

## К ВОПРОСУ ВАКУУМИРОВАНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ ВЫВОДОВ ЭНЕРГИИ РАЗБОРНЫХ ПРИБОРОВ СВЧ

*В. М. Каталевский, Ю. В. Шаворыкин*

Харьков

Развитие техники СВЧ в большой степени определяется разработкой новых и усовершенствованием имеющихся конструкций высокочастотных генераторов и усилителей. В связи с этим представляет несомненный интерес исследование приборов СВЧ с использованием разборных макетов, позволяющих путем замены различных элементов прибора исследовать его работу в широком частотном диапазоне, быстро и наглядно сравнивать данные «горячих» измерений, исследовать работу различных узлов прибора, выбирать наиболее удачную конструкцию замедляющей системы, катодного узла, вывода энергии и приборов в целом.

В данной работе исследуются конструкции коаксиальных вакуумированных выводов энергии, которые в наибольшей степени удовлетворяют требованиям, предъявляемым к разборным конструкциям. Использование разборных макетов приборов ускоряет исследование, разработку новых приборов СВЧ. Одним из наиболее важных элементов разборных макетов является вывод СВЧ-энергии.

Кроме общих требований, предъявляемых к выводам энергии СВЧ приборов [2], вывод энергии разборного прибора должен обеспечивать:

1. Быстроту и удобство многократных разборок и сборок как вывода энергии, так и прибора в целом.
2. Сохранение электрических свойств при многократных сборках и разборках (центрирование внутреннего проводника и т. д.).
3. Сохранение надежного вакуумирования при многократных сборках и разборках.

Применяющиеся в отпаянных конструкциях приборов коаксиальные выводы энергии, в которых в качестве вакуумирующего элемента используется стеклянная перегородка, припаянная к внутреннему и внешнему проводникам коаксиала, очень неудобны при многократных сборках прибора.

В работе описываются четыре типа коаксиальных выводов энергии; в качестве вакуумирующих элементов в них по аналогии с волноводными окнами [1] используется конусная либо специальной формы диэлектрическая шайба. Каждая конструкция обладает отличительными особенностями, позволяющими выбирать ту или иную конструкцию вывода энергии в зависимости от требований. Расчет вывода энергии достаточно полно освещен в литературе [2] и здесь не приводится. Все данные конструкции выводов энергии были рассчитаны на нагрузку 50 ом. Трансформация сопротивления нагрузки во вносимое сопротивление

ние (кроме узла связи) может, например, осуществляться участком линии между замедляющей системой и вакуумирующим элементом.

Конструкции коаксиальных выводов энергии представлены на рисунках 1—4.

Конструкция, изображенная на рис. 1, представляет собой разборной вывод энергии с фильтром, образованным коаксиальным резонатором в месте стыкования вывода высокочастотной энергии и корпуса прибора. Шайба 2 из фторопласта-4, заполняющая фильтр, выполняет также функцию вакуумного уплотнения. Для этой цели в корпусе прибора сделаны проточки (каналы), а в корпусе вывода энергии — выступы 7. При зажатии винтами 4, крепящими вывод энергии к прибору, обеспечивается вакуумизация этого разьема. Вывод энергии состоит из участка *A* 1, представляющего собой плавный конический согласующий переход, соединяемый с одной стороны при помощи фланца *P—P* со стандартным коаксиальным разъемом сопротивлением 50 ом 7, с другой стороны — с фильтром и отрезком коаксиала, обеспечивающим необходимое сопротивление на зажимах элемента связи (например, петли).

В качестве вакуумирующего уплотнения используется коническая шайба 6, выточенная из фторопласта-4, обладающего хорошими характеристиками на СВЧ. Конфигурация шайбы выбрана конической для хорошего согласования при переходе с коаксиала малого сечения на коаксил большого сечения. Кроме того, большая площадь соприкосновения по образующей конуса корпуса вывода энергии конической шайбы при достаточно большом давлении на большее основание шайбы внутренним выступом 50-омного разьема обеспечивает вакуумирование по внешнему проводнику.

