|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|

|  |  |
| --- | --- |
|  | Министерство образования Республики БеларусьФилиал Учреждения образования «Брестский государственный технический университет»ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  УТВЕРЖДАЮ Заместитель директора Филиала  БрГТУ Политехнический колледж  по учебной работе \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С. В. Маркина « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_\_\_2021г. |

  РАДИОТЕХНИКА **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ** для выполнения домашней контрольной работы  для учащихся специальности 2-39 02-32 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_для заочной\_формы обучения\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (форма обучения\*) 2021Разработал: Щеперка В.Н., преподаватель Филиала Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» Политехнический колледжКонтрольные задания разработаны на основе учебной программы, утвержденной директором Филиала Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» Политехнический колледж 10.06.2020г. Контрольные задания обсуждены и рекомендованы к использованию на заседании цикловой комиссии радиотехнических дисциплин.Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г.Председатель цикловой комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Л.П. Бойко\_\_\_\_\_\_\_\_ (подпись) (инициалы, фамилия) |

 |

**Содержание**

**Введение............................................................................................... 4**

 **1 Примерный тематический план учебной дисциплины.......6**

 **2 Перечень рекомендуемой литературы....................................9**

 **3 Задания для домашней контрольной работы и**

 **методические указания по их выполнению…………......... 10**

  **3.1Контрольное задание № 1………………………………………… 11**

 **3.2 Методические указания по выполнению контрольного**

 **задания № 1………………………………………………………… 17**

 **3.3 Контрольное задание №2…………………………………………. 30**

 **3.4 Методические указания по выполнению контрольного**

 **задания №2 ………………………………………………………. 39**

**Введение**

Главная задача радиотехники состоит в передаче информации на рас­стояние с помощью энергии электромагнитных колебаний, распространяющихся в свободном пространстве (радио – от лат. Radio – испускаю лучи и греч. techne – искусство, мастерство). В более широком смысле современная радиотехника – область нау­ки и техники, связанная с генерацией, усилением, преобразованием, обра­боткой, хранением, излучением и приёмом электромагнитных колебаний радиочастотного диапазона, используемых для передачи информации на расстояние.

 В техническом плане радиотехника объединяет разнообразные устройства, предназначенные для передачи и приёма информации в рамках определённой системы посредством электромагнитных волн (ЭМВ), распространяющихся в свободном пространстве. К числу таких систем относятся: системы звукового и телевизионного радиовещания; системы радиосвязи с помощью наземных средств (система сотовой связи); глобальные космические системы радиосвязи; системы радионавигации; системы радиоуправления разнообразными объектами и радиотехнического контроля над ними; радиолокационные системы ближнего и дальнего действия и некоторые другие.

В научном плане радиотехника занимается исследованием распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, расчётом и оптимизацией радиотехнических устройств и систем, анализом протекающих в них процессов, т.е. всем комплексом вопросов, связанных с передачей и приёмом информации по радиоканалам.

Целью изучения дисциплины «Радиотехника» является формирование знаний по принципам работы радиотехнических цепей и устройств, составляющих основу современных радиоэлектронных средств и овладение навыками их исследования.

Успешное освоение учебного материала базируется на знаниях основ электротехники, электроники и микроэлектроники, электрорадиоэлементов и устройств функциональной электроники.

В результате изучения дисциплины учащиеся должны *знать на уровне представления:*

– теоретические основы и принципы радиотехники;

– физические явления и процессы в радиотехнических цепях;

– тенденции развития современной радиотехники.

*знать на уровне понимания:*

– принципы передачи информации с помощью электромагнитных волн;

– классификацию видов сигналов и их спектры;

– виды преобразований, происходящих в радиотехнических устройствах;

– назначение, функции, принципы действия, схемы, технические характеристики отдельных функциональных узлов радиоэлектронных средств;

– исходные положения теории электромагнитного поля;

– энергетическую сущность излучения радиоволн;

– виды электромагнитных волн и их свойства;

– влияние геофизических условий и земной атмосферы на распространение радиоволн различных диапазонов;

– назначение, классификацию, основные характеристики, параметры, принципы работы и конструкцию антенно-фидерных устройств.

*уметь:*

– рассчитывать параметры радиотехнических сигналов;

– оценивать условия распространения радиоволн и факторы, определяющие практические характеристики излучения и приема сигналов;

– выполнять простейшие расчеты радиотехнических цепей, используя методы гармонического анализа нелинейных цепей;

– составлять структурные схемы радиоэлектронных средств и рассчитывать их основные параметры;

– осуществлять исследование радиотехнических цепей и устройств путем измерения и изменения их характеристик и параметров.

 **ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

|  |  |
| --- | --- |
| Раздел, тема | Количество часов |
| Всего | В том числе на |
| лабораторные работы | практические работы |
| **Введение** | **2** |  |  |
| **Раздел 1. Теоретические основы**  **передачи информации** | **16** | **2** | **2** |
| * 1. Информация, сообщение, сигналы,

радиосигналы | 2 |  |  |
| * 1. Временное и спектральное представление сигналов
 | 2 |  |  |
| * 1. Модуляция и её разновидности
 | 8 |  |  |
|  *Лабораторная работа №1* Исследование гармонических и амплитудно – модулированных сигналов |  | 2 |  |
|  *Практическая работа №1* Расчет параметров модулированных радиосигналов |  |  | 2 |
| * 1. Радиоканал как основная часть радио-

технической системы  | 4 |  |  |
| **Раздел 2. Линейные электрические цепи** | **34** | **10** | **4** |
| 2.1 Виды радиотехнических цепей | 2 |  |  |
| 2.2 Свободные колебания в контуре *Лабораторная работа №2* Исследование свободных колебаний в  контуре | 4 | 2   |  |
|  |  |
| 2.3 Последовательный колебательный кон-  тур *Лабораторная работа №3* Исследование вынужденных колебаний в последовательном колебательном контуре | 4 | 2 |  |
| 2.4 Параллельный колебательный  контур  | 4 | 2 |  |
|  *Лабораторная работа №4* |  |  |  |
|  Исследование вынужденных колебанийв параллельном колебательном контуре |  |  |  |
| 2.4 Связанные контура  *Практическая работа №2* Расчет параметров связанных колебательных контуров | 4 | 2 |  |
| 2.5 Электрические фильтры  | 6 |  |  |
|  *Лабораторная работа № 5* Исследование электрических фильтров |  | 2 |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 2.6 Линейные цепи с распределенными параметрами*Лабораторная работа №6* Исследование режимов работы длинных линий | 4 | 2 |  |
| 2.7 Фидеры | 5 |  |  |
|  *Практическая работа № 3* Расчет параметров фидеров*Обязательная контрольная работа №1* | 1 |  | 2 |
| **Раздел 3. Нелинейные цепи** | **12** |  | **4** |
| 3.1 Нелинейные элементы и методы анализа нелинейных цепей *Практическая работа № 4* Аппроксимация характеристик нелинейных элементов | 4 |  | 2 |
|  |  |
| 3.2 Основные виды нелинейных преобра - зований | 8 |  |  |
| *Практическая работа №5* Расчет параметров нелинейных преобразователей |  |  | 2 |
| **Раздел 4. Параметрические цепи** | **6** |  | **2** |
| 4.1 Преобразование сигналов в параметри- ческих цепях | 2 |  |  |
| **Раздел 5.** **Электромагнитное поле**   | **8** |  | **2** |
| 5.1 Основы теории электромагнитного поля | 2 |  |  |
| 5.2 Электромагнитные волны и их  свойства | 2 |  |  |
| 5.3 Элементарные источники электромагнитного поля *Практическая работа № 7* Расчет параметров электромагнитного поля | 4 |  | 2 |
| **Раздел 6. Распространение радиоволн** | **6** |  | **2** |
| 6.1 Влияние земной поверхности и слоев  атмосферы на распространение радио- волн | 2 |  |  |
| 6.2 Особенности распространения радио - волн различных диапазонов *Практическая работа № 8* Расчет параметров среды при распространении радиоволн | 4  |  |  2 |
|  |  |  |  |
| **Раздел 7. Антенны** | **22** | **4** | **2** |
| 7.1 Основные характеристики и параметры  антенн | 2 |  |  |
| 7.2 Симметричный и несимметричный  вибраторы | 6 |  |  |
|  *Лабораторная работа №7* Исследование вибраторной антенны |  | 2 |  |
| 7.3 Антенны низких радиочастот | 4 |  |  |
|  *Лабораторная работа №8* Исследование магнитной антенны |  | 2 |  |
| 7.4 Декаметровые антенны | 2 |  |  |
|  |  |  |  |
| 7.5 Антенны метровых и дециметровых  волн | 2 |  |  |
| 7.6Антенны СВЧ диапазона*Практическая работа №9*Расчет характеристик и параметров антенн УКВ диапазона *Обязательная контрольная работа №2* | 5 1 |  | 2 |
| **Итого:** | **106** | **16** | **18** |

 **2. Перечень рекомендуемой литературы**

 **2.1 Основная литература**

 1. **Белоцерковский, Г.Б.** Основы радиотехники и антенны. Ч.1. Основы радиотехники / Г.Б. Белоцерковский. М., 1978.

 2. **Белоцерковский, Г.Б.** Основы радиотехники. Ч.2. Антенны / Г.Б. Белоцерковский. М., 1983.

 3. **Нефедов, В.И.** Основы радиоэлектроники и связи /В.И. Нефедов, А.С. Сигов. М., 2009.

 4. **Першин, В.Т.** Основы радиоэлектроники: Учебное пособие/ В.Т. Першин. Мн., 2006.

 5. **Драбкин, А.Л.** Антенны / А.Л. Драбкин, Е.Б. Коренберг. М., 1992.

 6. **Шинаков, Ю.С.** Основы радиотехники/ Ю.С. Шинаков, Ю.М. Колодяжный. М., 1983.

 7. **Каганов, В.И.** Радиотехника / В.И.Каганов. М., 2006.

 **2.2 Дополнительная литература:**

 8. **Гоноровский, И.С.** Радиотехнические цепи и сигналы /И.С. Гоноровский. М.,1983.

 9. **Черепкова, Е.Л.** Распространение радиоволн / Е.Л. Черепкова. М., 1984.

 10. **Манаев, Е.И.** Основы радиотехники / Е.И. Манаев. М., 1985.

 11. **Кочержевский, Г.Н.** Антенно-фидерные устройства / Г.Н Кочержевский, Г.А Ерохин, Н.Д. Козырев. М., 1989.

 12. **Богданович, Б.М.** Радиоприемные устройства: Учебное пособие для вузов. Под общ. Ред. Б.М. Богдановича /Б.М. Богданович Н.И Окулич. Мн., 1991.

 13. **Нефедов, В.И**. Основы радиоэлектроники и связи: Учебное пособие для вузов / В.И. Нефедов – 2-е изд., перераб. доп. М., 2002.

