



Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (уровень подготовки кадров высшей квалификации), код и название направления

утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 876, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, шифр и название специальности

утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** изучения дисциплины является овладение методами расчетов открытых волноводных систем.

**Задачами** дисциплины являются:

- изучение основ электродинамики открытых систем;
- изучение пакетов прикладных программ для расчетов систем КВЧ диапазона;
- изучение основ оценки результатов измерений;
- изучение принципов расчета стоимости научного эксперимента.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способность применять фундаментальные знания в прикладных научных исследованиях (ПК-1);
- способность к составлению научных отчетов по результатам проводимых научных исследований (ПК-6).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**знать:**

- фундаментальные и прикладные положения дисциплины (ПК-1);
- методы расчета открытых систем КВЧ диапазона и оценивать результаты полученные при расчетах (ОПК-3);

**уметь:**

- выдвигать новые идеи как теоретического, так и практического плана (ОПК-3);
- самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний (УК-1);
- оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы (ПК-6);
- использовать фундаментальные и прикладные положения дисциплины для решения конкретных задач (ПК-1);

**владеть:**

- методологией современного естествознания (ОПК-1);
- навыками и приемами выдвижения новых идей и нахождения путей их реализации (УК-1).
- приемами освоения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой непосредственной деятельности (ПК-1);
- навыками поиска информации, анализа и использования научной информации (ПК-5).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### *1. История развития электродинамики открытых систем*

Историческая справка и анализ развития КВЧ устройств. Классификация устройств и физические принципы их действия.

### *2. Математический аппарат для решений задач электродинамики*

Уровни математической физики. Уравнения Максвелла. Однородные уравнения Гельмгольца для открытых систем. Неоднородные уравнения Гельмгольца. Функции Грина, Ганкеля, Макдональда,

### *3. Задачи для открытых и полуэкранированных регулярных волноводов*

Планарный диэлектрический волновод. Прямоугольный и круглый диэлектрический волноводы. Влияние экрана на поля и волны в диэлектрических волноводах.

### *4. Задачи для открытых и полуэкранированных резонаторов*

Резонатор Фабри-Перо. Диэлектрический резонатор. Диэлектрический резонатор шепчущей галереи.

### *5. Задачи для открытых и полуэкранированных нерегулярностей*

Влияние нерегулярностей типа изгиб, стык двух диэлектрических стержней различных сечений, зазор между диэлектрическими стержнями, сдвиг, излом. Задачи связи двух и более ДВ.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

1 семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля и проведения зачета**

1. Уравнения Максвелла вывод.
2. Системы координат и представление поля в цилиндрической системе координат.
3. Системы координат и представление поля в сферической системе координат.
4. Системы координат и представление поля в гиперболической системе координат.
5. Уравнение Гельмгольца для пространства без источников энергии.
6. Уравнение Гельмгольца для пространства с источниками энергии.
7. Планарный диэлектрический волновод, волновые числа, типы волн, дисперсионные характеристики, потери.

8. Прямоугольный диэлектрический волновод, волновые числа, типы волн, дисперсионные характеристики, потери.
9. Круглый диэлектрический волновод, волновые числа, типы волн, дисперсионные характеристики, потери.
10. Метод Маркатили и его ограничения.
11. Резонансные явления в открытом воздушном резонаторе.
12. Резонатор Фабри-Перо.
13. Расчет резонанса дискового диэлектрического резонатора.
14. Добротность дискового диэлектрического резонатора.
15. Влияние нерегулярности типа сдвиг на коэффициент отражения на стыке двух ДВ.
16. Влияние нерегулярности типа сдвиг на коэффициент отражения на стыке двух полуэкранированных ДВ.
17. Влияние нерегулярности типа зазор на коэффициент отражения на стыке двух ДВ.
18. Влияние нерегулярности типа сдвиг на коэффициент отражения на стыке двух полуэкранированных ДВ.
19. Влияние нерегулярности типа изгиб на коэффициент отражения и прохождения для полуэкранированных ДВ.
20. Влияние симметрии на формирование типов волн в полуэкранированном ДВ.
21. Распределение полей высших мод в широкоформатном диэлектрическом волноводе.
22. Оценка погрешности расчета в пакетах диэлектрического стержня.
23. Ограничения для расчетов диэлектрического волновода в системах проектирования.
24. Ограничения для расчетов диэлектрического резонатора в системах проектирования.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Агаян Ю.М. Теоретическое и экспериментальное исследование резких нерегулярностей в ДВ./ Дис. на соиск. уч. степ.к.т.н.,-1974., - 163 с., ил.
2. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны., - М.: Изд-во «Сов.радио», 1957, 581 с.

