

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОСКОВЫХ НАПРАВЛЕННЫХ  
ОТВЕТВИТЕЛЕЙ**

Руководство к лабораторной работе

2013

Министерство образования и науки РФ  
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**  
Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_С.Н. Шарангович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОСКОВЫХ НАПРАВЛЕННЫХ  
ОТВЕТВИТЕЛЕЙ**

Руководство к лабораторным работам по дисциплине «Устройства СВЧ и антенны» для направлений подготовки специалистов 210601.65 – Радиоэлектронные системы и комплексы и магистров по направлению 210400.68 – Радиотехника

Разработчики:  
профессор каф. СВЧ и КР Гошин Г.Г.,  
студент гр. 149-3 Кравченко А.И.  
доцент каф. СВЧ и КР Фатеев А.В.

**Содержание**

Введение .....	3
1. Общие сведения о направленных ответвителях .....	4
2. Расчётное задание .....	15
3. Экспериментальная часть.....	16
Описание лабораторной установки.....	16
Порядок выполнения работы.....	17
Требования к оформлению отчёта .....	18
4. Контрольные вопросы .....	19
Список литературы .....	20
Приложение А .....	21

## ВВЕДЕНИЕ

Руководство включает описание лабораторной работы по дисциплине «Устройство СВЧ и антенны» для исследования направленных ответвителей в микрополосковом исполнении, а также знакомство с измерительной аппаратурой и методами измерения параметров этих устройств.

Цель работы: изучение принципа действия, конструкций и частотных характеристик направленных ответвителей на связанных полосковых линиях передачи, квадратурного и кольцевого, выполненных в виде отдельных функциональных узлов. Измерения проводятся в дециметровом диапазоне дин волн с помощью скалярного анализатора параметров цепей типа P2M–18.

При подготовке к работе студентам следует:

- по конспектам лекций изучить материал, относящийся к лабораторной работе;
- ознакомиться с описанием работы, продумать ответы на контрольные вопросы.

Лабораторная работа выполняется бригадами из двух–трех человек и рассчитана на самостоятельную внеаудиторную подготовку и два аудиторных занятия (четыре часа). Включать приборы и начинать выполнение работы следует только с разрешения преподавателя после проверки подготовленной схемы и ответа на контрольные вопросы. Во время проведения работы студенты должны вести технический протокол, который может быть общим на бригаду. В начале протокола указывается номер и название лабораторной работы, фамилии исполнителей, номер учебной группы и дата выполнения работы. В протокол заносятся все результаты работы и данные, необходимые для составления отчёта.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЯХ

Направленным ответвителем (НО) называется четырёхпортовое устройство, состоящее из двух отрезков линий передачи, между которыми с помощью элементов связи или области связи осуществляется направленная передача электромагнитной энергии. Линия, в которую подаётся энергия, называется основной или первичной; линия, в которую ответвляется энергия, называется дополнительной или вторичной (рис. 1.1).

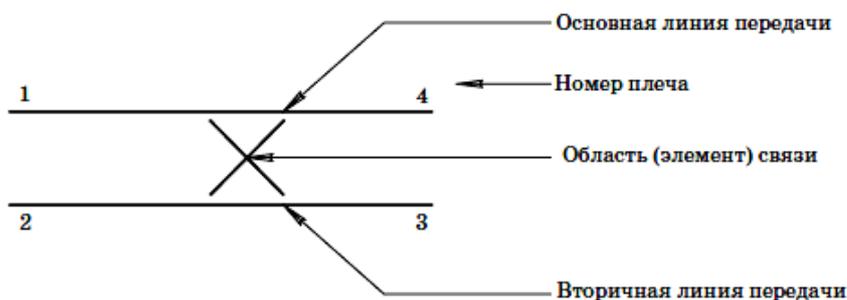


Рисунок 1.1. Связанные линии передачи

Термин «направленная передача энергии» означает, что если в основной линии передачи распространяется бегущая волна, то во вторичной линии будет возбуждаться также бегущая волна, распространяющаяся от области связи только в одном определённом направлении. В идеальном случае, во вторичной линии в противоположном направлении от области связи волна вообще не распространяется. Если в основной линии передачи изменить направление движения бегущей волны, то во вторичной линии направление движения ответвлённой волны также изменится на обратное. Таким образом, НО является взаимным устройством.

