

## Проблема согласования линий передач в СВЧ диапазоне Петухова Н. А.

*Петухова Наталья Александровна / Petukhova Natalya Aleksandrovna - аспирант, магистр,  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и  
оптики, г. Санкт-Петербург*

**Аннотация:** в статье рассматривается проблема согласования линии передачи в СВЧ диапазоне. Для решения данной проблемы проводится исследование трансформатора проводимостей на основе отрезка запердельного волновода. В основе этого согласующего устройства лежит новый принцип трансформации активных частей проводимости. Для компенсации реактивной части проводимости, возникающей в запердельном волноводе, используется шунтирующая диафрагма специальной конфигурации.

**Ключевые слова:** линия передачи, СВЧ, запердельный волновод, трансформатор проводимостей, согласование.

Радиосистемы, работающие в диапазоне от 30 МГц до 300 ГГц, обычно можно представить в виде устройств, соединенных отрезками линии передачи. Часть такой системы, расположенную между начальным и конечным устройствами, называют трактом СВЧ или цепью СВЧ. Подобный тракт осуществляет передачу электромагнитной энергии от передатчика к антенне или от антенны к приемнику, обеспечивает требуемый режим работы выходных и входных цепей передатчика, выполняет частотное и поляризационное разделение передаваемых сигналов и ряд других функций. Наиболее распространенными элементами СВЧ цепей являются отрезки линий передачи, переходные и стыковые узлы между линиями разных типов, согласующие и настроечные элементы, сумматоры, делители и ответвители мощности и др.

Обстоятельством, оказывающим большое влияние на работу передающих линий СВЧ, является их протяженность, сравнимая с длиной волны, а в большинстве случаев и превосходящая ее. Наиболее часто используемой передающей линией диапазона СВЧ является волновод - металлическая трубка, по внутренней полости которой осуществляется передача энергии. Помимо волновода, также используются такие линии передачи как двухпроводные и коаксиальные линии, однако по сравнению с волноводными линиями они обладают рядом существенных недостатков.

Наиболее важной задачей сверхвысоких частот является обеспечение согласования [1]. Линия будет идеально согласована с нагрузкой, если в ней отсутствуют отраженные волны, то есть согласующее устройство должно устранить отраженную от нагрузки волну. Эту задачу можно решить двумя способами: либо поглотить отраженную волну в согласующем устройстве (соответственно при минимальном затухании падающей волны), либо погасить (компенсировать) волну, отраженную от нагрузки новой, отраженной от согласующего устройства.

Первый метод согласования используется в мостовых схемах, либо в ферритовых невзаимных устройствах: вентилях и циркуляторах. Недостаток этого метода – низкий КПД, связанный с рассеиванием мощности, переносимой отраженной волной.

Во втором методе нужно, чтобы амплитуды волн, отраженных от нагрузки и от согласующего устройства были равны, а их фазы отличались на  $\pi$ . Согласующие устройства, основанные на этом методе компенсации, состоят из реактивных элементов и при соответствующем выполнении практически не вносят потерь. При этом отраженная от нагрузки волна не поглощается, а отражается согласующим устройством обратно к нагрузке, от которой вновь частично отражается в сторону согласующего устройства. В результате многократных отражений, вся мощность поступает в нагрузку.

В теории цепей под режимом согласования обычно понимают случай, когда сопротивление нагрузки, включенное в конце линии, в точности равно характеристическому сопротивлению линии. При этом отраженная волна отсутствует. Коэффициент отражения оказывается равен нулю; коэффициент стоячей волны (КСВ) равен 1.

В случае согласования, мощность, поступающая в нагрузку от генератора, имеет небольшую величину. В случае же отсутствия согласования возникает ряд нежелательных эффектов:

- уменьшение мощности  $P_H$ , поступающей в нагрузку

$$P_H = P_{\text{ПАД}} - P_{\text{ОТР}} = P_{\text{ПАД}}(1 - |\rho|^2),$$

где  $P_{\text{ПАД}}$  – мощность падающей волны, соответствующая наибольшей мощности, которую можно получить в рассматриваемом режиме при идеальном согласовании нагрузки с линией;  $P_{\text{ОТР}}$  – мощность отраженной волны;

- уменьшается предельное значение передаваемой мощности из-за электрического пробоя в тракте. Электрическая прочность передающей линии при рассогласованной нагрузке снижается в КСВ число раз по сравнению с электрической прочностью согласованной линии:

$$P_{\text{ПРОБ}} = P_{\text{ПРОБmax}} \frac{1}{\text{КСВ}},$$

где  $P_{\text{ПРОБmax}}$  - наибольшая величина пробивной мощности, при КСВ=1;

- уменьшается широкополосность передающего тракта;
- увеличиваются активные потери в линии передачи.

Указанное выше и является причиной того, что обеспечение согласования в линии передачи является одной из наиболее распространенных и важных задач техники СВЧ. С этой проблемой приходится часто сталкиваться при разработке приборов СВЧ.

Необходимость согласования возникает в случаях, когда с передающей линией соединяется заведомо рассогласованная нагрузка, либо, что практически то же самое, при сопряжении линий с разными волновыми (эквивалентными) сопротивлениями.

Для получения согласования произвольной нагрузки  $Z_H$  с линией передачи вблизи от нагрузки должен быть включен согласующий четырехполосник [2, 3]. Наибольший интерес представляет согласование с помощью недиссипативного четырехполосника [2, 3]. В этом случае согласование происходит без внесения активных потерь, но выполнение трансформатора в «классическом» виде не представляется возможным. Также сами передающие линии также обладают хорошими трансформирующими свойствами. В технике СВЧ такой вид согласующих устройств называют трансформаторами полных сопротивлений. Наиболее распространенные из них: одно- и двухшлейфное согласование, четвертьволновый трансформатор и др.

