

4712

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УСТРОЙСТВА СВЧ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Методические указания
к лабораторным работам

Рязань 2013

УДК 621.396.67

Устройства СВЧ антенных решеток: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.В. Маторин, Б.В. Кагаленко. Рязань, 2013. 20 с.

Содержат краткие теоретические сведения об устройствах СВЧ, описание программы *MicroWave Office*, порядок выполнения работ.

Предназначены для студентов ФРТ, обучающихся по курсу «Антенны с электронным управлением».
Ил. 18. Библиогр.: 3 назв.

Антенные решетки с электронным управлением, устройства СВЧ, автоматизированное проектирование, параметрический синтез

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра радиопланирования и связи Рязанского государственного радиотехнического университета (зав. кафедрой проф. С.Н. Кириллов)

Устройства СВЧ антенных решеток

Составители: Маторин Александр Васильевич
Кагаленко Борис Васильевич

Редактор Н.А. Орлова
Корректор С.В. Макушина
Подписано в печать 06.09.13. Формат бумаги 60 x 84 1/16.
Бумага газетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,25.
Тираж 50 экз. Заказ 2742

Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Редакционно-издательский центр РРТУ.

Цели лабораторных работ

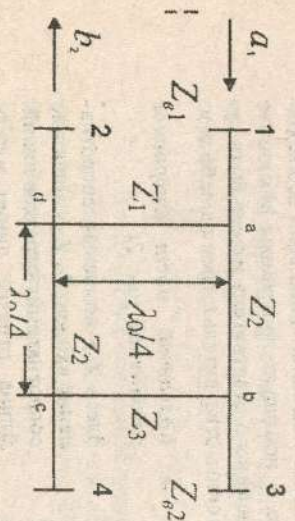
1. Изучение некоторых типов устройств СВЧ, используемых в схемах распределительных трактов антенных решеток.
2. Практическое знакомство с элементами автоматизированного проектирования устройств СВЧ.
3. Приобретение навыков построения машинных моделей устройств СВЧ с использованием библиотек базовых элементов.
4. Приобретение навыков работы с программой *MicroWave Office*, обеспечивающей автоматизированный анализ и параметрический синтез многоэлементных устройств СВЧ.
5. Практическое знакомство с методикой конструктивного синтеза устройств СВЧ.

Лабораторные работы выполняются каждым студентом индивидуально, требуют предварительной подготовки в объеме разделов курса, в которых рассматриваются вопросы применения устройств СВЧ в схемах построения распределительных систем антенных решеток:

- схемы построения распределительных систем антенных решеток на основе закрытого тракта и пространственных распределительных систем;
- математическое моделирование элементов антенных решеток с использованием матричных систем параметров;
- элементы автоматизированного проектирования устройств СВЧ.

Устройства СВЧ, используемые при выполнении лабораторных работ

1. Шлейфный ответвитель



Такое устройство широко применяется в микроволновом исполнении, его можно реализовать также на симметричных, полосковых, коаксиальных, волноводных и других одноמודовых линиях передачи. Со-единительные линии шлейфного ответвителя с

волновыми сопротивлениями Z_1, \dots, Z_n могут быть выполнены, например, в форме колыца. Длины отрезков этих линий, соединяющих входные и выходные плечи ответвителя, как указано на рис. 1, выбираются равными чет-верти длины волны. Устройство обладает двумя плоскостями симметрии,

следовательно, волны b_1 и b_2 сдвинуты по фазе на $\pi/2$, т.е. такой ответ-
 тель относится к классу квадратурных.

Качественно принцип действия шлейфного направленного ответ-
 вителя можно объяснить следующим образом. Прямым фазу волны, посту-
 пающей на вход плеча 1, нулевой. Из плеча 1 часть энергии по пути ab по-
 ступает в плечо 3, причём волна будет иметь сдвиг по фазе $\pi/2$. В плечо 4
 поступает две волны равной амплитуды, одна по пути abc , а вторая по пути
 adc . Эти волны синфазны и суммарная волна сдвинута по фазе на π . В плечо
 2 также приходят две волны по путям ad и abc , но уже противофазные,
 т.е. плечо 2 оказывается развязанным по отношению плеча 1.