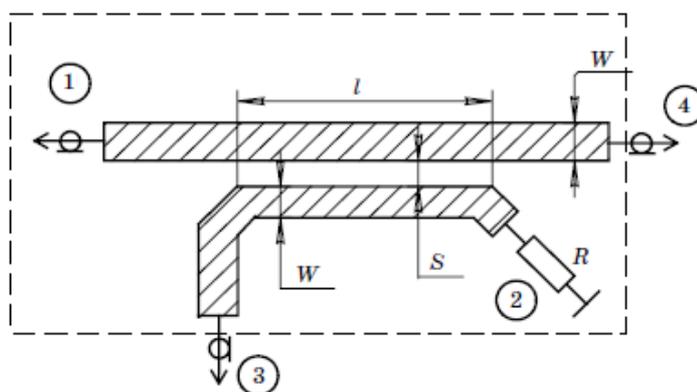


Рисунок 1.2. Топологическая схема направленного ответвителя

Обычно один из входов 2 или 3 (рис. 1.2) вторичной ЛП, в которой не должна ответвляться энергия из основной ЛП, нагружается на согласованную нагрузку, которая конструктивно объединяется с НО или подключается к нему. Сопротивление нагрузки  $R$  равно волновому сопротивлению линии передачи. Эта нагрузка предназначена для поглощения энергии, передаваемой во вторичную ЛП, если в основной ЛП кроме падающей существует отражённая волна – волна обратного направления. Эта же нагрузка должна поглощать энергию, проникающую в сторону, противоположную входу вторичной ЛП. Если основной выход вторичной ЛП соединён с устройством, отражающим волны ( $K_{CB} \gg 1$ ), то согласованная нагрузка НО будет поглощать и эти отражения. Направленные ответвители могут быть выполнены на отрезках различных ЛП (полосковой, коаксиальной, волноводной и др.) и находят широкое применение в микроволновой технике. Они используются, например, в качестве делителей мощности с различными коэффициентами деления, для измерения большого уровня мощности по малому ответвлённому, для индикации и измерения уровня падающей и отражённой волны в основном СВЧ тракте, для сравнения этих уровней, т.е. для измерения КСВ и модуля коэффициента отражения, для устранения взаимного влияния (развязки) приёмного и передающего устройства в СВЧ тракте и т. д. На основе НО выполняются другие функциональные узлы, например рефлектометры, фазовращатели.

Основными параметрами НО являются направленность  $D$  и переходное ослабление  $C$ . Широкополосность ответвителя определяется рабочим диапазоном частот  $\Delta f = f_2 - f_1$ , в пределах которого параметры НО не выходят за допустимые значения.

Направленностью называется логарифмическая мера отношения мощностей, выходящих из плеч 3 и 2 вторичной ЛП, при условии, что основная ЛП (плечо 4) нагружена на согласованную нагрузку и в ней существует бегущая волна. Таким образом

$$D = 10 \lg \left( \frac{P_3}{P_2} \right), \text{ где } P_3 > P_2. \quad (1.1)$$

Переходным ослаблением называется логарифмическая мера отношения мощности  $P_1$  бегущей (падающей) волны на входе основной ЛП к ответвлённой мощности  $P_3$  на выходе вторичной ЛП при условии, что остальные плечи НО (2 и 4) нагружены на согласованные нагрузки.

$$C = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_3} \right), \text{ где } P_3 < P_1. \quad (1.2)$$

Направленность и переходное ослабление исчисляются в децибелах. Если во входное плечо НО поступает падающая волна, а все остальные плечи нагружены на согласованные нагрузки, то можно измерить КСВ НО со стороны входа. Теоретически входной КСВ однозначно связан с направленностью НО: идеальной направленности ( $D = \infty$ ) соответствует КСВ = 1. Практически входной КСВ близок к единице во всем рабочем диапазоне частот. Из определения направленности и переходного ослабления следует связь этих параметров с параметрами рассеяния НО, рассматриваемого как восьмиполусник:

$$D = 10 \lg \left( \frac{|S_{31}|^2}{|S_{21}|^2} \right) = -20 \lg \left( \frac{|S_{21}|}{|S_{31}|} \right), \quad (1.3)$$

$$C = 10 \lg \left( \frac{1}{|S_{31}|^2} \right) = -20 \lg |S_{31}| \quad (1.4)$$

На рис. 1.3 изображён НО, выполненный на связанных несимметричных пролосковых линиях (ПЛ). Связанные несимметричные ПЛ являются аналогом двум двухпроводным связанным ЛП, поэтому принцип действия НО на связанных ПЛ удобно рассмотреть на модели, состоящей из двух параллельно расположенных отрезков обычной симметричной двухпроводной линии (рис. 1.4, а). Между линиями передачи I и II (рис. 1.4, б), расположенными параллельно друг другу, существует связь как через электрическое, так под действием электрического поля первичной линии через ёмкость связи  $C_{12}$  течёт ток в точке А вторичной линии разветвляется на два тока  $i'_c$  и  $i''_c$ , текущих в противоположных направлениях.

