

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра «Антенн и устройств СВЧ»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЕЙ

Методические указания к лабораторной работе №1
по дисциплине «Антенны и устройства СВЧ»
для студентов специальности 39 01 01 «Радиотехника»
всех форм обучения

Минск 2005

УДК 621.396 67 (075.8)
ББК 32. 845 я 73
И 85

Составители:

И.Н. Кижлай, А.В. Кухарев, Н.А. Чмырев, О.А. Юрцев

И 85 **Исследование** направленных ответвителей: Метод. указ. к лаб. раб. №1 по дисц. “Антенны и устройства СВЧ” для студ. спец. 39 01 01 “Радиотехника” всех форм обуч./ Сост. И.Н. Кижлай, А.В. Кухарев, Н.А. Чмырев, О.А. Юрцев.– Мн.: БГУИР, 2005. - 16 с.

В методических указаниях содержатся сведения о принципах работы, конструкциях и разновидностях направленных ответвителей на различных типах линий передачи. Рассмотрены основные параметры направленных ответвителей, приведены методика их экспериментального определения и контрольные вопросы, которые помогают студентам самостоятельно овладеть данным разделом. Приведена методика выполнения лабораторной работы и оформления отчета.

Материал может быть рекомендован для студентов специальностей 39 01 02, 39 01 03 и 45 01 02 при изучении курсов, содержащих раздел “Устройства СВЧ”.

УДК 621.396 67 (075.8)
ББК 32. 845 я 73

© Коллектив авторов,
составление, 2005
© БГУИР, 2005

Содержание

1. Цель работы
 2. Общие сведения
 3. Измерение параметров НО
 4. Порядок выполнения работы
 5. Содержание отчета
 6. Контрольные вопросы
- Литература

Библиотека БГУИР

1 Цель работы

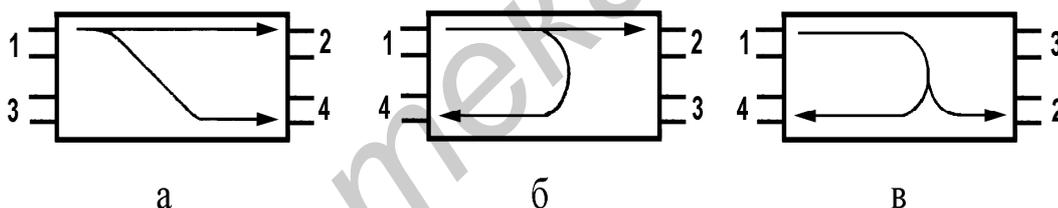
Ознакомление с устройством, конструкцией и принципом действия направленных ответвителей различных типов, экспериментальное исследование основных характеристик.

2 Общие сведения

Направленным ответвителем (НО) называется четырехплечное устройство (восьмиполюсник), состоящее из двух отрезков линий передачи, в котором часть энергии электромагнитной волны, распространяющейся в основной линии передачи (основном канале), посредством элементов связи ответвляется во вспомогательную линию передачи (вспомогательный канал) и передается в ней в определенном направлении.

Направление передачи энергии электромагнитной волны во вспомогательном канале зависит от направления передачи в основном канале. При изменении направления распространения волны в основном канале направление распространения ответвленной волны во вспомогательном канале также изменяется на обратное.

Виды НО показаны на рисунке 1.



а - сонаправленный, *б* - противонаправленный; *в* – противонаправленный с переходом энергии во вспомогательный канал

Рисунок 1 - Виды НО

Направленная передача энергии в НО возможна при полном согласовании всех его плеч. НО считается идеально направленным, если при возбуждении какого-либо из его плеч одно из трех оставшихся плеч остается невозбужденным. Такое плечо называется развязанным.

В двух других плечах, называемых рабочими, входная мощность распределяется в соответствии с выбранной величиной связи между основным и вспомогательным каналами. В реальных конструкциях НО идеальное согласование не достигается, а это приводит к тому, что в теоретически развязанное плечо частично попадает мощность, поступающая на входное плечо НО, т.е. наблюдается некоторое прохождение сигнала в “ненормальном” направлении.

Как правило, НО являются взаимными устройствами, хотя существуют и невзаимные НО, у которых связь между каналами осуществляется через намагниченный феррит.

НО являются наиболее распространенными устройствами техники СВЧ. Они используются в качестве элементов сложных устройств, например: фильтров, сумматоров и делителей мощности, смесителей, модуляторов, переключателей, фазовращателей и др. Кроме того, НО можно использовать как самостоятельные узлы при проведении различного рода измерений в СВЧ диапазоне: измерении больших и средних мощностей посредством измерителей малой мощности, измерении добротности резонаторов, контроле уровня проходящей и отраженной волн в линиях передачи, измерении коэффициента отражения в линии и т.д.

