

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**А.В. Дворкович**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Электронные методы физических исследований
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра радиотехники и систем управления
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составили:

А.А. Григорьев, канд. техн. наук, доцент, доцент

А.М. Бибилов, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры радиотехники и систем управления 24.04.2020

## Аннотация

Ознакомление с принципами применения методов аналоговой и цифровой электроники в физическом эксперименте. Основы теории электрических цепей, усилительная техника, шумы в электронных схемах. Комбинаторные и триггерные цифровые схемы. Принципы дасеретизации сигналов, цифровая обработка. Программируемые контроллеры и большие интегральные схемы.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

познакомить студентов, специализирующихся в области общей и прикладной физики, с основными идеями аналоговой и цифровой электроники с точки зрения ее применения для регистрации и обработки данных в физическом эксперименте.

#### Задачи дисциплины

- 1) разъяснение места и роли электронных средств наблюдения, регистрации и обработки данных в физическом эксперименте;
- 2) приобретение учащимися начальных навыков работы с электронными схемами и дальнейшее развитие умения работать с измерительными приборами;
- 3) ознакомление с особенностями методов анализа характеристик средств современной электроники и их влияния на качество результатов измерений;
- 4) ознакомление с принципами работы цифровых средств регистрации на базе микроконтроллеров и программируемых СБИС.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

принцип действия и свойства основных компонентов, образующих элементную базу аппаратных средств современной электроники.

уметь:

проводить наблюдения и измерения с использованием аппаратных средств современной электроники.

владеть:

основными методами теоретического рассмотрения свойств аппаратных средств современной электроники и учета влияния их характеристик на результаты экспериментального исследования.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы теории электрических цепей	2	2		2
2	Цепи с сосредоточенными параметрами	6	6		6
3	Цепи с распределенными параметрами	4	4		4
4	Полупроводниковая усилительная техника	6	6		6
5	Дифференциальная схемотехника	4	4		4
6	Операционный усилитель	8	8		8
7	Шумы в электронных схемах	6	6		6
8	Комбинаторная логика	2	2		2
9	Конечные автоматы	8	8		8
10	Теория дискретизации времени, БПФ	6	6		6
11	Микроконтроллеры	4	4		4
12	Программируемая логика	4	4		4
Итого часов		60	60		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

## 1. Основы теории электрических цепей

Методы контурных токов и узловых потенциалов. Теоремы Тевенина и Нортона. Системы параметров линейных трехполюсников.

## 2. Цепи с сосредоточенными параметрами

Передающая функция, импеданс. Импульсная реакция и переходная характеристика.

## 3. Цепи с распределенными параметрами

Телеграфные уравнения. Представление о бегущих волнах. Коэффициент отражения. Зависимость входного импеданса линии от ее длины. Четверть-волновой отрезок как резонатор.

Переходные процессы в длинной линии.

## 4. Полупроводниковая усилительная техника

Биполярный и полевой транзисторы. Схемы усилителей. Задание начального режима. Эквивалентные схемы. Оценивание малосигнальных параметров усилителей. Частотные свойства.

## 5. Дифференциальная схемотехника

Представление о дифференциальном сигнале. Дифференциальная пара. Дифференциальный усилитель. Схемы генераторов тока. Токовое зеркало. Динамическая нагрузка.

## 6. Операционный усилитель

Операционный усилитель (ОУ) как компонент петли обратной связи, его частотные свойства. Схемы масштабных усилителей на ОУ. Активные фильтры. Конвертеры и инверторы сопротивления. Схемы с положительной обратной связью - триггеры Шмидта и мультивибраторы.

Семестр: 8 (Весенний)

## 7. Шумы в электронных схемах

Корреляционная теория шумов - функции корреляции и спектральные плотности. Сложение спектральных плотностей некоррелированных шумов. Преобразование плотности шума при линейной фильтрации - теория Винера-Хинчина. Отношение сигнал/шум. Коэффициент шума.