$$i_c = \frac{d(C_{12} \cdot U_1)}{dt}. \quad (1.5)$$

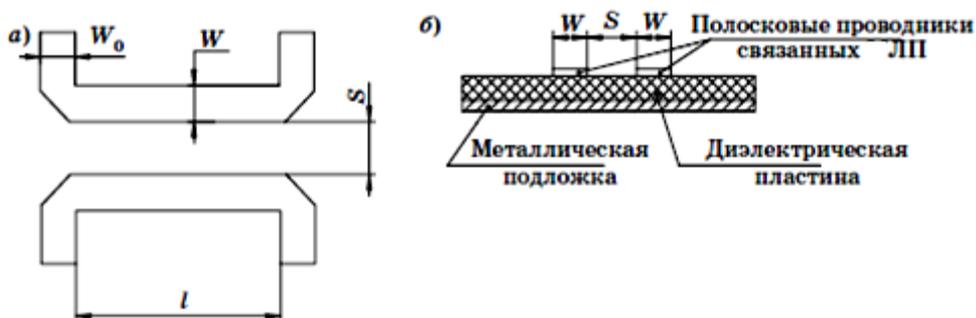


Рисунок 1.3. Направленной ответвитель на связанных несимметричных ПЛ

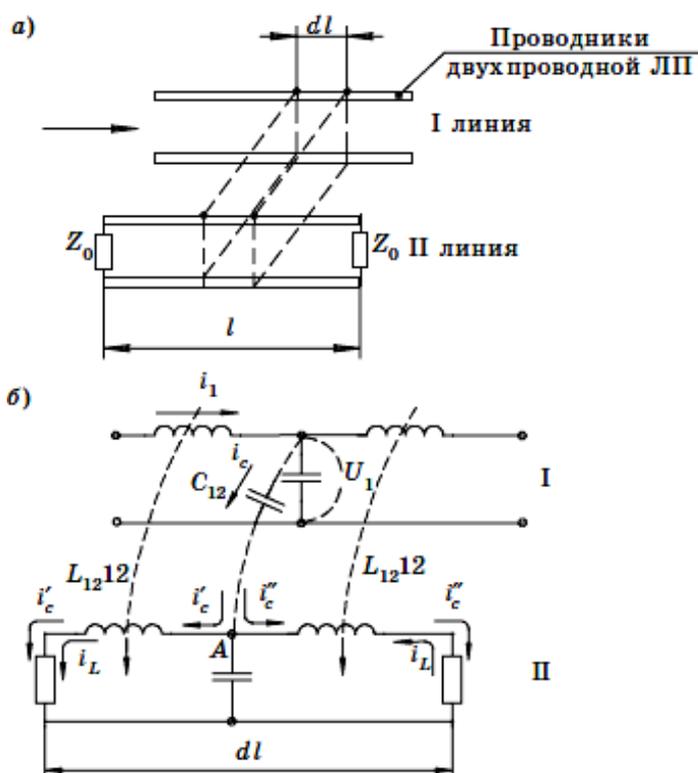


Рисунок 1.4. Пояснение принципа работы НО на связанных линиях:

*a* – две симметричные двухпроводные линии с электромагнитной связью;

*б* – эквивалентная схема отрезков связанных линий длиной  $dl$

Величины этих токов зависят от  $Z_0$ . Под действием магнитного поля в электромагнитном замкнутом контуре второй линии (как в петле связи) наводится ЭДС, определяемая величиной взаимной индукции  $L_{12}$  и током первой линии  $i_1$

$$i_L = \frac{d(L_{12} \cdot i_1)}{dt}. \quad (1.6)$$

Под действием ЭДС индукции в замкнутом контуре течёт круговой ток  $i_L$ , направление которого (рис. 1.4, б) находится, исходя из направления силовых линий возбуждающего магнитного поля, а величина зависит от  $Z_0$ . Как видно, справа от точки  $A$  токи  $i_c$  и  $i_L$  вычитаются, а слева складываются. Если связь между линиями подобрать так, чтобы токи  $i_c$  и  $i_L$ , протекающие в правой части контура через  $Z_0$ , были равны по величине, то суммарный ток будет равен нулю и электромагнитная энергия во второй ЛП не будет распространяться вправо. Наоборот, через левое сопротивление  $Z_0$  протекает суммарный ток  $i_c+i_L$ , создающий на  $Z_0$  соответствующее напряжение. В результате во второй линии возбуждается электромагнитная волна, распространяющаяся влево относительно точки  $A$ , т.е. в обратном направлении по отношению к направлению волны, распространяющейся в первичной линии.

Таким образом, при заданном расстоянии между связанными линиями можно так подобрать поперечные размеры проводников ЛП, что необходимое соотношение между токами будет достигнуто, вся энергия во вторичной линии будет распространяться влево и теоретически такой «противонаправленный» ответвитель будет обладать бесконечной направленностью. Анализ показывает, что направленность такого идеального НО не зависит от длины области связи  $l$  и полосы частот, так как величины ёмкости и индуктивности связи являются независимыми от частоты. Величина энергии, распространяющейся во вторичной ЛП в обратном направлении, связана с длиной области связи  $l$ , максимальна при  $l=\lambda_g/4$  и равна нулю при  $l=\lambda_g/2$ . Отсюда следует, что переходное ослабление такого ответвителя зависит от частоты и расстояния между связанными линиями.

Ответвители с распределённой связью могут быть реализованы на любой из линий передачи, работающей на  $T$  волне (двухпроводной, коаксиальной, полосковой). Направленные ответвители на полосковых и микрополосковых линиях являются наиболее распространёнными. Направленность НО на микрополосковых линиях все же зависит от частоты. Это объясняется частотной зависимостью фазовой скорости волны, распространяющейся в слоистой диэлектрической среде

(воздух  $\varepsilon = 1$  и твердый диэлектрик  $\varepsilon > 1$ ), при этом соотношение ёмкостной и индуктивной связи между линиями меняется.

Частотная зависимость переходного ослабления НО с распределённой связью определяется выражением

$$C(\lambda) = -10 \lg \frac{K_0^2 \cdot \sin^2 \theta}{1 - K_0^2 \cdot \cos^2 \theta} \quad (1.7)$$

где  $\theta = (2\pi/\lambda_b)l$  – электрическая длина области связи;  $K = 10^{C/20}$  – коэффициент связи по напряжению на центральной частоте,  $\theta = \pi/2$ ,  $l = \lambda_g/4$ ;  $C_0$  – переходное ослабление на центральной частоте диапазона.

