие $K\beta > 1$, называется режимом:

- : Мягкого самовозбуждения
- +: Жесткого самовозбуждения
- : Прерывистой генерации
- : Синхронизации

I:

S: Частота последовательного резонанса кварцевого резонатора определяется в основном:

- +: Индуктивностью L_s и емкостью C_s его последовательной ветви
- : Параллельной емкостью C_0
- : Активным сопротивлением потерь R_s
- : Геометрическими размерами кристалла

I:

S: В генераторе Пирса кварцевый резонатор включен между:

- : Коллектором и эмиттером
- +: Затвором и истоком (для полевого транзистора)
- : Коллектором и базой
- : В цепи обратной связи ОУ

I:

S: Несимметричный мультивибратор генерирует импульсы:

- +: Прямоугольной формы со скважностью, отличной от 2
- : Синусоидальной формы
- : Треугольной формы
- : С линейно нарастающим фронтом

I:

S: В генераторе пилообразного напряжения (ГПН) конденсатор заряжается от источника:

- +: Стабильного тока
- : Стабильного напряжения через резистор
- : Синусоидального напряжения
- : Другого конденсатора

I:

S: Тип фазового детектора, выходное напряжение которого пропорционально разности фаз сигналов в диапазоне от $-\pi$ до $+\pi$, называется:

- : Детектором "исключающее ИЛИ"
- +: Детектором типа "фазовый компаратор I/II" (с триггерами)
- : Смесителем
- : Синхронным детектором

I:

S: Полоса захвата (pull-in range) системы ФАПЧ всегда:

- : Равна полосе удержания
- : Больше полосы удержания
- +: Меньше или равна полосе удержания
- : Не зависит от параметров фильтра

I:

S: В синтезаторе DDS таблица волновых форм (Look-Up Table, LUT) хранит:

- + : Отсчеты одного периода генерируемого сигнала (например, синуса)
- : Программу управления
- : Коэффициенты для фильтра
- : Значения фазовой ошибки

I:

S: "Частота Найквиста" в контексте DDS - это:

- : Частота опорного генератора
- + : Половина тактовой частоты синтезатора ($F_{clk}/2$)
- : Максимальная частота на выходе ЦАП
- : Частота среза антиалиасного фильтра

I:

S: Побочные спектральные составляющие (спур) в синтезаторе на PLL обусловлены главным образом:

- + : Пульсациями на выходе фазового детектора, не полностью подавленными ФНЧ
- : Тепловым шумом ГУН
- : Нестабильностью опорного генератора
- : Нелинейностью усилителя мощности

I:

S: Генератор, используемый для тактирования цифровых систем и создающий последовательность стробирующих импульсов, называется:

- : Генератором синусоидальных колебаний
- + : Тактовым генератором
- : Генератором шума
- : Модулятором

I:

S: Принцип частотной манипуляции (FSK) можно реализовать с помощью:

- + : ГУН, управляемого двоичным цифровым сигналом
- : Амплитудного ограничителя
- : Фазового модулятора

Вопросы, выносимые на коллоквиум

Коллоквиум 1

1. **Условия самовозбуждения и стационарный режим автогенератора.** Выведите и объясните условия баланса амплитуд и баланса фаз. Почему для установления стабильной амплитуды колебаний необходима нелинейность? Графически поясните процесс установления колебаний в генераторе.
2. **Сравнительный анализ LC-генераторов.** Схемы индуктивной и емкостной трехточки. Нарисуйте принципиальные схемы, объясните, как в каждой из них выполнены условия баланса фаз. Каковы их достоинства и недостатки? Почему емкостная трехточка более предпочтительна на высоких частотах?

