



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВПО «ИГУ»
Кафедра радиофизики и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

“ ___ ” _____ 201__ г.

ПРОГРАММА
итогового государственного экзамена
ИТОГОВЫЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКЗАМЕН

для студентов направления:

011800.62 Радиофизика

Согласовано с УМК факультета Рекомендовано кафедрой:
(института)

Протокол №__ от «__» _____ 20__ г. Протокол № _____
Председатель _____ От «__» __ _____ 2015 г.

Зав.кафедрой _____ Сажин В.И.
(ФИО)

Иркутск 2015г.

1. Радиоэлектроника

Программа курса

Тема 1. Линейные и нелинейные цепи

- 1.1. Основные понятия радиоэлектроники. Примеры использования. Определение сигналов, их типы и методы описания.
- 1.2. Классификация и описание цепей. Определение линейных цепей. Линейные и нелинейные преобразования сигналов.
- 1.3. Метод комплексных амплитуд. Коэффициент передачи четырехполосника. Неискаженная передача сигналов.
- 1.4. Прохождение гармонических сигналов через пассивные линейные цепи. Частотные характеристики простейших RC и RL цепей.
- 1.5. Параллельный и последовательный колебательные контура. Резонансная характеристика колебательных контуров.
- 1.6. Связанные контура. Типы и коэффициенты связи. Резонансные явления в связанных контурах. Условия получения двугорбой резонансной характеристики. Многоконтурные колебательные системы.
- 1.7. Определение четырехполосника. Матричные представления четырехполосников (Z , Y , и h -матрицы). Параметры четырехполосников. Понятия обратимого и симметричного четырехполосников. Линеаризация параметров нелинейных четырехполосников.

Тема 2. Полупроводниковые приборы

- 2.1. Собственная и примесная электропроводность в полупроводниках. Ток дрейфа. Электронно - дырочный переход при прямом и обратном внешнем напряжении.
- 2.2. Полупроводниковые диоды. Вольтамперная характеристика p-n перехода, ее особенности и температурные свойства. Полупроводниковые приборы на основе p-n перехода и их применение.
- 2.3. Биполярные транзисторы. Управление током коллектора изменением тока базы. Коэффициенты передачи тока α и β транзистора. Простейший усилитель на транзисторе.
- 2.4. Основные схемы включения транзистора и их усилительные свойства.
- 2.5. Определение режима отсечки, линейного режима и режима насыщения транзистора. Входные и выходные статические характеристики транзистора. Графоаналитический расчет рабочего режима и коэффициента усиления схемы с общим эмиттером.
- 2.6. Методы уменьшения температурной зависимости в транзисторных усилителях. Схемы стабилизации рабочей точки.

Тема 3. Усилительные устройства

- 3.1. Общие сведения, классификация и основные характеристики усилителей. Типовые элементы транзисторного усилителя.
- 3.2. Шумы в усилительных каскадах. Отношение сигнал/шум и способы его увеличения.
- 3.3. Нелинейный режим работы транзисторного каскада, понятие коэффициента насыщения. Нелинейный режим – основа цифровой электроники.
- 3.4. Обратная связь в усилителях. Влияние обратной связи на основные параметры усилительного каскада.
- 3.5. Возникновение колебаний в усилителе с положительной обратной связью. Условия генерации. Типы генераторов и их схемы.

Литература

Основная

1. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи. Учебник для вузов. – М. Высш. шк., 2002.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учеб. пособие для ВУЗов – М.: Высшая школа, 2005.

Дополнительная

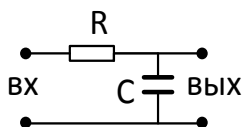
1. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для ВУЗов – М.: Радио и связь, 1990.
2. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Прянишников В.А. Электроника. Курс лекций. – СПб.: Корона принт, 1998.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для ВУЗов. – М: Радио и связь, 1986.

5. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов – М. : Горячая Линия – Телеком, 2000.

Пример решения типовой задачи

Задача. RC цепочка пропускает частоты от 0 до 1 кГц. Нарисовать ее схему, определить R и постоянную времени, если $C = 0,1$ мкФ.

Решение: По условиям задачи на выход цепочки проходят частоты менее 1 кГц, следовательно, это фильтр нижних частот (ФНЧ) первого порядка. Его схема выглядит так:



Постоянная времени этого фильтра $\tau = RC$, она связана с частотой среза фильтра: $\tau = 1/\omega_{cp} = 1/(2\pi f_{cp})$. По условию задачи $f_{cp} = 1$ кГц, следовательно, $R = \tau/C = 1/(2\pi f_{cp}C)$. Подставляя данные из условия задачи, получаем: $\tau = 1/(2 \cdot 3,14 \cdot 10^3) \approx 1,6 \cdot 10^{-4}$ с или 160 мкс, а $R = \tau/C = 1,6 \cdot 10^{-4}/10^{-7} = 1600$ Ом (1,6 кОм).