При большом переходном ослаблении ( $C_0 > 10$  дБ,  $K_0 \ll 1$ ) электрическая и магнитная связи оказываются сбалансированными (направленность наибольшая), если ширина проводников  $W$  в области связи равна ширине  $W_0$  несвязанных проводников. Для уменьшения переходного ослабления следует уменьшать расстояние  $S$  между связанными проводниками. Однако при этом значительно увеличивается ёмкость связи и утрачивается баланс электрической и магнитной связи, что ведёт к падению направленности. Для сохранения баланса связи увеличивают индуктивную связь путём увеличения индуктивности проводников, что достигается уменьшением их ширины  $W$ . Таким образом, для уменьшения переходного ослабления следует уменьшать зазор  $S$  между связанными проводниками и одновременно уменьшать их ширину  $W$ .

Среди НО с сильной связью ( $C < 10$  дБ), наибольшее распространение имеют ответвители с переходным ослаблением  $C = 3$  дБ, у которых выходные сигналы равны по мощности и составляют половину от мощности на входе  $P_3 = P_4 = P_1/2$ . Такие НО называются мостами.

Кольцевые мосты (рис. 1.5) на полосковых линиях нашли широкое применение в технике СВЧ в таких устройствах как сумматоры и делители мощности, и в качестве узлов в генераторах, усилителях, преобразователях. Качество кольцевых мостов на полосковых линиях в цепях СВЧ характеризуется коэффициентом стоячей волны по напряжению, величиной связи между двумя несопряжёнными плечами и развязкой (изоляция) сопряжённых плеч.

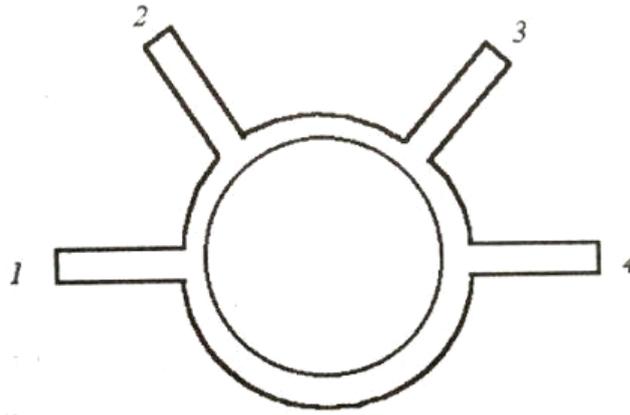


Рисунок 1.5 – Топология полоскового кольцевого моста

В зависимости от выбора входного и выходных плеч моста можно обеспечить разность фаз выходных сигналов 0 или  $\pi$ . Мост является узкополосным устройством. Модификация структуры мостового устройства посредством добавления отрезков одиночных и связанных ЛП позволяет несколько улучшить диапазонные свойства и электрические параметры устройства. Однако существенного расширения полосы рабочих частот достигнуть не удаётся.

Мостовые схемы в виде кольца характеризуются следующими основными параметрами:

– развязкой между каналами, которая определяется по формуле

$$N = 10 \lg \frac{P_2}{P_4} \quad (\text{дБ}) \quad (1.8)$$

где  $P_2$  и  $P_4$  – величины мощностей на выходных каналах (при подаче мощности в 1 канал);

– делением мощности по выходным каналам.

Расчёт мостовой схемы сводится к определению среднего диаметра  $d_{\text{ср}}$  и ширины кольца  $b_{\text{к}}$  при заданных значениях волнового сопротивления  $Z_0$  питающей линии и рабочей длине волны  $\lambda_0$  (см. рис. 1.6). Расстояние между осями

должно быть  $\frac{\lambda_0}{4 \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}}$ , а по длинной стороне  $\frac{3\lambda_0}{4 \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}}$ . Длина средней линии

кольца определяется по формуле  $l_k = \frac{3\lambda_0}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_{эф}}}$ . Волновое сопротивление кольца  $Z_k$  определяется из соотношения  $Z_k = Z_0 \cdot \sqrt{2}$ .

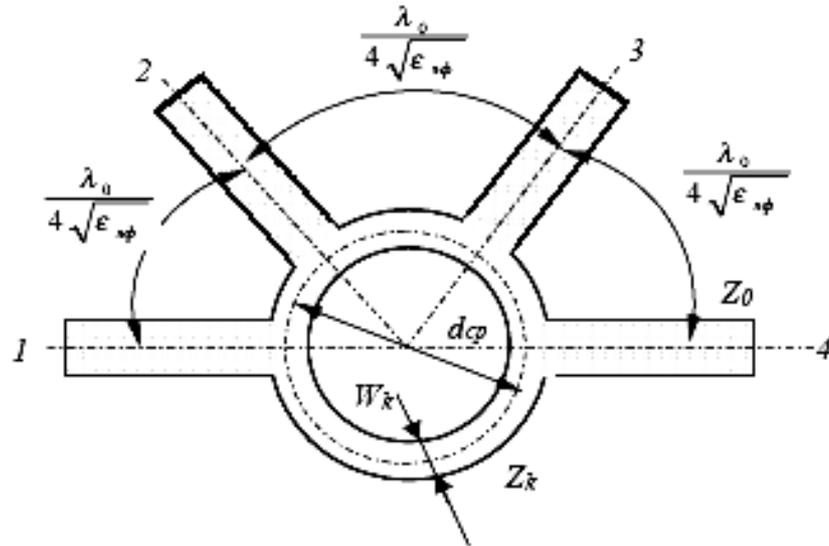


Рисунок 1.6. Конструкция кольцевого моста

Мостовые устройства (МУ) допускают без нарушения развязки между входами следующие изменения электрических длин плеч:

- а) любое из них можно изменить на целое число волн ( $\pm n\lambda$ );
- б) два смежных плеча можно изменить на  $\pm\lambda/2$ .