Основными характеристиками НО при условии подачи сигнала в плечо 1 и согласованных нагрузках в остальных плечах являются:

1 Переходное ослабление C_{14} - выраженное в децибелах отношение мощности на входе основного канала к выходной мощности рабочего плеча вспомогательного канала:

$$C_{14} = 10 \log P_1 / P_4 \text{ [дБ]}. \quad (1)$$

Величина переходного ослабления зависит от размеров и числа элементов связи между основным и вспомогательным каналами. В типовых НО $C_{14} = 3 \dots 20$ дБ. Величина $C_{14} = 10$ дБ принята за границу сильной и слабой связи. В зависимости от величины переходного ослабления НО подразделяются на НО с сильной связью ($C_{14} < 10$ дБ), НО со слабой связью ($C_{14} > 10$ дБ), гибридные НО ($C_{14} = 3,01$ дБ) с равными мощностями в рабочих плечах.

Для взаимных НО величина переходного ослабления не зависит от направления сигнала, т.е. $C_{14} = C_{23}$.

2 Направленность C_{43} - выраженное в децибелах отношение мощности на выходе рабочего плеча вспомогательного канала к мощности на выходе развязанного плеча.

$$C_{43} = 10 \log P_4 / P_3 \text{ [дБ]}. \quad (2)$$

Направленность характеризует просачивание мощности в развязанное плечо за счет неидеальности конструкций НО. У идеального НО $P_3 = 0$.

В реальных конструкциях НО $C_{43} = 15 \dots 40$ дБ и определяется типом НО, качеством согласования плеч с нагрузками, диапазоном частот.

3 Развязка C_{13} - выраженное в децибелах отношение мощности на входе основного канала к мощности на выходе развязанного плеча.

$$C_{13} = 10 \log P_1 / P_3 \text{ [дБ]}. \quad (3)$$

У идеального НО развязка должна быть бесконечно большой.

4 Рабочее затухание C_{12} - выраженное в децибелах отношение мощности на входе и выходе основного канала НО:

$$C_{12} = 10 \log P_1 / P_2 \text{ [дБ]}. \quad (4)$$

5 Коэффициент деления мощности C_{24} - выраженное в децибелах отношение мощностей на выходе рабочих плеч:

$$C_{24} = 10 \log P_2 / P_4 \text{ [дБ]}. \quad (5)$$

Коэффициент деления мощности НО зависит от его конструкции. Возможно равное деление мощностей, в одно из плеч может поступать большая или меньшая часть мощности. Если из одного канала в другой передается значительная часть мощности, то НО можно отнести к классу делителей мощности, а если небольшая - то к классу развязывающих устройств.

6 Коэффициент стоячей волны (КСВ) - характеризует отражения, вносимые НО в СВЧ тракт.

КСВ определяется со стороны входного плеча НО при наличии согласованных нагрузок в остальных плечах.

7 Фазовые соотношения НО - разность фаз волн в выходных плечах.

8 Рабочая полоса частот - полоса частот, в пределах которой неравномерность (отклонение от среднего значения) величин переходного ослабления, направленности и других параметров не превышает заданного значения.

По принципу действия НО подразделяются на следующие виды:

- ответвители, в которых направленность обеспечивается собственной направленностью элемента связи;

- интерференционные, у которых связь между основным и вспомогательным каналами образуется с помощью нескольких элементов связи. Направленность обеспечивается взаимной компенсацией электромагнитных волн, возбуждаемых каждым элементом связи во вспомогательном канале в обратном направлении;

- ответвители, в которых направленность образуется за счет использования двух предыдущих явлений;

- ответвители, в которых направленность обеспечивается за счет использования взаимодействия электромагнитных волн различных типов, распространяющихся одновременно на протяженном участке линии передачи, где возможно их совместное существование.

НО могут быть выполнены в различных конструктивных вариантах.

Применяемые в диапазоне СВЧ НО подразделяются на следующие типы:

- коаксиальные и волноводные с одиночными элементами связи, обладающими собственной направленностью (отверстия и петли связи);

- волноводные со щелевой связью (прямоугольные и крестообразные щели);
- волноводные многодырочные и многостержневые;
- коаксиальные и полосковые двух- и многошлейфовые;
- полосковые с использованием полей рассеяния.

Ниже будут рассмотрены исследуемые в данной работе некоторые наиболее широко применяемые в технике СВЧ НО, описаны принцип их действия и конструктивные особенности.

Волноводные НО

Простейшими волноводными НО являются ответвители с одним элементом связи. Такие НО обычно выполняются на основе волноводов прямоугольного сечения с волной Н₁₀ и со связью через малое отверстие.

В зависимости от расположения отверстия связь между волноводами может быть магнитной или смешанной - электромагнитной. На рисунке 2 показана связь через отверстие круглой формы между волноводами по общей узкой стенке, обусловленная продольной составляющей магнитного поля.