Вопросы для тестирования

1. По какому признаку элементы радиоэлектронных цепей делятся на пассивные и активные?
2. Приведите примеры пассивных радиоэлектронных цепей.
3. Изобразите графически амплитудно-частотную характеристику заданных RL и RC цепей.
4. Схема включения последовательного колебательного контура.
5. Схема включения параллельного колебательного контура.
6. Формулы для расчета колебательных контуров.
7. Применение колебательных контуров в радиотехнических устройствах.
8. Схемы связанных контуров, типы связи, коэффициент связи.
9. Электропроводность в полупроводниках (собственная электронная и дырочная, примесная).
10. Электронно - дырочный переход при прямом и обратном напряжении.
11. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода.
12. Применение полупроводниковых диодов.
13. Типы биполярных транзисторов, их обозначения на схемах.
14. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора.
15. Нагрузочная линия.
16. Расчет рабочего режима биполярного транзистора.
17. Влияние температуры на полупроводниковые приборы.
18. Основные схемы включения транзистора и их особенности.
19. Усилительный каскад по схеме с общим эмиттером. Принцип работы и основные параметры.
20. Пояснить принцип усиления электрических сигналов транзисторным усилителем.
21. Нарисовать схему типового усилительного каскада. Пояснить назначение всех элементов схемы.
22. Транзисторный каскад с последовательной и параллельной отрицательной обратной связью.
23. Каково влияние отрицательной обратной связи в усилителе на его коэффициент передачи, ширину полосы пропускания частот?
24. Общие сведения, классификация и основные параметры усилителей.

2. Распространение электромагнитных волн

Программа курса

1. Общие понятия физики волн

Волновое уравнение. Операторы Лапласа, Даламбера. Фурье-представление. Частота волны, волновой вектор. Дисперсионное соотношение. Фазовая и групповая скорость.

2. Электромагнитные волны в вакууме

Вывод уравнения для электромагнитных волн из уравнений Максвелла. Свойства электромагнитных волн в вакууме: поперечность, взаимная перпендикулярность электрического и магнитного поля, поляризация.

3. Электромагнитные волны в холодной плазме

Понятие плазмы. Уравнения 2-жидкостной гидродинамики в магнитном поле, их линеаризация. Вывод выражения для электрического тока в плазме. Вывод выражения для возмущения заряда из уравнения непрерывности. Волны при отсутствии магнитного поля: продольные и поперечные колебания, частота отсечки, фазовая и групповая скорость. Тензоры проводимости и диэлектрической проницаемости холодной плазмы в магнитном поле. Продольное распространение: право- и левополяризованная волны, высокочастотные и низкочастотные ветви (ионно-циклотронная, электронно-циклотронная, вистлеры, низкочастотная асимптотика). Поперечное распространение: обыкновенная и необыкновенная волны (высокочастотная, верхнегибридная, нижнегибридная). Произвольное распространение, ультранизкие частоты: альфвеновская волна, быстрый магнитный звук; три случая: и гирочастота протонов, и инерция электронов пренебрежимо малы, мала только гирочастота протонов (возникает инерционная альфвеновская волна), мала только инерция электронов (возникает сцепление альфвена и БМЗ за счет гирочастоты протонов). Резонансы: ионно-циклотронный, электронно-циклотронный, верхнегибридный, нижнегибридный, альфвеновский.

4. Волны в приближении 1-жидкостной МГД

Уравнения 1-жидкостной МГД. Вывод дисперсионных уравнений для альфвеновской волны, быстрого и медленного магнитного звука. Свойства этих мод.

5. Энергия электромагнитных волн

Вывод общего выражения для закона сохранения энергии в электромагнитном поле в дифференциальном и интегральном виде. Модификация этих выражений в диэлектрических и магнитных средах. Закон сохранения энергии электромагнитных волн в плазме. Усреднение энергии электромагнитных волн по периоду. Условие отсутствия энергетических потерь.

6. Волны в неоднородных средах

Уравнение Гельмгольца в неоднородной среде. Приближение Вентцеля-Крамерса-Бриллюена (ВКБ), условия его применимости. Случай обыкновенной точки поворота (отражения): уравнение Эйри, сшивка с решением ВКБ. Задача о распространении электромагнитной волны в неоднородной плазме без магнитного поля: точки поворота и резонанса, обход особенности в точке резонанса, выражения для компонент электрического и магнитного поля вблизи точки резонанса, поглощение энергии в точке резонанса.

7. Нестационарные волны

Уравнения для электромагнитных волн в диэлектрической и магнитной среде, возбуждаемых сторонними токами. Задача о внезапном волновом импульсе от поверхностного тока. Плавный импульс и групповая скорость волны.

Литература

а) основная литература

1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М. Наука, 1979, 1-е издание, 378 стр; М. Наука, 1990, 2-е издание, 432 стр.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М. Наука, 1986, 734 стр.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М. Наука, 1987, 248 стр.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М. Наука, 1982, 512 стр.
5. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М. Наука, 392 стр.
6. Кролл Н., Трайвелпис. Основы физики плазмы. М. Мир, 1975, 528 стр.