## 8. Комбинаторная логика

Логические функции. Булева алгебра. Элементарные вентили.

Нормальные формы реализации булевых функций. Дешифраторы, мультиплексоры.

Арифметические структуры - инкрементор/декрементор, сумматор, умножитель.

## 9. Конечные автоматы

Концепция конечного автомата. Регистровая логика. Сдвиговые регистры, Счетчики. Накапливающие сумматоры. Логика поразрядного уравнивания.

## 10. Теория дискретизации времени, БПФ

Дискретизация времени, спектры дискретизованных сигналов. Теорема о выборках. Дискретное преобразование Фурье как метод спектрального анализа. Быстрые алгоритмы вычисления дискретного преобразования Фурье.

## 11. Микроконтроллеры

Структурная схема микроконтроллера - ядро, адресные пространства, периферийные блоки. Представление о системе команд. Элементы программирования микроконтроллеров.

## 12. Программируемая логика

Программируемые логические схемы FPGA. Схемы элементарных ячеек, Трассировочные ресурсы. Принципы разработки больших интегральных схем на FPGA

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для занятий:

- 1) Учебная аудитория.
- 2) Компьютер, беспроводной проектор, экран.
- 3) Локальная сеть, обеспечивающая доступ к учебно-методическому обеспечению.
- 4) Информационно-измерительный комплекс на рабочем месте каждого студента, включающий компьютер, двухлучевой цифровой осциллограф и цифровой генератор сигналов, частотомер.
- 5) Сопрягаемые с компьютерными генератором и осциллографом макетные платы для сборки схем.
- 6) Необходимые радиоэлектронные компоненты: резисторы, конденсаторы, транзисторы, интегральные схемы, кварцевые резонаторы, микропроцессоры, кабели, соединительные провода.
- 7) Лабораторный инструмент.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Аналоговая электроника [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Л. Ларин ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) . — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МФТИ, 2013 . — 268 с.
2. Основы цифровой электроники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Л. Ларин ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) . — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МФТИ, 2014 . — 281 с.
3. Полупроводниковая схемотехника [Текст] : в 2 т. Т. 1 / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева . — М. : Додэка-XXI, 2008 . — 832 с.
4. Полупроводниковая схемотехника [Текст] : в 2 т. Т. 2 / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева . — М. : Додэка-XXI, 2008 . — 942 с.

### Дополнительная литература

1. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] : учебник для вузов / С. И. Баскаков . — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 2000, 2005 . — 466 с.
2. Случайные сигналы и шумы. Моделирование в среде MATLAB [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. В. Воронов ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) . — М. : МФТИ, 2012 . — 124 с.
3. Начала цифровой обработки сигналов [Текст] : для студентов-физиков с упражнениями в MATLAB : учеб. пособие для вузов / Е. В. Воронов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) . — М. : МФТИ, 2010 . — 160 с.
4. Проектирование цифровых устройств [Текст] : в 2 т. Т. 1 : [учеб. пособие для вузов] / Дж. Ф. Уэйкерли ; пер. с англ. Е. В. Воронова, А. П. Ларина . — М. : Постмаркет, 2002 . — 528 с.
5. Проектирование цифровых устройств [Текст] : в 2 т. Т. 2 : [учеб. пособие для вузов] / Дж. Ф. Уэйкерли ; пер. с англ. Е. В. Воронова, А. Л. Ларина . — М. : Постмаркет, 2002 . — 528 с.

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Программное обеспечение: Micro-Cap, AVR Studio, PonyProg, MATLAB.

Следующие учебные программы, разработанные на кафедре:

- 1) Набор специальных учебных программ для Micro-Cap.
- 2) Набор специальных учебных программ для AVR Studio.
- 3) Набор специальных учебных программ для MATLAB.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Методические указания для обучающихся предоставляются в электронном виде (файлы Word и PDF) в форме подробного описания теоретической и практической частей каждого лекционно-семинарского занятия.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра радиотехники и систем управления
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

А.А. Григорьев, канд. техн. наук, доцент, доцент

А.М. Бибилов, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Электронные методы физических исследований» обучающийся должен:

### знать:

принцип действия и свойства основных компонентов, образующих элементную базу аппаратных средств современной электроники.