3. **Роль и свойства кварцевого резонатора.** Нарисуйте и объясните его эквивалентную электрическую схему. Что такое последовательный и параллельный резонанс? Как от их выбора зависит включение кварца в схему генератора (генераторы Пирса, Клаппа)? Почему добротность кварца на порядки выше, чем у LC-контуров?
4. **Генератор Клаппа и его модификации.** Нарисуйте схему, объясните принцип действия. Зачем нужен последовательный конденсатор СЗ? В чем преимущества этой схемы по стабильности частоты перед классической трехточкой? Как модификация схемы (генератор Силли) позволяет расширить диапазон перестройки?
5. **Принцип работы системы ФАПЧ (PLL).** Нарисуйте структурную схему и объясните функцию каждого элемента (ФД, ФНЧ, ГУН, делитель). Опишите физические процессы при захвате сигнала и в режиме синхронизации. Что такое полоса захвата и полоса удержания? От чего они зависят?
6. **Генераторы релаксационных колебаний.** Принцип формирования прямоугольных импульсов. Сравните симметричный и несимметричный мультивибраторы. Объясните процесс работы, нарисуйте временные диаграммы напряжений на коллекторах и базах транзисторов. Как рассчитывается период колебаний?
7. **Формирование линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН).** Объясните принцип получения пилообразного напряжения методом заряда конденсатора от источника стабильного тока. Нарисуйте принципиальную схему ГЛИН на ОУ и транзисторе, поясните работу всех элементов. В чем причины нелинейности пилы и как с ними борются?
8. **Формирователи коротких импульсов.** Принцип работы на диодах с накоплением заряда (SRD). Объясните физику процесса формирования резкого перепада при восстановлении обратного сопротивления. Нарисуйте простейшую схему формирователя и временные диаграммы.

Коллоквиум 2

1. **Архитектура и принцип прямого цифрового синтеза (DDS).** Нарисуйте структурную схему (аккумулятор фазы, ПЗУ, ЦАП, ФНЧ). Объясните, как задается выходная частота. Каковы ключевые преимущества и фундаментальные ограничения DDS (спектральная чистота, максимальная частота)? Что такое "частота Найквиста" в контексте DDS?
2. **Синтезаторы частоты на основе PLL.** Сравните синтезаторы с целым (Integer-N) и дробным (Fractional-N) коэффициентом деления. В чем проблема дробного синтезатора и как она решается с помощью дельта-сигма модуляции? Поясните на структурной схеме.
3. **Гибридные и многоступенчатые синтезаторы.** Проанализируйте достоинства и недостатки архитектур: PLL + DDS (DDS как опорный

генератор для PLL) и PLL с двойным преобразованием (с двумя петлями). Для каких применений они оптимальны?

4. Формирование псевдослучайных последовательностей (ПСП).

Объясните принцип работы линейного регистра сдвига с обратной связью (LFSR). Что такое M-последовательность, каковы ее свойства (период, АКФ)? Приведите примеры применения ПСП в технике (скремблирование, расширение спектра).

5. Принцип векторного (IQ) формирования сигналов. Нарисуйте структурную схему IQ-модулятора. Объясните, как с его помощью можно получить сигналы с амплитудной, фазовой и любой комбинированной модуляцией (QAM). Что такое диаграмма созвездия? Поясните на примере формирования QPSK-сигнала.

6. Фазовый шум и его источники. Дайте определение фазового шума. Нарисуйте типичный график спектральной плотности мощности фазового шума $L(f)$. Объясните происхождение разных участков кривой (шум $1/f$, белый шум, шум кварца). Как архитектура синтезатора (PLL, DDS) влияет на результирующий фазовый шум выходного сигнала?

7. Формирование широкополосных и шумоподобных сигналов. Принцип расширения спектра методом прямой последовательности (DSSS). Объясните, как формируется сигнал, какова роль ПСП. Каковы преимущества таких сигналов с точки зрения помехоустойчивости и скрытности?

8. Современные тенденции и альтернативные технологии. Кратко охарактеризуйте одно-два перспективных направления (на выбор): генераторы на микромеханических резонаторах (MEMS), оптоэлектронные генераторы (ОЕО), синтезаторы с прямой цифровой модуляцией. В чем их принципиальная новизна и потенциальные преимущества?

1.2 Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Зачет проводится по билетам. В каждом билете 2 теоретических вопроса.