б) дополнительная литература

1. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М. Советское радио, 1988, 426 стр.
2. Гинзбург В.Л. Электромагнитные волны в плазме. М. Наука, 1967, 684 стр.
3. Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний. М. Наука, 1972, 472 стр.
4. Горелик Г.С. Колебания и волны. М. Физматгиз, 1959, 572 стр.
5. Железняков В.В. Электромагнитные волны в космической плазме. М. Наука, 1977, 432 стр.
6. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М. Наука, 1984, 432 стр.
7. Гинзбург В.Л. Теоретическая физика и астрофизика. М. Наука, 1975, 416 стр.
8. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М. Наука, 1971, 280 стр.
9. Лайтхилл Д. Волны в жидкостях. М. Мир, 1981, 600 стр.
10. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М. Наука, 1973, 720 стр.
11. Климантович Ю.Л. Статистическая физика. М. Наука, 1982, 608 стр.
12. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М. Мир, 1965, 704 стр.

Задача

Холодная плазма помещена в однородное магнитное поле B . Координатная ось z направлена вдоль магнитного поля, оси x и y — поперек. Концентрация плазмы n немонотонно зависит от координаты x , имея максимальное значение ρ_0 при $x = 0$. В плазме распространяется монохроматическая гидромагнитная волна с частотой ω и компонентами волнового вектора $k_y = 0$ и $k_z \neq 0$. Продольная компонента тензора диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\parallel} = -\infty$, поперечные компоненты $\varepsilon_{\perp} = c^2/v_A^2$, где c — скорость света, v_A — альфвеновская скорость. Запишите уравнение для компоненты электрического поля волны E_y , найдите собственные частоты резонатора для гидромагнитной волны с центром $x = 0$ в параболическом приближении.

Решение

Запишем уравнения Максвелла для низкочастотных волн с частотой ω в среде с диэлектрической проницаемостью ε :

$$\nabla \times \vec{E} = \frac{i\omega}{c} \vec{E}, \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{B} = -\frac{i\omega}{c} \hat{\varepsilon} \vec{E}. \quad (2)$$

Запишем z -компоненту уравнения (1):

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = \frac{i\omega}{c} B_z. \quad (3)$$

Запишем y -компоненту уравнения (2):

$$-\frac{\partial B_z}{\partial x} + ik_z B_x = -\frac{i\omega}{c} \frac{c^2}{v_A^2} E_y. \quad (4)$$

Продифференцируем (3) по x , домножим (4) на $-i\omega/c$, сложим что получилось:

$$E_y'' + \frac{\omega^2}{v_A^2} E_y = -\frac{k_z \omega}{c} B_x. \quad (5)$$

Выразим B_x из (1):

$$\frac{i\omega}{c} B_x = -ik_z E_y. \quad (6)$$

Подставив B_x отсюда в (5), получаем уравнение только на E_y :

$$E_y'' + \left(\frac{\omega^2}{v_A^2} - k_z^2 \right) E_y = 0. \quad (7)$$

В параболической модели вблизи $x = 0$ плотность представляется в виде

$$\rho = \rho_0 \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right). \quad (8)$$

Подставив это выражение в (7), получаем:

$$E_y'' + \left[\left(\frac{\omega^2}{B^2} 4\pi\rho_0 - k_z^2 \right) - \frac{\omega^2}{B^2} 4\pi\rho_0 \frac{x^2}{l^2} \right] E_y = 0. \quad (9)$$

Введем новую переменную $\xi = x/\lambda$, где λ будет определена ниже. Тогда уравнение (9) запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial \xi^2} + \left[\left(\frac{\omega^2}{B^2} 4\pi\rho_0 - k_z^2 \right) \lambda^2 - \frac{\omega^2}{B^2} 4\pi\rho_0 \frac{\xi^2}{l^2} \lambda^4 \right] E_y = 0. \quad (10)$$

Величину λ целесообразно определить следующим образом:

$$\frac{\omega^2}{B^2} 4\pi\rho_0 \frac{1}{l^2} \lambda^4 = 1, \quad (11)$$

или

$$\lambda^2 = \frac{Bl}{\omega\sqrt{4\pi\rho_0}}. \quad (12)$$

Теперь (10) переписывается в виде

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial \xi^2} + [a(\omega) - \xi^2] E_y = 0, \quad (13)$$

где

$$a(\omega) = \left(\frac{\omega^2}{B^2} 4\pi\rho_0 - k_z^2 \right) \frac{Bl}{\omega\sqrt{4\pi\rho_0}}. \quad (14)$$

Уравнение (14) совпадает с уравнением квантово-механического гармонического осциллятора. Решение этого уравнения получается по аналогии с квантовой механикой:

$$E_y = H_n(\xi) e^{-\xi^2/2}, \quad (15)$$

где n — целое число, H_n — полиномы Эрмита. Решение возможно при квантованном значении параметра a :

$$a(\omega)_n = 2n + 1, \quad (16)$$

откуда следует также квантование частоты волны ω .