 14. **Изюмов, Н.М.** Основы радиотехники и антенны. Ч.1. Основы радиотехники / Н.М. Изюмов, Д.П Линде. М., 1978.

 15. **Качанов, В.И.** Радиотехнические цепи и сигналы/ В.И. Качанов. М., 2003.

 16.**Белоцерковский, Г.Б.** Задачи и расчеты по курсу «Основы радиотехники и антенны» / Г.Б. Белоцерковский. М., 1966.

**3 Задания для домашней контрольной работы и методические указания по их выполнению**

Домашняя контрольная работа состоит из двух контрольных заданий. Каждое контрольное задание включает пять задач. Перед решением каждой задачи необходимо изучить методические рекомендации. Ответы на вопросы задач должны быть достаточно полными, конкретными и четкими.

 Вариант контрольного задания определяется по двум последним цифрам шифра (номера зачётной книжки) учащегося. Например, учащийся, имеющий шифр 321, выполняет вариант 21 (см. таблицу вариантов контрольной работы).

 При оформлении работ следует придерживаться следующих требований:

1. Контрольная работа выполняется на стандартных листах формата А4 с пронумерованными страницами машинным способом с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ.

 2. Контрольная работа включает:

 - титульный лист;

 - содержание;

 - основную часть;

 - список использованных источников.

 3.Титульный лист является первым листом и оформляется в соответствии с приложением Д стандарта организации СТО ТУПК 001– 2017.

 4. Текстовая часть домашней контрольной работы также оформляется в соответствии со стандартом организации СТО ТУПК 001– 2017.

 5. Последовательность заполнения листов домашней контрольной работы должна выдерживаться в соответствии с заданием. Условие каждой задачи должно быть приведено полностью. После полной записи условия приводится таблица с исходными данными задачи своего варианта.

 6. Все элементы схем и графики должны вычерчиваться в соответствии с ЕСКД. Обязательно обозначение координат осей с откладываемыми величинами и единицами их измерения.

 7. Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы сквозной нумерацией.

 8. После решения последней задачи должен быть приведен список использованной литературы.

 9. Домашняя контрольная работа помещается в папку с верхним прозрачным листом.

 10. Работа должна быть выполнена и предоставлена на рецензию своевременно, в соответствии с учебным графиком. После получения зачтенной работы необходимо внести дополнения и исправления по замечаниям рецензии.

Если работа не зачтена, учащийся выполняет ее заново.

 11. При затруднении в выполнении какого – либо задания учащийся может обратиться к преподавателю за консультацией.

 **3.1 Контрольное задание № 1**

 Вконтрольном задании № 1 предусматривается для каждого варианта решить 5 задач. Задачи и их номера в соответствии с вариантами (таблица 1) приведены ниже.

1. Написать уравнение частотно-модулированного сигнала по следующим дан­ным:

 несущая частота 100 МГц, частота модуляции 1000 Гц, девиация частоты 20 кГц,

 амплитуда тока в режиме несущей частоты 5 А. Определить ширину спектра

 такого сигнала.

2. В колебательном контуре, имеющем индуктивность 40 мкГн и активное со­

 противление 7 Ом, возбуждены свободные колебания на частоте 4 МГц.

 Оп­ределить добротность контура. Изобразить закон изменения тока в контуре от

 времени.

3. Свободные колебания в контуре без потерь имеют амплитуду напряжения

 Um=50В, амплитуду тока Im=50mA и частоту f0 = 2,5 МГц. Определить

 параметры контура: L, С, ρ и собственную длину волны λ0.

4. В колебательном контуре, емкость которого С=200пФ и активное

 сопротивление 5Ом происходят свободные колебания с частотой

 f0=10МГц. Определить индуктивность, период колебаний и затухание

 контура.

5. Коэффициент связи К между двумя одинаковыми, индуктивно связанными
контурами с параметрами L = 25 мкГн, С=200пФ и г = 5 Ом, К = 2Ккр.. Амплитуда ЭДС генератора Em = 10 В. Собственные частоты контуров равны и равны частоте ЭДС генератора. Определить частоты связи, амплитуды токов в контурах и выходное напряжение.

6. Определить девиацию частоты fm и индекс частотной модуляции М, если ширина спектра частотно - модулированного сигнала fсп = 60 кГц, а частота гармонического управляющего сигнала F = 5 кГц. Нарисуйте спектр ЧМ сигнала.

7. В контуре, имеющем добротность 100, происходят колебания с длиной волны λ=90м, начальными амплитудами напряжения 100 В и тока 100 мА. Определить параметры контура L, С и г, а также волновое сопротивление и затухание. Изобразить график колебаний.

8. При резонансе в последовательном контуре, имеющем собственную частоту 6 МГц и емкость 50 пФ, амплитуда выходного напряжения равна 400В при амплитуде ЭДС генератора 8 В. Определить индуктивность, сопротивление потерь и полосу пропускания контура, а также амплитуду тока в контуре и напряжения на всех его элементах.

9. Один из индуктивно связанных контуров имеет емкость С1=30пФ при

 собственной частоте f01=1МГц, а второй контур – С2 = 60пФ при f02=10МГц.

 Какой должна быть взаимоиндуктивность М между контурными катушками,

 чтобы получить коэффициент связи kсв = 0,2?

10.Определить коэффициент модуляции и амплитуду тока несущей частоты,

 если максимальное значение тока при модуляции Im max =10A, а минимальное

 Im min=4А. Изобразить график амплитудно-модулированного колебания по

 условию задачи.

11. Написать уравнение амплитудно-модулированного (AM) тока, если частота несущих колебаний f0 = 1 МГц, амплитуда тока несущих колебаний Im0 =100 мА, частота управляющего сигнала F = 1кГц, максимальное изменение амплитуды тока несущей частоты Im = 50 мА. Нарисовать график AM колебания по данным этой задачи и его спектр.

12. В контуре, содержащем индуктивность 100 мкГн, активное сопротивление 5 Ом и неизвестную емкость С, происходят свободные колебания с начальной амплитудой тока 100 мА и частотой 1,5 МГц. Определить емкость, собст­венную длину волны, начальную амплитуду напряжения, логарифмический декремент затухания и добротность. Нарисовать график колебаний.

13. При резонансе в последовательном контуре ток с амплитудой 100 мА вызы­вает на выходе напряжение 40В при ЭДС с амплитудой 0,4 В и частотой f0 =1500 кГц. Определить индуктивность, емкость, активное сопротивление, за­тухание контура и его полосу пропускания.

14. Определить количество (объем) информации, если передается непрерывное

 сообщение длительностью Т=100мс с использованием дискретизации по

 времени через интервалы ∆t=1мс и квантование по уровню на N=256

 разрешенных уровней.

15. Какова пропускная способность радиотехнического канала, если известно,

 что максимальная мощность, на которую рассчитан канал равна 64Вт,

 минимальная мощность равна 0,25 Вт и полоса пропускания канала равна

 200 кГц.

16. Изобразить в масштабе временные диаграммы амплитудно-модулированного напряжения с амплитудой несущих колебаний Umo= 2В для четырех случаев:

- частота управляющего сигнала F = 4 кГц, коэффициент модуляции m = 0,5;

- F = 8кГц; m=0,5;

- F = 4 кГц; m= 1;

- F = 8 кГц; m= 1.

17. Свободные колебания в контуре имеют начальную амплитуду напряжения 40В, начальную амплитуду 80 мА и период 1 мкс. Определить L, С и г, доб­ротность, логарифмический декремент затухания и постоянную времени цепи при затухании контура, равном 0,008. Изобразить график колебаний.

18. Амплитуда выходного напряжения, снимаемого с емкости последовательно­го контура, равна 50 В, а амплитуда ЭДС равна 0,5 В. Контур настроен в ре­зонанс с частотой генератора 500 кГц и имеет активное сопротивление 5 Ом. Определить индуктивность и емкость контура, амплитуду тока в нем, напряжение на всех элементах и полосу пропускания.

19. Определите потребляемую антенной мощность от передатчика в режиме

 несущей, если действующее значение тока I = 0.709А, а сопротивление

 антенны равно 50 Ом. Рассчитайте телефонную мощность, если

 коэффициент амплитудной модуляции m = 0,7.

20. Написать уравнение амплитудно – модулированного тока, если частота

 несущих колебаний fo=10MГц, амплитуда тока I0m=500мА, частота

 управляющего сигнала F=10кГц, максимальное изменение амплитуды тока

 несущей частоты ΔIm=100мА. Изобразить график амплитудно – частотного

 спектра (АЧС) амплитудно – модулированного колебания.

21. Определить ширину спектра и индекс модуляции частотно-модулированного сигнала, если девиация частоты fm =100 кГц, а частота гармонического управляющего сигнала F = 5 кГц. Нарисуйте спектр сигнала.

22. Частота свободных колебаний, происходящих в контуре без потерь, равна 4 МГц. Определить индуктивность, характеристическое сопротивление, период и длину волны колебаний, если емкость контура 50 пФ. Изобразить график колебаний.

23. В последовательном контуре, имеющем индуктивность 50 мкГн, сопротивление потерь 4 Ом и собственную частоту fo = 1,59 МГц, при резонансе течет ток 200 мА. Определить амплитуды ЭДС генератора и напряжений на элементах контура, а также полосу пропускания.

24.Определить максимальную частоту Fmax управляющего сигнала N =

 60станций, которые одновременно могут работать в диапазоне частот Δf

 = 200 кГц ÷1 МГц, если в станциях используется амплитудная модуляция.

25. Зарисовать эквивалент­ную схему кварцевого резонатора и рассчитать его

 добротность, если ин­дуктивность Lкв =1350Гн, емкость Скв= 0,01пФ,

 активное сопротивление rкв = 25Ом, а статическая емкость пьезоэлемента и

 кварцедержателя С0 = 15пФ.

26. Определить телефонную мощ­ность АМ сигнала, еслимощность в режиме

 несущей Рн = 15Вт, а коэффициент модуляции m =0,4.

27. В контуре, емкость которого 100 пФ, активное сопротивление 5 Ом, проис­ходят свободные колебания с начальной амплитудой тока 50 мА и частотой 6 МГц. Определить индуктивность контура, период колебаний и длину вол­ны, а также начальную амплитуду напряжения. Изобразить график колеба­ний.

28. Найти входное сопротивление параллельного контура первого вида, если

 индуктивность L=15мкГн, активное сопротивление г=10 Ом. Резонансная

 частота f = 0,5 МГц.

29. Определить спектральный состав и записать в виде суммы гармонических

 составляющих аналитическое выражение АМ сигнала

 uам (t) = 20(1 + 0.5 *cos*103*t*)*cos*105*t.*

30. Радиосигнал с фазовой модуляцией, имеющий амплитуду *U0m* = 5 В и

 несущую частоту *f0 =*200МГц, промодулирован частотой *F*= 20 кГц при

 индексе модуляции *mф* = 10. Записать выражение для ФМ сигнала,

 определить пределы, в которых изменяется частота, и рассчитать ширину

 спектра.