Каждый из перечисленных видов согласования обладает набором недостатков, как конечно и достоинств.

Проводится исследование трансформатора проводимостей на основе отрезка запердельного волновода. В основном этого согласующего устройства лежит новый принцип трансформации активных частей проводимости. Для компенсации реактивной части проводимости, возникающей в запердельном волноводе, используется шунтирующая диафрагма специальной конфигурации.

Предлагаемый метод согласования обладает рядом преимуществ:

- малые габариты согласующего устройства по сравнению с аналогичными устройствами, применяемые для согласования;
- трансформация активной проводимости (главным образом за счет размеров запердельного волновода);
- компенсация реактивной проводимости за счет реактивной диафрагмы, расположенной на стыке между трехсантиметровым волноводом, заполненным воздухом, и запердельным волноводом, также заполненным воздухом;
- согласование в широкой полосе частот;
- простота конструкции.

Но при этом также выдвигаются требования, предъявляемые к волноводам, предназначенным для практического использования в качестве передающей линии:

- потери в волноводе должны быть, по возможности, минимальными;
- волновод должен иметь достаточно высокую электрическую прочность передачи большой мощности от генератора к нагрузке;
- габариты и вес волновода должны быть минимальными, а технология изготовления простая;
- во всем рабочем диапазоне частот передача энергии по волноводу должна осуществляться только одним типом волны.

Описание конструкции волноводного трансформатора.

Конструкция состоит из двух волноводов прямоугольной формы разного поперечного сечения. Волноводы соединены между собой через диафрагму, с прорезанной в ней щелью специальной формы, расположенной в торцевой стенке между волноводами (рис. 1). Заполненный воздухом прямоугольный волновод с размерами  $a \times b$ , где  $a=23$  мм,  $b=10$  мм, соединен с заполненным диэлектриком  $\epsilon$  волноводом с размерами  $a_1 \times b_1$ , где  $a_1=17$  мм,  $b_1=8$  мм. Между этими волноводами находится заполненный воздухом короткий отрезок волновода с размерами  $a_1 \times b_1$  и длиной  $\delta$ . На выбранной частоте этот отрезок волновода является запердельным. Волновод с диэлектриком  $\epsilon$  и размерами  $a_1 \times b_1$  нагружен на согласованную нагрузку, далее будем называть его - диэлектрический волновод. Волновод с размерами  $a \times b$  будем называть трехсантиметровый волновод, а заполненный воздухом волновод с размерами  $a_1 \times b_1$  - двухсантиметровый волновод.

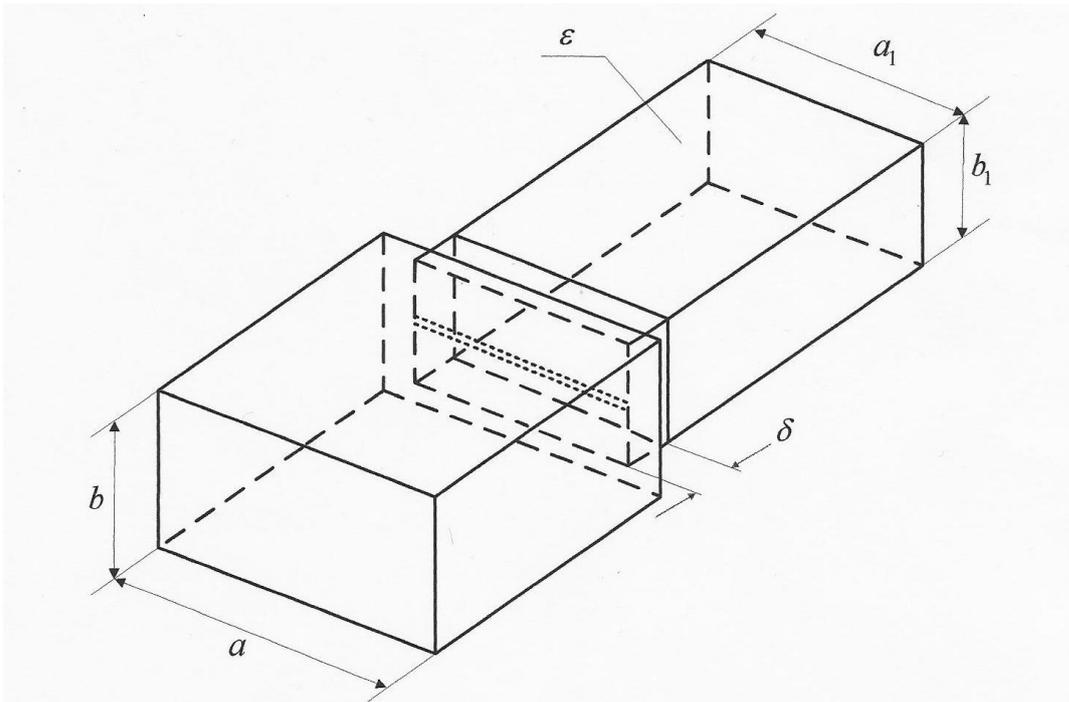


Рис.1. Конструкция волноводного трансформатора

#### Литература

1. Семенов Н. А. Техническая электродинамика. М.: Связь, 1973.
2. Степанов В. А. Конспект лекций по курсу «Техническая электродинамика», рукописный.
3. Степанов В. А. Конспект лекций по курсу «Электромагнитные поля и волны», рукописный.