

Министерство высшего и среднего специального образования  
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ .

УЗКОПОЛОСНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ НАГРУЗКИ .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ  
ВОЛНОВЫХ МАТРИЦ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

У т в е р ж д е н о  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве методических  
указаний к лабораторным  
работам 41, 42, 43

Куйбышев 1986

Излагается методика экспериментального исследования режимов работы линий передач, измерения величин нагрузок, порядок узкополосного согласования нагрузок с линией передачи и определения элементов матрицы рассеяния четырехполосника.

Приводится порядок подготовки и выполнения трех лабораторных работ из цикла "Антенны и устройства СВЧ" студентами III курса радиотехнического факультета специальности 0701. Выполнение каждой работы рассчитано на 2 учебных часа.

Составители: Р.А.Вечканова, Н.М.Галдина

Рецензенты: доц. Г.В.Зиборова, доц. Л.И.Калакутский

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Цель работы - исследовать влияние нагрузки на распределение напряжения вдоль линии, приобрести навыки экспериментального определения сопротивления нагрузки.

## I. Расчетная часть

При подготовке к лабораторному занятию необходимо изучить соответствующие разделы лекций, материалы, изложенные в монографии /1/, пособия /2/, и выполнить следующее домашнее задание.

Для заданных в табл. I нагрузок  $Z_{H1}$ , длины волны в линии  $\lambda_B$ , волнового сопротивления линии  $Z_B$  необходимо каждой бригаде определить коэффициент бегущей волны (КБВ)  $k_B$ , коэффициент стоячей волны (КСВ)  $k_C$ , модуль коэффициента отражения  $|Γ|$  и расстояние от нагруженного конца линии до ближайшего минимума напряжения  $l_M$ . При расчетах следует пользоваться круговой диаграммой /2/.

Величины КБВ, КСВ,  $|Γ|$  связаны соотношением

$$k_B = \frac{1}{k_C} = \frac{1 - |Γ|}{1 + |Γ|}.$$

Результаты расчетов свести в табл. 2.

Таблица I

Номер бригады	Исходные данные						
	$\lambda_B$ , см	$Z_B$ , Ом	$Z_{H1}$ , Ом	$Z_{H2}$ , Ом	$Z_{H3}$ , Ом	$Z_{H4}$ , Ом	$Z_{H5}$ , Ом
1	90	75	$-j15$	$j150$	105	35	$10 - j100$
2	60	75	$-j100$	$j25$	90	50	$130 - j80$
3	15	50	$-j45$	$j90$	130	25	$20 + j120$
4	6	50	$-j75$	$j120$	200	10	$140 + j80$
5	100	75	$-j30$	$j150$	150	20	$160 - j130$
6	70	75	$-j150$	$j30$	130	30	$30 - j30$
7	35	50	$-j15$	$j100$	100	40	$100 + j40$
8	10	50	$-j100$	$j15$	115	15	$25 + j140$

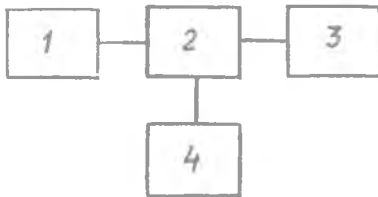
Бригада № \_\_\_\_\_

Заданная нагрузка	Параметры нагрузки				
	$k_B$	$k_C$	$ G $	$\epsilon'_M = \epsilon_M / \lambda_B$	$\epsilon_M, \text{см}$
$Z_{H1}$					
$Z_{H2}$					
$Z_{H3}$					
$Z_{H4}$					
$Z_{H5}$					

Пользуясь круговой диаграммой, построить кривые распределения вдоль линии нормированных активной  $\chi = R/Z_B$  и реактивной  $x = X/Z_B$  компонент полного сопротивления для нагрузки  $Z_{H5}$ .

## 2. Экспериментальная часть

Схема установки показана на рис.1. Она включает в себя генератор СВЧ 1, измерительную линию 2, измерительный усилитель или микроамперметр 4, набор нагрузок 3, короткозамыкатель. При использовании измерительного усилителя генератор должен работать в режиме амплитудной модуляции. Измерительная линия снабжена подвижной кареткой с резонатором и детекторной головкой.