3. Статистическая радиофизика

Программа курса

1. Случайные величины и их характеристики.
Функция распределения и плотности вероятности. Характеристическая функция. Моменты случайной величины. Нормальное распределение Центральная предельная теорема (Ляпунова).
2. Случайные процессы и их характеристики.
 - 2.1. Определение и вероятностное описание случайного процесса. Понятие статистического ансамбля. Вероятностное описание случайного процесса с помощью многомерных плотностей вероятностей. Корреляционная функция случайного процесса. Модели случайных процессов.
 - 2.2. Стационарные и эргодические случайные процессы.
Усреднение по статистическому ансамблю и по времени. Эргодичность случайных процессов. Энергетический спектр.
 - 2.3. Гауссовские случайные процессы.
Основные свойства гауссовских случайных процессов.
 - 2.4. Узкополосные случайные процессы
Функции корреляции и спектры АМ, ФМ и ЧМ модулированных случайных процессов. Узкополосный гауссовый шум. Распределение Релея. Детерминированный сигнал и гауссовый шум. Распределение Райса.
3. Отклик линейных и нелинейных цепей на шумовые воздействия.
Отклик линейной системы на шумовой воздействие. Преобразование спектра и корреляционной функции линейной системой. Дифференцирование и интегрирование случайных процессов.
4. Выделение сигнала из смеси сигнала и шума.
Корреляционный приемник и согласованный фильтр.
5. Источники шумов.
Тепловые флуктуации в проводниках. Флуктуационно-диссипативная теорема. Формула Найквиста. Дробовой шум. Формула Шотки.

Литература

- а) основная литература
- Петров А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. - М.: Радио и связь, 2007.
Тинин М.В. Статистическая радиофизика / М.В. Тинин. – Иркутск : Изд-во Иркут.гос. ун-та, 2008.
Ахманов и др. Статистическая радиофизика и оптика. - М.: Физматлит, 2010
- б) дополнительная литература
- Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1978.
.Якубов В.П. Статистическая радиофизика. - Изд-во ТГУ, 2006
Нефедов В.И., Сигов А.С. Основы радиоэлектроники и связи.М.: Высшая школа, 2009.
Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд. перераб. И дополненное. –М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.: ил.

Пример решения типовой задачи

Задача. Все значения непрерывной случайной величины X , принимающие значения из отрезка $[a, b]$, равновозможны. Записать выражение для плотности вероятности $f(x)$, найти математическое ожидание и дисперсию случайной величины.

Решение:

В силу равновозможности всех значений x из $[a, b]$ плотность вероятности $f(x)$ должна иметь на этом отрезке неизменное значение $f(x) = c$ Чтобы найти эту константу используем условие нормировки

$$\int_a^b f(x) dx = \int_a^b c dx = 1. \text{ Отсюда } c = \frac{1}{b-a}. \text{ Тогда } f(x) = \begin{cases} 1/b-a, & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{при других } x \end{cases}.$$

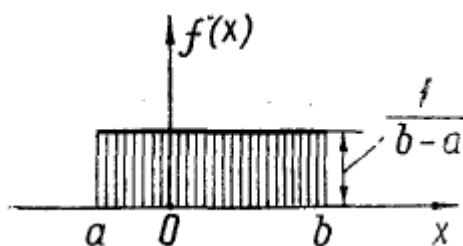


Рис.1. Равномерная плотность вероятности.

$$m_x = \int_a^b \frac{x}{b-a} dx = \frac{a+b}{2}$$

$$\sigma_x^2 = \int_a^b \left(x - \frac{a+b}{2}\right)^2 \frac{1}{b-a} dx = \frac{1}{12}(b-a)^2.$$

Вопросы для тестирования

- Функцией распределения вероятности называют:

 - функцию $F(x)$, определяющую вероятность того, что случайная величина X принимает значение, находящееся в интервале (x_1, x_2) . $F(x) = P(x_1 \leq X \leq x_2)$;
 - функцию $F(x)$, определяющую вероятность того, что случайная величина X принимает значение меньше x . $F(x) = P(X < x)$;
 - функцию $F(x)$, определяющую вероятность того, что случайная величина X принимает значение больше x . $F(x) = P(X > x)$.
- Перечислите свойства функции распределения

 - $1, F(x)$ – убывающая функция ;
 $F(-\infty) = 0, F(\infty) =$
 - $\infty, F(x)$ – неубывающая функция ;
 $F(-\infty) = 0, F(\infty) =$
 - $1, F(x)$ – неубывающая функция ;
- Плотность вероятности определяется:

 - $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$;
 - $f(x) = \int_{-\infty}^x F(y) dy$;
 - $f(x) = F(x_1) - F(x_2)$.
- Укажите свойства плотности вероятности

 - $f(x) \geq 0$;
 - $P(x_1 \leq X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$;
 - $P(x_1 \leq X < x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx$;
 - $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 0$;
 - $\int_0^{\infty} f(x) dx = 1$.
- Какими статистическими характеристиками можно описать непрерывную случайную величину?