31. Сколько секунд потребуется модему, передающему сообщения со скоростью 28800 бит/с, чтобы передать 100 страниц текста в 30 строк по 60 символов каждая, при условии, что каждый символ кодируется 1 байтом?

32. В контуре, имеющем добротность 100 и индуктивность 20 мкГн, происходят

свободные колебания с длиной волны 40 м. Определить емкость, активное сопротивление, собственную частоту, логарифмический декремент затуха­ния, постоянную времени цепи и добротность. Изобразить график колеба­ний.

33. Последовательный контур с параметрами L = 100 мкГн, С= 250 пФ и г = 5 Ом питается от генератора с амплитудой ЭДС Em = 0,5 В и внутренним сопротив­лением Ri = 3 Ом. Определить амплитуды тока в контуре и напряжений на всех элементах при резонансе, а также полосу пропускания. Как изменится полоса пропускания, если емкость контура уменьшится до 100 пФ?

34. Найти емкость канала, если длительность действия канала равна 2мс,

 полоса пропускания канала равна 40 кГц, максимальная мощность, на

 которую рассчитан канал равна 24Вт, минимальная мощность равна 3 Вт.

35. Найти максимальную скорость передачи информации, если известно, что

 ширина спектра сигнала ∆fсп=14кГц, средняя мощность сигнала равна 2048

 Вт, а средняя мощность шума равна 2 Вт.

36. Максимальная частота ЧМ– колебания равна 108 Гц, средняя частота f0 = 107 Гц, частота гармонического модулирующего сигнала F0 = 1,2⋅103 Гц. Амплитуда напряжения Urn = 15 В.Определить девиацию частоты и индекс модуляции. Написать выражение для ЧМ– напряжения.

37. Свободные колебания происходят в контуре без потерь и имеют амплитуду напряжения 20В, амплитуду тока 40 мА и длину волны 100м. Определить индуктивность и емкость, а также период и частоту колебаний. Изобразить график колебаний.

38. Последовательный контур с параметрами L = 100 мкГн, С = 250 пФ и r = 5 Ом настроен в резонанс с частотой генератора, амплитуда ЭДС которого 1,2 В, внутреннее сопротивление Ri = 3 Ом. Определить амплитуды тока в контуре и напряжений на элементах, а также полосу пропускания.

39. Какова пропускная способность канала, если известно, что максимальная

 мощность, на которую рассчитан канал равна 256Вт, минимальная

 мощность равна 2Вт и полоса пропускания канала равна 100 кГц.

40. Передается непрерывное сообщение длительностью Т=100 мс с

 использованием дискретизации по времени через интервалы ∆t=1с и

 квантование по уровню на N=256 разрешенных уровней. Определить

 количество (объем) информации.

41. Написать уравнение частотно-модулированного сигнала, если амплитуда ра­диосигнала Um = 100 В, девиация частоты fm = 30 кГц, несущая частота радиосигнала fo = 50 МГц и частота управляющего сигнала F = 10 кГц. Найти ширину спектра такого сигнала. Нарисовать его спектр.

42. Свободные колебания в контуре имеют начальную амплитуду напряжения 50 В, начальную амплитуду тока 75 мА и период 2 мкс. Определить пара­метры L, С и r контура, а также добротность и постоянную времени цепи при затухании, равном 0,006.

43. При резонансе в последовательном контуре ток с амплитудой 100 мА имеет на выходе напряжение с амплитудой 70 В. Генератор, питающий контур, имеет ЭДС с амплитудой 0,7 В и частотой 3, 75 МГц. Определить параметры контура L, С и г и полосу пропускания.

44. Имеются два индентичных индуктивно связных контура, которые порознь

 настроены в резонанс с частотой генератора и имеют параметры L1 = L2 =60

 мкГн, С1 = С2 =300 пФ и r1 = r2 =5 Ом. Какой должна быть

 взаимоиндуктивность между контурами, чтобы КПД первичной цепи η был

 равен 75 %.

45. Два одинаковых индуктивно связанных контура с параметрами L1 = L2 =3

 мкГн, С1 = С2 =20 пФ и r1 = r2 =3 Ом настроены на полный резонанс.

 Определить взаимоиндуктивность, токи в контурах, если ЭДС ге­нератора Em =

 0,6 В.

46. Определить девиацию частоты fo и индекс частотной модуляции М, если ширина спектра ЧМ сигнала fm = 200 кГц, а частота гармонического управляющего сигнала F= 10 кГц. Нарисуйте спектр такого сигнала.

47. В контуре, содержащем индуктивность 200 мкГн, активное сопротивление 5

Ом и емкость С, происходят свободные колебания с начальной амплитудой тока 70 мА и частотой 1 МГц. Определить емкость, собственную длину вол­ны, начальную амплитуду напряжения, логарифмический декремент затуха­ния и добротность контура. Изобразить график колебаний.

48. При резонансе в последовательном контуре, имеющем собственную частоту 1 МГц и емкость 200 пФ, амплитуда выходного напряжения равна 100В, при амплитуде ЭДС генератора 1В. Определить индуктивность и активное сопротивление контура, а также амплитуды тока в контуре и напряжений на всех элементах и полосу пропускания.

49. Контур II вида имеет резонансное сопротивление 10 кОм при резонансной частоте 1 МГц, емкости 200 пФ и коэффициента затухания 0,01. Определить индуктивности ветвей, сопротивление потерь, полосу пропускания контура и частоту последовательного резонанса?

50. С какой  скоростью передает модем сообщения за время 500 секунд в виде 50 страниц текста в 50 строк по 50 символов каждая, при условии, что каждый символ кодируется 1 байтом?

.

 **Таблица1– Варианты заданий**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №варианта | Номер задач | №Варианта | Номер задач |
| 00 | 1, 7, 13, 19, 25 | 50 | 1, 2, 3, 4, 5 |
| 01 | 6, 12, 18, 24, 30 | 51 | 6, 7, 8, 9, 10 |
| 02 | 11, 17, 23, 29, 35 | 52 | 11, 12, 13, 14, 15 |
| 03 | 16, 22, 28, 34, 40 | 53 | 16, 17, 18, 19, 20 |
| 04 | 21, 27, 33, 39, 45 | 54 | 21, 22, 23, 24, 25 |
| 05 | 26, 32, 38, 44, 50 |  55 | 26, 27, 28, 29, 30 |
| 06 | 31, 37, 43, 49, 5 | 56 | 31, 32, 33, 34, 35 |
| 07 | 36, 42, 48, 4, 10 | 57 | 36, 37, 38, 39, 40 |
| 08 | 41, 47, 3, 9, 15 | 58 | 41, 42, 43, 44, 45 |
| 09 | 46, 2, 8, 14, 20 | 59 | 46, 47, 48, 49, 50 |
| 10 | 2, 8, 14, 20, 26 | 60 | 1, 12, 23, 34, 45 |
| 11 | 7, 13, 19, 25, 31 | 61 | 6, 17, 28, 39, 50 |
| 12 | 12, 18, 24, 30, 36 | 62 | 11, 22, 33, 44, 5 |
| 13 | 17, 23, 29, 35, 41 | 63 | 16, 27, 38, 49, 10 |
| 14 | 22, 28, 34, 40, 46 | 64 | 21, 32, 43, 4, 15 |
| 15 | 27, 33, 39, 45, 1 | 65 | 26, 37, 48, 9, 20 |
| 16 | 32, 38, 44, 50, 6 | 66 | 31, 42, 3, 14, 25 |
| 17 | 37, 43, 49, 5, 11 | 67 | 36, 47, 8, 19, 30 |
| 18 | 42, 48, 4, 10, 16 | 68 | 41, 2, 13, 24, 35 |
| 19 | 47, 3, 9, 15, 21 | 69 | 46, 7, 18, 29, 40 |
| 20 | 3, 9, 15, 21, 27 | 70 | 11, 12, 23, 34, 45 |
| 21 | 8, 14, 20, 26, 32 | 71 | 16, 17, 28, 39, 50 |
| 22 | 13, 19, 25, 31, 37 | 72 | 21, 22, 33, 44, 5 |
| 23 | 18, 24, 30, 36, 42 | 73 | 26, 27, 38, 49, 10 |
| 24 | 23, 29, 35, 41, 47 | 74 | 31, 32, 43, 4, 15 |
| 25 | 28, 34, 40, 46, 2 | 75 | 36, 37, 48, 9, 20 |
| 26 | 33, 39, 45, 1, 7 | 76 | 41, 42, 3, 4, 25 |
| 27 | 38, 44, 50, 6, 12 | 77 | 46, 47, 8, 9, 30 |
| 28 | 43, 49, 5, 11, 17 | 78 | 1, 2, 13, 14, 35 |
| 29 | 48, 4, 10, 16, 22 | 79 | 6, 7, 18, 19, 40 |
| 30 | 4, 10, 16, 22, 28 | 80 | 16, 12, 23, 24,45 |
| 31 | 9, 15, 21, 27, 33 | 81 | 21, 17, 28, 29, 50 |
| 32 | 14, 20, 26, 32, 38 | 82 | 26, 22, 33, 34, 5 |
| 33 | 19, 25, 31, 37, 43 | 83 | 31, 27, 38, 39, 10 |
| 34 | 24, 30, 36, 42, 48 | 84 | 36, 32, 43, 44, 15 |
| 35 | 29, 35, 41, 47, 3 | 85 | 41, 37, 48, 49, 20 |
| 36 | 34, 10, 46, 2, 8 | 86 | 46, 42, 3, 4, 25 |
| 37 | 39, 45, 1, 7, 13 | 87 | 1, 47, 8, 9, 30 |
| 38 | 44, 50, 6, 12, 18 | 88 | 6, 2, 13, 14, 35 |
| 39 | 49, 5, 11, 17, 23 | 89 | 11, 7, 18, 19, 40 |
| 40 | 5, 11, 17, 23, 29 | 90 | 16, 12, 23, 24, 45 |
| 41 | 10, 16, 22, 28, 34 | 91 | 21, 17, 28, 29, 50 |
| 42 | 15, 21, 27, 33, 39 | 92 | 26, 22, 33, 34, 5 |
| 43 | 20, 26, 32, 38, 44 | 93 | 31, 27, 38, 39, 10 |
| 44 | 25, 31, 37, 43, 49 | 94 | 35, 32, 43, 44, 15 |
| 45 | 30, 36, 42, 48, 4 | 95 | 41, 37, 48, 49, 20 |
| 46 | 35, 41, 47, 3, 4 | 96 | 46, 42, 3, 4, 25 |
| 47 | 40, 46, 2, 3, 4 | 97 | 1, 47, 8, 9, 30 |
| 48 | 45, 1, 2, 3, 4 | 98 | 6, 2, 13, 14, 35 |
| 49 | 50, 6, 7, 8, 9, | 99 | 11, 7, 18, 19, 40 |

 **3.2. Методические указания по выполнению контрольного задания №1**

 Для решения задач необходимо изучить теоретический материал по темам 1.1 – 1.3, 2.2 – 2.5примерного тематического плана, а также проанализировать основные формулы и примеры решения задач, изложенные ниже.