Р и с. 1

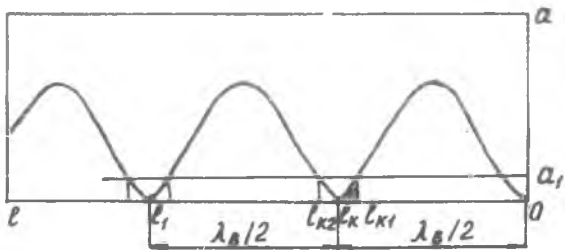
Энергия из основной линии в резонатор отбирается зондом, глубина погружения в линию которого регулируется специальным винтом. Для уменьшения влияния зонда на режим работы линии резонатор настраивается в резонанс. Энергия из резонатора поступает в детекторную головку, рабочим элементом которой является диод. С выхода детекторной головки

низкочастотный сигнал (в случае модулированного по амплитуде СВЧ сигнала) или постоянное напряжение (при отсутствии модуляции) подается на измерительный усилитель или микроамперметр соот-

ветственно. При квадратичном детекторе показания индикаторного прибора пропорциональны квадрату напряжения.

Экспериментальные исследования производятся в следующей последовательности.

1. Определить положение условного конца линии (УКЛ) -  $l_k$ . При определении величины нагрузки необходимо знать расстояние от нагрузки (начало отсчета) до ближайшего минимума напряжения. Однако конструкция измерительной линии не позволяет отсчитывать это расстояние непосредственно от нагрузки. В связи с этим за начало отсчета принимается УКЛ, положение которого определяется как положение ближайшего к концу линии узла напряжения при коротком замыкании. Для точного определения положения узла напряжения применяется метод "вилки" (метод двух отсчетов). Фиксируются два положения зонда измерительной линии  $l_{k1}$  и  $l_{k2}$  (рис.2), для которых показания индикатора  $a_i$  отличаются от нуля и одинаковы. Положение УКЛ определяется как среднее  $l_k = (l_{k1} + l_{k2})/2$ .



Р и с. 2

2. Измерить длину волны в линии. Методом "вилки" определить положение второго узла, ближайшего к УКЛ, -  $l_1$  (см.рис.2). Тогда длина волны будет  $\lambda_g = 2(l_1 - l_k)$ .

3. Снять кривые распределения напряжения вдоль линии и определить величины сопротивлений нагрузок. К линии поочередно подключать все нагрузки. Для каждой нагрузки методом "вилки" определить положение ближайшего к УКЛ, со стороны генератора, минимума  $l_{мин}$ , а также максимума  $l_{макс}$  напряжения. Записать минимальное  $a_{мин}$  и максимальное  $a_{макс}$  показания индикатора.

Ввиду квадратичности характеристики диода детекторной головки измерительной линии показания индикатора пропорциональны квадратам напряжений, поэтому  $k_c$  определяется по формуле  $k_c = \sqrt{a_{макс}/a_{мин}}$ .

Определить расстояние от УКЛ до минимума напряжения  $\ell = \ell_{\min} - \ell_k$ . По измеренным величинам  $k_c$ ,  $\ell$  и  $\lambda_B$  определить сопротивления нагрузок, пользуясь круговой диаграммой. Для всех нагрузок построить картины продольного распределения напряжения.

### 3. С о д е р ж а н и е   о т ч е т а

1. Цель работы.
2. Результаты расчета домашнего задания.
3. Схема экспериментальной установки.
4. Результаты экспериментов.
5. Краткие выводы по каждому пункту экспериментов.

### Контрольные вопросы

1. Что называется коэффициентом отражения бегущих и стоячих волн? Какова между ними связь?
2. При каких нагрузках имеют место режимы бегущих, стоячих и смешанных волн?
3. Как выглядят графики распределения напряжений и входных сопротивлений вдоль разомкнутой, короткозамкнутой линий, а также линии, нагруженной на различные нагрузки (емкостную, индуктивную, комплексную, активную)?
4. Как с помощью круговой диаграммы определяются величины нагрузок и входные сопротивления линии?
5. Какова схема экспериментальной установки?
6. Что такое УКЛ?
7. Как произвести измерение длины волны в линии?
8. Как измерить величину сопротивления нагрузки?

### Б и б л и о г р а ф и ч е с к и й   с п и с о к

1. С а з о н о в Д.М., Г р и д и н А.Н., М и ш у с т и н Б.А. Устройства СВЧ. -М.:Высшая школа, 1981, с.17-34.
2. В е ч к а н о в а Р.А. Круговая диаграмма полных сопротивлений. Учебное пособие. -Куйбышев:КуАИ, 1976.

## УЗКОПОЛОСНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ НАГРУЗКИ

Цель работы - изучение принципов узкополосного согласования с помощью реактивных элементов, приобретение навыков экспериментального согласования.

## I. Расчетная часть

При подготовке к лабораторному занятию необходимо изучить соответствующие разделы лекций, материалы, изложенные в монографии /1/ и выполнить следующее домашнее задание.

Для заданных в табл.1 величины сопротивления нагрузки  $Z_H$ , волнового сопротивления  $Z_B$  и длины волны  $\lambda_B$  с помощью круговой диаграммы /2/ определить коэффициент стоячей волны (КСВ)  $k_c$ , расстояние  $\ell$  от нагрузки до места подключения реактивного короткозамкнутого согласующего шлейфа и его длину  $\ell_{ш}$  (рис.1,а). Результаты расчета занести в табл.2.

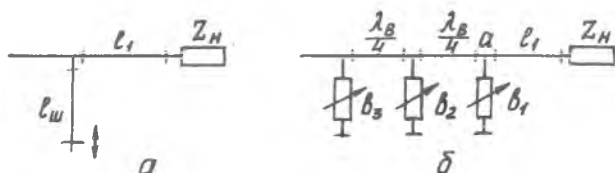


Рис. I

Таблица I

Номер бригады	Исходные данные		
	$Z_H, \text{ Ом}$	$Z_B, \text{ Ом}$	$\lambda_B, \text{ см}$
1	150 - j 60	75	45
2	30 + j 30	75	35
3	20 + j 40	50	20
4	130 - j 50	50	25

## Окончание табл. I

Номер бригады	Исходные данные		
	$Z_H, \text{ Ом}$	$Z_B, \text{ Ом}$	$\lambda_B, \text{ см}$
5	$100 + j 40$	50	30
6	$25 + j 140$	50	15
7	$160 - j 130$	75	55
8	$75 + j 140$	75	60

Т а б л и ц а 2

Бригада № \_\_\_\_\_

$Z_H = Z_H / Z_B$	$\ell' = \ell / \lambda_B$	$\ell, \text{ см}$	$\ell'_ш = \ell_ш / \lambda_B$	$\ell_ш, \text{ см}$

В табл.3 для каждой бригады заданы величины сопротивлений волноводных нагрузок  $Z_H$ , длины волн в свободном пространстве  $\lambda$ , расстояния от нагрузки до первой из трех согласующих реактивностей (до точки  $\alpha$ , рис. I, б). Размеры поперечного сечения волновода

$a = 2,3 \text{ см}$ ,  $b = 1 \text{ см}$ . Расстояние между согласующими элементами равно  $\lambda_B / 4$ , где  $\lambda_B$  - длина волны в волноводе. Необходимо с помощью круговой диаграммы определить величину нормированной активной проводимости  $g_1$  в точке подключения первого элемента (в точке  $\alpha$ ) и решить, какими двумя (1,2 или 2,3) элементами необходимо осуществлять согласование. Результаты занести в табл. 4.

Длина волны в волноводе  $\lambda_B$  и волновое сопротивление определяются по формулам

$$\lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}; \quad Z_B = \frac{377}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}$$

Т а б л и ц а 3

Номер бригады	Исходные данные		
	$Z_H, \text{ Ом}$	$\lambda, \text{ см}$	$\ell, \text{ см}$
1	$650 - j 60$	2,8	1,2
2	$120 + j 700$	3,0	1,0



Номер бригады	Исходные данные		
	$Z_H, \text{ Ом}$	$\lambda, \text{ см}$	$l, \text{ см}$
3	820 - $j$ 100	3,2	2,2
4	450 + $j$ 900	3,4	1,5
5	340 - $j$ 150	2,9	1,7
6	920 + $j$ 330	3,1	1,8
7	210 - $j$ 820	3,5	2,0
8	1200 + $j$ 350	3,3	1,4

Т а б л и ц а 4

Бригада № \_\_\_\_\_

$\lambda_B, \text{ см}$	$Z_B, \text{ Ом}$	$z_H = Z_H / Z_B$	$y_H^*$	$l'_1 = \frac{l_1}{\lambda_B}$	$y_1^{**} = g_1 + jb_1$	Номер реактивности

\*  $y_H$  - нормированная проводимость нагрузки (определяется по круговой диаграмме),

\*\*  $y_1$  - нормированная проводимость в точке  $a$  (см. рис. 1, б).