 - Вероятностью появления значения случайной величины, дисперсией, математическим ожиданием;
 - Функцией распределения, плотностью вероятности;

- В) Плотностью вероятности, вероятностью появления значения случайной величины, математическим ожиданием, дисперсией;
 Г) Нет подходящего ответа.

6. Как вычисляется математическое ожидание дискретной случайной величины?

- А) $\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$;
 Б) $\langle x \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$;
 В) $\langle x \rangle = \sum_{i=1}^n x_i P(x_i)$.

7. Как вычисляется дисперсия непрерывной случайной величины?

- А) $\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 P_i$;
 Б) $\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx$;
 В) $\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x) f(x) dx$;

8. Что показывает корреляционный момент двух случайных величин ($K_{xy} = \langle \tilde{x}\tilde{y} \rangle$)?

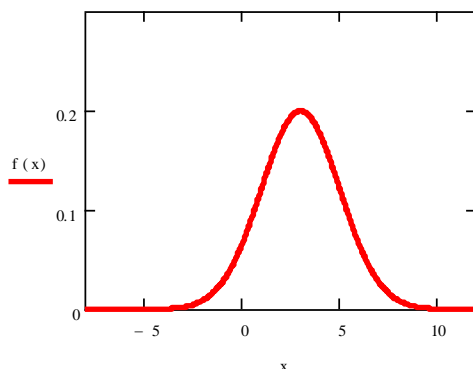
- А) Количественную меру линейной зависимости между двумя случайными величинами **x и y**;
 Б) Количественную меру статистической зависимости между двумя случайными величинами **x и y**;
 В) Количественную меру статистической линейной зависимости между двумя случайными величинами **x и y**;

9. Как определяется характеристическая функция?

- А) $\theta(u) = \langle e^{iux} \rangle$;
 Б) $\theta(u) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{iux} f(x) dx$;
 В) $\theta(u) = \int_{-\infty}^{\infty} x e^{iux} dx$.

10. Как задается гауссова плотность вероятности?

- А) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}\right\}$;
 Б) $f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right\}$, при $x > 0$;
 В)



11. Каким условиям должен удовлетворять стационарным в широком (не строгом) смысле случайных процесс?

А) $f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1 - \Delta t, t_2 - \Delta t, \dots, t_n - \Delta t)$.

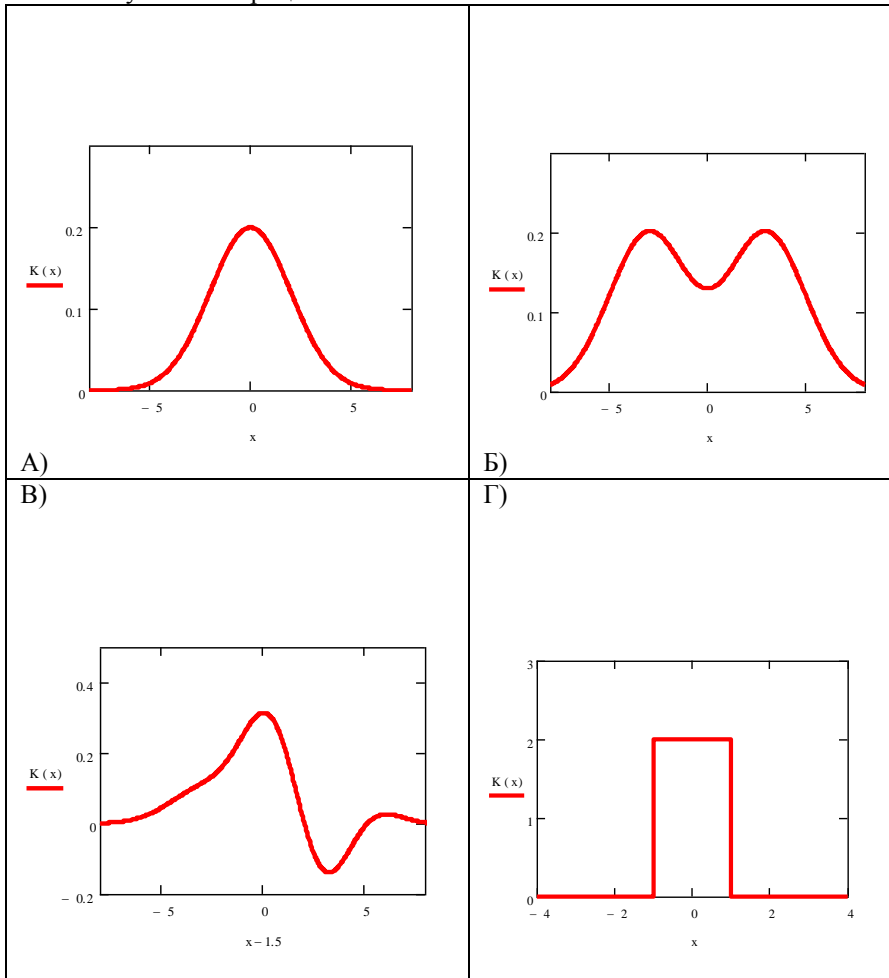
Б) $f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1 - \Delta t, t_2 - \Delta t, \dots, t_n - \Delta t)$, $D(t) = D$,

$m(t) = m$, $K(t_1, t_2) = K(t_1 - t_2)$

В) $D(t) = D$, $m(t) = m$, $K(t_1, t_2) = K(t_1 - t_2)$

Г) $K(t_1, t_2) = K(t_1 - t_2)$

12. Выберите графики функций, которые не могут быть корреляционными функциями стационарного случайного процесса.