 **3.2.1 Основные формулы**

 Коэффициент амплитудной модуляции

 , (1)

где ΔUm (или ΔIm) – максимальное приращение амплитуды напряжения (тока) относительно амплитуды напряжения Um0 (тока Im0) несущей частоты.

Мгновенное значение напряжения радиосигнала с несущей угловой частотой ω0 и амплитудой Um0, модулированного по амплитуде синусоидальным сигналом с угловой частотой Ω, выражается уравнением

 . (2)

Ширина спектра частот амплитудно – модулированного (АМ) радиосигнала

 Δωсп= 2 Ωmax,(3)

где Ωmax - максимальная угловая частота спектра управляющего сигнала.

 Индекс частотной модуляции (ЧМ)

 (4)

М =  ,

где Δωm - девиация угловой частоты;

 Ώ - угловая частота управляющего сигнала.

Мгновенное значение напряжения частотно – модулированного (ЧМ) радиосигнала

 (5)

 *u=Um[Jo(М)sinω0t+J1(М)sin(ω0+Ω)t-J1(М)sin(ω0- Ω)t+J2(М)sin(ω0+2Ω)t*

*+J2(М)sin(ω0-2Ω)t+J3(М)sin ω0+3Ω)t - J3(М)sin(ω0-3Ω)t],*

где Um - амплитуда напряжения результирующего радиосигнала;

 ω0  - несущая угловая частота;

 Ω - угловая частота управляющего сигнала;

 Jo(М) - функция Бесселя первого рода нулевого порядка;

 J1(М) - функция Бесселя первого рода первого порядка;

 J2(М) - функция Бесселя первого рода второго порядка и т.д.

Ширина спектра частотно – модулированного радиосигнала при М»1

(6)

Δωсп≈2МΩ = 2Δωmax.

 Добротность катушки индуктивности

 (7)



 где rL - сопротивление потерь в катушке.

 Добротность конденсатора

,

 (8)

 где Rс, rС - эквивалентное сопротивление потерь в конденсаторе, рассчитанное исходя соответственно из параллельного и последовательного включения этого сопротивления относительно емкости;

 δс - угол потерь в конденсаторе.

Параллельное соединение реактивного Х и активного R сопротивления эквивалентно последовательному соединению реактивного x и активного r сопротивлений, если

 (9)

х = Х,

.

 (10)

 Эти равенства справедливы при r«x или R»Х. Частота колебаний *f* связана с длиной волны λ (м) зависимостью

 (11)

.

 Собственная длина волны контура

 (12)

,

где L в *мкгн* и С в *пф* - индуктивность и емкость контура.

Собственная частота контура

 (13)

.

Характеристическое сопротивление контура

 

 (14)

ρ =

где ω0=2πf0 - собственная угловая частота контура.

 Индуктивное и емкостное сопротивление контура соответственно будут

 

 (16)

 (15)

где L в *мкгн*; С в *пф* и λ0 в м.

При свободных колебаниях в контуре начальные амплитуды напряжения Umо и тока Imо связаны зависимостью

.

 (17)

Постоянная времени контура

,

 (18)

где r - сопротивление потерь во всем контуре.

 Логарифмический декремент затухания, затухание и добротность контура соответственно будут

.

 (19)

 Критическое затухание контура наблюдается при r = 2ρ.

t ≈ (3÷5)τк = .

 (20)

 Комплексное входное сопротивление цепи

 Zвх=Rвх +jХвх, (21)

где Rвх и Хвх –активная и реактивнаясоставляющие входного сопротивления.



 **Рисунок 1 – Эквивалентная схема последовательного колебательного контура**

Модуль полного входного сопротивления последовательного контура (рисунок 1).

= 

 (22)

а аргумент этого сопротивления

φвх = аrctg аrctg.

 (23)

При резонансе в последовательном контуре (Хвх = х =0) амплитудное значение э.д.с. генератора Еm1, тока генератора Im1, контурного тока Imк связаны зависимостью

Imк = Im1 = ,

 (24)

 а амплитуды напряжения на индуктивности UmL и емкости UmC контура связаны следующей зависимостью:

 (25)

UmL = UmC = Еm1Q.

 Модуль коэффициента передачи напряжения последовательного контура К при обобщенной расстройке *а* = 2Q , соответствующей абсолютной растройке Δf«f0, равен

= .

 (26)

 Полоса пропускания контура на уровне К = 0,707Q равна

Δfпр = .

 (27)

 Амплитуда напряжения генератора, питающего параллельный контур любого вида (рисунок 2)

 (28)

Um1 = Еm1 - Im1R*i,*

 где Еm1 и R*i* – амплитуда э.д.с. и внутреннее сопротивление генератора;

 Im1 – амплитуда тока генератора.

 При резонансе в параллельном контуре I вида (рисунок 2, *а*) входное сопротивление

Q = 

(29)

 а амплитуда тока в контуре при резонансе

 Imк = Im1Q. (30)

При резонансе в параллельном контуре II вида (рисунок, 2 *б*) входное сопротивление (при r1 << x1; r2 << x2 )

 RвхΙΙ = pL2Rвх1, (31)



 **Рисунок 2 – Эквивалентные схемы параллельных колебательных контуров**

 а амплитуда контурного тока

 Imк = рсIm1Q, (32)

 где – коэффициент включения контура, а L = L1 + L2.

 При резонансе в параллельном контуре III вида (рисунок 2, *в*) входное сопротивление

 Rвх III = Rвх1, (33)

 а амплитуда контурного тока

 Imк = рсIm1Q, (34)

 где  – коэффициент включения контура.

При резонансе в параллельном контуре общего вида (рисунок 2, *г*) входное сопротивление (при r1 << x1; r2 << x2)

,

 (35)

где х1, х2 – реактивное сопротивление одной ветви контура;

 r – активное сопротивление контура при последовательном обходе

 его элементов.

 Амплитуда контурного тока в контуре общего вида при резонансе



(36)

 Эквивалентная добротность параллельного контура

,

(37)

 где Q – добротность контура, вычисленная без учета шунтирования его

 внутренним сопротивлением генератора;

 Rвх = Q – входное сопротивление контура при том же условии.

 Модуль коэффициента передачи напряжения параллельного контура при обобщенной расстройке равен

,

(38)

 где К0 = Qэ/R*i* – резонансный коэффициент передачи напряжения контура.

 Полоса пропускания параллельного контура

 (39)

 

 Коэффициент связи в схеме с индуктивной (трансформаторной) связью контуров (рисунок 3, *а)*



(40)

где *М* – взаимоиндуктивность между контурами;

 L1, L2 – общая индуктивность соответственно первичного и

 вторичного контуров.



 **Рисунок 3 – Эквивалентные схемы связанных контуров**

Коэффициент связи между контурами с автотрансформаторной связью (рисунок 3, *б)*

,

 (41)

 где Lсв – индуктивность катушки связи;

L1, L2 – общая индуктивность соответственно первичного и вто­ричного контуров.

 Коэффициент связи в схеме с внутренней емкостной связью (рисунок 3, *в)*

,

 (42)

 где Ссв – емкость конденсатора связи;

 C1, С2 – общая емкость соответственно первичного и вторичного

 контуров.

 Коэффициент связи для схемы (рисунок 3, *г*)



 (43)

 Активная Rвх и реактивная Хвх составляющие входного сопро­тивления связанных контуров будут

 (44)



причем активная и реактивная составляющие сопротивления, вно­симого из вторичного контура в первичный, соответственно равны

  

(45)

где хсв – реактивное сопротивление связи;

  – модуль полного сопротивления вторичного контура.

 Условие первого частного резонанса

 (46)

Хвх = х1 + хвн = 0,

 а второго частного резонанса

 (47)



 где  – реактивное сопротивление, вносимое из первичного

контура во вторичный.

 Полный резонанс наблюдается при частоте генератора ω, рав­ной собственной частоте обоих контуров ω0 и критической связи с коэффициентом

 (48)



 где d1, d2 – затухание соответственно первичного и вторичного контуров.

 При этом сопротивление связи

.

 (49)

 Амплитуда тока в первичном и вторичном контурах при полном резонансе

 ; .

 (50)

 При сложном резонансе сопротивление связи

хсв = z2,

 (51)

 а амплитуда тока во вторичном контуре

Im2 = I2mm = .

 (52)

 При одинаковых контурах с собственной частотой *f*0 сложный резонанс наступает при частоте генератора, равной либо «медлен­ной» частоте связи *f*1, либо «быстрой» частоте связи *f*2:

 

 (53)

Коэффициент полезного действия первичной, цепи связанных контуров



 (54)

 Коэффициент передачи напряжения связанных контуров приполном и сложном резонансе одинаковый:



 (55)

 Модуль резонансного коэффициента передачи напряжения иден­тичных связанных контуров при произвольной величине связи

,

(56)

 где η – отношение действительного коэффициента связи *k* к критическому коэффициенту kкр;

 *Q –* добротность одного контура.

 Модуль коэффициента передачи напряжения идентичных свя­занных контуров при обобщенной расстройке, *а*



(57)

* + 1. **Примеры решения задач**

 1.Определить индекс частотной модуляции и число радиостанции N, работающих без перекрытия спектров по частоте в диапазоне Δ*f* = 100 кГц ÷

1 МГц, 1÷10 МГц, 10÷100 МГц, если девиация частоты Δ*f*m = 100 кГц и максимальная частота управляющего сигнала F = 5 кГц.

 ***Методика решения:***

 Индекс частотной модуляции



 Поскольку M >>1, ширина спектра частот определяется по формуле

 кГц.

 Число радиостанций, работающих без перекрытия спектров по частоте: при Δ*f* = (100 ÷ 1000) кГц



при Δ*f* = (1 ÷ 10) МГц



при Δ*f* = (10 ÷ 100) МГц



Как видно, частотную модуляцию с общим индексом М нельзя использовать на низких радиочастотах из-за большой ширины спектра радиосигнала. В диапазоне низких радиочастот обычно используется только амплитудная модуляция.

 2. Контур без потерь имеет индуктивность L= 35 мкГн и собственную длину волны λ0 = 100 м. Требуется определить собственную частоту, емкость и характеристическое сопротивление контура, а также амплитуду тока в контуре при амплитуде напряжения Um = 25 В.

 ***Методика решения:***

 Собственная частота контура согласно уравнению

.