### уметь:

проводить наблюдения и измерения с использованием аппаратных средств современной электроники.

### владеть:

основными методами теоретического рассмотрения свойств аппаратных средств современной электроники и учета влияния их характеристик на результаты экспериментального исследования.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю



Текущий контроль проводится устным опросом по результатам прошедшего занятия ---- лекционной и семинарской частей.

Курсовая работа 7 семестра

1. Расчет и реализация аналогового фильтра
2. Расчет и реализация усилителя с обратной связью.
3. Реализация автогенератора на операционном усилителе.

Курсовая работа 8 семестра

1. Расчет и реализация цифрового фильтра.
2. Реализация программы для микроконтроллера по выбору преподавателя.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Дифференцированный зачет производится по итогам коллоквиумов (по итогам сдачи практических работ). При необходимости организуется специальный опрос в устной форме по всему материалу.

В течение семестра проводятся коллоквиумы по темам 1, 2, 3, 4, 5 и 6.

Коллоквиум по теме «Усиление электрических сигналов»:

Коллоквиум (сдача работы) проводится путем опроса в устной форме по окончании выполнения лабораторной работы № 28.

Вопросы, которые могут быть заданы учащемуся на этом коллоквиуме, зависят от представленных им результатов выполнения лабораторной работы, относящейся к этой теме. В частности, преподаватель совместно со студентом убеждается в том, что результаты проведенных измерений количественно согласуются с теоретическими оценками и находятся в необходимом взаимном соответствии между собой.

Примеры других вопросов, которые могут быть заданы на этом коллоквиуме:

1. В чем заключаются достоинства и недостатки стабилизированной схемы усилителя на биполярном транзисторе по сравнению с нестабилизированной схемой?
2. Что происходит с частотной характеристикой усилителя при изменении режима транзистора по постоянному току?
3. Почему максимальный неискаженный сигнал на выходе оказывается меньшим при подключении внешней нагрузки?

Коллоквиум по теме «Применения операционных усилителей»:

Коллоквиум (сдача работы) проводится путем опроса в устной форме по окончании выполнения лабораторной работы № 77.

Вопросы, которые могут быть заданы учащемуся на этом коллоквиуме, зависят от представленных им результатов выполнения лабораторной работы, относящейся к этой теме. В частности, преподаватель совместно со студентом убеждается в том, что результаты проведенных измерений количественно согласуются с теоретическими оценками и находятся в необходимом взаимном соответствии между собой.

Примеры других вопросов, которые могут быть заданы на этом коллоквиуме:

1. При каких условиях сигнал на выходе интегратора близок по форме к интегралу от сигнала на входе?
2. Как простейшим способом изменить схему самовозбуждающегося мультивибратора для того чтобы сигнал на его выходе принял форму периодически повторяющихся коротких прямоугольных импульсов?
3. В чем заключается роль полевого транзистора в схеме RC-генератора гармонических колебаний, изучаемой в данной лабораторной работе?

Коллоквиум по теме «Генерирование гармонических колебаний»:

Коллоквиум (сдача работы) проводится путем опроса в устной форме по окончании выполнения лабораторной работы № 05.

Вопросы, которые могут быть заданы учащемуся на этом коллоквиуме, зависят от представленных им результатов выполнения лабораторной работы, относящейся к этим темам. В частности, преподаватель совместно со студентом убеждается в том, что результаты проведенных измерений количественно согласуются с теоретическими оценками и находятся в необходимом взаимном соответствии между собой.