13. Каким соотношением связан энергетический спектр сигнала на входе и выходе линейной системы?

А) $S_y(\omega) = |S_x(\omega)|^2 K(\omega)$

Б) $S_y(\omega) = K(\omega) S_x(\omega)$

В) $S_y(\omega) = |K(\omega) S_x(\omega)|^2$

Г) $S_y(\omega) = |K(\omega)|^2 S_x(\omega)$

14. Узкополосный гауссовский случайный процесс имеет

А) амплитуду, распределенную по закону Рэлея и фазу, распределенную равномерно;

Б) амплитуду, распределенную по нормальному закону и фазу, распределенную равномерно;

В) амплитуду, распределенную по закону Райса и фазу, распределенную по нормальному закону;

Г) амплитуда и фаза распределены нормально.

15. Согласованным фильтром называется:

А) фильтр, согласующий волновое сопротивление подключенных к нему каскадов;

Б) фильтр, импульсная характеристика которого, является зеркальным отражением полезного сигнала относительно оси ординат;

В) фильтр, у которого комплексный частотный коэффициент передачи не зависит от комплексного спектра сигнала;

Г) фильтр, характеристики которого заранее определены какими-либо техническими требованиями.

16. Если случайный гауссовский процесс пропустить через устройство, имеющее нелинейную амплитудную характеристику, то на выходе получим сигнал

- А) имеющий нормальный закон распределения;
- Б) имеющий гауссовский закон распределения;
- В) имеющий закон распределения отличный от гауссовского;
- Г) с детерминированным законом изменения амплитуды.

17. Центральная предельная теорема гласит:

- А) плотность вероятности произведения большого числа случайных величин, имеющих произвольные законы распределения, стремится к нормальной;
- Б) плотность вероятности суммы большого числа случайных величин, имеющих произвольные законы распределения, стремится к гауссовской;
- В) математическое ожидание большого числа случайных величин равно нулю.
- Г) плотность вероятности суммы большого числа случайных величин, имеющих произвольные законы распределения, стремится к равномерной.

18. Белый гауссовский шум обладает следующими свойствами:

- А) $K(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$; Б) $K(\tau) = \sigma^2 \exp\{-|\tau|\}$
- В) $S(f) = \frac{N_0}{2}$; Г) $S(f) = \frac{N_0}{2} \exp\{-|f|\}$

4. Теория колебаний

Программа курса

1. Введение.

Предмет теории колебаний. Классификация колебательных систем и колебательных процессов. Линейные и нелинейные колебательные системы.

2. Собственные колебания.

Общие свойства колебательных систем с одной степенью свободы. Консервативные системы. Условие консервативности. Роль начальных условий. Колебания в системе со слабой нелинейностью. Неизохронность колебаний нелинейных систем.

3. Вынужденные колебания.

Принцип суперпозиции. Колебания под действием гармонической силы. Общее решение. Резонанс. Вид колебаний при резонансе. Резонансные кривые. Явления резонанса в разных областях физики и техники. Биения. Поведение нелинейных систем при слабом воздействии (консервативных и диссипативных).

4. Параметрические колебания.

Системы с периодически меняющимися параметрами. Параметрическое воздействие. Некоторые сведения математической теории параметрических колебаний. Способы изменения параметров системы во времени. Параметрическое возбуждение (резонанс).

5. Элементы теории автоколебаний.

Общие свойства автоколебательных систем. Строение автоколебательной системы и принцип работы. Специфика энергетики автоколебательных систем. Предельные циклы. Влияние нелинейности системы на форму колебаний в системе.

6. Метод фазовой плоскости.

Обоснование метода. Его возможности. Классификация особых точек и фазовых траекторий. Предельный цикл. Бифуркации.

Литература

а) основная литература

1. Ильин М.М., Колесников К.С., Саратов Ю.С. Теория колебаний. М: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
2. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: Физматгиз, 2003.
3. Трубецков Д.И., Рожнов А.Г. Линейные колебания и волны. М.: Физматгиз, 2001.
4. Горяченко В.Д. Элементы теории колебаний. Красноярск: Издательство Красноярского университета, 1995.
5. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. М.: Наука, 1991.

6. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
7. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. М.: Наука, 2005.

б) дополнительная литература

1. Анищенко В.С. Стохастические колебания в радиофизических системах. Саратов: Изд-во СГУ (Ч. 1,2), 1985-1986гг.
2. Пиппард А. Физика колебаний. М.: Высшая школа, 1985.
3. Капранов М.В., Кулещев В.Н., Уткин Г.М. Теория колебаний в радиотехнике. М.: Наука, 1984.
4. Филиппов А.Т. Многоликий солитон. М.: Наука, 1990.
5. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.В. Введение в теорию нелинейных колебаний М., 1987.
6. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1986.