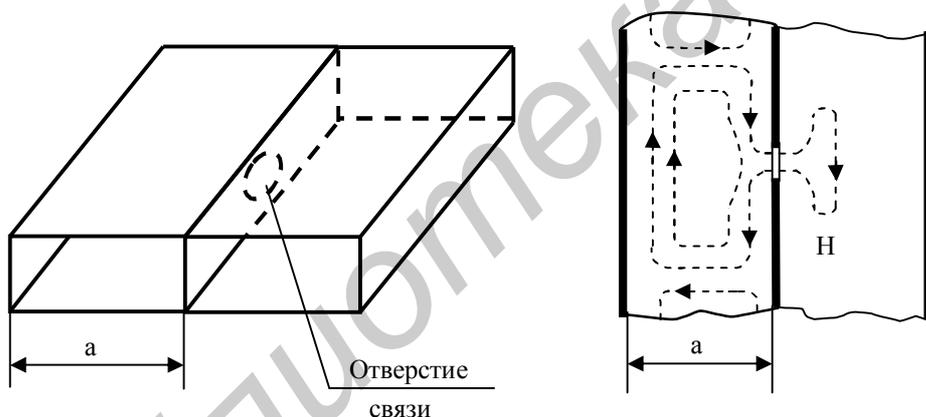


Рисунок 2 – Связь между волноводами по общей узкой стенке

На рисунке 3 отверстие связи изображено в середине общей широкой стенки волновода и связь осуществляется как по электрическому, так и по магнитному полю через поперечную составляющую.

Если отверстие связи смещено относительно центральной линии, то добавляется связь, обусловленная продольной составляющей магнитного поля. Такое отверстие является сложным возбудителем.

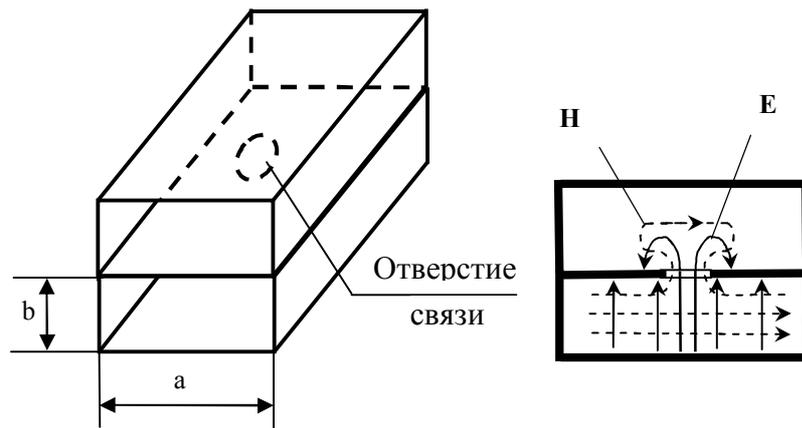


Рисунок 3 – Связь между волноводами по общей широкой стенке

Для НО, изображенных на рисунке 3, установлено, что в случае круглых отверстий электрическая и магнитная связи примерно равны; для вытянутых отверстий (в том числе и щелей) наибольшую роль играет связь, обусловленная магнитным полем, направленным параллельно большой оси; в крестообразном отверстии (щели) имеет место связь по обеим составляющим магнитного поля.

Наиболее распространенной конструкцией НО с одним элементом связи является ответвитель Бете, показанный на рисунке 4.

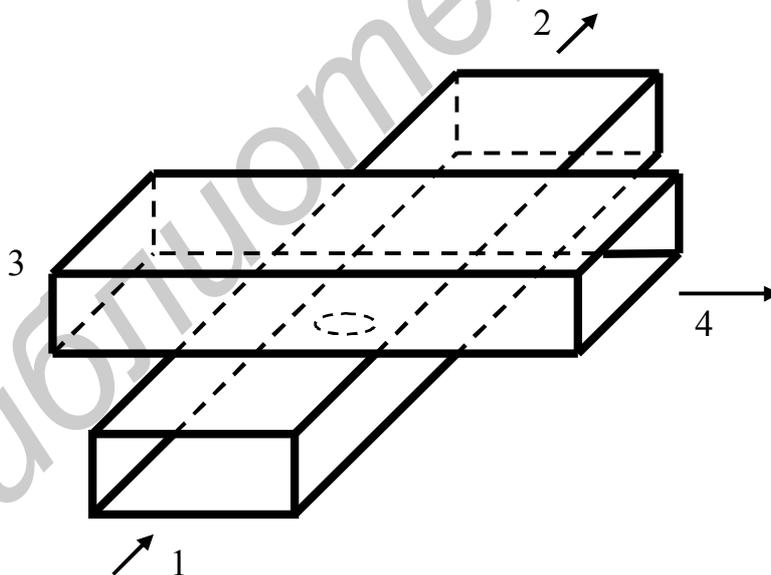


Рисунок 4 - Волноводный НО Бете

В качестве элемента связи здесь используется круглое отверстие в середине общей широкой стенки двух волноводов. Электрическое поле основного волновода (электрическая связь) возбуждает во вспомогательном волноводе две равные по амплитуде синфазные волны, направленные в разные стороны. Магнитное поле, "провисающее" в отверстие связи, в свою очередь возбуждает во

вспомогательном волноводе две волны, равные по амплитуде, но противофазные и также направленные в разные стороны.

