

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Задания и методические рекомендации
к выполнению контрольной работы по дисциплине
«Устройства микроволнового и оптического диапазонов»

для студентов заочной формы обучения
специальности 7.090701- радиотехника

Севастополь
2005



Методические указания «Задания и методические рекомендации к выполнению контрольной работы по дисциплине «Устройства микроволнового и оптического диапазонов» для студентов заочной формы обучения специальности 7.090701 — Радиотехника / Сост. О.И. Агафонцева. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. — 15 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в выполнении и оформлении контрольных заданий по дисциплине «Устройства микроволнового и оптического диапазонов». Приводятся контрольные задания, требования к их выполнению, содержанию и оформлению. Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Устройства микроволнового и оптического диапазонов», предусмотренной учебным планом специальности.

Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения специальности 7.090701 — Радиотехника.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники (протокол № 1 от 29.08.05 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Афонин И.Л. канд. тех. наук, доцент кафедры радиотехники.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Требования к выполнению контрольной работы	5
1.1. Общие рекомендации	5
1.2. Требования к оформлению	5
2. Задание на контрольную работу	6
2.1. Расчетное задание	6
2.2. Теоретические вопросы	7
3. Методические рекомендации к выполнению расчетного задания	9
4. Контрольные вопросы к зачету	14
Библиографический список	15

ВВЕДЕНИЕ

Целью преподавания дисциплины «Устройства микроволнового и оптического диапазонов» является изучение студентами принципов работы и методов расчета устройств микроволнового и оптического диапазонов.

В результате изучения дисциплины студент **должен знать**:

- принципы работы и методы расчета устройств микроволнового и оптического диапазонов различного назначения;
- особенности конструктивной реализации устройств микроволнового диапазона на различных линиях передачи;
- особенности конструктивной реализации устройств оптического диапазона;
- методы анализа характеристик устройств микроволнового и оптического диапазонов.

В результате изучения дисциплины студент **должен уметь**:

- использовать полученные знания для расчета параметров устройств микроволнового и оптического диапазонов;
- анализировать процессы и явления в устройствах микроволнового и оптического диапазонов;
- определять параметры элементов и отдельных узлов устройств микроволнового и оптического диапазонов.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1.1. Общие рекомендации

Контрольная работа для студентов заочной формы обучения включает одно расчетное задание и ответы на два теоретических вопроса, соответствующих содержанию дисциплины. Ориентировочный объем выполненной контрольной работы составляет 10 ... 12 страниц.

1.2. Требования к оформлению

1.2.1. Контрольная работа должна быть выполнена в обычной ученической тетради или отпечатана на листах формата А4. Она должна быть аккуратно оформлена, разборчиво написана. Для замечаний преподавателя на каждой странице оставляются поля шириной 3-4 см. Все страницы нумеруются в правом верхнем углу.

1.2.2. На обложке тетради указывается: фамилия; имя; отчество; группа; шифр (номер зачетной книжки); дисциплина; адрес студента.

1.2.3. Рисунки, графики, выполнение которых требуется в задании, должны быть сделаны аккуратно (например, с помощью персонального компьютера). Графики допускается строить на миллиметровой бумаге с указанием размерностей по осям.

1.2.4. Расчетные формулы должны приводиться в тексте работы в общем виде с обязательным объяснением буквенных значений.

1.2.5. Расчеты необходимо выполнять до трех значащих цифр после запятой.

1.2.6. В конце работы указывается использованная литература (название подраздела «Перечень ссылок»). При этом он должен быть составлен в соответствии с требованиями ГОСТа 7.1 — 84.

1.2.7. Контрольная работа должна быть подписана автором.

2. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Исходные данные для расчетного задания выбираются по последней и предпоследней цифрам номера зачетной книжки; теоретические вопросы — по последней цифре номера зачетной книжки.

2.1. Расчетное задание

Исследование частотных характеристик направленного ответвителя с ненаправленными элементами связи.