3. Взятыйшев В.Ф. Диэлектрические волноводы. - М.: Изд. Сов.радио, 1970. – 217 с., ил.
4. Взятыйшев В.Ф. Основы теории и принципы применения диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона. / Дис. на соиск. степ.докт. т. н. М. -МЭИ, - 1970, - 287 с.
5. Гутцайт Э.М. Излом вместо плавного изгиба в метало диэлектрическом волноводе. «Научные доклады высшей школы», Радиотехника и электроника, 1959, т. 2, № 2, с. 52-57.
6. Гутцайт Э.М. Типы волн в Н-образном металло-диэлектрическом волноводе. - Радиотехника и электроника, -1962, т. 7, № 2, с. 310-314.
7. Ильченко М.Е., Взятыйшев В.Ф. и др. Диэлектрические резонаторы. / Под редакцией Ильченко М.Е. – М.: Радио и связь, 1989. – 328 с., ил.
8. Каценеленбаум Б.З. О распространении электромагнитных волн вдоль бесконечных диэлектрических цилиндров при низких частотах. - ДАН СССР, 1947, т. 58(7), с. 1317.
9. Каценеленбаум Б.З. Высокочастотная электродинамика. - М.: Наука. 1966, - 240 с
10. Подковырин С.И. Исследование волновых явлений в диэлектрических планарных элементах и принципов построения функциональных устройств на их базе. / Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, - М.: МЭИ, 1981. - 188 с.
11. Тамм И.Е. Основы теории электричества. Изд. 11 испр., -М: «Физматлит», 2003. – 616 с.
12. Череп П. Р. Изгиб диэлектрического волновода // Труды КВИАВУ ВВС, - вып. 24, - 1958. - С.56-62.
13. Шевченко В.В. Плавные переходы в открытых волноводах. - М.: Наука. 1969. - 191 с.
14. Oliner A.A., Peng S.T., Hsu T.I. and Sanchez A. Guidance and Leakage Properties of a Class of Open Dielectric Waveguides, Part II: New Physical Effects // IEEE Trans. MTT, vol. 35, pp. 737-747, Aug. 1987.
15. Oliner A.A. Historical perspectives on microwave field theory // IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-32, pp. 1022-1045, Sept. 1984.
16. Yoneyama T. Nonradiative dielectric waveguide // Int. J. Infrared Millim. Waves, vol. 11, pp. 61-98, 1984
17. Yoneyama T., Nishida S. Nonradiative dielectric waveguide circuit components // Digest of 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Infrared and Millimeter-Waves (Miami), W-3, Dec. 1981.
18. Wu K., Han L. Hybrid integrated technology of planar circuits and NRD-guide for cost-effective microwave and millimeter-wave applications // IEEE Trans. MTT, vol. 45, pp. 946-954, June 1997.
19. Boone F., Hindson D., Caron M., Wu K. Design and properties of integrated millimeter-wave bandpass filters using NRD for broadband wireless system // SPIE, Sept. 1999, Boston.
20. Boone F., Wu K. Mode conversion and design consideration of integrated NRD components and discontinuities // IEEE Trans. MTT, vol. 48, pp. 482-492, Apr. 2000.
21. Beuerle B. Non-Radiating Waveguide With High Permittivity Dielectric and Antennas Based on it. Dresden University of Technology, 2010. 149 p.
22. Balanis C. A. Antenna Theory - Analysis and Design. 2016.