Таким образом, волны, возбуждаемые во вспомогательном волноводе различными составляющими поля основного волновода, в одном направлении складываются, а в другом — вычитаются.

Поскольку величина магнитной связи зависит от взаимного расположения волноводов, то, поворачивая волноводы друг относительно друга (меняя угол между ними), можно уравнивать амплитуды волн. Устройство при этом начинает работать как НО. Отметим, что направление потока ответвленной энергии (плечо 4) противоположно направлению потока подводимой к НО энергии СВЧ, т.е. ответвитель Бете является противонаправленным. Это происходит потому, что магнитное поле в основном и вспомогательном каналах синфазно, а электрическое поле сдвинуто по фазе на 180° (как было показано ранее).

Ответвитель Бете имеет направленность до 20 дБ в полосе частот не более 20%. Переходное ослабление таких ответвителей не рекомендуется делать ниже 20 дБ из-за значительного увеличения размеров отверстия связи и, как следствие этого, возникновения существенных отражений в основном волноводе, что приводит к нарушению режима бегущих волн.

Для подстройки ответвителя Бете по направленности и переходному ослаблению вспомогательный волновод иногда делают подвижным, т.е. меняют угол между ними.

Основными недостатками ответвителя Бете являются значительное переходное ослабление и узкополосность.

Более просты в изготовлении НО с одним или двумя отверстиями связи круглой или крестообразной формы, расположенными на диагонали общей части широких стенок взаимно перпендикулярных волноводов (рисунки 5, 6).

Такие ответвители представляют собой разновидность ответвителей Бете. Образование направленной связи в таком ответвителе объясняется теорией Бете. Если волна в основном волноводе распространяется в направлении 1-2, то при расположении отверстия на диагонали общей части широкой стенки и при соответствующем выборе размеров отверстия можно добиться, что электромагнитные волны будут распространяться в направлении 3-4.

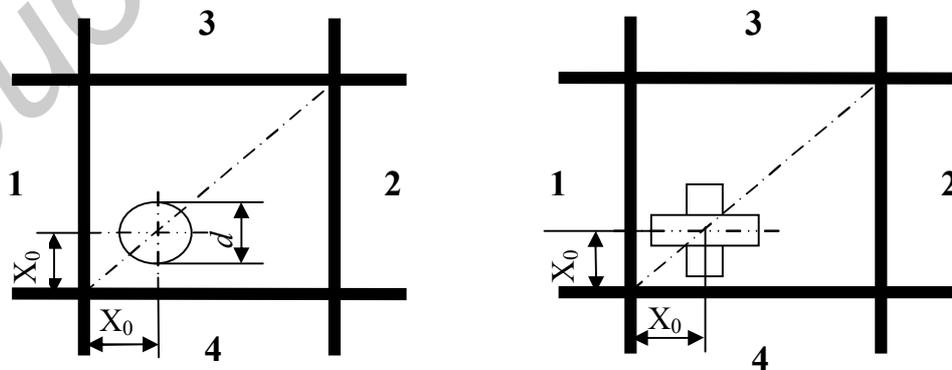


Рисунок 5 - НО со взаимно перпендикулярными волноводами с одним элементом связи

В случае использования одиночного круглого отверстия связи (рисунок 5) наибольшая направленность достигается при минимальном значении X_0 , т.е. когда отверстие располагается как можно ближе к узкой стенке. Такой НО сохраняет приблизительно постоянные значения характеристик направленности в диапазоне частот 20%. НО с одним крестообразным элементом связи имеет максимальную направленность при координатах отверстия $X_0 = a/4$.

НО с двумя отверстиями связи (рисунок 6), симметрично расположенными по диагонали общей стенки, более широкополосны. Для получения максимальной направленности расстояние между отверстиями связи по продольным осям волноводов должно быть равно $X = \lambda/4$. Для крестообразных отверстий связи том случае, когда длина полуплеча крестообразного отверстия превышает X_0 , отверстия можно повернуть на 45° . Такое расположение отверстия не влияет на характеристики НО, поскольку они не зависят от угла между плечами креста и осью волновода. Необходимо лишь соблюдать взаимную перпендикулярность и равенство плеч крестообразного отверстия, так как даже незначительное отклонение одного из плеч от заданного размера может привести к значительному ухудшению направленности ответвителя.