 Емкость контура определяем из формулы

 пФ.

 Характеристическое сопротивление контура

ρ =Ом.

 Амплитуда тока в контура

мА.

 3.Амплитуда выходного напряжения, снимаемого с емкости последовательного контура, равна 60 в, а амплитуда ЭДС генератора равна 0,4в. Контур настроен в резонанс с частотой генератора 500 кГц и имеет активное сопротивление 4 Ом. Определить индуктивность и емкость контура, амплитуду тока в нем и напряжение на всех его элементах.

 ***Методика решения:***

Поскольку имеет место резонанс напряжений, добротность контура

 .

 Характеристическое сопротивление контура

 ρ ρ = Qr=150 · 4 = 600 Ом.

 Индуктивность контура на основании формулы (1.18)

 .

 Емкость контура

 .

 Амплитуда тока в контуре

 .

 Амплитуда напряжения на индуктивности при резонансе равна амплитуде напряжения на емкости, т.е. UmL= UmC = 60 В.

 Амплитуда напряжения на активном сопротивлении равна амплитуде ЭДС генератора, т.е.

 Umr = Imкr = 0,1 · 4 = 0,4 В = Еm1.

 4. Контур 1 вида, имеющий индуктивность L = 40 мкГн, емкость С= 100 пФ и сопротивление потерь r = 7 Ом, питается генератором с внутренним сопротивлением Ri = 200 кОм. Определить модуль коэффициента передачи напряжения контура при резонансе и при относительной расстройке контура

Δf/f0 = 0,02.

 ***Методика решения:***

 Характеристическое сопротивление контура

ρ Ом.

 Добротность одиночного контура



 Входное сопротивление одиночного контура при резонансе

Rвх = Q ρ = 633⋅90,4 = 57,2 ⋅103 Ом = 57,2 кОм.

 Эквивалетная добротность контура, т. е. добротность с уче­том шунтирования контура внутренним сопротивлением гене­ратора,



 Модуль коэффициента передачи напряжения контура при ре­зонансе



Модуль коэффициента передачи напряжения контура при расстройке Δ*f/f0* = 0,02



5.В двух индуктивно связанных контурах с коэффициентом связи k = 2kкр установлен сложный резонанс. Параметры контуров: L1 = L2= L = 3 мкГн; С1= С2=С=20 пф; r1 = r2= r = 3 ом. Амплитуда ЭДС генератора Еm1 = 15В. Определить амплитуды токов в контурах и выходного напряжения, а также частоты связи.

 ***Методика решения:***

 Характеристическое сопротивление контура

Ом.

 Затухание контура



 Коэффициент связи

 K = 2kкр = 2d = 2⋅7,75⋅10–3 = 1,55⋅10–2.

 Амплитуда тока в первичном контуре

.

 Амплитуда тока во вторичном контуре

.

 Коэффициент передачи напряжения

.

 Амплитуда выходного напряжения

 U2mm = Kmm Em1 = 64,5 · 15 = 967,5 В.

**3.3 Контрольное задание № 2**

 Вконтрольном задании № 2 предусматривается для каждого варианта решить 5 задач. Задачи и их номера в соответствии с вариантами (таблица 2) приведены ниже.

1. Изобразить Г – образный реактивный фильтр низких частот (ФНЧ). Описать

 работу фильтра. Определить параметры элементов R,C,L ФНЧ,

 согласованного с нагрузкой.

2. Двухпроводный воздушный фидер без потерь, нагруженный на активное сопротивление меньше волнового, имеет следующие размеры: диаметр провода d = 4 мм, расстояние между проводами а = 36 мм. Определить сопротивление нагрузки, если на расстоянии четверти волны от нагрузки напряжение равно 60 В, а ток – 0,2 А.

3. Прямоугольный волновод имеет критическую длину волны λкр=15см.

 Определить размер большой стенки волновода, значения фазовой и

 групповой скоростей υф и υгр, если частота ЭМВ в свободном пространстве

 f=4ГГц.

4.  Определить возможность параметрического возбуждения колебаний в

 колебательном контуре, если активное сопротивление потерь в контуре r =

 15Ом, частота колебаний f=1,2ГГц, а изменение ёмкости варактора

 осуществляется по закону:

*С* = *С0 +* $\frac{∆С}{2}$ *sin(2ωt+ψ)*.

 Здесь ∆С = 0,1 пФ, Ψ(град) = 0, С0 =11 пФ.

 Зарисовать принципиальную схему параметрического генератора на

 варикапе и пояснить назначение элементов.

5. Определить установились ли стационарные колебания в параметрическом

 генераторе, если активные потери в контуре r =13Ом, амплитуда тока в

 контуре Im = 10мА, частота колебаний f = 60МГц, а изменение ёмкости

 варикапа осуществляется по закону

 *С* = С0 (*1+ m sin2*ω*t*).

 Здесь m = 0,5; С0 = 50 пФ.

 Зарисовать принципиальную схему параметрического генератора на

 варикапе и пояснить назначение элементов.

6. Зарисовать эквивалент­ную схему кварцевого резонатора и рассчитать его

 добротность, если ин­дуктивность *Lкв =1350Гн*, емкость Скв= 0,01пФ,

 активное сопротивление *r*кв = 25Ом, а статическая емкость пьезоэлемента и

 кварцедержателя С0 = 10пФ.

7. Длинная линия с волновым сопротивлением *ρ* = 800 Ом нагружена на актив­ное сопротивление Rн = 400 Ом и подключена к генератору с частотой f = 25 МГц. Длина линии *l* = 18м. Нарисовать распределение амплитуд напряже­ния и тока в линии. Определить коэффициент отражения, коэффициент бегущей волны, а также амплитуды падающих и отраженных волн тока и напряжения, если ЭДС генератора Ег = 400 В. Чему равно входное сопротив­ление такой линии и какая мощность выделяется на нагрузке?

8. Рассчитать модуль коэффициента усиления по напряжению одноконтурного

 параметрического усилителя для синхронного режима работы, если

 активные потери в колебательном контуре усилителя r = 10Ом, частота

 колебаний f = 1,5ГГц, а изменение ёмкости варактора осуществляется по

 закону

 *С* =*10 (1*+ *m sin2ωt*).

 Здесь m = 0,3.

 Зарисовать принципиальную схему одноконтурного параметрического

 усилителя на варакторе и пояснить назначение элементов.

9. Между обкладками плоского воздушного конденсатора с площадью одной

 пластины S=80см2, сосредоточено синусоидально изменяющееся

 электрическое поле, амплитуда которого Еm = 0,1В/м . Какой будет

 амплитуда тока смещения конденсатора при частоте поля *f* = 1кГц*.*

 Объяснить появление тока смещения между пластинами конденсатора.

10. Плоская волна ТЕМ распространяется в однородном диэлектрике с

 параметрами εа = ε0, μа = μ0, σ = 0. Амплитуда напряженности

 электрического поля Еm= 10мВ/м, а частота волны f = 350МГц. Составить

 уравнения для мгновенных значений напряженностей электрического и

 магнитного полей. Дать определение электромагнитному полю.

11. Изобразить Г – образный реактивный фильтр верхних частот (ФВЧ).

 Описать работу фильтра. Определить параметры элементов R,C,L ФВЧ,

 согласованного с нагрузкой.

12. Длинная линия с волновым сопротивлением *ρ* = 400 Ом нагружена на актив­ное сопротивление Rн = 200 Ом и подключена к генератору с частотой f = 100 МГц. Длина линии *l* = 1,5м. Согласование линии с нагрузкой осуществ­ляется с помощью четвертьволнового трансформатора. Указать точки под­ключения согласующего устройства. Нарисовать распределение амплитуд напряжения вдоль линии.

13. Волна ТЕМ в диэлектрике с параметрами εа = 6ε0, μа = μ0, σ = 0 имеет

 плотность потока мощности П = 25мкВт/м2. Определить действующие

 значения напряженностей электрического и магнитного полей.

 Дать понятие о векторе Пойтинга.

14. Из воздуха (εа = ε0, μа = μ0, σ = 0) на плоскость, отделяющую его от

 полиэтилена (εа = 2,3ε0, μа = μ0, σ = 0), под углом θпад =100падает

 электромагнитная волна. Определить углы отражения θотр и преломления

 θпр, а также коэффициент бегущей волны в первой среде kб.в.

 Дать определение электромагнитной волне.

15. Определить амплитуду напряженности электрического поля Еm волны ТЕМ,

 которая в диэлектрике с параметрами εа = 5ε0, μа = μ0, σ = 0, имеет амплитуду

 напряженности магнитного поля Hm = 15мкА/м2.

 Дать определение поляризации и плоскости поляризации электромагнитной

 волны.

16. Определить фазовую скорость v, коэффициент фазы β и частоту *f* волны

 ТЕМ, распространяющейся с длиной волны λ =10см в диэлектрике,

 параметры которого εа = 4ε0, μа = μ0, σ = 0.

Дать определения понятиям дифракции, интерференции и рефракции.

17. Длинная линия с волновым сопротивлением zв=300 Om нагружена на активное

 сопротивление Rн|=600Ом и подключена к генератору с ЭДС Е=200В.

 Определить амплитуду отраженной волны тока и напряжения.

18. Коаксиальный фидер с волновым сопротивлением zв=160 Ом нагружен

 на активное сопротивление, больше волнового. Определить сопротивление

 нагрузки, коэффициенты бегущей и стоячей волны, если на расстоянии λ/2

от нагрузки значения амплитуды напряжения и тока соответственно равны

 36В и 0,18А.

19. Составить уравнения для мгновенных значений напряженностей

 электрического и магнитного полей плоской волны ТЕМ,

 распространяющейся в однородном диэлектрике с параметрами εа = 5ε0, μа =

 μ0, σ = 0. Амплитуда напряженности магнитного поля Нm = 100мкА/м2, а

 уловая частота волны ω = 200рад/с.

20. Определить действующее значение напряженности магнитного поля H и

 плотность потока мощности волны ТЕМ, имеющей в среде с параметрами εа

= 2,5ε0, μа = μ0, σ = 0 амплитуду напряженности электрического поля Еm

 =150мкВ/м2.

 Написать первое уравнение Дж.Максвелла и пояснить его.

21. Определить коэффициент фазы $β\_{1}, β\_{2}$ волны ТЕМ при распространении её в

 средах с параметрами εа1 = 3ε0, μа1 = μ0, σ1 = 0 и εа2 = 5ε0, μа1 = μ0, σ1 = 0.

 Длина волны в первой среде λ1 =1м.

 Написать второе уравнение Дж.Максвелла и пояснить его.