Рассчитать многодырочный направленный ответвитель с ненаправленными элементами связи, выполненный на прямоугольном металлическом волноводе с поперечным сечением, $a \times b$, где a и b — размеры широкой и узкой стенок волновода соответственно:

- переходное ослабление — C ;
- средней длиной волны $\lambda_{0\text{ ср}}$ диапазона частот — Δf ;
- количеством элементов связи m .

Необходимо:

- определить размеры элементов связи;
- построить графики зависимости переходного ослабления и направленности многодырочного направленного ответвителя от частоты в диапазоне частот.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Исходные данные к расчетному заданию

Последняя цифра	0	1	2	3	4
$a \times b$, мм ²	23×10	72×34	23×10	72×34	23×10
$\lambda_{0\text{ ср}}$, м	0,03	0,1	0,032	0,102	0,028
Предпоследняя цифра	0	1	2	3	4
C , дБ	10	15	20	25	30
m	4	4	6	6	4
$\Delta f/f_{\text{ср}}$, %	30	30	40	40	30

Последняя цифра	5	6	7	8	9
$a \times b$, мм ²	72×34	23×10	72×34	23×10	72×34
$\lambda_{0\text{ ср}}$, м	0,098	0,031	0,101	0,029	0,099
Предпоследняя цифра	5	6	7	8	9
C , дБ	35	40	15	20	25
m	4	6	6	4	4
$\Delta f/f_{\text{ср}}$, %	30	30	40	40	30

2.2. Теоретические вопросы

Вариант 0

- 1) Фильтры СВЧ. Принцип действия. Основные характеристики фильтров. Область применения.
- 2) Электрооптические модуляторы. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 1

- 1) Мостовые устройства СВЧ. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Фотозмиссионные детекторы. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 2

- 1) Волноводный направленный ответвитель. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Фотовольтаические детекторы. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 3

- 1) Направленный ответвитель с распределенной электромагнитной связью. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Приемники прямого детектирования оптического диапазона. Принципы действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 4

- 1) Волноводно-щелевой мост. Принцип действия. Основные характеристики волноводно-щелевого моста. Область применения.
- 2) Оптические передатчики. Принципы построения. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 5

- 1) Атенюаторы. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Приемники прямого детектирования на поднесущей частоте оптического диапазона. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 6

- 1) Антенные переключатели. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Оптические фильтры. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 7

- 1) Фазовращатели. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Фотоэмиссионные детекторы. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 8

- 1) Циркуляторы. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Фотооптические модуляторы. Принципы действия. Основные характеристики. Область применения.

Вариант 9

- 1) Ферритовые вентили. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 2) Оптические передатчики. Принципы построения. Основные характеристики. Область применения.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНОГО ЗАДАНИЯ

Направленный ответвитель — это двухканальное устройство, предназначенное для ответвления части энергии электромагнитного поля из основного канала в другой, причем, так что направление передачи энергии во втором канале зависит от направления передачи в основном канале.

На рисунке 3.1 схематически показан волноводный направленный ответвитель, который состоит из основного (первичного) волновода с плечами I и II и вспомогательного (вторичного) волновода с плечами III и IV. Связь между волноводами осуществляется через отверстия (1, 2, 3, ..., m), прорезанные в общей узкой стенке волноводов.