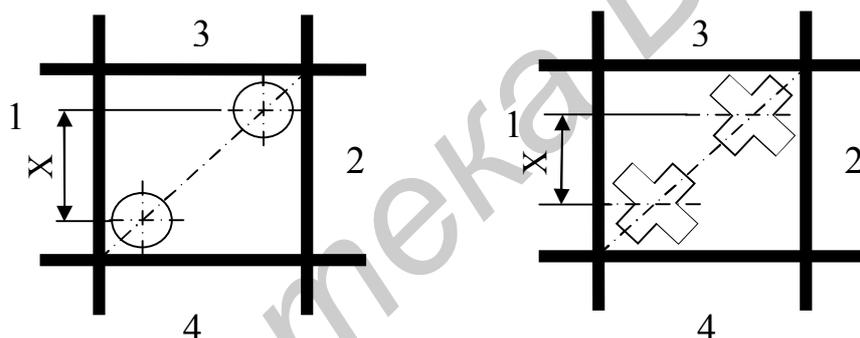


Рисунок 6 - НО со взаимно перпендикулярными волноводами с двумя элементами связи

Широкое применение на практике находят НО на базе ненаправленных элементов связи, какими являются, например, отверстия в узкой стенке прямоугольного волновода, связь через которые осуществляется за счет продольной составляющей магнитного поля (см. рисунок 2). Два таких отверстия, расположенные на расстоянии $L = \lambda/4$ друг от друга, обеспечивают направленную связь. Направленность достигается за счет интерференции электромагнитных волн, возбужденных во вторичном волноводе.

Принцип работы такого НО поясним на примере ответвителя с двумя одинаковыми отверстиями связи в общей части узкой стенки двух параллельных прямоугольных волноводов, схематичная конструкция которого приведена на рисунке 7.

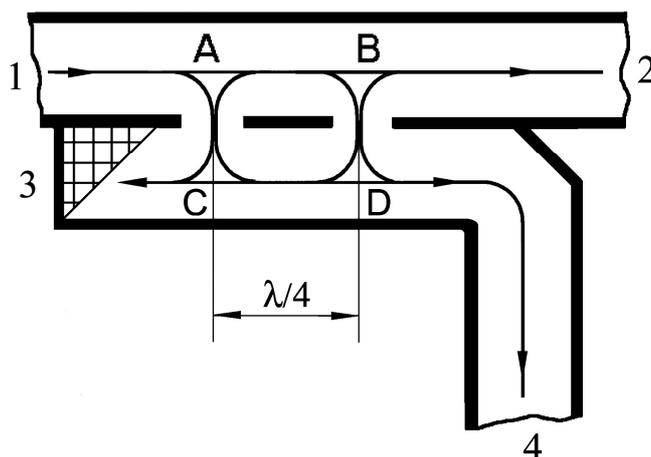


Рисунок 7 - Двухэлементный волноводный НО

Пусть волна H_{01} поступает в плечо 1. Каждое отверстие связи возбуждает по вспомогательному волноводу две волны, равные по амплитуде и противоположные по фазе.

Волны, возбуждённые падающей волной и прошедшие из основного канала по путям ACD и ABD , складываются в точке D в фазе и поступают в рабочее плечо 4. Волны же, прошедшие по путям AC и $ABDC$, в точке C противофазны, взаимно уничтожаются и в плечо 3 не поступают.

Волны, возбуждённые отраженной волной и прошедшие из основного канала по путям BD и $BACD$, сложатся в точке D в противофазе, и поэтому в плече 4 отраженная волна отсутствует. Волны же, прошедшие по путям BAC и BDC , в точке C сложатся в фазе и пойдут в расположенную в плече 3 поглощающую нагрузку, от которой нет отражения.

Следовательно, индикатор, включенный в плечо 4, будет реагировать только на падающую волну основного канала.

Переходное ослабление таких сонаправленных НО велико и составляет величину не менее 20 дБ, направленность не превышает 25 дБ.

Основным недостатком такого двухдырочного НО является малая рабочая полоса частот, что связано с принципом его работы - при изменении длины волны расстояние между элементами связи уже не будет равно $\lambda/4$ и картина интерференции волн нарушится.

Для уменьшения переходного ослабления и расширения рабочей полосы частот число отверстий увеличивают. Значительного увеличения широкополосности НО можно достигнуть, используя такой выбор размеров элементов связи, при котором амплитуда возбуждаемой во вторичной линии волны меняется от отверстия к отверстию по законам биномиального или чебышевского распределения (за счет соответствующего выбора уменьшения диаметров отверстий по отношению к центральному).

Коаксиальные и полосковые НО

НО на основе коаксиальных линий передачи бывают петлевого и щелевого типа. Конструкция петлевого коаксиального НО схематически показана на рисунке 8.