22. Длинная линия, разомкнутая на конце, имеет волновое сопротивление *ρ* = 500 Ом и подключена к генератору с частотой f = 100 МГц. Нарисовать распределение амплитуд напряжения и тока в линии. Определить амплитуду тока в пучности и амплитуду тока в точке, находящейся на расстоянии *l* = 0,5 м от конца линии, если напряжение на конце линии 100 В. Чему равно входное сопротивление такой линии, если ее длина *l* = 9 м ?

 23. Кабель РК-1 (Zв= 75 Ом) длиной 14,5 м с изоляцией из полиэтилена (ε = 2,3)

 замкнут накоротко и питается генератором с частотой 50 МГц. Определить

 входное сопротивление кабеля.

 Написать третье и четвертое уравнения Дж.Максвелла и пояснить их

24.Определить отношение плотности тока смещения к плотности тока

 проводимости в среде (εа=40ε0, μа=μ0, σ =0,5/Ом·м) для волны с частотой f =

 100МГц. Определить свойства среды.

 Привести упрощенную картину образования электромагнитной волны и

 пояснить ее.

25. Определить расстояние прямой видимости при отсутствии атмосферной

 рефракции и наличии нормальной атмосферной рефракции, если высота

 передающей антенны h1 =100м, а приемной h2 = 25м.

 Привести графическую иллюстрацию радиосвязи, соответствующую

 условию задачи.

26. Изобразить Г – образный реактивный полосовой фильтр (ПФ). Описать

 работу фильтра. Определить собственные (резонансные) частоты

 продольного и поперечного звеньев, если индуктивность и емкость

 продольного звена соответственно равны: L1 =10мкГн,С1 = 10мкФ.

27. Определить резонансную частоту *f0* кварце­вой пластины при произвольном

 срезе, если ее толщинаd=0,15мм. Пояснить сущность прямого и обратного

 пьезоэффектов.

28. Определить критическую длину волны слоя ионосферы с электронной

 концентрацией N = 5\*105 э / см3.

 Привести графическую иллюстрацию преломления ЭМВ в слоях ионосферы

 при организации космической радиосвязи и пояснить ее.

29. Вертикальный заземленный вибратор высотой h =1миз­лучает волны длиной

 λ=20м.Определить действующую высоту вибратора hд.

 Сравнить сопротивления излучения заземленного и симметричного

 вибраторов.

30. Элементарный вибратор длиною *l*=1м с амплитудой Im=10А излучает

 электромагнитные волны, длина которых *λ=*10м.Требуется определить

 амплитуды напряженности электрического Еm и магнитного Нmполей и

 плотность П потока мощности на расстоянии r =10км от вибратора в его

 экваториальной плоскости.

31. Составить уравнения для мгновенных значений напряженностей

 электрического и магнитного полей плоской волны ТЕМ,

 распространяющейся в однородном диэлектрике с параметрами εа = 3ε0, μа =

 μ0, σ = 0. Амплитуда напряженности магнитного поля Нm = 10мкА/м, а

 угловая частота волны ω = 120рад/м.

32. Определить, какой индуктивности или емкости эквивалентен разомкнутый двухпроводной кабель КАТВ *(ρ =* 300 Ом, ε = 2,3) длиной 16м при частоте колебаний 5 МГц.

33. Вибратор с равномерным распределением тока при длине *l* =20 *см* и токе с

 амплитудой Im=20 А излучает электромагнитные волны, которые на расстоянии

 г=10 км*,* отсчитанном в экватори­альной плоскости, имеют плотность потока

 мощности П = 5\* 10 -10 Вт*/*м2*.* Требуется определить частоту тока f в

 вибраторе и амплитуды напряженности электрического *Ет* и магнитного *Нт*

полей на этом расстоянии.

34. Симметричный вибратор длиной  *l* = 4миз­лучает волны длиной λ=20 м.

Определить действующую высоту вибратора hд и сопротивление излучения

 симметричного вибратора.

 Сравнить диаграммы направленности заземленного и симметричного

 вибраторов.

35. Вибратор имеет сопротивление излучения Rизл=5 Ом и коэффициент

 полезного действия η=25%. Определить сопротивление потерь Rп при

 условии, что все эти сопротивления отнесены к одному и тому же сечению

 вибратора.

Сформулировать теорему перемножения функций (диаграмм)

 направленности.

36. Изобразить Г – образный пассивный RС – фильтр нижних частот (ФНЧ).

 Описать работу фильтра. Определить модуль и аргумент комплексного

 коэффициента передачи напряжения для частоты входного напряжения f

 =50 кГц, граничную частоту фильтра, если сопротивление и емкость фильтра

 соответственно равны: R =1кОм, С =10мкФ.

37. Изобразить Г – образный пассивный RС – фильтр верхних частот (ФВЧ).

 Описать работу фильтра. Определить модуль и аргумент комплексного

 коэффициента передачи напряжения для частоты входного напряжения f

 =1 МГц, граничную частоту фильтра, если сопротивление и емкость фильтра

 соответственно равны: R =0,5кОм, С =10нФ.

38. На рисунке 6 штриховой линией представлена входная характери­стика

 транзистора. Аппроксимировать заданную характеристику в диапазоне

 0,5...0,7 В полиномом Тейлора второй степени относительно рабочей точки

 *U0 =* 0,6 В.

****

**Рисунок 6 - Входная характери­стика транзистора**

39. Экспериментально снятая входная характеристика транзистора представлена

 на рисунке 7 штриховой линией. Выполнить ку­сочно-линейную

 аппроксимацию данной характеристики в окрестности рабочей точки *U0* =

 0,7 В.

****

**Рисунок 7 - Входная характери­стика транзистора**

40. Характеристика нелинейного элемента имеет кусочно-линейную

 аппроксимацию двумя отрезками, у которой *Ен =* 0,5 В, S = 0,3 мА/В. На

 элемент воздействует суммарное (постоянное и переменное) напряжение

 *и(t)=*0,25+0,7сosωt В. Определить постоянную составляющую и первую

 гармонику тока, протекающих через нелинейный элемент цепи, если

 коэффициенты гармоник приведены на рисунке 8.

******

**Рисунок 8** - **Коэффициенты гармоник**

41. Двухпроводная линия без потерь, имеющая волновое сопротивление Zв = 600 Ом, нагружена на активное сопротивление R2 = 300 Ом и питается от генератора, который вызывает на нагрузке падение напряжения с амплитудой Um2 = 100В. Определить амплитуды напряжения и тока бегущих, стоячих и результирующих волн в резонансных сечениях, а также коэффициенты бегущей и стоячей волн в линии.

42. Линия с волновым сопротивлением *ρ* = 500 Ом нагружена на активное сопротивление Rн =100 Ом и питается от генератора с частотой f =30МГц. Согласование линии с нагрузкой осуществляется с помощью реактивного шлейфа. Рассчитать шлейф и точку его подключения к линии. Нарисовать распределение амплитуд напряжения вдоль линии.

43. Амплитудно – модулированный (АМ) сигнал *uам(t)=4(1+0,6cos*Ω*t)cos*0*t*, подан

 на вход линейного диодного детектора.Угол отсечки при детектировании Ѳ=50.

 Определить амплитуду выходного сигнала детектора. Дать определение АМ –

 сигналу.

44. Сквозная характеристика транзистора аппроксимирована двумя отрезками

 пря­мых линий. На­пряжение начала характеристики Ен=0,45В, крутизна

 характеристики S=5мА/В. На нелинейный резонансный усилитель

 воздействует суммарное (постоянное и переменное) на­пряжение u (t) = 0,15

+0.7cosω0t В. Добротность контура Q = 250, характеристическое

 сопротивление ρ= 500 Ом.

 Определить амплитуду выходного напряжения нелинейного резонансного

 усилителя мощности на биполярном транзисторе, если коэффициенты

 гармоник приведены на рисунке 9.

******

**Рисунок 9** - **Коэффициенты гармоник**

45. Определить отношение плотности тока смещения к плотности тока

 проводимости в морской воде (εа=80ε0, μа=μ0, σ =4/Ом·м) для волн с

 частотами f1 =104 Гц, f2 =104 кГц, f3 =104 МГц . Сделать вывод о влиянии

 частоты ЭМВ на свойства морской воды.

46. Прямоугольный волновод имеет размер большой стенки а=10см.

 Определить критическую длину волны, а также фазовую и групповую

 скорости, если частота ЭМВ в свободном пространстве f =3,2 ГГц.

47. Зарисовать структурную схему преобразователя частоты. Показать на

 спектральной диаграмме в соответствующем масштабе АЧС радиосигнала

 на выходе линейно-параметрического преобразователя частоты, если

 заданы: вид однотональной модуляции (АМ), коэффициент модуляции (m

 =0,5), несущая частота входного модулированного сигнала (f0 =200МГц),

 гетеродина (fг = 1,5f0), низкочастотного модулирующего сигнала(F = f0/10),

 амплитуда гармонического сигнала промежуточной частоты Umпр=10мВ.

 Преобразование частоты осуществляется в сторону её понижения.

 Определить ширину спектра радиосигналов на входе и выходе

 преобразователя частоты и сделать вывод об изменении вида и характера

 модуляции.

48. Зарисовать простейшую принципиальную схему преобразователя частоты.

 Показать на спектральной диаграмме в соответствующем масштабе АЧС

 радиосигнала на выходе линейно-параметрического преобразователя

 частоты, если заданы: вид однотональной модуляции (ЧМ), индекс

 модуляции (m =0,7), несущая частота входного модулированного сигнала (f0

 =300МГц), гетеродина (fг = 1,5f0), низкочастотного модулирующего сигнала

 (F = f0/10), амплитуда гармонического сигнала промежуточной частоты

 Umпр=15мВ. Преобразование частоты осуществляется в сторону её

 понижения.

 Определить ширину спектра радиосигналов на входе и выходе

 преобразователя частоты и сделать вывод об изменении вида и характера

 модуляции.

49. Зарисовать простейшую принципиальную схему преобразователя частоты.

 Показать на спектральной диаграмме в соответствующем масштабе АЧС

 радиосигнала на выходе линейно-параметрического преобразователя

 частоты, если заданы: вид однотональной модуляции (ФМ), индекс

 модуляции (m =3), несущая частота входного модулированного сигнала (f0

 =400МГц), гетеродина (fг = 1,5f0), низкочастотного модулирующего

 сигнала(F = f0/10), амплитуда гармонического сигнала промежуточной

 частоты Umпр=25мВ. Преобразование частоты осуществляется в сторону её

 понижения. Амплитуды гармонических составляющих показать в

 произвольном масштабе.

 Определить ширину спектра радиосигналов на входе и выходе

 преобразователя частоты и сделать вывод об изменении вида и характера

 модуляции.

50. Определить волновое сопротивление четвертьволнового трансформатора

 Zвс, согласующего отрезки двухпроводных линий с волновыми

 сопротивлениями Zв1= 400 Оми Zв2 = 600 Ом. Начертить рисунок,

 соответствующий условию задачи.