1. Классификация и основные требования к генераторам и формирователям сигналов. Делители и умножители частоты.
2. Физические основы генерирования колебаний. Условия самовозбуждения (Баланс амплитуд и баланс фаз).
3. Анализ линейной и нелинейной моделей автогенератора. Критерии устойчивости.
4. Кварцевая стабилизация частоты.
5. Пьезоэлектрический эффект.

6. Эквивалентная схема кварцевого резонатора. Режимы работы (последовательный и параллельный резонанс).
7. Схемы кварцевых автогенераторов.
8. Принцип фазовой автоподстройки частоты. Фазовый детектор, фильтр, УПЧ, ГУН.
9. Линейная модель PLL. Режимы удержания и захвата.
10. Применение для синтеза, демодуляции и восстановления тактовой частоты.
11. LC-генераторы синусоидальных колебаний.
12. Трехточечные схемы (емкостная и индуктивная трехточки). Генераторы с трансформаторной связью. Вопросы стабильности амплитуды и частоты. Расчет режимов.
13. Генераторы на основе моста Вина. Генераторы на операционных усилителях.
14. Мультивибраторы, блокинг-генераторы. Формирование пилообразных и прямоугольных импульсов.
15. Генераторы, управляемые напряжением. Принципы управления частотой: варактор, реактивное свойство транзистора.
16. Схемная реализация ГУН в LC- и RC-контурах. Ключевые параметры: крутизна, линейность, диапазон перестройки.
17. Формирователи и селекторы импульсов. Дифференцирующие и интегрирующие RC-цепи.
18. Устройства на базе компараторов и триггеров Шмитта. Лимитеры, детекторы фронта, селекторы по длительности.
19. Архитектуры аналоговых и цифро-аналоговых синтезаторов частоты.
20. Синтезаторы с петлей ФАПЧ (PLL).
21. Синтезаторы прямого цифрового синтеза (DDS). Гибридные схемы (PLL + DDS).
22. Принцип прямого цифрового синтеза (DDS). Математическое обоснование. Блок-схема: аккумулятор фазы, ПЗУ синусного/косинусного преобразования, ЦАП, фильтр.
23. Понятие о фазовом шуме и спектральной чистоте в DDS.
24. Цифровые генераторы и формирователи сигналов на базе ПЛИС (FPGA).
25. Реализация DDS-ядра в FPGA.
26. Генерация сложных цифровых последовательностей (PN-коды, полиномиальные генераторы).
27. Прямой цифровой синтез импульсных последовательностей (DDWS).
28. Цифровая модуляция и манипуляция в формирователях сигналов. Формирование сигналов с цифровой амплитудной, фазовой и частотной манипуляцией (ASK, PSK, FSK) на последнем этапе синтеза.
29. Использование цифровых фильтров (CIC, FIR) для формирования спектра.
30. Принципы расширения спектра (DSSS, FHSS).

31. Генерация псевдослучайных последовательностей (ПСП) для помехоустойчивости и измерений.
32. Устройства на базе регистров сдвига с обратной связью.
33. Генерация и формирование сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов.
34. Особенности СВЧ-генераторов: диоды Ганна, лавинно-пролетные диоды (ЛПД), твердотельные генераторы на полевых транзисторах с высокой подвижностью электронов (рHEMT).
35. Волноводные и микрополосковые резонаторы.
36. Генераторы на оптических и квантовых принципах.
37. Оптические гетеродины. Генерация оптических гребенок.
38. Атомные стандарты частоты (цезиевые, рубидиевые). Их роль как первичных и вторичных эталонов в системах формирования сигналов.
39. Векторные синтезаторы и формирователи сигналов.
40. Принцип IQ-модуляции. Генерация сигналов с произвольной модуляцией (QAM, OFDM).
41. Архитектура векторных генераторов сигналов. Коррекция ошибок в усилителях мощности.
42. Системные аспекты и контроль параметров.
43. Влияние источников питания и систем термостабилизации на качество сигнала.
44. Метрологические характеристики генераторов: фазовый шум, дрожание фазы, нестабильность, гармоники, побочные составляющие. Методы их измерения.
45. Выбор архитектуры генератора под конкретную прикладную задачу (системы связи, радиолокации, измерительные приборы).