Если пара развязанных входов (1-2 или 3-4) подключена к МУ идентично, т.е. последовательно или параллельно, то электрические длины линий, соединяющие эти входы, должны отличаться на  $\lambda/2$ . Тем самым создаётся возможность развязки между ними, при этом развязка зависит от частоты.

Если один из развязанных входов подключён последовательно, а другой параллельно, то условием развязки является равенство длин линий, соединяющих эти входы. Поскольку фазовые соотношения у линий с одинаковыми длинами сохраняются на всех частотах, то развязка получается частотно независимой. Поворот фазы на  $180^\circ$ , необходимый для развязки между парой входов, может быть также осуществлён перекрещиванием проводников у двухпроводной линии или скруткой волновода. При этом в МУ плечо длиной  $3\lambda/4$  может быть заменено от-

резком длиной  $\lambda/4$ , тогда все четыре плеча будут иметь одинаковую длину  $\lambda/4$  и развязка будет частотно независимой. Аналогично коэффициент деления мощности  $m$  между развязанными входами не зависит от частоты, когда длины плеч, соединяющих эти входы с тем входом, к которому подключен источник, одинаковы.

Найдём параметры кольцевого моста на ПЛ. Соотношения волновых сопротивлений плеч определяется заданными величинами  $Z_{вх}$  и  $m$ . Эффект подключения генератора ко входу 1 не изменится, если закоротить развязанный вход 2.

Тогда получим  $|S_{14}|^2/|S_{13}|^2=P_3/P_4=m$  и  $Z_{13}/Z_{14}=\sqrt{m}$ ,

$Z_{ex1} = Z_{13}^2 \cdot Z_{14}^2 / R(Z_{13}^2 + Z_{14}^2) = mZ_{14}^2 / (1+m)R$ , где  $Z_{ij}$  – сопротивление ЛП между  $i$  и  $j$  входами,  $R$  – сопротивление нагрузки.

При условии  $Z_{ex1}=R$  волновое сопротивления  $Z_{14} = R \cdot \sqrt{(1+m)/m}$ ,  $Z_{13} = R\sqrt{1+m}$ . Подключив генератор к входу 2, находим аналогичным образом соотношение волновых сопротивлений плеч 2–3 и 2–4. Накладывая условие  $Z_{ex2}=R$ , получим  $Z_{24} = R\sqrt{1+m}$ ;  $Z_{23} = R\sqrt{m/(1+m)}$ . При  $m=1$  волновые сопротивления равны

$$Z_{13} = Z_{14} = Z_{23} = Z_{24} = \sqrt{2} \cdot R. \quad (1.9)$$

Шлейфный НО образован двумя ступенчатыми ЛП, соединёнными между собой двумя либо несколькими отрезками ЛП (шлейфами) (рис. 1.7). Оптимальное задание длин и волновых сопротивлений отрезков одиночных ЛП, образующих шлейфный НО, позволяет в требуемом диапазоне частот обеспечить согласование плеч НО, деление мощности между выходными плечами 1, 2 и достичь развязки между выходными плечами. Мощность, поступающая в плечо 3 НО, делится между плечами 1, 2. Разность фаз сигналов в выходных плечах  $\varphi = \pi/2$ . Таким образом, шлейфный НО относится к квадратурным НО.

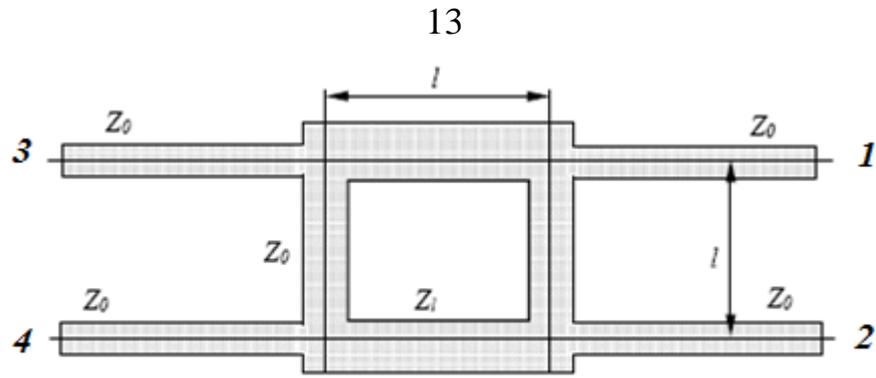


Рисунок 1.7. Топология шлейфного направленного ответвителя

Шлейфные НО просты в изготовлении, однако сравнительно узкополосны. Даже увеличение числа шлейфов до 6 – 8 не позволяет достичь коэффициента перекрытия диапазона рабочих частот свыше двух.