Шлейфный направленный ответитель обладает еще одним полез-
 ным свойством: он дополнительно может обеспечивать согласование при
 неравных сопротивлении нагрузок, подложечных к его входному и вы-
 ходным плечам, а также неравное деление мощностей.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $Z_{в1}$ - волновые сопро-
 тивления входов 1 и 2, $Z_{в2}$ - волновые сопротивления входов 3 и 4, Z_1, \dots, Z_2 -
 волновые сопротивления отрезков, образующих кольцо шлейфного ответ-
 вителя. Если обозначить отношения мощностей на выходе плеч 3 и 4 через
 K , т.е. $K = P_3 / P_4$, то можно показать, что волновые сопротивления
 элементов кольца могут быть определены по следующим формулам:

$$Z_3 = Z_{в2} \sqrt{K}, Z_4 = \sqrt{Z_{в2} Z_{в1} K / (1 + K)}, Z_1 = Z_{в1} \sqrt{K}.$$

Эти соотношения позволяют быстро рассчитывать шлейфный
 направленный ответитель на резонансной частоте. Для определения
 полюсов рабочих частот и учета влияния высших типов волн необходи-
 мо более точное моделирование с помощью программы Мисоваве
 Оффисе. Рабочая полоса частот шлейфного ответителя может быть су-
 щественно увеличена, если применить ответитель с тремя шлейфами.

2. Кольцевой мост (гибридное
 соединение, рис. 2)

Здесь $Z_{вг}$ - волновые сопротив-
 ления входов, Z_1, Z_2, Z_3 - волновые
 сопротивления отрезков линий.
 Длина отрезка линии между
 входами 1 и 4 составляет $3\lambda_0/4$,
 остальные линии имеют длину
 $\lambda_0/4$.

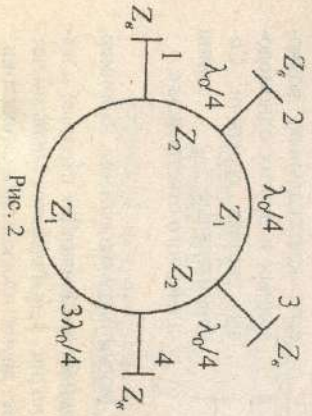


Рис. 2

Кольцевой мост может быть выполнен на основе микрополос-
 ковых, полосковых, коаксиальных или волноводных линий.

Качественно принцип действия кольцевого моста может быть
 рассмотрен на основе следующих рассуждений. Волна, поступившая
 на вход плеча 1, проходит в плечи 2 и 4. Фазовый сдвиг между волна-
 ми в плечах 2 и 1, очевидно, равен $\pi/2$, а в плечах 4 и 1 - $3\pi/2$. По-
 скольку во втором случае волна проходит по кольцу путь в 3 раза
 больший, следовательно, фазовый сдвиг между волнами на входах 2 и
 4 будет равен π .

Результатирующие амплитуды волн на выходах 2, 3 и 4 опреде-
 ляются суперпозицией 2-х волн, одна из которых, при возбуждении
 входа 1, распространяется от плеча 1 по часовой, а другая - против ча-
 совой стрелки. Эти волны складываются на входах 2 и 4 и вычитаются
 на входе 3. Следовательно, плечи 1 и 3 развязаны. Наличие фазового
 сдвига на величину π между волнами и, проходящими в плечи 2 и 4, ши-
 роко используется, например, в балансных смесителях и преобразова-
 телях частоты с подавлением тех или иных гармонических составляю-
 щих.

Расматриваемый кольцевой делитель может обеспечить и не-
 равное деление мощностей. Величина мощности, поступающей в каж-
 дое из плеч 2 и 4, зависит от выбора волновых сопротивлений отрез-
 ков, образующих кольцо. На центральной частоте в одном одновом при-
 ближении связь между мощностями P_2 и P_4 на выходах 3 и 4 и волно-
 вым сопротивлениям Z_1 и Z_2 описывается следующими формулами:

$$Z_{в0} / Z_1 = \sqrt{P_4 / P_1}, Z_{в0} / Z_2 = \sqrt{P_2 / P_1}.$$

На центральной частоте сдвиг по фазе между волнами в пле-
 чих 2 и 4 равен π . Если мощность поступает в плечо 2, то

$$Z_{в0} / Z_1 = \sqrt{P_3 / P_2}, Z_{в0} / Z_2 = \sqrt{P_1 / P_2}.$$

В этом случае волны, поступающие на входы 3 и 1, синфазны.
 Приведенные соотношения позволяют рассчитывать гибридные
 соединения на центральной частоте, в том числе для случая неравного
 деления мощностей.