Вопросы для тестирования

1. Амплитуда собственных (свободных) колебаний определяется:
 - а) параметрами системы
 - б) начальным запасом энергии системы
 - в) параметрами внешней силы
2. Неизохронные колебания это:
 - а) колебания, амплитуда которых изменяется во времени
 - б) колебания, частота которых изменяется в зависимости от амплитуды (начальных условий)
 - в) колебания, период которых постоянен
3. На возникновение собственных апериодических колебаний в ЛДС влияет:
 - а) задание начальных условий
 - б) определенное соотношение параметров системы
 - в) изменение амплитуды внешней силы
4. Разный характер (вид) апериодического (асимптотического) свободного колебания зависит от:
 - а) соотношения параметров
 - б) задания начальных условий
 - в) характера внешнего воздействия
5. Фазовый портрет свободных колебаний в ЛКС с «отталкивающей» силой это:
 - а) эллипс
 - б) развертывающаяся спираль
 - в) равносторонние гиперболы
6. Фазовый портрет собственных колебаний консервативного математического маятника с произвольным углом отклонения содержит особые точки типа:
 - а) устойчивый узел
 - б) неустойчивый фокус
 - в) седло
 - г) центр
7. В ЛДС под действием гармонической силы резонанс наступает:
 - а) при совпадении собственной частоты ω_0 и частоты изменения параметра p .
 - б) при соотношении между ω_0 и p :

$$p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$$
 - в) при соотношении $\omega_0 \approx p$
8. Амплитуда установившихся вынужденных колебаний в ЛДС определяется:
 - а) начальными условиями

- б) характеристиками внешней силы
 - в) параметрами системы
9. При резонансе в ЛКС амплитуда колебаний:
- а) нарастает неограниченно по линейному закону
 - б) имеет максимум
 - в) не изменяется
10. В колебательной системе, описываемой уравнением $x'' + \omega_0^2 x = F_0 \cos pt$ в общем случае результирующее колебание является:
- а) гармоническим
 - б) периодическим, но несинусоидальным
 - в) аperiodическим
11. Для возникновения параметрического резонанса необходимо, чтобы:
- а) частота изменения параметра p совпала с частотой возникающих колебаний ω
 - б) выполнялось соотношение $p = 2\omega/n$ ($n=1,2,\dots$)
 - в) выполнялось соотношение $p \approx n\omega$
12. Автоколебания могут быть:
- а) гармоническими
 - б) аperiodическими
 - в) затухающими
 - г) несинусоидальными
13. Амплитуда автоколебаний определяется:
- а) начальными условиями
 - б) параметрами системы
 - в) видом возвращающей силы
14. Аттрактор это:
- а) устойчивый предельный цикл
 - б) неустойчивый предельный цикл
 - в) полуустойчивый предельный цикл
15. Функция диссипации автоколебательной системы:
- а) положительная
 - б) знакопеременная
 - в) отрицательная
16. Бифуркация - это качественное изменение поведения динамической системы:
- а) при определенных значениях параметров
 - б) при определенных начальных условиях
 - в) случайным образом

5. Физическая электроника

Программа курса

Тема 1. Основы зонной теории твердых тел

- 1.1. Уравнение Шредингера для кристалла.
- 1.2. Одноэлектронное приближение: приближение Борна-Оппенгеймера, приближение Хартри-Фока.
- 1.3. Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки (модель Кронига-Пенни).
- 1.4. Теорема Блоха. Квазиимпульс.
- 1.5. Зоны Бриллюэна. Периодические граничные условия. Энергетические зоны.

1.6. Метод эффективной массы носителей заряда. Закон дисперсии. Разница между металлами и полупроводниками.

Тема 2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках

2.1. Плотность состояний с заданной энергией. Функция Ферми- Дирака.

2.2. Концентрация электронов и дырок в зонах.

2.3. Невырожденные полупроводники. Вырожденные полупроводники.

2.4. Уровень Ферми в собственном полупроводнике.

2.5. Концентрация носителей и уровень Ферми в примесном полупроводнике.

Тема 3. Неравновесные электроны и дырки

3.1. Среднее время жизни носителей. Уравнения кинетики (кинетическое уравнение Больцмана).

3.2. Решение уравнений кинетики для одномерного полупроводника.

3.3. Подвижность носителей и коэффициент диффузии.

3.4. Квазиуровни Ферми. Свойства квазиуровней Ферми.

Тема 4. Электронно- дырочные переходы

4.1. Двойной электрический слой на границе раздела полупроводников с разным типом проводимости. Принцип работы солнечных электрических батарей.

4.2. Инжекция неосновных носителей через p/n переход. Изменение квазиуровней Ферми в переходной области.

4.3. Концентрация носителей на границе p/n перехода. Ширина переходной области. Емкость p/n перехода.