Размеры прямоугольника определяются по формуле

$$l = \frac{\lambda_0}{4 \cdot \sqrt{\epsilon_{эф}}} \quad (1.10)$$

Волновое сопротивление полосок прямоугольной мостовой схемы определяется из выражения

$$Z_1 = \frac{Z_0}{\sqrt{2}} \quad (1.11)$$

У квадратурного моста развязаны две пары соседних входов (1-2 и 3-4). Развязка между ними на средней частоте ( $l = \lambda/4$ ) выполняется при условии

$$R^2 Z_{13}^2 = Z_{12}^2 (Z_{13}^2 + R^2), \text{ если } Z_{13} = Z_{24} \text{ и } Z_{12} = Z_{34},$$

где  $Z_{ij}$  – сопротивление ЛП между  $i$  и  $j$  входами,  $R$  – сопротивление нагрузки.

При этом выходные сопротивления равны

$$Z_{вых1} = Z_{вых2} = R.$$

Из приведённых соотношений и заданных  $m$  и  $Z_{вых}$  можно найти необходимые величины волновых сопротивлений плеч:

$$Z_{13} = \sqrt{m} R, \quad (1.12)$$

$$Z_{12} = \sqrt{m/(m+1)} R. \quad (1.13)$$

При  $m=1$  имеем  $Z_{13} = R$ ,  $Z_{12} = R/\sqrt{2}$ . У одного плеча волновое сопротивление такое же, как у входных линий, а у другого оно меньше (у большинства кольцевых МУ волновое сопротивление больше), это представляет некоторое конструктивное достоинство, так как при микрополосковом исполнении большие величины волновых сопротивлений осуществить затруднительно.

Недостатком квадратурного моста является зависимость от частоты всех параметров ( $\xi$ ,  $m$ ,  $Z_{ex}$ ). Можно рекомендовать применять его при полосах пропускания не более (5...6) %.

## 2. РАСЧЁТНОЕ ЗАДАНИЕ

Рассчитать геометрические размеры трёх микрополосковых НО: на связанных линиях, квадратурного и кольцевого.

Исходные данные: подложка – текстолит с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 4,4$ , толщина подложки  $h = 1,5$  мм; толщина проводника  $t = 0,05$  мм, центральная частота 2 ГГц; волновое сопротивление 50 Ом. Коэффициент связи для НО:

- на связанных ЛП  $K=0,316$ ;
- кольцевого  $m=1$ ;
- квадратурного  $m=1/2,25$ .

Для расчёта геометрических размеров НО использовать программу «Qucs». Построить модель НО в программе «Qucs» и рассчитать частотные характеристики устройств.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

#### Описание лабораторной установки

На рис. 3.1 приведена структурная схема экспериментальной установки, включающая программно-управляемый измеритель модулей коэффициентов передачи (КП) и отражения (КО) P2M-18 диапазона до 18 ГГц.

Измерительный прибор P2M управляется ПК с помощью программы *Graphit*. С выхода СВЧ P2M зондирующий сигнал поступает на датчик КСВ, затем на исследуемый НО, один из входов которого нагружен на согласованную нагрузку, а со второго снимается прошедший через НО сигнал на детектор. Продетектированный сигнал поступает на вход P2M. Результат измерения АЧХ модулей КП и КО отображается в программе *Graphit*.

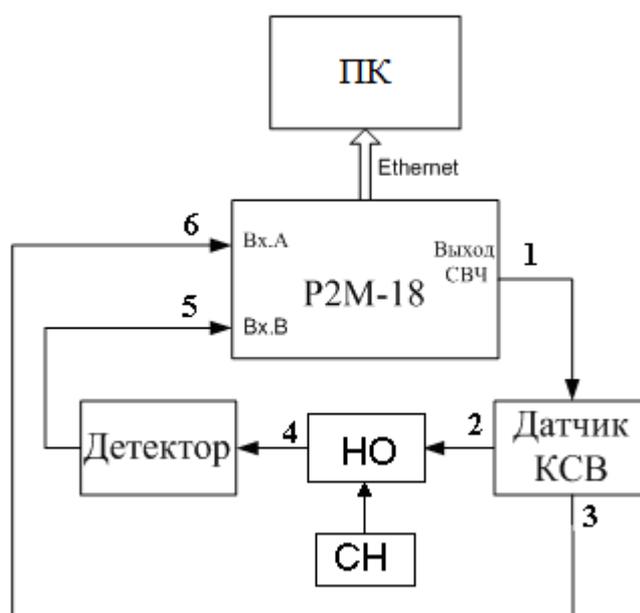


Рисунок 3.1. Структурная схема экспериментальной установки для измерения КП и КО

## Порядок выполнения работы

1. Включить ПК.
2. Включить скалярный анализатор цепей P2M-18, установив переключатель ВКЛ на панели измерителя в положение « I » на панели прибора, дать приборам прогреться не менее 5 минут.
3. Для старта ПО Graphit, нажать «Пуск\ВсеПрограммы\Приборы\Микран\Graphit P2M\Graphit P2M».
4. Подключиться к прибору с IP адреса 192.168.1.248.
5. Загрузить профиль «DC.grg» (см. рис. 3.2, №1).
6. Убедиться в правильности подгруженных детекторных характеристик.
7. Задать диапазон частот 10...4000 МГц в поле окна (рис. 3.2, №3). Для подтверждения измерения параметра необходимо нажать клавишу «Enter».
8. Повести калибровку прибора P2M (см. прил. А)
9. Запустить и провести измерения (см. рис. 3.2 №2).
10. Измерить параметры матрицы рассеивания трёх макетных образцов.
11. Выключить прибор, остановив процесс измерений, закрыв программное обеспечение Graphit P4M и установив переключатель ВКЛ на панели измерителя в положение « O ».