3. Дискретные фазовращатели на коммутацион-
 ных диодах

Многополюсионные отражательные фазовращатели часто вы-
 полняют в виде отрезка линии передачи, шунтированного в ряде сече-

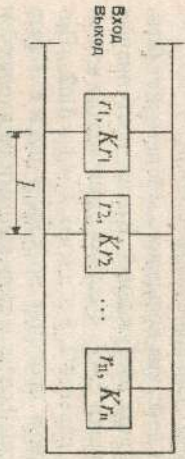


Рис. 3

вещественный параметр качества.

В рассматриваемой схеме отражательного фазовращателя для один из коммутационных элементов с низким сопротивлением ($\Gamma \ll 1$) закорачивает линию передачи, а остальные элементы имеют высокие сопротивления ($K \gg 1$). Они оказывают слабое влияние на фазу коэффициента отражения. При переключении коммутационных элементов фаза коэффициента отражения на входе отражательного фазовращателя изменяется дискретно.

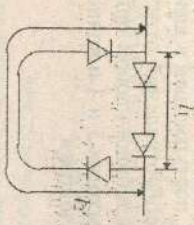


Рис. 4

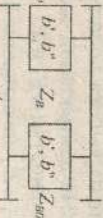


Рис. 5

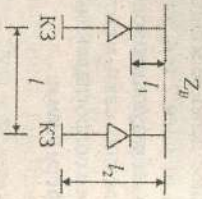


Рис. 6

Проходные фазовращатели должны обеспечивать заданную разность фаз прошедшей волны при двух условиях: согласование входов и минимальное внесение затухания.

Одним из вариантов таких устройств является проходной диодный фазовращатель на коммутационных линиях (рис. 4).

Изменение фазы коэффициента передачи:

$$\Delta\psi = K_0(l_2 - l_1),$$

где K_0 — постоянная распространения, происходит в результате изменения пути прохождения волны по линии l_1 или по линии l_2 , осуществляем от р-п-диодным и переключаемым. Вносимое ослабле-

ний коммутационными

элементами, выполненными на основе р-п-диодов (рис. 3). Идеальный коммутационный элемент характеризуется первой нормированной сопротивлением $\Gamma \ll 1$ и $K \gg 1$, где K —

ние L в таком фазовращателе при параметре качества $K > 100$ слабо зависит от $\Delta\psi$.

Фазовращатели на коммутационных линиях не рационально использовать при $\Delta\psi \leq \pi/4$.

Схема двухпозиционного фазовращателя в виде нагруженной линии изображена на рис. 5. Основными параметрами этой схемы являются: пунтирующие проводимости (jb', jb''), электрическая

длина отрезка линии l и его волновое сопротивление Z_0 . Практически интересен симметричный случай $b' = -b''$.

В этом случае обеспечиваются почти одинаковые полосу пропускания в двух состояниях и наилучшая широкотолосовость. Номиналы элементов схемы определяются по формулам:

$$b' = \text{tg}(\Delta\psi/2), K_0 l = \pi/2, Z_0 = Z_{\text{вн}} \cos(\Delta\psi/2).$$

Если в качестве коммутационных элементов использовать короткозамкнутые отрезки линий (рис. 6), то при $\Delta\psi < \pi/2$ длина короткозамкнутых отрезков:

$$l_1 = \frac{\text{arctg}(\text{ctg}(\Delta\psi/2))}{2\pi}, l_2 = \frac{l}{2} - l_1.$$

Также фазовращатели неравномерно использовать при $\Delta\psi > 45^\circ$.

Весьма распространены в трактах СВЧ являются проходные фазовращатели мостового типа (рис. 7).

Двухпозиционный фазовращатель, образуемый включением двух идентичных отражательных фазовращателей на коммутационных линиях на входы и выходы соответственно.

