

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
**Радиоэлектронные измерения БЗ.ДВ.10**

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Радиофизические методы по областям применения (Радиофизические измерения)

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Лунев И.В.

**Рецензент(ы):**

Гаврилов А.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Овчинников М. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6152114

Казань  
2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) главный инженер проекта Лунев И.В. Федеральный центр коллективного пользования физико-химических исследований веществ и материалов Приволжского Федерального округа КФУ , Lounev75@mail.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины (модуля) "Радиоэлектронные измерения" является изучение метрологических параметров и классификации методов, средств и объектов измерений в приложении к электрическим величинам. Информационно-энергетические соотношения измерительного процесса. Предельная термодинамическая погрешность измерений физических величин с амплитудой, временной и частотной модуляцией.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.10 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Курс предназначен для студентов 3 курса, 6 семестр

Б3.ДВ.10 профессиональный цикл

Для освоения содержания дисциплины необходимо знание основ математического анализа, физики. Она формирует общекультурные и профессиональные компетенции, необходимые для прохождения учебной и производственной практик, освоения модулей профессионального цикла.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения исследовательских задач (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики (в соответствии с профилем подготовки) и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Методы и средства измерения времени и частоты, напряжения и мощности. Методы и средства измерения параметров электрических цепей. Структуры аналоговых и аналого-цифровых преобразователей на базе линейных интегральных схем.

2. должен уметь:

формулировать цель исследования, обосновать выбор метода и условия достижения цели, определять основные параметры изучаемых устройств;

3. должен владеть:

методами обработки информации.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

использовать базовые теоретические знания, практические навыки и умения для участия в научных и научно-прикладных исследованиях и аналитической деятельности.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Тема 1. Метрологические параметры и определения.	6	1-4	0	0	9	
2.	Тема 2. Тема 2. Информационно-энергетические характеристики.	6	5-8	0	0	9	
3.	Тема 3. Тема 3. Измерение электрических величин.	6	9-11	0	0	9	
4.	Тема 4. Тема 4. Структуры аналоговых и аналого-цифровых преобразователей на базе линейных интегральных схем.	6	12-14	0	0	9	
	Тема . Итоговая форма контроля	6		0	0	0	зачет
	Итого			0	0	36	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Тема 1. Метрологические параметры и определения.**

**лабораторная работа (9 часа(ов)):**

Физическая величина, измерения, единицы измерения, погрешность и точность, методы и средства измерений. Метрология и метрологическая служба. Поверочная схема. Классификация методов измерений, классификация средств измерений, структура измерительного прибора (прямого действия и сравнения). Нормирование погрешностей средств измерений (мультипликативная и аддитивная составляющие), класс прибора. Функция преобразования измерительного прибора, чувствительность, порог чувствительности, разрешающая способность, динамический диапазон, рабочий диапазон, время измерения, нормальные и рабочие условия, дополнительная погрешность. Классификация погрешностей, природа погрешностей, способы уменьшения погрешностей. Измерительные преобразователи в структуре прибора, классификация и назначение, требования к характеристикам. Роль автоматизации измерений в задаче повышения точности, быстродействия, надежности и расширения возможностей измерительной техники.

## **Тема 2. Тема 2. Информационно-энергетические характеристики.**

### ***лабораторная работа (9 часа(ов)):***

Классификация сигналов и их характеристики. Детерминированные и недетерминированные сигналы. Теорема Котельникова. Спектр сигнала и мощность шума, роль экспоненциального и линейного усреднения, применения интегрирующего звена и стробируемого интегратора, время измерения. Происхождение шумов на входе первичного измерительного преобразователя. Вероятностные и энтропийные способы оценки случайной погрешности. Энтропийная погрешность и энтропийная мощность некоторых распределений. Термодинамический энергетический порог чувствительности амплитудно модулированной физической величины Информационная способность прибора и предельная информационная способность сигнала АМ. Оптимальный динамический диапазон прибора. Виды модуляции сигнала. Информационная способность сигнала ВМ и ЧМ, сравнительный анализ АМ, ВМ, ЧМ. Особенности применения КИМ, роль последовательного набора измерительных преобразователей.