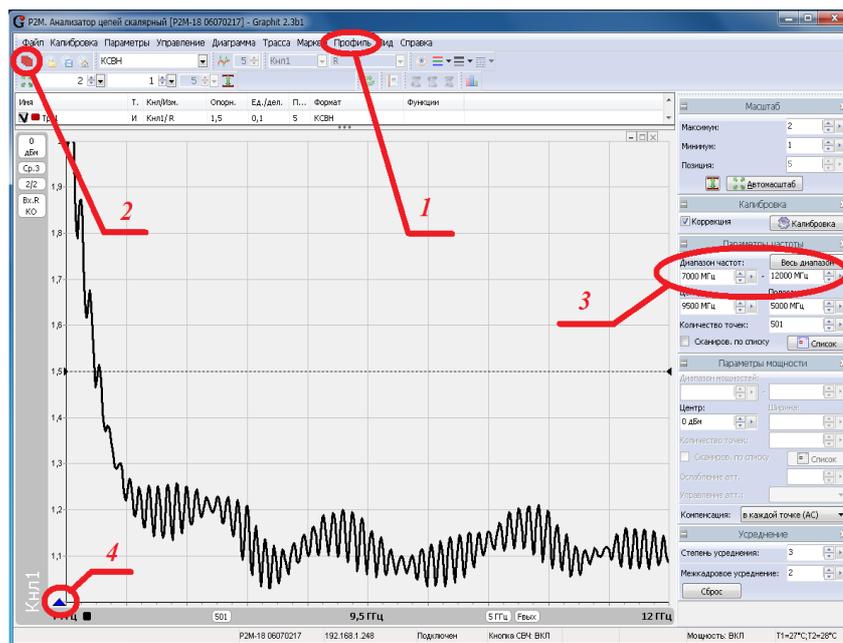


Рисунок 3.2. Окно программы Graphit

### **Требования к оформлению отчёта**

1. Отчёт должен быть оформлен в соответствии с общими требованиями и правилами оформления отчётов по лабораторным работам, принятыми в ТУСУРе.
2. В отчёте должна быть изложена цель работы, методика измерений и краткое описание экспериментальной установки.
3. Отчёт должен содержать данные по расчётному заданию и измеренным характеристикам с указанием координатных осей, масштаба, значений измеренных величин в характерных точках; анализ результатов измерений (анализ хода характеристик, заключение о рабочем диапазоне частот, сравнение полученных характеристик с ожидаемыми – расчётными, возможные причины их расхождения и др.);
4. В отчёте должны быть представлены выводы по существу проделанной работы.

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные конструктивные и электрические параметры одиночных и связанных микрополосковых линий.
2. Устройство и принцип действия направленного ответвителя на линиях с Т-волной и распределенной связью.
3. Особенности конструкции и действия НО с сильной связью.
4. Основные параметры НО, их определения.
5. Частотные характеристики НО, возможные причины расхождения измеренных и теоретических характеристик.
6. Описать процесс измерения КСВ и ослабления НО.
7. Как зависят геометрические размеры НО от свойств материала подложки?
8. Какой геометрический размер изменится в топологии НО, если нижняя граничная частота понизится?
9. Предложите три способа уменьшения размеров топологии НО.
10. От каких параметров зависит расхождение экспериментальных частотных характеристик от расчётных?

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1) А.М. Богданов, М.В. Давидович, Б.М. Кац и др. Сверхширокополосные микроволновые устройства./ Под ред. А.П. Креницкого и В.П. Мещанова. – М.: Радио и связь, 2001. – 560 с.
- 2) Антенны и фидеры [Электронный ресурс]: Сборник задач с формулами и решениями / Гошин Г. Г. – 2012. 237 с. – Режим доступа:  
<http://edu.tusur.ru/training/publications/2795>.
- 3) Скалярный анализатор параметров цепей P2M [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторной работе / Гошин Г. Г., Фатеев А. В - Томск: ТУСУР, 2012. – 36 с. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/7048>.
- 4) Микроволновые устройства в системах подвижной радиосвязи: учеб. метод. пособие/А. А. Харитонов; ГУАП. – СПб., 2007. – 60 с.
- 5) Л.Р. Явич. Вопросы синтеза широкополосных делителей мощности. // Радиотехника и электроника. – 1972. – Т.17, №8. – с. 1580 – 1585.
- 6) Е.П. Котов, В.Д. Каплун, А.А. Тер-Маркарян, В.П. Лисицын, Ю.И. Фаянс. Полосковые платы и узлы. Проектирование и изготовление./ Под ред. Е.П. Котова и В.Д. Каплуна. – М.: Сов. радио, 1979. – 248 с.
- 6) ОС ТУСУР 01-2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/education/documents/inside/tech\\_01-2013\\_new.pdf](http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/education/documents/inside/tech_01-2013_new.pdf)

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(справочное)

**Калибровка P2M**

Для компенсации влияния амплитудно-частотной характеристики радиоизмерительного тракта на результат измерений применяется калибровка. Под радиоизмерительным трактом понимается: вспомогательные кабели, переходы, датчик КСВ, детектор и блоки, находящиеся внутри прибора.