## 2. Экспериментальная часть

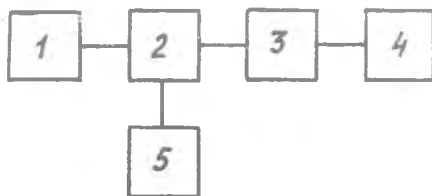
Согласование коаксиальной нагрузки с линией передачи осуществляется с помощью одного подвижного короткозамкнутого шлейфа, длина которого изменяется с помощью подвижного контактного короткозамыкателя. Волноводная нагрузка согласуется с помощью устройства, содержащего три штыря, длины которых регулируются.

Структурные схемы коаксиальной и волноводной установок одинаковы (рис. 2). Схема содержит: генератор СВЧ 1, измерительную линию 2, согласующее устройство 3, нагрузку 4, индикаторное устройство 5. Описание измерительной линии приведено в разд. 2 лабораторной работы 41.

Согласование коаксиальной линии с нагрузкой с помощью подвижного короткозамкнутого шлейфа осуществляется в следующей последовательности.

1. Подключить нагрузку к измерительной линии без согласующего устройства. Передвигая каретку измерительной линии, измерить минимальное  $a_{\text{мин}}$  и максимальное  $a_{\text{макс}}$  показания индикатора. Определить коэффициент стоячей волны  $k_{c1} = \sqrt{a_{\text{макс}}/a_{\text{мин}}}$ .

2. Между измерительной линией и нагрузкой поместить согласующее устройство. Установить каретку измерительной линии в минимум напряжения. Изменяя расстояние  $l_1$  между нагрузкой и шлейфом, следить за изменением показаний индикатора. Поскольку при изменении  $l_1$  по-



Р и с. 2

ложение минимума напряжения меняется, то при каждом новом значении  $l_1$  необходимо перемещать каретку измерительной линии так, чтобы ее зонд всегда находился в минимуме. Если при выбранном направлении изменения  $l_1$  величина  $a_{\text{мин}}$  возрастает, то изменение  $l_1$  следует продолжать в ту же сторону пока не будет получено наибольшее значение  $a_{\text{мин}}$ .

Затем необходимо изменить длину шлейфа  $l_{\text{ш}}$  и аналогично предыдущему добиться наибольшего значения  $a_{\text{мин}}$ . Вновь изменить положение шлейфа  $l_1$ , а затем его длину, добиться наибольшего  $a_{\text{мин}}$ . Таким образом, поочередно изменяя  $l_1$  и  $l_{\text{ш}}$  производить согласование до тех пор, пока величина  $a_{\text{мин}}$  не перестанет увеличиваться.

3. Измерить КСВ:  $k_{c2} = \sqrt{a_{\text{макс}}/a_{\text{мин}}}$ . Должно удовлетворяться условие  $k_{c2} \leq 1,05$ . Записать полученное значение  $k_{c2}$  и значения шкал согласующего устройства. Сравнить  $k_c$  нагрузки до и после согласования.

4. Измерить полосу согласования по уровню  $k_c = 1,4$ . Изменить частоту генератора в сторону увеличения  $f_1$  и уменьшения  $f_2$  от ранее установленной  $f_0$  так, чтобы КСВ стало  $k_c = 1,4$ . Вычислить относительную полосу частот согласования  $\frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{f_1 - f_2}{f_0}$ .

Согласование волноводной линии с нагрузкой осуществляется в следующей последовательности.

1. Подключить нагрузку к линии без согласующего устройства.  
Определить КСВ:  $k_{с1} = \sqrt{A_{\text{макс}}/A_{\text{мин}}}$ .

2. Между измерительной линией и нагрузкой поместить согласующее устройство в виде отрезка волновода с тремя штырями. Штыри вывернуть. Установить зонд измерительной линии в минимум напряжения. Погружая первый штырь в волновод, следить за показаниями индикатора, которые должны увеличиваться. Поскольку при изменении длины штыря  $l_{ш1}$  положение минимума напряжения изменяется, то при каждом новом  $l_{ш1}$  необходимо перемещать каретку измерительной линии так, чтобы ее зонд находился в минимуме. Изменение  $l_{ш1}$  производится до достижения наибольшего значения  $A_{\text{мин}}$ . Если при изменении  $l_{ш1}$  удастся увеличить  $A_{\text{мин}}$ , то согласование производится первым и вторым штырями (третий вывернут), в противном случае – вторым и третьим (первый вывернут).