## **Тема 3. Тема 3. Измерение электрических величин.**

### ***лабораторная работа (9 часа(ов)):***

Единицы измерения электрических физических величин. Эталоны и меры. Электронные методы и средства измерения временных интервалов. Эталоны, образцовые меры и синхронизаторы, осцилографический метод, метод последовательного счета, метод задержанных совпадений, нониусный метод, метод с промежуточным преобразованием, особенности автоматизации. Методы и средства измерения частоты электрических колебаний. Эталоны и образцовые меры частоты. Метод ФАПЧ и АПЧ в цепях синхронизации и стабилизации частоты гетеродина. Структурные схемы и методы гетеродинных измерителей частоты. Простейшая схема синтезатора частоты на основе цифровых МС ТТЛ. Кварцевые генераторы, характеристики кварцевого резонатора и эквивалентная схема. Транзисторные автогенераторы и генераторы на цифровых МС. Измерения и расчет параметров кварцевого резонатора. Измерения сдвига фаз и фазовращатели. Осцилографический метод, балансный фазовый детектор, преобразование сдвига фаз во временной интервал. Структура и происхождение погрешностей преобразования и измерения. Связь методов измерения фазы с измерением времени и амплитуды и с измерением временных параметров переходных сигналов. Методы измерения постоянных, мгновенных и средних значений напряжения. Эталонные, образцовые и рабочие меры напряжения. Эталоны и меры сопротивления, емкости, индуктивности, их эквивалентные схемы, классы, конструкция. Построение многозначных мер напряжения на основе ЦАП (структура с весовыми резисторами и R-2R матрица). Аналоговые и цифровые методы автокомпенсации, приборы непосредственной оценки, дифференциальные и сравнения. АЦП поразрядного уравнивания. Использование промежуточного преобразователя амплитуда-время. Метод двойного интегрирования. Преобразование в частоту с использованием импульса постоянной вольт-секундной площади. Параллельные АЦП. Взаимосвязь времени измерения и погрешности. Преобразователи переменного напряжения в постоянное: детекторы амплитудные, средних значений, пиковые. Линеаризация характеристик измерительных преобразователей методом взаимообразных преобразований. Измерения переменных напряжений. Методы и приборы измерения среднеквадратичных напряжений и мощности использующие автокомпенсацию с взаимообразным преобразованием на основе термопреобразователей. Методы измерения параметров двухполюсников. Метод вольтметра амперметра. Способы подключения двухполюсников, метод непосредственной оценки сопротивления. Мостовые методы измерения сопротивления, индуктивности, емкости. Резонансный и генераторный методы измерения емкости и индуктивности. Метод измерения с промежуточным преобразованием в интервал времени.

#### **Тема 4. Структуры аналоговых и аналого-цифровых преобразователей на базе линейных интегральных схем.**

##### ***лабораторная работа (9 часа(ов)):***

Масштабные усилители. Технология гибридных и интегральных МС и физические особенности элементов структуры. ОУ, параметры идеального и реального ОУ. Входной дифференциальный каскад, коэффициент усиления по прямому и инвертирующему входу, коэффициент подавления синфазной составляющей. Элементы внутренней схемотехники и полная схема ОУ. Эквивалентная схема ОУ. Отрицательные обратные связи в схемах усилителей на ОУ (нагрузка в цепи ОС). Неинвертирующий масштабный усилитель, полное выражение коэффициента передачи, входного и выходного сопротивления, коэффициент подавления синфазной составляющей. Инвертирующий масштабный усилитель, полное выражение коэф. усиления, входное сопротивление. Ошибки масштабных усилителей и их коррекция. АЧХ ОУ и масштабных усилителей, коррекция. Избирательные усилители на основе ОУ. Особенность включения ОУ в режиме усиления переменного напряжения. Дифференциальный масштабный усилитель на одном, двух и трех ОУ, особенность режима с подавлением помехи общего типа, применение. Схемы стабилизации и коррекции дрейфа масштабных усилителей, схемы ШПУ с МДМ, применение. Стабилизаторы напряжения и тока на основе ОУ. Схема суммирования и преобразования тока для ЦАП и АЦП. Логарифматоры и антилогарифматоры. Детекторы и ограничители. Компараторы уровней, регенеративный компаратор, микросхемы компараторов. Интегратор на ОУ, ошибки интеграторов, применение. Мультивибраторы на основе ОУ. ОУ в схемах измерителей сопротивления (преобразователи сопротивления в напряжение) ОУ в схемах измерителей напряжения (интегрирующие преобразователи напряжение-время и напряжение-частота). Активные фильтры на основе ОУ. Генераторы гармонических сигналов на ОУ. Шумы ОУ.



### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Тема 1. Метрологические параметры и определения.	6	1-4	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
2.	Тема 2. Тема 2. Информационно-энергетические характеристики.	6	5-8	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
3.	Тема 3. Тема 3. Измерение электрических величин.	6	9-11	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
4.	Тема 4. Тема 4. Структуры аналоговых и аналого-цифровых преобразователей на базе линейных интегральных схем.	6	12-14	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
	Итого				36	

### 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Используются такие интерактивные формы обучения как обсуждение теоретических вопросов, подготовка и представление докладов, проведение блиц-опросов.

### 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

#### Тема 1. Тема 1. Метрологические параметры и определения.

устный опрос, примерные вопросы:

Вопросы к зачету по теме 1 1. Физическая величина, классификация методов и средств измерений, нормирование погрешностей средств измерения. 2. Структура и функция преобразования измерительного прибора, метрологические параметры измерительного прибора. 3. Классификация сигналов и их характеристики, теорема Котельникова. 4. Схема измерителя напряжения с поразрядным уравниванием на основе ЦАП, компаратора и преобразователя последовательного кода в параллельный. 5. Параметры шума. Шумовые характеристики прибора и его структурные особенности для целей оптимального выделения сигнала. 6. Вероятностные и энтропийные способы оценки погрешности. Термодинамический энергетический порог чувствительности амплитудно-модулированной физической величины. 7. Разрешающая и информационная способность измерительного прибора и АМ сигнала. 8. Сравнительный анализ информационной способности сигналов АМ, ВМ, ЧМ. 9. Методы и средства измерения временных интервалов.