Для калибровки в режиме измерений модулей КО и КП необходимо:

1) собрать схему в соответствии с рисунком А.1, присоединив к измерительному порту датчика КСВ (вход «Изм») нагрузку холостого хода (XX);

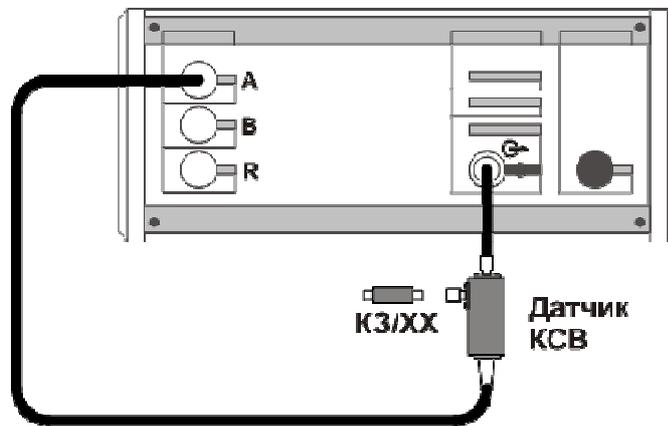


Рисунок А.1. Схема калибровки в режиме измерений модуля КО

2) запустить процесс измерений, при этом на передней панели P2M должен начать светиться индикатор «Мощность»;

3) установить параметры по умолчанию и проверить правильность их установки;

4) выбрать детекторную характеристику для датчика КСВ (S:\Лаборатория СВЧ Электроника\Приборы\P2M);

5) проверить, чтобы при измерении отражения от нагрузки XX на частотной характеристике в диапазоне рабочих частот P2M не было значительных провалов и выбросов;

*Примечание – При наличии на характеристике значительных провалов и выбросов, необходимо проверить надёжность сочленений. Если значительные провалы (выбросы) остались, то необходимо выключить Р2М на несколько минут и перезапустить программное обеспечение.*

б) запустить мастер калибровки «Трс1» (вход – «А», режим измерений – «отражение») и выполнить калибровку, пользуясь указаниями мастера;

7) по окончании калибровки, не отсоединяя нагрузку короткого замыкания (КЗ) от измерительного порта датчика КСВ, определить минимальное и максимальное значения модуля КО или КСВН в диапазоне рабочих частот; они должны находиться в пределах:

- а)  $(0 \pm 0,9)$  – формат отображения «Модуль КО (дБ)»;
- б)  $(1 \pm 0,1)$  – формат отображения «Модуль КО (раз)»;
- в) прямая линия со значением 10 (программное ограничение) – формат отображения «КСВН».

В противном случае калибровку повторить:

- а) отсоединить нагрузку КЗ от входа «Изм» датчика КСВ;
- б) собрать схему в соответствии с рисунком А.2;

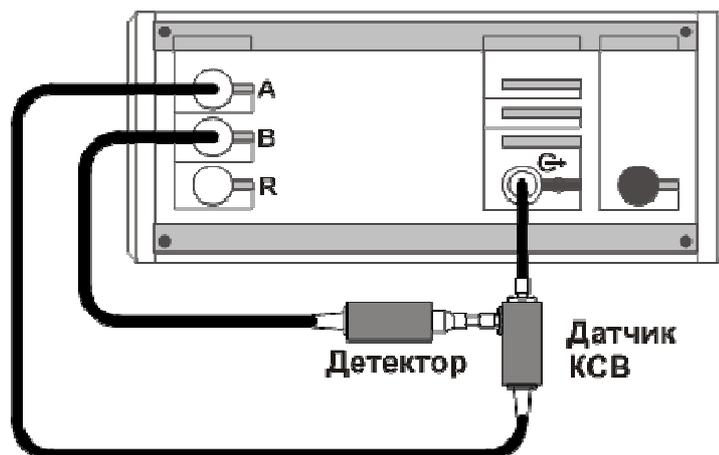


Рисунок А.2. Схема калибровки в режиме измерений модуля КП

8) установить отображение «Трс2». Выбрать детекторную характеристику для используемого детектора (S:\Лаборатория СВЧ Электроника\Приборы\Р2М).

Проверить, чтобы при измерении на частотной характеристике не было значительных провалов и выбросов;

*Примечание – При наличии на характеристике значительных провалов и выбросов, необходимо проверить надежность сочленений. Если значительные провалы (выбросы) остались, то необходимо выключить Р2М на несколько минут и перезапустить программное обеспечение.*

9) запустить мастер калибровки «Трс2» (Вход «В», режим измерений – «Модуль КП») и выполнить калибровку, пользуясь указаниями мастера;

10) по окончании калибровки, определить минимальное и максимальное значения модуля КП в рабочем диапазоне частот; они должны находиться в пределах:

а)  $(0 \pm 0,04)$  – формат отображения «Модуль КП (дБ)»;

б)  $(1 \pm 0,01)$  – формат отображения «Модуль КП (раз)».

В противном случае калибровку повторить;

Учебное издание

Гошин Г.Г., Кравченко А.И., Фатеев А.В.

**Исследование характеристик полосковых направленных ответвителей**

Руководство к лабораторной работе

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л.,

Тираж            экз.        Заказ

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники.

634050, Томск, пр. Ленина. 40.

Тел. (3822) 533018.