Тема 5. Статические характеристики p/n перехода

5.1. Статическая вольт- амперная характеристика идеального p/n перехода.

5.2. Статическая вольт- амперная характеристика реального p/n перехода.

5.3. Полупроводниковые диоды и их функциональные возможности.

5.4. Контактная разность потенциалов. Явления на границе металл- полупроводник.

Тема 6. p/n переход при переменном напряжении

6.1. Плотность тока, протекающего через p/n переход. Диффузионная емкость и диффузионная проводимость.

6.2. Эквивалентная схема p/n перехода на низких частотах. Ток смещения. Эквивалентная схема p/n перехода на высоких частотах.

6.3. Частотные характеристики идеального p/n перехода. Малосигнальные модели диодов.

6.4. Пробой p/n перехода. Переходные процессы в диодах. Режим большого сигнала.

Тема 7. Тенденции развития физической электроники и микроэлектроники.

7.1. Материалы, методы проектирования технологических процессов. Современные технологии.

7.2. Наноразмерные структуры и нанотехнологии.

Литература

Основная литература

1. Л.Росадо. Физическая электроника и микроэлектроника. М.: Высшая школа, 1991.
2. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Давыдов А.С. Теория твердого тела. -М.: Наука, 1989.
5. Моллер Р., Кейтис Т. Элементы интегральных схем. - М.: Мир, 1998

Дополнительная литература

1. Физическая энциклопедия. ТТ.1-5, М.: 1988- 1998
2. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. Изд.2, Мир, 1994.
3. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела, М.: Наука, 2000
4. З. Уэрг, Р. Томсон. Физика твердого тела. Изд.2, Мир, 1991.
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика. Часть 1, М.: Наука, 2006
6. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 2002
7. П.Ф.Павлов, А.Р. Хохлов. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2005
8. В.П. Бонч- Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников, М.: Наука, 2007

9. М. Херман. Полупроводниковые сверхрешетки. М.: Мир, 2004

Пример решения типовой задачи

Задача. К p/n переходу приложено положительное смещение $\varphi = 0.2$ В. Рассчитать во сколько раз изменится концентрация неосновных носителей на границе перехода при комнатной температуре.

Решение:

Концентрация носителей на границе перехода выражается через концентрацию в глубине области по формуле

$$p_n(x) = p_{n0} \exp\left(\frac{e\varphi}{kT}\right)$$

Подставляя в экспоненту все необходимые величины, получим $\frac{e\varphi}{kT} = 8$.

Соответственно $\exp(8) \approx 10^3$. Таким образом, небольшое смещение $\varphi = 0.2$ В приводит к увеличению концентрации неосновных носителей на границе перехода на три порядка.

Тесты для входного контроля

1. Укажите температурную зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках:
 - а) возрастает с ростом температуры по линейному закону
 - б) возрастает с ростом температуры по экспоненциальному закону
 - в) не зависит от температуры
2. Укажите температурную зависимость концентрация носителей заряда в металлах:
 - а) возрастает с ростом температуры
 - б) убывает с ростом температуры
 - в) не зависит от температуры
3. Какой вектор определяет закон преобразования волновой функции при движении электрона в периодическом поле кристаллической решетки:
 - а) импульс
 - б) квазиимпульс
 - в) скорость
4. Примесные полупроводники n-типа образуют атомы, у которых на валентной орбите:
 - а) три электрона
 - б) четыре электрона
 - в) пять электронов
4. Уровень Ферми можно определить как:
 - а) приращение свободной энергии системы при добавлении к ней одного электрона
 - б) полная внутренняя энергия
 - в) энергия квантового состояния, вероятность заполнения которого равна 1.
6. Полупроводник является невырожденным, если концентрация носителей:
 - а) меньше эффективной плотности состояний
 - б) больше эффективной плотности состояний
 - в) равна эффективной плотности состояний
7. Уровень Ферми при нулевой температуре для невырожденного полупроводника лежит:
 - а) в зоне проводимости

- б) в валентной зоне
 - в) в запрещенной зоне
8. Скорость генерации неравновесных носителей заряда в полупроводнике определяется:
- а) температурой
 - б) внешним источником
 - в) структурными особенностями кристалла
9. Соотношения Эйнштейна связывают между собой:
- а) длину диффузии и среднее время жизни
 - б) подвижность и коэффициент диффузии
 - в) плотность тока и квазиуровень Ферми
10. В области р-п перехода концентрация носителей изменяется:
- а) быстро
 - б) медленно
 - в) практически не изменяется
11. Концентрация носителей на границе р-п перехода в зависимости от приложенного напряжения изменяется:
- а) по экспоненциальному закону
 - б) линейно
 - в) не изменяется
12. Ширина р-п перехода зависит от:
- а) концентрации электронов и дырок
 - б) контактной разности потенциалов
 - в) комбинации всех трех величин
13. Характерная частота, разделяющая диапазон низких и высоких частот, определяется:
- а) средним временем жизни неравновесных носителей
 - б) временем пролета носителей через переходный слой
 - в) дебаевским временем релаксации