Почередно изменяя длины двух согласующих штырей, производить согласование до тех пор, пока  $A_{\text{мин}}$  не перестанет увеличиваться.

3. Измерить КСВ:  $k_{с2} = \sqrt{A_{\text{макс}}/A_{\text{мин}}}$ . Должно удовлетворяться условие  $k_{с2} \leq 1,05$ . Записать полученное значение КСВ и размеры согласующих штырей. Сравнить КСВ до и после согласования.

### 3. С о д е р ж а н и е   о т ч е т а

1. Цель работы.
2. Результаты расчета домашнего задания.
3. Схема экспериментальной установки.
4. Результаты экспериментов.
5. Краткие выводы по каждому пункту экспериментов.

### Контрольные вопросы

1. Какова цель согласования?
2. В чем заключается принцип согласования с помощью одного реактивного элемента?
3. Как определить с помощью круговой диаграммы расстояние от нагрузки до точки подключения согласующего реактивного шлейфа и его длину?
4. В чем заключается принцип согласования с помощью двух и трех реактивных элементов?
5. Что представляют собой экспериментальные установки?

6. Какова последовательность экспериментального согласования нагрузки с помощью одного подвижного шлейфа?

7. Как измерить полосу частот согласования?

8. Какова последовательность экспериментального согласования нагрузки с помощью трех штырей?

#### Библиографический список

1. С а з о н о в Д.М., Г р и д и н А.Н., М и ш у с т и н Б.А. Устройства СВЧ.—М.:Высшая школа, 1981, с.34-39.

2. В е ч к а н о в а Р.А. Круговая диаграмма полных сопротивлений. Учебное пособие.—Куйбышев:КуАИ, 1976.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛНОВЫХ  
МАТРИЦ ЧЕТЫРЕХПОЛУСНИКА

Цель работы – знакомство с волновыми матрицами, физическим смыслом их элементов и методикой их экспериментального определения.

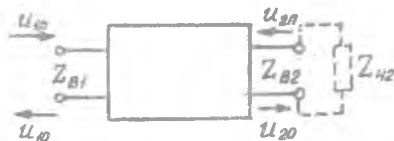
I. Расчетная часть

При подготовке к лабораторному занятию необходимо изучить соответствующие разделы лекций, материалы, изложенные в работе [1] и настоящих методических указаниях.

В теории устройств СВЧ преимущественно рассматриваются внешние характеристики, устанавливающие связи между режимами его плеч, и практически не затрагиваются закономерности внутреннего электромагнитного поля. Для расчета внешних характеристик устройств используется матричный аппарат. Настоящая лабораторная работа посвящена определению матриц пассивных, линейных четырехполосников. Матрицы четырехполосников определяют характер взаимосвязи между режимами его плеч.

Особые свойства СВЧ-устройств привели к необходимости использования помимо классических матриц (передачи  $[A]$ , сопротивления  $[Z]$  и проводимости  $[Y]$ ) волновых матриц рассеяния  $[S]$  и передачи  $[T]$ , определяющих связи между нормированными напряжениями падающих  $U_{10}$  и отраженных  $U_{11}$  волн (рис. I). Падающие волны – это волны, распространяющиеся к четырехполоснику, а отраженные – от четырехполосника. Нормированные напряжения этих волн связаны линейными соотношениями, называемыми волновыми уравнениями передачи

$$\begin{aligned} U_{11} &= T_{11} U_{20} + T_{12} U_{21} ; \\ U_{10} &= T_{21} U_{20} + T_{22} U_{21} \end{aligned} \quad (I)$$



Р и с. I

и рассеяния

$$\begin{aligned} u_{10} &= S_{11} u_{1n} + S_{12} u_{2n}, \\ u_{20} &= S_{21} u_{1n} + S_{22} u_{2n}. \end{aligned} \quad (2)$$

В матричной форме

$$\begin{pmatrix} u_{1n} \\ u_{10} \end{pmatrix} = [T] \begin{pmatrix} u_{20} \\ u_{2n} \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{pmatrix} = [S] \begin{pmatrix} u_{1n} \\ u_{2n} \end{pmatrix},$$

где  $[T]$ ,  $[S]$  - нормированные волновые матрицы передачи и рассеяния.