**Таблица 2 – Варианты заданий**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №варианта | Номер задач | №варианта | Номер задач |
| 00 | 1, 7, 13, 19, 25 | 50 | 1,2 2, 33, 44, 45 |
| 01 | 6, 12, 18, 24, 30 | 51 | 6, 17, 28, 9, 50 |
| 02 | 11, 17, 23, 29, 35 | 52 | 11, 22, 33, 40, 46 |
| 03 | 16, 22, 28, 34, 40 | 53 | 16, 27, 38, 49, 20 |
| 04 | 21, 27, 33, 39, 45 | 54 | 21, 2, 32, 41, 25 |
| 05 | 26, 32, 38, 44, 50 | 55 | 26, 27, 28, 29, 30 |
| 06 | 31, 37, 43, 49, 5 | 56 | 1, 22, 29, 34, 48 |
| 07 | 36, 42, 48, 4, 10 | 57 | 6, 27, 38, 40, 47 |
| 08 | 41, 47, 3, 9, 15 | 58 | 4, 23, 39, 42, 41 |
| 09 | 46, 2, 8, 14, 20 | 59 | 8, 17, 25, 39, 50 |
| 10 | 2, 8, 14, 20, 26 | 60 | 1, 12, 23, 34, 45 |
| 11 | 7, 13, 19, 25, 31 | 61 | 6, 17, 28, 39, 50 |
| 12 | 12, 18, 24, 30, 36 | 62 | 11, 22, 33, 44, 5 |
| 13 | 17, 23, 29, 35, 41 | 63 | 16, 27, 38, 49, 10 |
| 14 | 22, 28, 34, 40, 46 | 64 | 21, 32, 43, 4, 15 |
| 15 | 27, 33, 39, 45, 1 | 65 | 26, 37, 48, 9, 20 |
| 16 | 32, 38, 44, 50, 6 | 66 | 31, 42, 3, 14, 25 |
| 17 | 37, 43, 49, 5, 11 | 67 | 36, 47, 8, 19, 30 |
| 18 | 42, 48, 4, 10, 16 | 68 | 41, 2, 13, 24, 35 |
| 19 | 47, 3, 9, 15, 21 | 69 | 46, 7, 18, 29, 40 |
| 20 | 3, 9, 15, 21, 27 | 70 | 11, 12, 23, 34, 45 |
| 21 | 8, 14, 20, 26, 32 | 71 | 16, 17, 28, 39, 50 |
| 22 | 13, 19, 25, 31, 37 | 72 | 21, 22, 33, 44, 5 |
| 23 | 18, 24, 30, 36, 42 | 73 | 26, 27, 38, 49, 10 |
| 24 | 23, 29, 35, 41, 47 | 74 | 31, 32, 43, 4, 15 |
| 25 | 28, 34, 40, 46, 2 | 75 | 36, 37, 48, 9, 20 |
| 26 | 33, 39, 45, 1, 7 | 76 | 11, 22, 36, 44, 25 |
| 27 | 38, 44, 50, 6, 12 | 77 | 9, 17, 20, 34, 49 |
| 28 | 43, 49, 5, 11, 17 | 78 | 1, 9, 13, 24, 35 |
| 29 | 48, 4, 10, 16, 22 | 79 | 6, 10, 18, 29, 40 |
| 30 | 4, 10, 16, 22, 28 | 80 | 16, 12, 23, 34,45 |
| 31 | 9, 15, 21, 27, 33 | 81 | 21, 17, 38, 39, 50 |
| 32 | 14, 20, 26, 32, 38 | 82 | 26, 22, 33, 44, 5 |
| 33 | 19, 25, 31, 37, 43 | 83 | 31, 27, 38, 49, 10 |
| 34 | 24, 30, 36, 42, 48 | 84 | 36, 32, 43, 49, 15 |
| 35 | 29, 35, 41, 47, 3 | 85 | 41, 37, 48, 29, 20 |
| 36 | 34, 10, 46, 2, 8 | 86 | 46, 42, 3,14, 25 |
| 37 | 39, 45, 1, 7, 13 | 87 | 1, 47, 8, 19, 30 |
| 38 | 44, 50, 6, 12, 18 | 88 | 6, 22, 13, 20, 35 |
| 39 | 49, 5, 11, 17, 23 | 89 | 11, 7, 18, 29, 41 |
| 40 | 5, 11, 17, 23, 29 | 90 | 16, 12, 23, 34, 45 |
| 41 | 10, 16, 22, 28, 34 | 91 | 21, 17, 28, 39, 50 |
| 42 | 15, 21, 27, 33, 39 | 92 | 26, 22, 33, 34, 5 |
| 43 | 20, 26, 32, 38, 44 | 93 | 31, 27, 38, 49, 10 |
| 44 | 25, 31, 37, 43, 49 | 94 | 35, 32, 43, 24, 15 |
| 45 | 30, 36, 42, 48, 4 | 95 | 41, 37, 48, 50, 20 |
| 46 | 35, 41, 47, 3, 14 | 96 | 46, 42, 3, 4, 25 |
| 47 | 40, 46, 22, 3, 34 | 97 | 1, 47, 8,19, 30 |
| 48 | 45, 1, 12, 33, 47 | 98 | 6, 2, 13, 24, 35 |
| 49 | 50, 6, 27, 38, 49, | 99 | 11, 7, 18, 29, 40 |

**3.4. Методические указания по выполнению контрольного задания №2**

 Для решения задач необходимо изучить теоретический материал по темам 2.6 – 2.8, 3.1 – 3.2, 4.1, 4.2, 5.1– 5.3, 6.1 –6.2, 7.1 – 7.6 примерного тематического плана, а также проанализировать основные формулы и примеры решения задач, изложенные ниже.

**3.4.1 Основные формулы**

***а) фильтры***

 В Г – образных LC – фильтрах нижних и верхних частот (рисунок 10, *а, б*), согласованных с нагрузкой, частота среза, индуктивность, емкость и сопротивление нагрузки Rн соответственно равны



 (58)



 **Рисунок 10 – Схемы электрических фильтров** **нижних (а) и верхних (б) частот**

Схема Г – образного полосового фильтра на основе колебательных контуров показана на рисунке 11.



**Рисунок 11 – Схема пассивного Г-образного полосового LС-фильтра**

Последовательный L1С1 и параллельный L2C2 контура имеют одинаковые собственные (резонансные) частоты

 . (59)

Фильтры сосредоточенной селекции (ФСС) можно получить с помощью кварцевых резонаторов, действие которых основано на прямом и обратном пьезоэлектрическом эффекте (полоса пропускания менее 1 кГц). Кварцевый резонатор состоит из кварцедержателя (ме­таллические обкладки) и кристалла кварца в виде тонкой пластины (рисунок 12, а). На рисунке 12, б представлена эквивалентная схема кварцевого фильтра.



**Рисунок 12 – Условное обозначение (а) и эквивалент­ная схема кварцевого**

 **резонатора (б)**

Резонансная частота кварцевой пластины зависит от ее толщины *d*и определя­ется из выражения

*f*0[МГц] = (1,6…3,6)/*d*[мм], (60)

причем тип среза кварце­вой пластины определяет значение числового коэффициента.

 Добротность квар­цевого фильтра достигает значений *Q* = =106.

***б) Длинные линии***

Погонные индуктивность L1и активное сопротивление R1про­водов, емкость *С*1и активная проводимость (утечка) *G1* между про­водами линии соответственно равны

   

 (61)

где *dL, dR, dC, dG –* параметры элементарного участка линии дли­ной *dx.*

Полное погонное сопротивление проводов линии

 Z1 = R1+jωL1.

(62)

Полная погонная проводимость между проводами

Y1 = G1 + jωC1.

 (63)

Погонные параметры двухпроводной линии

 

 (64)

где а – расстояние между осями проводов;

 r1 – радиус провода;

  – абсолютные магнитная и диэлектрическая проницаемости среды, разделяющей провода линии.

Погонные параметры коаксиальной линии

 

 (65)

где *D* – внутренний диaметp внешнего провода;

 d – внешний диаметр внутреннего провода.

Волновое сопротивление двухпроводной линии



 (66)

Мгновенные значения напряжения *их* и тока *ix* на расстоянии *х* от конца линии без потерь, замкнутой на активное сопротивление R2 = Zв = Z0.



 (67)

где Um2, Im2 – амплитуда напряжения и тока в конце линии;

  – коэффициент фазы (волновое число).

Скорость распространения волн в линии



 (68)

Мгновенные значения напряжения и тока в разомкнутой линии



(69)

в короткозамкнутой линии



(70)

При сопротивлении нагрузки R2> Zв

ux = Um2kб.в.sin(ωt+βx)+[(1 – kб.в.) Um2cosβx]sinωt;



(71)

где kб.в.  = R2 / Zв.

 Входное сопротивление линии, замкнутой на R2 = Zв,

Zвх = Zв;

 (72)

разомкнутой линии без потерь

 (73)

 Zвх = jXвх, где Хвх = – Zв сtgβx;

короткозамкнутой линии без потерь

 (74)

Zвх = jXвх, где Хвх = Zв tgβx.

Модуль коэффициента отражения



(75)

Волновое сопротивление четвертьволнового согласующего трансформатора

(76)



где Zв1, R2– согласуемые сопротивления.

***в) Методы анализа нелинейных цепей***

*Аналитические методы анализа нелинейных цепей* предполагают аппроксимацию (приближенное представление) реальной ВАХ нелинейного элемента подходящей аналитической функцией. Эта функция должна быть по возможности простой и достаточно точно описывать ВАХ в рабочей области.

Наибольшее распространение получили аппроксимация *степенным полиномом и кусочно –линейная аппроксимация.*

*Аппроксимация степенным полиномом*используется при небольших амплитудах входных сигналов (доли вольта) при условии, что ВАХ нелинейного элемента имеет вид глад­кой кривой. При этом в качестве степенного полинома часто используется ряд Тейлора:

 , (77)

 где *,* *,* *,* .., – постоянные коэффициенты;

 *U0* – значение напряжения, соответствующеерабочей точке.

 Для определения *n* коэф­фициентов ряда на заданной рабочей области ВАХ выбирается *n+1* точек со своими координатами (*in*,*un*). При этом две точки выби­раются на границах диапазона, а одну точку совмеща­ют с рабочей точкой,имеющей координаты (*I0,U0*).. Под­ставляя координаты выбранных точек в формулу (3.6), составляют систему из *n+1* уравнений, которая решается относительно неизвестных коэффици­ентов ряда Тейлора.

*Кусочно-линейная аппроксимация* применяется в большинстве практических случа­ев, когда на нелинейный элемент радиоэлектронной цепи воздействует входной сигнал значительной амплитуды. Тогда реальную вольт – амперную характеристику не­линейного элемента можно аппроксимировать кусочно – линейной линией, со­стоящей из нескольких отрезков прямых с различными углами наклона к оси абсцисс.