Фторопласт-4 под давлением обладает текучестью и при давлении на шайбу внутренним выступом 50-омного разьема хорошо заполняет коническую часть вывода энергии и одновременно плотно обжимает центральный проводник коаксиала, обеспечивая надежное вакуумирование вывода энергии. Чтобы уменьшить отражение высокочастотной энергии от конической шайбы, торцы ее (т. е. большое и малое основания усеченного конуса) обрабатываются так, чтобы они встречали ТЕМ-волну под углом Брюстера. В том случае, когда диэлектрическая втулка выполнена с конусными торцевыми поверхностями, на эту границу будет падать ТЕМ-волна под углом  $\varphi$ , следующим образом связанным с конусностью  $2\alpha$ :

$$\varphi = \frac{1}{2}(\pi - 2\alpha). \quad (1)$$

При этом вектор *H*-волны параллелен границе диэлектрика, вектор *E* направлен под углом к ней, что соответствует вертикально поляризованной волне. Для вертикально поляризованной волны, падающей под углом  $\varphi$  на диэлектрический слой толщиной *d* и диэлектрической про-

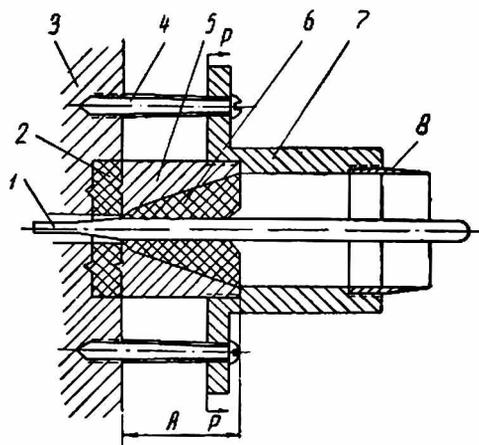


Рис. 1. Конструкция вывода энергии с конусным уплотнителем и коаксиальным резонатором в качестве фильтра:

1 — штырь связи; 2 — плоская шайба из фторопласта-4; 3 — тело прибора; 4 — крепежный винт; 5 — конический согласующий переход; 6 — коническая шайба из фторопласта-4; 7 — 50-омный переход; 8 — переходная фишка.

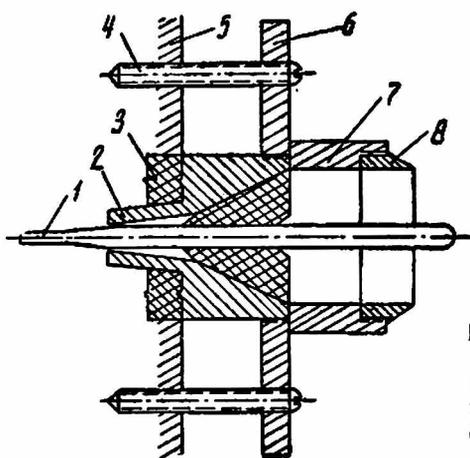


Рис. 2. Конструкция коаксиального вывода энергии с конусным уплотнением:

1 — штырь связи; 2 — конический согласующий переход; 3 — вакуумноплотная шайба из фторопласта; 4 — крепежный винт; 5 — тело прибора; 6 — 50-омный переход; 7 — коническая шайба; 8 — переходная фишка.

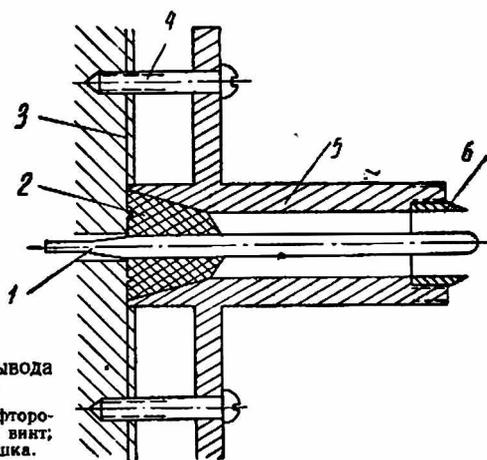


Рис. 3. Конструкция коаксиального вывода энергии с конусным уплотнением:

1 — штырь связи; 2 — коническая шайба из фторопласта; 3 — тело прибора; 4 — крепежный винт; 5 — 50-омный переход; 6 — переходная фишка.

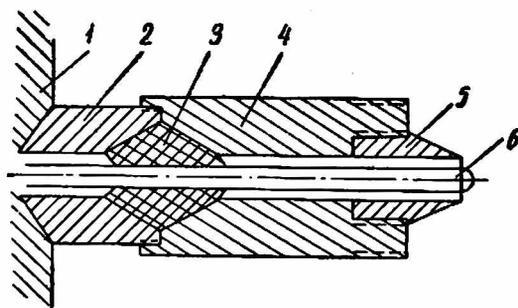


Рис. 4. Конструкция коаксиального вывода энергии с биконическим уплотнителем:

1 — тело прибора; 2 — согласующий переход; 3 — коническая шайба из фторопласта; 4 — 50 омный переход; 5 — переходная фишка; 6 — штырь связи.