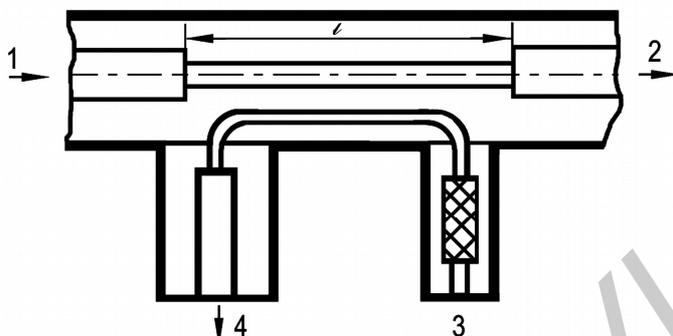


Рисунок 8 - Коаксиальный НО

Такой НО обычно используется для ответвления небольшой части мощности. Он работает по принципу взаимодействия волн разных типов на участке связи, длина которого, как правило, $L = \lambda/4$. Рассматриваемый ответвитель является противонаправленным.

На рисунке 9 представлена аналогичная конструкция ответвителя в микрополосковом исполнении.

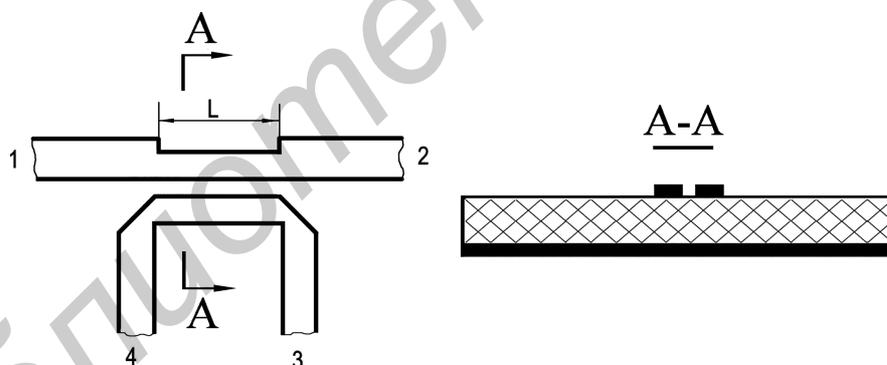


Рисунок 9 - Микрополосковый НО

В настоящее время созданы конструкции коаксиальных и микрополосковых НО, обеспечивающие направленность не менее 35 дБ. Переходное ослабление такого НО может быть изменено в некоторых пределах путем изменения расстояния между основной и вспомогательными линиями.

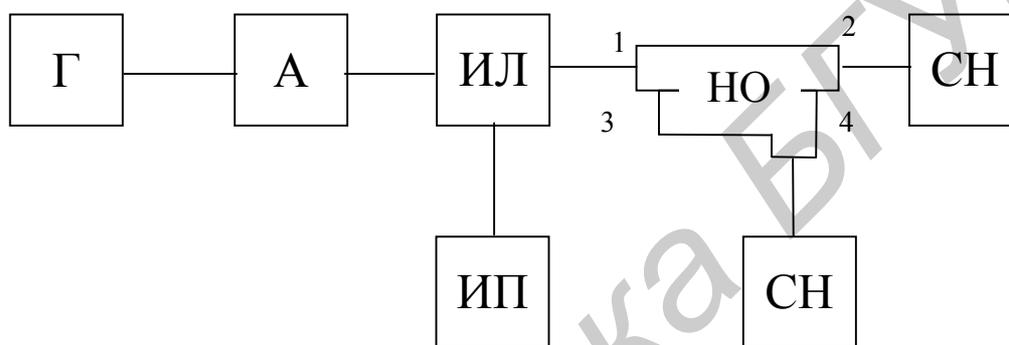
Для увеличения рабочего диапазона можно применить ответвитель, образованный несколькими последовательными секциями с различными коэффициентами связи.

3 Измерение параметров НО

Основными параметрами НО, измеряемыми в данной работе, являются коэффициент стоячей волны со стороны входа K_0 , переходное ослабление S_{14} и направленность S_{43} . Эти параметры в общем случае могут быть определены обычными методами измерения КСВ, затухания и коэффициентов передачи. Так, например, для измерения S_{14} и S_{43} наиболее широкое применение нашли метод замещения и метод непосредственного измерения мощности на выходе соответствующих плеч НО.

В данной работе численные значения K_0 , S_{14} и S_{43} в рабочем диапазоне частот НО измеряются на дискретных частотах, т.е. зависимости $K_0(f)$, $S_{14}(f)$ и $S_{43}(f)$ строятся по точкам.

1 Измерение K_0 производится по структурной схеме, представленной на рисунке 10.