Данная аппроксимация связана непосредственно с двумя важными параметрами нелинейного элемента – напряжением начала характеристики и ее крутизной . В общем случае дифференциальная крутизна характеристики в рабочей точке определяется отношением приращения тока к приращению напряжения и при малых их значениях находится из выражения

 . (78)

Уравнение отрезка прямой при кусочно-линейной аппроксимации характеристики записывается в виде:

 $\left\{\begin{array}{c}0, u<Ен;\\S\left(u-Ен\right), u\geq Ен.\end{array}\right.$ (79)

 Во многих радиотехнических устройствах характеристику нелинейного элемента, к которому подводится сигнал большой амплитуды, удается с приемлемой точностью аппроксимировать лишь двумя отрезками прямых линий.

***г)* *Преобразование сигналов в параметрических цепях***

*Преобразование частоты* – это линейный перенос (смещение, трансформация, гетеродинирование или транспонирование) спектра модулированного сигнала (а также любого радиосигнала) из области несущей частоты в область промежуточной частоты (или с одной несущей частоты на другую, в том числе и более высокую) *без изменения вида или характера модуляции.*



 **Рисунок 13 – Структурная схема преобразователя частоты**

 *Преобразователь частоты* (рисунок 13) состоит из смесителя (СМ) – нелинейного элемента (например, полевого транзистора с управляющим p-n-переходом, МДП транзистора, варикапа), гетеродина (Г)– вспо­могательного автогенератора гармонических колебаний с частотой , слу­жащего для параметрического управления смесителем, и фильтра промежу­точной частоты (Фпч) – обычно колебательного контура, являющегося нагрузкой усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

Простейшая схема преобразователя приведена на рисунке 14.



 **Рисунок 14 - Простейшая схема преобразователя частоты**

На рисунке 15 представлена принципиальная схема парамет­рического генератора на варикапе



  **Рисунок 15 – Принципиальная схема параметрического генератора на**

 **варикапе**

При параметрическом возбуждении амплитуда напряжения в контуре возрастает по экспоненциальному закону, т. е. мощность, вводимая в контур от генератора накачки, и равная

 *Р+* = *½Im2* |*rвн* | = *0,25* *Im2mρcosΨ* (80)

становится больше мощности, расходуемой на сопротивлении потерь и равной

 *Р–* = *0,5 Im2r*, (81)

где*m* – глубина модуляции;

 *ρ* – характеристическое сопротивление контура;

Ψ – фазовый сдвиг, обусловленный несинхронным (не одновременным) изменением емкости и достижением амплитудного значения напряжения на емкости.

 *r –* активном сопротивлении потерь в контуре;

 *Im* – амплитуда тока в контуре.

Стационарному режиму соответствует условие

 Р– = Р**+**. (82)

Принципиальная схема одноконтурного параметрического усилителя на варикапе показана на рисунке 16.



 **Рисунок 16 – Принципиальная схема одноконтурного**

 **параметрического усилителя на варикапе**

В схеме на рисунке 16 усиление мощности достига­ется периодическим изменением *С* или *L,* сопровождающимся вне­сением в контур энергии, за счет которой увеличивается энергия имеющихся в контуре колебаний.

 Модуль коэффициента усиления по напряжению *K* равен экви­валентной добротности контура *Qэ*.

 (83)

Наибольший коэффициент усиления, получающийся при *ψ=0*, равен

(83)

 Здесь *Q = ρ/r* = 1/ *r ωC0*.

***д) Электромагнитные волны***

 (84)

Объемная плотность тока проводимости

δпр =γЕ,

где γ - удельная проводимость,

 Е - напряженность электрического поля в данном проводнике.

Объемная плотность тока смещения



(85)

где  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды;

 Е – напряженность электрического поля в данной среде.

Мгновенные значения напряженности электрического поляволны ТЕМ, распространяющейся по оси *х*:

(86)

Е = Еm sin(ωt – βx),

где Еm – амплитуда напряженности электрического поля;

 – коэффициент фазы волны.

Скорость распространения электромагнитных волн



(87)

для воздуха (вакуума)  Ф/м, μа = μ0 = 4π⋅10–7 Гн/м;



(88)

Амплитуда напряженности магнитного поля волны ТЕМ

*Нm*= 

(89)

где  – волновое сопротивление среды.

Для свободного пространства Zв = Z0 = 

Объемные плотности энергий электрического и магнитного по­лей волны ТЕМ связаны следующей зависимостью:



(90)

Плотность потока мощности (вектор Пойнтинга)

*П = Е Н* = 

(91)

***е) Распространение радиоволн***

Отношение плотностей тока смещения и тока проводимости в данной среде, выраженное в комплексной форме:



 (92)

Комплексная диэлектрическая проницаемость среды



(93)

Углы падения θпад, отражения θотр и преломления θпр связаны следующими зависимостями:

θотр = θпад; 

(94)

где – показатель преломления первой среды;

 – показатель преломления второй среды.

 Относительная диэлектрическая проницаемость слоя ионосфе­ры, имеющего электронную концентрацию *N* при частоте *f*, равна



 (95)

где N в эл/см3; *f*  в кГц.

Минимально применимая волна

λmin = λкрsinδ,

(96)

где λкр – критическая длина волны отражающего слоя;

 δ – угол наклона луча к земной поверхности.

Расстояние прямой видимости при отсутствии атмосферной рефракции (геометрический горизонт)

D = 3,57() км,

 (97)

где h1, h2 – высоты передающей и приемной антенн в м.

Расстояние прямой видимости при нормальной атмосферной рефракции (радиогоризонт)

D = 4,12() км.

(98)

***ж) Характеристики антенн***

Сопротивление излучения антенны

 (99)

где – излучаемая мощность;

 IА – действующее значение тока в сечении антенны, к которому

 отнесено R.

Сопротивление потерь



 (100)

 где Рп – мощность потерь в антенне;

 IА – действующее значение тока в сечении антенны, к которому

 отнесено Rп..

Активное сопротивление антенны



 (101)

где РА – мощность, подводимая к передающей антенне.

КПД антенны



 (102)

Коэффициент усиления антенны G связан с ее коэффициентом направленного действия D зависимостью

(103)

G = Dηa.

ЭДС, индуктируемая в приемной антенне,

(104)

ЕА = Ehд,

где Е – составляющая напряженности электрического поля,

 параллельная проводу антенны;

 hд – действующая высота антенны.

Эффективная поверхность антенны

 (105)

Sэф = Р/П,

где Р – мощность напряженности электрического поля, параллельная

 проводу антенны;

 П – плотность потока мощности (вектор Пойнтинга).

***з) Основы теории излучения и приема радиоволн***

Амплитуда напряженности электрического поля элементарного вибратора на расстоянии r от него под зенитным углом θ равна



 (106)

где Im – амплитуда тока в вибраторе;

 *l* – длина вибратора.

Сопротивление излучения элементарного вибратора



 (107)

Амплитуда напряженности электрического поля симметричного вибратора длиной *l*



 (108)

где Im – амплитуда тока в пучности.

Угол θ отсчитывается от оси вибратора.

Для горизонтального вибратора, расположенного на высоте h над идеально проводящей поверхностью земли,



 (109)

адля вертикального вибратора в аналогичных условиях



 (110)

где δ – угол наклона луча к земной поверхности;

 – коэффициент фазы.

Действующая высота вертикального заземленного вибратора с геометрической высотой h



 (111)

При длине *l* << λ (высоте *h* << λ) действующая высота hд =  ().

Амплитуда напряженности поля симметричного вибратора, вы­раженная через его действующую высоту hд,



 (112)

где F(θ) – уравнение нормированной диаграммы направленности

 вибратора.

При длине h  и *l*  сопротивление излучения симметричного и заземленного вибраторов соответственно равны



(113)

Коэффициент направленного действия вибратора



(114)

Для элементарного вибратора D=1,5, для полуволнового *D =*1,64, для четвертьволнового заземленного (при идеальной прово­димости земли) D = 3,28.

Входное сопротивление вибратора при питании его в пучности тока (последовательном резонансе)

(115)

Zвх = Rвх = R + Rп,

где R, Rп – сопротивления излучения и потерь, отнесенные к за­жимам

 вибратора.

Волновое сопротивление вибратора определяется по формуле



(116)

Действующее значение напряженности поля на расстоянии r от антенны при отсутствии отражения волн от земли (формула идеальной радиопередачи)

мв/м,

 (117)

***и) Волноводы***

Критическая длина волны волн типа Hmn (TEmn) и Emn (ЕMmn) в прямоугольном волноводе



 (118)

где a и b – стороны поперечного сечения волновода.

Фазовая скорость в волноводе



 (119)

где с = 3⋅108 м/сек– скорость света;

 λ – рабочая длина волны в свободном пространстве.

Групповая скорость в волноводе



 (120)

 **3.4.2 Примеры решения задач**

1. Кабель РК-1 (Zв= 75 Ом) длиной 14,5 м с изоляцией из полиэтилена (ε = 2,3) замкнут накоротко и питается генератором с частотой 50 Мгц. Определить входное сопротивление кабеля.

***Методика решения:***

 Длина волны в воздухе, соответствующая частоте 50 МГц,

 м.

 Длина волны в кабеле определяется с учетом того, что скорость распространения волн в нем меньше, чем в воздухе, в

 раза,

т.е.

м.

 Коэффициент фазы для кабеля

 град/м.

 Входное сопротивление кабеля определяем для длины линии м, поскольку входное сопротивление через участки линии, равные целому числу полуволн, повторяется:

Ом.

 Это сопротивление индуктивного характера.

2. Определить длину волны, волновое сопротивление в медном (γ = 5,8 · 107 1/Ом · м) круглом волноводе с внутренним диаметром 25,4 мм при распространении в нем волны типа Е01 с длиной волны в свободном пространстве λ = 3см.

 ***Методика решения:***

 Критическая длина волны

мм.

 Длина волны в волноводе

см.

 Волновое сопротивление волновода

 Ом.

3. Определить амплитудное значение напряженности электрического поля в воздухе и полиэтилене при амплитуде результирующего поля на плоскости раздела двух сред Еm = 0,5 мв/м, коэффициенте бегущей волны и фазовой постоянной в воздухе соответственно: kб.в =0,66; β1 = 0,21 рад/м.

 ***Методика решения:***

 В первой среде распространяются бегущая волна с амплитудой напряженности электрического поля Еm б1 = Еmkб.в = 0,5⋅0,66 = 0,33 мв/м и стоячая волна с амплитудой Еm с1 = Еm (1 – kб.в)sin(β1*x*) = 0,5⋅0,34sin (0,21*х*) мв/м, а во второй среде, поскольку она не ограничена в направлении распространения (т.е. по оси *х*), – бегущая волна с амплитудой Еm2 = Em = 0,5 мв/м.