ницаемостью  $\epsilon$ , по обе стороны которого среда с  $\epsilon_0$ , коэффициент отражения по напряжению [3] может быть получен в виде

$$\Gamma = \frac{(\epsilon - 1)[1 - (\epsilon + 1)\cos^2 \varphi]}{\epsilon - 1 + \cos^2 \varphi(1 + \epsilon^2) + 2i\epsilon \cos \varphi \sqrt{\epsilon - 1 + \cos^2 \varphi}} \times \frac{1}{\operatorname{ctg} \left( 2\pi \frac{a}{\lambda} \sqrt{\epsilon - 1 + \cos^2 \varphi} \right)}. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что отражение отсутствует не только при толщине  $d$  — кратной половине длины волны в диэлектрике, но и при выполнении условия

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{\epsilon + 1}}, \quad (3)$$

или, что то же,

$$\sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\epsilon} + 1}}. \quad (4)$$

Эти выражения определяют угол Брюстера в зависимости от диэлектрической проницаемости слоя. В общем случае для диэлектрической втулки с конусными торцевыми поверхностями в коаксиале физическая картина усложняется по сравнению с диэлектрическим слоем за счет многократных отражений. Однако при выполнении условий (3) и (4) вполне допустимо проведение такой аналогии. При этом отсутствует зависимость коэффициента отражения от толщины втулки (слоя). Таким образом, толщина ее может быть выбрана из условий механической прочности и т. д. Очевидно, что напряженность электрического поля вдоль конусной торцевой поверхности втулки меньше, чем напряженность вдоль нормальной торцевой поверхности, что позволяет пропускать большие уровни мощности.

Изображенная на рис. 2 конструкция вывода высокочастотной энергии представляет собой модификацию конструкции рис. 1. В данной конструкции исключается заграждающий фильтр путем экранирования этого объема внешним проводником 1 вывода энергии, входящим в тело прибора. Функцией шайбы 3 остается вакуумирование разъема вывода энергии с прибора. В остальном конструкция не отличается от конструкции вывода энергии, изображенной на рис. 1.

Конструкция вывода энергии, показанная на рис. 3, упрощена в результате применения одной конической диэлектрической втулки, расположенной в перевернутом положении по отношению к положению втулки в предыдущих случаях. Корпус вывода энергии выполнен цельным, объединяющим в себе коаксиальный 50-омный разъем и конусный согласующий переход.

В конструкции, изображенной на рис. 4, вакуумирование обеспечивается биконической втулкой из фторопласта-4 3 вследствие давления на нее при соединении части вывода 4, содержащей стандартный 50-омный разъем, с частью вывода 2, выполненного совместно с прибором. Торцевые поверхности втулки, как и в предыдущих случаях, обрабатываются под углом Брюстера.

Выводы энергии, изображенные на рис. 1 и 2, частично находятся в вакууме и их надо изготавливать из МБ, тогда как выводы последних двух конструкций (рис. 3 и 4), могут быть изготовлены из любого немагнитного материала.

При расчете выводов энергии данных конструкций необходимо по известной методике [2] проверить участки вывода, содержащие диэлектрик, на отсутствие паразитных волн.

В случае необходимости использования заграждающего фильтра в выводе энергии размеры его могут быть рассчитаны по формулам, приведенным в работах [5, 6].

В местах стыкования внешнего проводника коаксиала в выводах энергии улучшение электрогерметичности может быть достигнуто с использованием контактных колец либо колец из мягких металлов (свинец, алюминий).

При использовании вакуумирующих втулок из электрически более прочных материалов (керамика), паяных к проводникам коаксиала, выводы описанных выше конструкций могут быть использованы и в отпаянных промышленных конструкциях приборов. В этом случае втулки могут иметь и цилиндрическую форму.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент США № 3001160, кл. 333—98.
2. Э. Д. Шлифер. Расчет многорезонаторных магнетронов. МЭИ, 1966.
3. Л. М. Бреховских. Волны в слоистых средах. Изд. АН СССР, 1957.
4. А. Л. Фельдштейн, Л. Р. Явич, В. П. Смирнов. Справочник по элементам волнсоводной техники. Госэнергоиздат, 1963.
5. M. A. R. Gunston G and E. Bradley. An empirical Formula for the design of Radial line filter IEEE Transaction MTT—12, september, 1964, № 5.
6. B. C. deLoach. Radial line coaxial filters in the microwave region, IEEE Transaction MTT—11, Januak, 1963, pp. 50—53.