Г - генератор СВЧ; А - прецизионный переменный аттенюатор;
ИЛ - измерительная линия; НО - направленный ответвитель;
СН - согласованная нагрузка; ИП - индикаторный прибор

Рисунок 10 - Структурная схема измерения K_0

Настроить генератор на заданную частоту, обеспечив максимальную мощность на его выходе. Регулируя ослабление аттенюатора, подать СВЧ колебания в СВЧ тракт и произвести настройку измерительной линии. Перемещая измерительную головку линии и изменяя ослабление аттенюатора, добиться значения тока детектора измерительной линии в максимуме поля в последней трети шкалы индикаторного прибора и зафиксировать величину максимума I_{\max} в относительных единицах. Затем, перемещая измерительную головку вдоль измерительной линии, найти минимальное значение тока ее детектора и зафиксировать по индикаторному прибору величину минимума I_{\min} в относительных единицах (на той же шкале индикаторного прибора).

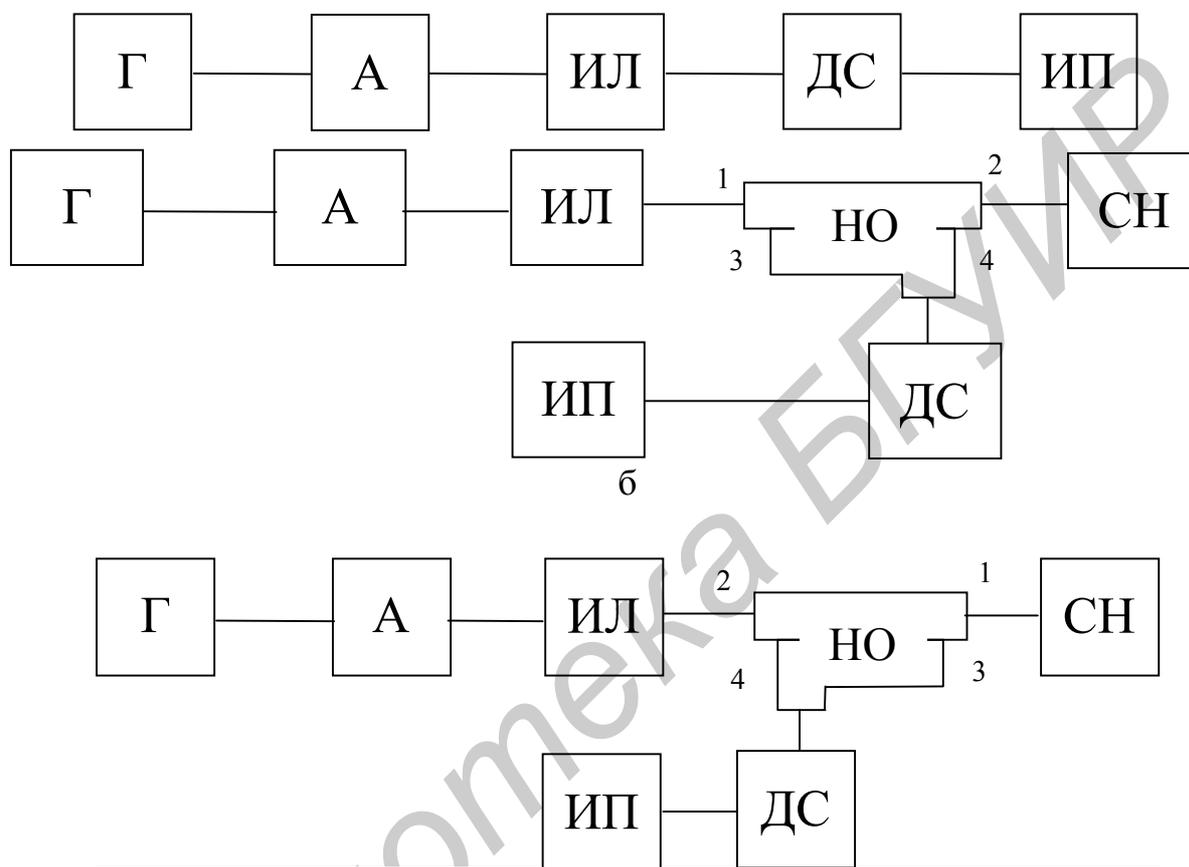
Учитывая квадратичность характеристики детектора измерительной линии, получим:

$$K = \sqrt{I_{\max}/I_{\min}} . \quad (6)$$

Тогда
$$K_0 = |K - K_{сн}| + 1, \quad (7)$$

где $K_{сн}$ - коэффициент стоячей волны согласованной нагрузки.

Численные значения $K_{сн}$ на каждой частоте рабочего диапазона определяются методом прямых измерений по рассмотренной выше методике, когда НО исключен из тракта.



Г - генератор СВЧ; А - прецизионный переменный аттенюатор;
 НО - направленный ответвитель; СН - согласованная нагрузка;
 С - детекторная секция; ИП - индикаторный прибор

Рисунок 11 - Структурная схема измерения переходного затухания и направленности НО

2 Измерение S_{14} и S_{43} производится методом замещения с помощью эталонного (прецизионного) переменного аттенюатора по структурной схеме, представленной на рисунке 11.

