

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Введение в теорию синхронизации

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.05 Введение в теорию синхронизации относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать характеристики и особенности режимов сильного и слабого сигнала при вынужденной синхронизации. Знать основные математические модели систем автоматической синхронизации. ПК-1.2: Уметь применять методы усреднения для анализа процессов вынужденной и взаимной синхронизации. Уметь выполнять анализ устойчивости синхронных режимов.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи	ПК-2.1: Знать методы теории синхронизации, необходимые для приобретения новых знаний в области нелинейных колебаний и волн, математического моделирования, вычислительной биологии. ПК-2.2: Знать основные динамические режимы систем частотной и фазовой синхронизации. ПК-2.3:	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	ПК-2.3: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики	Уметь применять аппарат теории синхронизации, необходимый для дальнейшего изучения нелинейных колебательно-волновых явлений, математического моделирования, вычислительной биологии.		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Понятие вынужденной и взаимной синхронизации. Нелинейный консервативный осциллятор с внешней периодической силой	10		4	4	6
Автоколебательный осциллятор с внешней периодической силой	12		6	6	6
Система автоматической синхронизации с частотной автоподстройкой	12		6	6	6
Система автоматической синхронизации с фазовой автоподстройкой частоты	12		6	6	6
Взаимная синхронизация двух автоколебательных осцилляторов	10		4	4	6

Взаимная синхронизация в цепочке осцилляторов	10		4	4	6
Хаотическая синхронизация	5		2	2	3
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Понятие вынужденной и взаимной синхронизации
2. Нелинейный консервативный осциллятор с внешней периодической силой
 - a. Вывод укороченных уравнений
 - b. Нелинейный резонанс. Резонансные кривые
 - c. Устойчивость синхронного вынужденного колебания
3. Автоколебательный осциллятор с внешней периодической силой
 - a. Вывод укороченных уравнений
 - b. Резонансные кривые
 - c. Устойчивость и типы состояний равновесия укороченной системы
 - d. Режимы сильного и слабого внешнего сигнала и мультистабильности
 - e. Характер перехода от синхронизации к биениям в режимах сильного и слабого сигналов
4. Система автоматической синхронизации с частотной автоподстройкой (ЧАП)
 - a. Блок-схема системы ЧАП, построение модели операторным методом
 - b. Динамика системы ЧАП с интегрирующим фильтром 1 порядка
5. Система автоматической синхронизации с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ)
 - a. Блок-схема системы ФАПЧ, построение модели операторным методом
 - b. Динамика системы ФАПЧ без фильтра (с «идеальным фильтром»)
 - c. Динамика системы ФАПЧ с интегрирующим фильтром 1 порядка. Модель «кругового маятника с внешним моментом». Бифуркационная диаграмма. Фазовые портреты. Полосы захвата и удержания
 - d. Динамика системы ФАПЧ с интегрирующим фильтром 1 порядка и разделительным фильтром высоких частот. Построение «склеенных» фазовых портретов для кусочно-линейной характеристики фазового дискриминатора. Режим импульсной синхронизации (квазисинхронизации)
6. Взаимная синхронизация двух автоколебательных осцилляторов
 - a. Вывод укороченных уравнений
 - b. Фазовое приближение, уравнения Курамото. Бифуркационная диаграмма для фазового приближения
 - c. Бифуркационная диаграмма синхронных режимов для полной системы укороченных уравнений без использования фазового приближения. Режимы синхронизации, биений и «осцилляторной смерти»
7. Взаимная синхронизация в цепочке осцилляторов
 - a. Вывод укороченных уравнений
 - b. Уравнения фазового приближения (Курамото). Уравнения синхронного режима в рамках фазового приближения, их решение. Частота синхронизации
 - c. Условие существования синхронного режима. Режим кластерной синхронизации
8. Хаотическая синхронизация
 - a. Точная хаотическая синхронизация
 - b. Обобщенная хаотическая синхронизация

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Исследовать явление нелинейного резонанса в нелинейном консервативном осцилляторе с внешней периодической силой методом усреднения (Ван-дер-Поля).
 - a. Вывести укороченные уравнения.
 - b. Построить резонансные кривые.
 - c. Исследовать синхронные вынужденные колебания на устойчивость.
2. Исследовать явление вынужденной синхронизации в автоколебательном осцилляторе с внешней периодической силой методом усреднения (Ван-дер-Поля).
 - a. Вывести укороченные уравнения.
 - b. Построить резонансные кривые.
 - c. Исследовать состояния равновесия укороченной системы на устойчивость, определить их тип.
3. Исследовать динамику системы ЧАП с интегрирующим фильтром 1 порядка.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Исследовать динамику системы ФАПЧ без фильтра (с «идеальным фильтром»).
2. Вывести укороченные уравнения методом усреднения (Ван-дер-Поля) для взаимной синхронизации двух автоколебательных осцилляторов.
3. Вывести укороченные уравнения методом усреднения (Ван-дер-Поля) для взаимной синхронизации в цепочке осцилляторов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены

	обучающегося от ответа	ошибки	ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Вывод укороченных уравнений для нелинейного консервативного осциллятора с внешней периодической силой.