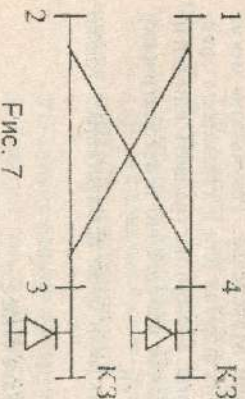


Рис. 7

Взаимно развязанные выходы действительного квадратного моста СВЧ. При коэффициенте отражения отражательных фазовращателей $|\Gamma| = 1$ мощность, подаваемая на вход 1, будет проходить на вход 2, прошедшей на вход 2, определяется фазой коэффициента отражения принимаемых отражательных фазовращателей.

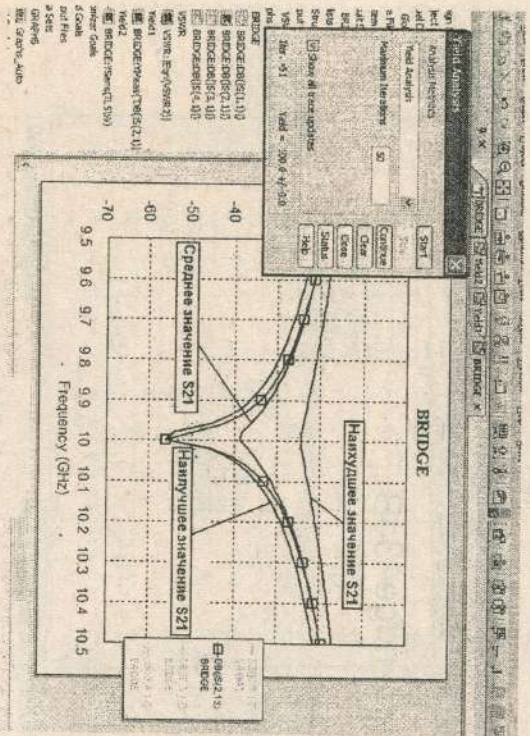


Рис. 16

Построение графика зависимости КСВ от частоты

В среде **Микроволне Office** возможно построение графиков других функций, производных от рассчитанных параметров, например, зависимости КСВ по входам моста от частоты.

Как известно, КСВ (V_{SWR}) связано с коэффициентом отражения (Γ):

$$V_{SWR} = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|)$$

Поскольку Γ $\equiv S_{ii}$, а в процессе моделирования определяются S_{ii} , необходимо иметь соотношение, связывающее эти величины. Это реализуется с помощью опции **Output Equations**:

1. В панели **Project** щёлкните правой кнопкой по группе **Output Equations**, затем щёлкните левой кнопкой **New Output Equations**.

2. В открывшемся окне **New Output Equations** введите имя уравнения (например, V_{SWR_equ}) и нажмите **Create**. Открывается окно V_{SWR_equ} .

3. Щёлкните **Draw > Add Output Equation**. Открывается окно **Add Measurement Equation**.

4. В окне **Variable name** введите имя новой переменной, тождественной S_{ii} , которая будет использована для расчёта КСВ (например, Γ_{21}), если необходимо вычислить КСВ по второму входу многополюсника).

5. В окне **Measurement Type** отметьте **Port parameter** и в окне **Data Source Name** откройте имя источника S в области **Complex Modifier**.

6. В окне **Measurement** щёлкните S в области **Complex Modifier** отметьте **Mag, 2** в поле **To Port Index** (номер выходного порта) и **2** в поле **From Port Index** (номер входного порта), нажимая на стрелки справа от них, затем нажмите **Apply**. В окне V_{SWR_equ} появится прямоугольник, «прилипший» к курсору. Щёлкните левой кнопкой; в окне V_{SWR_equ} появится уравнение, связывающее параметры S_{22} и Γ_{21} .

7. Нажмите **Ctrl E** и наберите второе уравнение, в котором переменная Γ_{21} используется для вычисления КСВ (V_{SWR} , рис. 17).

8. Щёлкните по значку  **Add New Graph** на панели инструментов.

9. Введите имя графика, например, V_{SWR} в поле **Graph name**, выберите **Rectangular** в области **Graph Type** и нажмите **Create**.

10. В панели **Project** щёлкните правой кнопкой мыши по названию нового графика и выберите **Add Measurement**.