Методика измерения

1 Собрать схему (рисунок 11, а). Настроить генератор на заданную частоту, обеспечив максимальную мощность на его выходе. Подать СВЧ мощность в тракт и, регулируя ослабление аттенюатора, произвести настройку детекторной секции с согласованным входом.

Добиться, чтобы показания индикаторного прибора были при этом в последней трети его наиболее чувствительной шкалы. Отметить уровень выходного сигнала по индикаторному прибору и начальное ослабление A_0 , вносимое аттенуатором.

2 Собрать схему (рисунок 11,б) и, уменьшая ослабление аттенуатора, добиться первоначальных показаний индикатора. Отметить ослабление A_1 , вносимое аттенуатором.

Переходное ослабление определяется как разность показаний

$$C_{14} = A_0 - A_1 [\text{дБ}]. \quad (8)$$

3 Собрать схему (рисунок 11, в) и, уменьшая ослабление аттенуатора, добиться первоначальных показаний индикатора. Отметить ослабление A_2 , вносимое аттенуатором.

Направленность определяется как разность показаний аттенуатора

$$C_{42} = A_1 - A_2 [\text{дБ}]. \quad (9)$$

В том случае, если при измерении направленности C_{43} не удастся получить первоначальных показаний индикатора, следует повторить измерения (пп. 1-3) при меньших значениях показаний индикаторного прибора.

4 Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с аппаратурой, относящейся к данной работе.

2 Измерить значения K_0 , C_{14} и C_{43} волноводного НО в указанном преподавателем частотном диапазоне. Результаты измерений свести в таблицу (см ниже).

3 Произвести расчеты и оформить отчет.

Измеряемый параметр	Частота				
I_{\min}					
I_{\max}					
K_0					
A_0					
A_1					
A_2					
C_{14}					
C_{43}					

5 Содержание отчета

- 1 Краткая формулировка цели работы.
- 2 Структурные схемы измерений.
- 3 Таблицы экспериментальных данных.
- 4 Результаты расчета и графики зависимостей $K_0(f)$, $C_{14}(f)$ и $C_{43}(f)$ волноводных НО.
- 5 Краткие выводы.

6 Контрольные вопросы

- 1 Что такое НО?
- 2 Назовите виды направленности НО.
- 3 Какими параметрами характеризуются НО?
- 4 Как разделяются НО по принципу действия и по конструктивному исполнению?
- 5 Объясните, зачем необходима согласованная нагрузка в одном из плеч вспомогательного канала НО.
- 6 Объясните работу волноводного НО с одним элементом связи.
- 7 Объясните работу двухэлементного волноводного НО.
- 8 Объясните работу коаксиального НО.
- 9 В каких пределах находятся основные параметры реальных НО?
- 10 Назовите основные способы увеличения полосы пропускания НО.
- 11 Какие факторы влияют на величину переходного ослабления волноводных (коаксиальных) НО, исследуемых в данной работе?
- 12 Объясните методику измерения основных параметров НО, нарисуйте структурные схемы измерений.
- 13 Какие факторы влияют на точность измерений основных параметров НО рассмотренными в данной работе методами?
- 14 Назовите области применения НО.
- 15 Объясните методику определения коэффициента отражения при помощи НО.

Литература

1. Аверьянов В.Я. Антенны и устройства СВЧ. Разд. 2: Учеб. пособие. – Мн.: МРТИ, 1982. – 90 с.
2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. - М.: Высш. шк., 1970.Т.1. – 440 с.
3. Лавров А.С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. радио, 1974. – 368 с.
4. Вольман В.И., Пименов Ю.В. Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1971. – 487 с.
5. Милованов О.С., Собенин Н.П. Техника сверхвысоких частот. – М.: Атомиздат, 1960. – 464 с.
6. Конструкции СВЧ устройств и экранов / Под ред. А.М. Чернушенко. – М.: Радио и связь, 1983. – 400 с.

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Исследование направленных ответвителей

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе №1
по дисциплине «Антенны и устройства СВЧ»
для студентов специальности 39 01 01 «Радиотехника»
всех форм обучения

Составители:

Кижлай Игорь Николаевич,
Кухарев Александр Васильевич,
Чмырев Николай Алексеевич,
Юрцев Олег Анатольевич

Редактор Н.А. Лейко
Корректор Е.Н. Батурчик
Компьютерная верстка М.В. Шишло

Подписано в печать 02.02.2005.

Гарнитура «Таймс».

Уч.-изд. л. 0,8.

Формат 60x84 1/16.

Печать ризографическая.

Тираж 200 экз.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,05.

Заказ 254.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.

220013, Минск, П. Бровки, 6