Примеры других вопросов, которые могут быть заданы на этом коллоквиуме:

1. В чем заключаются принцип действия трехточечной схемы LC-генератора?
2. Каковы достоинства схемы LC-генератора на основе дифференциального усилителя по сравнению со схемами LC-генераторов на одном биполярном транзисторе?
3. Где на оси частот располагается частота генерируемых колебаний LC-генератора с кварцевой стабилизацией частоты в случае, когда частота настройки LC-контура отличается от частоты последовательного резонанса кварца?

Коллоквиум по теме «Цепи с распределенными параметрами»:

Коллоквиум (сдача работы) проводится путем опроса в устной форме по окончании выполнения лабораторной работы № 79.

Вопросы, которые могут быть заданы учащемуся на этом коллоквиуме, зависят от представленных им результатов выполнения лабораторной работы, относящейся к этой теме. В частности, преподаватель совместно со студентом убеждается в том, что результаты проведенных измерений количественно согласуются с теоретическими оценками и находятся в необходимом взаимном соответствии между собой.

Примеры других вопросов, которые могут быть заданы на этом коллоквиуме:

1. Как выглядит стоячая волна напряжения вдоль разомкнутой линии с потерями (выполнено условие Хевисайда) при синусоидальном воздействии на входе?
2. Форма сигнала на выходе линии с потерями (выполнено условие Хевисайда) при единичном скачке напряжения на входе и сопротивлении нагрузки, не равном волновому сопротивлению линии?
3. Реакция линии без потерь (форма сигнала на входе и на выходе линии), когда нагрузкой на выходе линии служит емкость  $C$ , а на вход подается единичный скачок от источника напряжения с выходным сопротивлением, равным волновому сопротивлению линии?

Коллоквиум по теме «Элементы цифровой электроники»:

Коллоквиум (сдача работы) проводится путем опроса в устной форме по окончании выполнения лабораторной работы № 01.

Вопросы, которые могут быть заданы учащемуся на этом коллоквиуме, зависят от представленных им результатов выполнения лабораторных работ, относящихся к этим темам. В частности, преподаватель совместно со студентом убеждается в том, что результаты проведенных измерений количественно согласуются с теоретическими оценками и находятся в необходимом взаимном соответствии между собой.

Примеры других вопросов, которые могут быть заданы на этом коллоквиуме:

1. Объяснить принцип действия логических схем И-НЕ и ИЛИ-НЕ в комплементарной МОП-логике.
2. Как с помощью двоичных счетчиков реализует счет по модулю, не равному целой степени 2?
3. Каковы свойства последовательностей максимальной длины, генерируемых регистрами сдвига с обратной связью?
4. В чем заключается достоинство аналого-цифрового преобразователя последовательных приближений по сравнению с аналого-цифровыми преобразователями другого типа?

Коллоквиум по теме «Применение средств вычислительной техники»:

Коллоквиум (сдача работы) проводится путем опроса в устной форме по окончании выполнения лабораторной работы № 02.

Вопросы, которые могут быть заданы учащемуся на этом коллоквиуме, зависят от представленных им результатов выполнения лабораторных работ, относящихся к этим темам. В частности, преподаватель совместно со студентом убеждается в том, что результаты проведенных измерений количественно согласуются с теоретическими оценками и находятся в необходимом взаимном соответствии между собой.

Примеры других вопросов, которые могут быть заданы на этом коллоквиуме:

1. Каково назначение функциональных узлов в микроконтроллере?
2. Как осуществляется обмен данными между микроконтроллером и внешним миром посредством портов?
3. Какова последовательность действий, реализуемых в микроконтроллере при обработке прерываний?
4. Как можно управлять частотой генерируемых микроконтроллером прямоугольных колебаний?

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на все 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 9 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 8 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 7 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 6 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 5 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 4 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 3 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 2 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 1 из 10 заданных ему вопросов.

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

При проведении устного опроса обучающемуся предоставляется 30 мин. на подготовку. Опрос обучающегося не превышает двух астрономических часов.