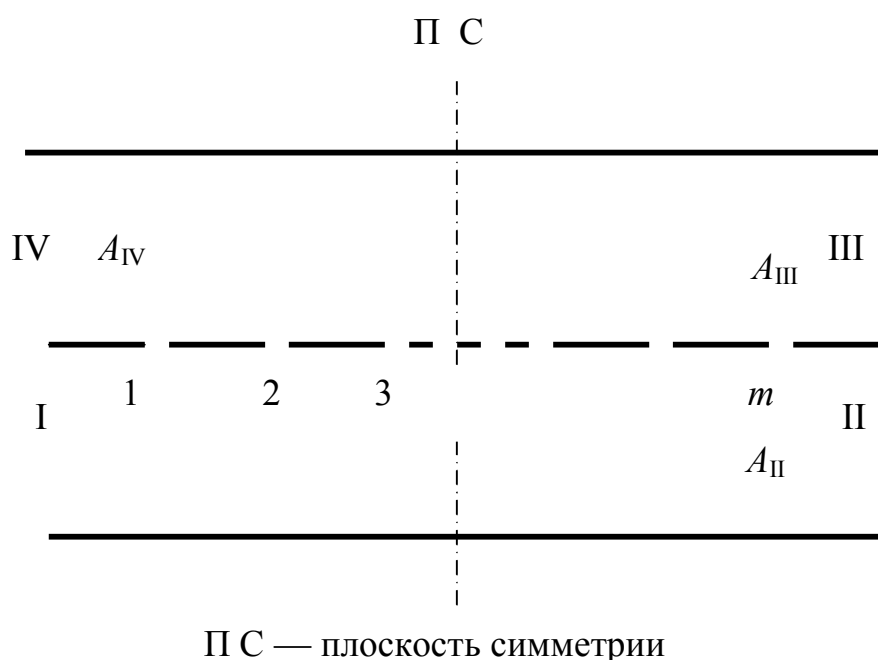


Рисунок 3.1 — Многодырочный направленный ответвитель

Принцип работы направленного ответвителя основан на возбуждении в вспомогательном волноводе через отверстия связи нескольких волн, смещенных по фазе таким образом, что волны распространяющиеся в одном направлении, интерферируя, суммируют амплитуды, а в противоположном — вычитают.

Величина переходного затухания зависит от размеров отверстий связи и их числа. Направленность ответвителя в диапазоне частот зависит от закономерности изменения размеров отверстий. Отверстия связи предполагаются ненаправленными. Система отверстий симметрична относительно центральной плоскости, то есть крайние отверстия самые малые, следующая симметричная пара отверстий имеет большие размеры и т. д. Максимальные размеры имеет центральное отверстие или

пара центральных отверстий в зависимости от четности или нечетности количества отверстий. Наиболее чаще применяются направленные ответвители с чебышевской и биномиальной характеристиками направленности.

Рассмотрим направленный ответвитель с биномиальной характеристикой направленности.

Длина волны в волноводе определяется следующим выражением

$$\lambda_B = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}},$$

где λ_0 – длина волны в свободном пространстве.

Расстояние между отверстиями равно

$$l = \frac{\lambda_{B\text{ ср}}}{4},$$

$$\lambda_{B\text{ ср}} = \frac{2\lambda_{B1} \cdot \lambda_{B2}}{\lambda_{B1} + \lambda_{B2}},$$

где λ_{B1} и λ_{B2} – крайние длины волн в волноводе рабочего диапазона частот.

На частоте $f_{\text{ср}}$, соответствующей длине волны $\lambda_{B\text{ ср}}$, фазовый сдвиг φ_0 между сигналами, ответвляемыми соседними отверстиями, равен $\pi/2$

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{\lambda_{B\text{ ср}}} l = \frac{2\pi}{\lambda_{B\text{ ср}}} \cdot \frac{\lambda_{B\text{ ср}}}{4} = \frac{\pi}{2}.$$

На других частотах фазовый сдвиг φ равен

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_B} l = \frac{2\pi}{\lambda_B} \cdot \frac{\lambda_{B\text{ ср}}}{4} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\lambda_{B\text{ ср}}}{\lambda_B}.$$

При проектировании многодырочных направленных ответвителей с заданным переходным ослаблением определяются размеры отверстий.

Пусть заданно шесть отверстий ($m = 6$).

Амплитуда волны A_{III} равна сумме амплитуд

$$A_{\text{III}} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6, \quad (1)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ – комплексные амплитуды волн, возбуждаемые во вторичном волноводе первым, вторым, третьим, четвертым, пятым, шестым отверстиями связи соответственно.

Все волны, ответвляемые в прямом направлении, синфазные. Волны, ответвляемые в обратном направлении, будут отличаться по фазе. Для двух соседних волн это отличие равно 2φ .