Рис. 17

11. В открывшемся окне **Add Measurement** « V_{SWR} » отметьте **Output Equations** в окошке **Measurement Type**, **Output Equations 1** в окошке **Measurement Name** и V_{SWR} в окошке **Equation Name**. Щёлкните **OK**.

12. Щёлкните правой кнопкой по полю графика, в появившемся окне щёлкните опцию **Properties**, откройте закладку **Label**. В окне **Choose**

Ахв отметьте Left 1 и в окошке Selected Axis Label введите VSWR2. Щёлкните ОК.

13. Щёлкните  Analyze на панели инструментов. Появится график зависимости КСВ от частоты (рис. 18).

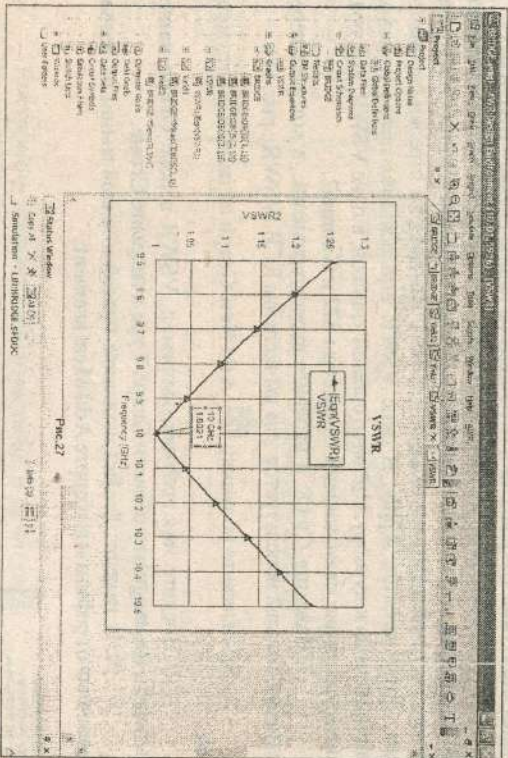


Рис. 18

Замечание: в последних версиях Microwave Office график для КСВ можно получить значительно проще — с помощью той же процедуры, что, например, для Sii.

Порядок выполнения работы

1. Получить индивидуальный вариант задания на выполнение работы у преподавателя.
2. Переписать задание в рабочую тетрадь.
3. Изучить пользовательский интерфейс программы Microwave Office.

Office.

4. С использованием материалов настоящего пособия выполнить предварительный расчёт параметров элементов исследуемого устройства СВЧ. Результаты занести в рабочую тетрадь.
5. Запустить программу Microwave Office. Набрать в рабочем окне заданную схему устройства с использованием микрополосковых элементов. Рассчитать размеры элементов. Запустить моделирование.
6. С помощью элемента Time обеспечить выполнение требуемый форм улированных в задании.
7. Дополнительные задания:
 - расчёт влияния потерь изготовления,
 - расчёт зависимости КСВ или КВВ от частоты.
8. Занести результаты моделирования в рабочую тетрадь.

Отчёт должен содержать:

- 1) схему, исходные данные и результаты предварительного расчёта;
- 2) топологию устройства с указанием размеров;
- 3) результаты моделирования.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия шлейфового направленного ответвителя.
2. Фазовые соотношения для волн на выходе шлейфового направленного ответвителя.
3. Матрица рассеяния гибридного кольца при равных сигналах на выходах.
4. Параметры, обеспечивающие неравное деление мощности на выходах.
5. Принцип действия гибридного кольца.
6. Матрица рассеяния гибридного кольца при равных сигналах на выходах.

7. Принцип действия и схема реализации дискретного фазовращателя на коммутруемых линиях.
8. Принцип действия и схема реализации дискретного фазовращателя на основе нагруженной линии.
9. Принцип действия и схема реализации проходных дискретных фазовращателей мостового типа.

Библиографический список

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. М.: Радио и связь, 1982.
2. Справочник по расчёту и конструированию СВЧ полосковых устройств/под ред. В.И. Волмана. М.: Радио и связь, 1987.
3. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курочкин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью программы **Мikrowave Office**. М.: СОЛОН-Пресс, 2003.