Физический смысл элементов классических матриц, как известно, определяется в режимах работы четырехполосника на холостой ход и короткое замыкание. При установлении физического смысла элементов волновых матриц роль такого "характерного" режима играет режим согласованной нагрузки. При передаче энергии слева направо (прямая передача) к выходным зажимам подключается согласованная нагрузка  $Z_{H2} = Z_{B2}$  (см. рис. I). Тогда  $u_{2n} = 0$ , и из уравнения (2) следует:

$$S_{11} = \frac{u_{10}}{u_{1n}} \Big|_{u_{2n}=0} \quad - \text{коэффициент отражения на входе I четырехполосника при согласованной нагрузке;}$$

$$S_{21} = \frac{u_{20}}{u_{1n}} \Big|_{u_{2n}=0} \quad - \text{коэффициент передачи при согласованном выходе и прямой передаче.}$$

При обратной передаче (справа налево) и согласованном выходе I ( $Z_{H1} = Z_{B1}$ ,  $u_{1n} = 0$ ) может быть определен физический смысл остальных элементов матрицы рассеяния:

$$S_{12} = \frac{u_{10}}{u_{2n}} \Big|_{u_{1n}=0} \quad - \text{коэффициент передачи при обратной передаче и согласованном выходе I;}$$

$$S_{22} = \frac{u_{20}}{u_{2n}} \Big|_{u_{1n}=0} \quad - \text{коэффициент отражения на входе 2 при согласованном выходе I.}$$

Элементы волновых матриц передачи  $[T]$  и рассеяния  $[S]$  связаны следующими соотношениями:

$$T_{11} = \frac{1}{S_{21}}; \quad T_{12} = -\frac{S_{22}}{S_{21}}; \quad T_{21} = \frac{S_{11}}{S_{12}}; \quad T_{22} = S_{12} - \frac{S_{11} S_{22}}{S_{21}}. \quad (3)$$

Элементы  $T_{12}$ ,  $T_{21}$ ,  $T_{22}$  не имеют четкого физического смысла;  $T_{11}$  - коэффициент, обратный коэффициенту передачи  $S_{21}$ . В матрице рассеяния все элементы имеют простой физический смысл, непосредственно связаны с рабочим режимом и могут быть достаточно просто измерены.

В общем случае каждый четырехполюсник определяется четырьмя независимыми комплексными элементами матрицы, т.е. восемью вещественными величинами:

$$S_{11} = |S_{11}| e^{j\varphi_{11}}; \quad S_{12} = |S_{12}| e^{j\varphi_{12}}; \quad S_{21} = |S_{21}| e^{j\varphi_{21}}; \quad S_{22} = |S_{22}| e^{j\varphi_{22}}$$

или

$$T_{11} = |T_{11}| e^{j\varphi_{11}}; \quad T_{12} = |T_{12}| e^{j\varphi_{12}}; \quad T_{21} = |T_{21}| e^{j\varphi_{21}}; \quad T_{22} = |T_{22}| e^{j\varphi_{22}}.$$

Существует большое количество устройств, для которых число независимых вещественных элементов может быть уменьшено благодаря установлению дополнительных связей между ними. Эти связи обуславливаются свойствами взаимности, симметрии и реактивности (недиссипативности).

Условия взаимности в параметрах волновых матриц имеют вид:

$$\begin{aligned} S_{12} &= S_{21}; & |S_{12}| &= |S_{21}|, & \varphi_{12} &= \varphi_{21}; \\ \Delta T &= 1; & \Delta T &= T_{11} T_{22} - T_{12} T_{21}. \end{aligned} \quad (4)$$

Количество независимых вещественных элементов матриц уменьшается до шести. Матрица  $[S]$  взаимного четырехполюсника имеет вид:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{21} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}.$$

Условия симметрии:

$$\begin{aligned} S_{11} &= S_{22}; & S_{21} &= S_{12}; \\ T_{21} &= -T_{12}; & \Delta T &= 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Матрица  $[S]$  симметричного четырехполюсника:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{21} \\ S_{21} & S_{11} \end{bmatrix}.$$

Симметричный четырехполюсник всегда взаимен. Количество независимых вещественных элементов сокращается до четырех.