2. Резонансные кривые для нелинейного консервативного осциллятора с внешней периодической силой. Нелинейный резонанс.

3. Устойчивость синхронного вынужденного колебания для нелинейного консервативного осциллятора с внешней периодической силой.

4. Вывод укороченных уравнений для автоколебательного осциллятора с внешней периодической силой

5. Резонансные кривые для автоколебательного осциллятора с внешней периодической силой

6. Устойчивость и типы состояний равновесия в укороченной системе для автоколебательного осциллятора с внешней периодической силой

7. Режимы синхронизации осциллятора внешней периодической силой: режимы сильного и слабого сигнала и мультистабильности

8. Характер перехода от синхронизации к биениям в режимах сильного и слабого сигналов

9. Блок-схема системы ЧАП, построение модели операторным методом

10. Динамика системы ЧАП с интегрирующим фильтром 1 порядка

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

11. Блок-схема системы ФАПЧ, построение модели операторным методом

12. Динамика системы ФАПЧ без фильтра (с «идеальным фильтром»)

13. Динамика системы ФАПЧ с интегрирующим фильтром 1 порядка. Модель «кругового маятника с внешним моментом». Бифуркационная диаграмма. Фазовые портреты. Полосы захвата и удержания

14. Динамика системы ФАПЧ с интегрирующим фильтром 1 порядка и разделительным фильтром высоких частот. Построение «склеенных» фазовых портретов для кусочно-линейной характеристики фазового дискриминатора. Режим импульсной синхронизации (квазисинхронизации)

15. Вывод укороченных уравнений для двух взаимодействующих автоколебательных осцилляторов.

16. Фазовое приближение и уравнения Курамото для двух взаимодействующих автоколебательных осцилляторов. Бифуркационная диаграмма для фазового приближения.

17. Бифуркационная диаграмма синхронных режимов для полной системы укороченных уравнений двух взаимодействующих автоколебательных осцилляторов (без использования фазового приближения). Режимы синхронизации, биений и «осцилляторной смерти»

18. Вывод укороченных уравнений для цепочки осцилляторов

19. Уравнения фазового приближения (Курамото) для цепочки осцилляторов. Уравнения синхронного режима в рамках фазового приближения, их решение. Частота синхронизации

20. Условие существования синхронного режима в цепочке осцилляторов в рамках фазового приближения.

21. Кластерная синхронизация

22. Точная хаотическая синхронизация

23. Обобщенная хаотическая синхронизация

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

- Осипов Григорий Владимирович. Синхронизация внешним периодическим воздействием : учебное пособие / Г. В. Осипов, А. В. Половинкин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Радиофиз. фак. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2005. - 78 с. - Текст : электронный, <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=824574&idb=0>.
- Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / пер. с англ. А. С. Пиковского, М. Г. Розенблюма. - М. : Техносфера, 2003. - 496 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 5-94836-020-2 : 270.00., 23 экз.

Дополнительная литература:

1. Устойчивость, структуры и хаос в нелинейных сетях синхронизации / под общ. ред. А. В. Гапонова-Грехова, М. И. Рабиновича ; АН СССР, Ин-т приклад. физики. - Горький, 1989. - 253 с. - 1.70., 4 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Лекция Стивена Строгатца «Наука о синхронизации» (Steven Strogatz, “The science of sync”) – видеоматериал (английский язык), стенограмма и субтитры (19 языков, включая русский)

http://www.ted.com/talks/steven_strogatz_on_sync/transcript?language=ru

Опыт «Синхронизация метрономов» (видеоматериал)

<http://www.youtube.com/watch?v=W1TMZASCR-I>

<http://www.youtube.com/watch?v=JWToUATLGzs>

Опыт «Синфазная и противофазная синхронизация автоколебаний пламени» (видеоматериал)

<http://www.youtube.com/watch?v=ndNBSgUd-vU>

<http://www.youtube.com/watch?v=ld9KHCQ22-4>

Статья «Синхронизация вспышек светлячков» (на английском языке) и видеоматериал

<http://phys.org/news197815725.html>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Канаков Олег Игоревич, доктор физико-математических наук.

Рецензент(ы): Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Матросов Валерий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.