Результирующая нормированная амплитуда волны в показательном виде, ответвляемая в плечо IV, равна

$$A_{IV} = a_1 \cdot e^{i5\varphi/2} + a_2 \cdot e^{i3\varphi/2} + a_3 \cdot e^{i\varphi/2} + a_4 \cdot e^{-i\varphi/2} + a_5 \cdot e^{-i3\varphi/2} + a_6 \cdot e^{-i5\varphi/2}, \quad (2)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ и $5\varphi/2, 3\varphi/2, \varphi/2, -\varphi/2, -3\varphi/2, -5\varphi/2$ — модули и аргументы комплексных амплитуд волн, возбуждаемых во вторичном волноводе первым, вторым, третьим, четвертым, пятым, шестым отверстиями связи соответственно.

Отсчет фазы ведется от плоскости симметрии (см. рисунок 3.1).

Полагая $a_1 = a_6, a_2 = a_5, a_3 = a_4$ и преобразуя выражение (2), получим

$$A_{IV} = 2 \cdot \left[a_1 \cdot \cos\left(\frac{5\varphi}{2}\right) + a_2 \cdot \cos\left(\frac{3\varphi}{2}\right) + a_3 \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right]. \quad (3)$$

Амплитуда A_{IV} зависит от частоты. Эта зависимость определяется способом выбора нормированных комплексных амплитуд волн, возбуждаемых во вторичном волноводе отверстиями связи. Одним из таких способов является биномиальное приближение.

Коэффициенты разложения бинома можно найти с помощью треугольника Паскаля

$m = 1$						1
$m = 2$				1	1	
$m = 3$			1	2	1	
$m = 4$		1	3	3	1	
$m = 5$	1	4	6	4	1	
$m = 6$	1	5	10	10	5	1

Для примера рассмотрим направленный ответвитель с $m = 6$ элементами связи и переходным ослаблением $C = 20$ дБ.

В примере $m = 6$, следовательно, нормированные амплитуды волн, возбуждаемые во вторичном волноводе отверстиями связи, пропорциональны

$$a_1 \sim 1; a_2 \sim 5; a_3 \sim 10; a_4 \sim 10; a_5 \sim 5; a_6 \sim 1;$$

т. е. $a_2 = a_5 = 5a_1, a_3 = a_4 = 10a_1$.

После подстановки a_2 и a_3 в выражение (3) получаем

$$A_{IV} = 2a_1 \left[\cos\left(\frac{5\varphi}{2}\right) + \cos\left(\frac{3\varphi}{2}\right) + \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right]. \quad (4)$$

Известно, что

$$\cos(k+1)\gamma = 2\cos(k\gamma) \cdot \cos\gamma - \cos(k-1)\gamma, \quad (5)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$;
 $\gamma = \varphi/2$.

Используя выражение (4), можно выразить $\cos(k\gamma)$ через $\cos(\gamma)$, используя известные формулы преобразования:

$$\begin{aligned} \cos(3\gamma) &= 4\cos^3\gamma - 3\cos\gamma, \\ \cos(4\gamma) &= 8\cos^4\gamma - 8\cos^2\gamma - 1, \\ \cos(5\gamma) &= 16\cos^5\gamma - 20\cos^3\gamma + 5\cos\gamma. \end{aligned}$$

Подставляя в выражение (4) $\cos(5\gamma)$ и $\cos(3\gamma)$, получим

$$A_{IV} = 32a_1 \cdot \cos^5\left(\frac{\varphi}{2}\right). \quad (6)$$

Выражение (6) определяет нормированную амплитуду волн в четвертом плече направленного ответвителя с шестью отверстиями.

Нормированная амплитуда волны A_{III} , ответвляемая в прямом направлении в соответствии с выражением (1) равна

$$A_{III} = 32a_1, \text{ откуда } a_1 = A_{III}/32. \quad (7)$$

Переходное ослабление направленного ответвителя определяется выражением

$$C = 6(m-1) + 20\lg \frac{12a^3b}{pd_1^3 L_B}, \quad (8)$$

где d_1 — диаметр первого отверстия.

Диаметры отверстий можно определить, зная их переходное ослабление. Переходное ослабление отверстия, прорезанного в общей стенке волноводов равно

$$C_i = 10\lg \left(\frac{12a^3b}{pd_i^3 L_B} \right)^2 = 10\lg \left(\frac{1}{a_i} \right)^2,$$

откуда

$$a_i = \frac{pd_i^3 L_{всп}}{12a^3b}, \quad (9)$$

где d_i — диаметр i — го отверстия.