Если в четырехполюснике отсутствуют диссипативные потери, то такой четырехполюсник называется реактивным или недиссипативным. Условие реактивности в матричной форме имеет вид:

$$[S]_t^* [S] = E, \quad (6)$$

где  $E$  - единичная матрица,  $E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ;

$[S]_t^*$  - матрица, эрмитово сопряженная с матрицей  $[S]$  (каждый элемент транспонированной матрицы заменен сопряженным).

В развернутом виде условие (6) сводится к следующим равенствам:

$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 = 1, \quad |S_{22}|^2 + |S_{12}|^2 = 1; \quad (7)$$

$$|S_{11}| = |S_{22}|, \quad |S_{12}| = |S_{21}|; \quad (8)$$

$$\varphi_{11} + \varphi_{22} = \varphi_{12} + \varphi_{21} \pm \pi. \quad (9)$$

Для реактивного четырехполюсника модули коэффициентов отражения и передачи не зависят от направления передачи энергии. При изменении направления передачи изменяются лишь фазы прошедших и отраженных волн, а их амплитуды не изменяются. Фазы всех элементов матрицы рассеяния не являются независимыми величинами.

Матрица невязанного реактивного четырехполюсника определяется четырьмя вещественными элементами: одним модулем и тремя фазами, например  $|S_{11}|$ ,  $\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{22}$ ,  $\varphi_{12}$ .

Если четырехполюсник реактивный и взаимный, то независимыми остаются только 3 вещественных элемента  $|S_{11}|$ ,  $\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{22}$ , и его матрица имеет вид:

$$[S] = \begin{bmatrix} |S_{11}| e^{j\varphi_{11}} & \sqrt{1-|S_{11}|^2} e^{j(\varphi_{11} \pm \pi/2)} \\ \sqrt{1-|S_{11}|^2} e^{j(\varphi_{11} \pm \pi/2)} & |S_{11}| e^{j\varphi_{11}} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

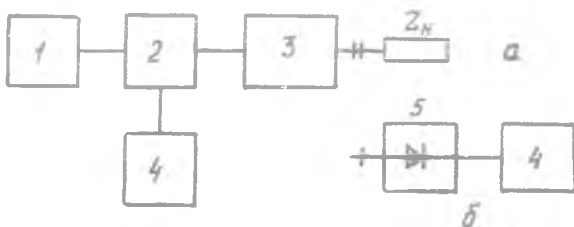
Если же реактивный четырехполюсник симметричен, то остаются два независимых вещественных элемента  $|S_{11}|$ ,  $\varphi_{11}$ , и матрица имеет вид:

$$[S] = \begin{bmatrix} |S_{11}| e^{j\varphi_{11}} & \sqrt{1-|S_{11}|^2} e^{j(\varphi_{11} \pm \pi/2)} \\ \sqrt{1-|S_{11}|^2} e^{j(\varphi_{11} \pm \pi/2)} & |S_{11}| e^{j\varphi_{11}} \end{bmatrix}. \quad (11)$$



## 2. Экспериментальная часть

Экспериментальная установка, схема которой показана на рис.2, состоит из генератора СВЧ 1, измерительной линии 2, различных для каждой бригады исследуемых четырехполосников 3, короткозамкателя, согласованной нагрузки  $Z_N$ , детекторной головки 5 и измерительного усилителя 4.



Р и с. 2

Все подлежащие исследованиям четырехполосники взаимны. На основании априорных сведений необходимо определить, являются ли они симметричными и реактивными и, следовательно, установить количество независимых вещественных элементов.

1. Измерить положение условного конца линии (УКЛ)  $\ell_K$ . К измерительной линии подключить короткозамкатель и определить  $\ell_K$  в последовательности, описанной в работе 4I, разд.2, п.1.

2. Определить длину волны в линии  $\lambda_B$  в последовательности, описанной в работе 4I, разд.2, п.2.

3. Измерить  $|S_{11}|$ . К измерительной линии подключить исследуемый четырехполосник плечом I. К плечу 2 четырехполосника подключить согласованную нагрузку (рис.2, а). Определить КСВ:  $k_{CV} = \sqrt{a_{\max}/a_{\min}}$ , где  $a_{\max}$ ,  $a_{\min}$  - максимальное и минимальное показания индикатора.

Определить  $|S_{11}| = \frac{k_{CV} - 1}{k_{CV} + 1}$ .