#### Тема 2. Тема 2. Информационно-энергетические характеристики.

устный опрос, примерные вопросы:

Вопросы к зачету по теме 2 1. Методы измерения постоянных, мгновенных, средних, амплитудных и эффективных значений напряжения. 2. Эталонные, образцовые и рабочие меры напряжения и сопротивления. 3. Эталонные, образцовые и рабочие меры емкости и индукции. 4. Преобразование для измерения параметров переменного напряжения на основе ОУ. Методом взаимобразных преобразований. 5. Многозадачные меры напряжения на основе ЦАП с весовыми резисторами и матрицей R-2R. 6. Мостовые методы измерения сопротивления емкости и индукции. 7. Приборы и методы измерения среднеквадратичных значений напряжения и мощности переменного тока. 6. Резонансный и генераторный метод измерения емкости и индуктивности, методом с промежуточным преобразованием в интервал времени. 8. Схема синтезатора частоты на основе генератора управляемого напряжением и цепи ФАПЧ

### **Тема 3. Тема 3. Измерение электрических величин.**

устный опрос, примерные вопросы:

Вопросы к зачету по теме 3 1. Кварцевый резонатор и кварцевый генератор. Характеристики, измерение параметров, схемные решения. 2. Стабилизаторы напряжения и тока на основе ОУ 3. Параметры идеального и реального операционного усилителя и компаратора, регенеративный компаратор. 4. Входной дифференциальный каскад ОУ, коэффициент усиления дифференциального сигнала и подавления синфазной составляющей. Дифференциальное включение ОУ, 5. Интегратор на основе ОУ, ошибки интегрирования, применение. 6. Генераторы гармонических сигналов на основе ОУ 7. Инвертирующий масштабный усилитель на основе ОУ, параметры и погрешность. Преобразователь тока в напряжении. 8. Внутренняя схемотехника ОУ, эквивалентная схема ОУ, АЧХ ОУ и способы коррекции.

### **Тема 4. Тема 4. Структуры аналоговых и аналого-цифровых преобразователей на базе линейных интегральных схем.**

устный опрос, примерные вопросы:

Вопросы к зачету по теме 4 1. Схемы стабилизации и коррекции дрейфа масштабных усилителей на основе ОУ. 2. Логарифматоры и антилогарифмометры на основе ОУ 3. Усилители переменного напряжения на основе ОУ. 4. Неинвертирующий масштабный усилитель, параметры и ошибки, способы коррекции. 5. Отличие методов ФАПЧ и АПЧ, синхронизация кварцевого генератора квантовым генератором (структурная схема). 6. Детекторы и ограничители на основе ОУ, схемные решения, характеристики ограничивающие линейность и быстродействие. 7. Интегрирующие преобразователи на основе ОУ, напряжение ? время, напряжение ? частота. 8. ОУ в схемах измерителей сопротивления.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Для аттестации студентов проводится зачет.

#### **7.1. Основная литература:**

Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. - 3-е изд., испр. - М.: Академия, 2006. - 336 с.

Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и средства измерения параметров двухполюсных электрических цепей/ В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. "Физматлит", 2012. - 195 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/48294/>

Батоврин В.К. LabViewW: Практикум по электронике и микропроцессорной технике / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В."Мошкин. "ДМК Пресс", 2010. - 182 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/40005/>

#### **7.2. Дополнительная литература:**



Афонский А.А. Дьяконов В.П. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике/А.А. Афонский В.П. Дьяконов. "ДМК Пресс", 2011. - 688 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/900/>

Кравченко В.Ф. Вычислительные методы в современной радиофизике /В.Ф. Кравченко, О.С.Лабунько, А.М. Лерер, Г.П. Синявский. - "Физматлит", 2009. - 464 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/2216/>

Виноградов Ю.А. Практическая радиоэлектроника / Ю.А. Виноградов, С.А. Бирюков, В.А. Васильев. "ДМК Пресс", 2007. - 288 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/826/>

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Быстродействующие аналого-цифровые преобразователи - <http://shackmaster.narod.ru/flashadc.htm>

Главный форум метрологов - <http://metrologu.ru/info/metrologia/>

Методы и средства измерений электрических величин. Конспект лекции - <http://studopedia.ru/misi.php>

Учебное пособие - [http://sernam.ru/book\\_tec.php](http://sernam.ru/book_tec.php)

Цифро-аналоговые преобразователи - <http://cxem.net/beginner/beginner90.php>

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Радиоэлектронные измерения" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Перечень материально-технического обеспечения включает в себя:

- стационарное и переносное демонстрационное оборудование (мультимедийные проекторы, ноутбуки)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Радиофизические методы по областям применения (Радиофизические измерения) .

Автор(ы):

Лунев И.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Гаврилов А.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.