Из выражения (9) следует

$$d_i = 3 \sqrt[3]{\frac{12a^3 b a_i}{p_{\text{лвср}}}}. \quad (10)$$

Подставляя в выражение (10) значения a_i , определяем диаметры отверстий d_i . Направленность ответвителя определяется следующим выражением

$$N = 20 \lg \frac{1}{\cos^m \frac{p_{\text{лвср}}}{2L_{\text{в}}}}. \quad (11)$$

Используя выражения (10) и (11), постройте графики зависимости переходного ослабления и направленности многодырочного ответвителя от частоты в указанном диапазоне.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

- 4.1. Современное состояние и перспективы развития техники и устройств микроволнового диапазона.

Классификация линий передачи микроволнового диапазона. Элементы линий передачи.

- 4.3. Матричная теория цепей сверхвысоких частот (СВЧ). Матрица рассеяния четырехполюсника. Матрицы многополюсников. Матрица каскадного соединения четырехполюсников.
- 4.4. Частотно-избирательные фильтры микроволнового диапазона. Принцип действия. Основные характеристики фильтров. Область применения.
- 4.5. Мостовые устройства микроволнового диапазона. Тройники. Волноводно-щелевой мост. Кольцевой и квадратный мосты. Принцип действия. Основные характеристики мостовых устройств. Область применения.
- 4.6. Направленные ответвители. Основные характеристики. Принцип действия. Область применения.
- 4.7. Преобразователи вида поляризации. Принцип действия. Область применения.
- 4.8. Антенные переключатели. Основные характеристики. Принцип действия. Область применения.
- 4.9. Атенюаторы. Широкополосные аттенюаторы на р-і-n – диодах. Основные характеристики. Принцип действия. Область применения.
- 4.10. Ферритовые устройства СВЧ. Ферромагнитный резонанс. Эффект Фарадея в ферритах. Поперечно-намагниченные ферриты. Эффект смещения поля.
- 4.11. СВЧ циркуляторы. Основные характеристики. Принцип действия. Область применения циркуляторов.
- 4.12. Ферритовые фазовращатели. Невзаимные и взаимные фазовращатели. Основные характеристики. Принцип действия. Область применения.
- 4.13. Ферритовые вентили. Основные характеристики. Принцип действия. Область применения.
- 4.14. Электрооптические модуляторы. Методы модуляции.
- 4.15. Фотодетекторы. Фотоэмиссионные детекторы. Фоторезисторы. Фотовольтаические и фотоэлектромагнитные детекторы.
- 4.16. Приемные устройства оптического диапазона. Приемное устройство прямого детектирования. Приемное устройство прямого детектирования на поднесущей частоте. Гетеродинное приемное устройство.
- 4.17. Оптические фильтры. Принцип действия. Основные характеристики. Область применения.
- 4.18. Поляризаторы и анализаторы оптического диапазона. Принципы действия. Основные характеристики. Область применения.
- 4.19. Оптические передатчики. Принципы построения. Основные характеристики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ / Д.М. Сазонов. — М.: Высш. шк., 1988. — 432 с.
2. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ / А.Д. Григорьев. — М.: Высш. шк., 1990. — 335 с.
3. Гальярди Р.М. Оптическая связь / Р.М. Гальярди, Ш. Карп. — М.: Связь, 1978. — 424 с.
4. Пратт Вильям К. Лазерные системы связи / Вильям К. Пратт — М.: Связь, 1972. — 232 с.
5. Бова Н.Т. Антенны и устройства СВЧ / Н.Т. Бова, Г.Б. Резников. — Киев: Виша шк., 1977. — 259 с.
6. Бова Н.Т. Методы анализа устройств СВЧ / Н.Т. Бова, Ю.В. Толстиков. — Киев: Техніка, 1976. — 104 с.
7. Чео П.К. Волоконная оптика. Приборы и системы / П.К. Чео. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 280 с.