4. Определить  $\varphi_{11}$ . Методом "вилки" определить положение ближайшего к концу линии минимума напряжения  $\ell_1$ . Рассчитать величину смещения его относительно УКЛ:  $\Delta \ell_1 = |\ell_K - \ell_1|$ . Величине  $\Delta \ell$  присваивается знак "минус" при смещении  $\ell_1$  относительно  $\ell_K$  в сторону нагрузки и знак "плюс" - при смещении к генератору. Рассчитать

$\varphi_{11} = 2k_B \Delta \ell_1$ , где  $k_B$  - фазовый коэффициент,  $k_B = 2\pi/\lambda_B$ .

5. Измерить  $|S_{21}|$ . К четырехполоснику вместо согласованной нагрузки

подключить согласованную детекторную головку (рис.2,б), выход которой подключить к измерительному усилителю. Записать показания индикатора  $a_2$ . Затем детекторную головку подключить непосредственно к измерительной линии и записать показания индикатора  $a_1$ , которые ввиду квадратичности характеристики диода детекторной головки пропорциональны мощности, поступающей в плечо I четырехполосника. Величина  $a_2$  пропорциональна мощности на выходе четырехполосника, следовательно  $|S_{21}| = \sqrt{a_2/a_1}$ .

6. Поменять местами вход и выход четырехполосника, т.е. плечо 2 подключить к линии, а к плечу I подключить согласованную нагрузку. Измерить КСВ  $K_{C2}$ . Рассчитать  $|S_{22}|$  (см.п.3). Измерить положение минимума напряжения  $l_2$ , рассчитать  $\Delta l_2 = |l_K - l_2|$  и  $\varphi_{22}$  (см. п.4).

7. Вместо согласованной нагрузки к плечу I четырехполосника подключить согласованную детекторную головку и аналогично п.6 измерить величины, пропорциональные мощности на выходе четырехполосника  $a_1$  и на входе  $a_2$ . Определить  $|S_{12}| = \sqrt{a_1/a_2}$ .

8. Если четырехполосник взаимный и реактивный, то с помощью измеренных  $|S_{11}|$ ,  $\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{22}$  рассчитать все элементы матриц  $[S]$  и  $[T]$ , воспользовавшись связями (4), (7), (8), (9), (3). Сравнить рассчитанные величины элементов  $|S_{22}|$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{12}|$  с измеренными. Записать матрицы  $[S]$  и  $[T]$ .

Если четырехполосник симметричный и реактивный, то с помощью измеренных  $|S_{11}|$ ,  $\varphi_{11}$  рассчитать все параметры матриц  $[S]$  и  $[T]$ , воспользовавшись связями (5), (7), (8), (9), (3). Сравнить рассчитанные величины элементов  $|S_{22}|$ ,  $\varphi_{22}$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{12}|$  с измеренными. Записать матрицы  $[S]$  и  $[T]$ .

### 3. С о д е р ж а н и е о т ч е т а

1. Цель работы.
2. Расчетные соотношения.
3. Схема экспериментальной установки.
4. Результаты экспериментов и расчетов.
5. Краткие выводы.

### Контрольные вопросы

1. Как записываются волновые уравнения рассеяния и передачи?
2. Каков физический смысл элементов волновых матриц?

3. Какие четырехполосники называются взаимными? Как записываются условия взаимности?
4. Какие четырехполосники называются симметричными? Как записываются условия симметрии?
5. Какие четырехполосники называются реактивными? Как записываются условия реактивности?
6. Каково количество независимых действительных параметров матриц четырехполосника, обладающего какими-либо свойствами из перечисленных выше?
7. Что представляет собой экспериментальная установка?
8. Как измеряются элементы матрицы рассеяния?

#### Библиографический список

Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А.  
Устройства СВЧ. -М.:Высшая школа, 1981, с.43-45, 63-69, 75-76.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Лабораторная работа 41 . . . . .	3
Лабораторная работа 42 . . . . .	7
Лабораторная работа 43 . . . . .	13

Составители: Регина Александровна Вечканова,  
Нина Михайловна Галдина

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ.  
УЗКОПОЛОСНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ НАГРУЗКИ.  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛНОВЫХ  
МАТРИЦ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

Редактор Б.Д.Антипова  
Техн.редактор Н.М.Каленюк  
Корректор А.П.Закхардяева

Подписано в печать 29.10.86 г.  
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.  
Печать оперативная. Усл.п.л. 1,2. Уч.-изд.л. 1,0.  
Т. 300 экз. Заказ № 7895 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

---

Обл.тип. им. В.П.Мяги, г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.