

УДК 621.372.832.82

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ФЕРРИТОВЫЙ ВЕНТИЛЬ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

А. И. Бочкарев, Е. П. Курушин, А. П. Часовников

В измерительной аппаратуре, радиоспектрометрах миллиметрового диапазона и во многих других применениях решается задача согласования волноводных трактов в достаточно широкой полосе.

В измерительной аппаратуре, радиоспектрометрах миллиметрового диапазона и во многих других случаях задача согласования волноводных трактов в достаточно широкой полосе частот может быть успешно решена с помощью малогабаритных ферритовых вентилях (рис. 1), построенных на основе невязимного волноводного H -тройника, в плече H которого расположена нагрузка.

Известно, что вентили резонансного типа или вентили со смещением поля в миллиметровом диапазоне требуют больших рабочих магнитных полей, а следовательно, имеют большие габариты и вес [1]. Простые оценки, следующие из [1], дают поля, порядка 1,0 кЭ и более. Поэтому для создания вентилях допустимых габаритов идут по пути использования ферритовых материалов с большими внутренними полями анизотропии (например, монокристаллов гексаферритов [2]) или выполняют их на основе Y - и T -циркуляторов, в одном из плеч которых ставят нагрузку. Однако и при этом магнитные поля, обеспечивающие хорошие внешние электромагнитные параметры вентилях, остаются большими.

В описываемом вентиле достигнуто значительное уменьшение магнитного поля (следовательно габаритов и веса) за счет дополнительного интерференционного эффекта, создаваемого специальным образом подобранной нагрузкой. Наиболее близким по принципу действия является вентиль-фланец Столярова [3], однако и он представляет, по существу, циркулятор с нагрузкой в плече H , выполненном в виде круглого волновода, и при настройке его стремятся к идеальному эффекту циркуляции, что в миллиметровом диапазоне опять-таки требует больших полей. Не ставя задачу общего электродинамического анализа вентилях (например, расчета связи элементов матрицы рассеяния вентилях с параметрами ферритового материала), поясним лишь в принципе идею, приведшую к уменьшению магнитного поля. Поскольку ферритовый материал находится в ненасыщенном состоянии, этот анализ вообще затруднителен, так как мало изучен даже вид тензора магнитной проницаемости феррита.

Рассмотрим неидеальный невязимный шестиполосник, характери-

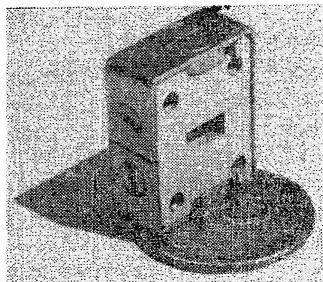


Рис. 1. Внешний вид вентиля.

зующийся матрицей рассеяния \hat{S} , к одному плечу которого подключена нагрузка с коэффициентом отражения Γ (рис. 2). Матрица рассеяния такого соединения может быть найдена обычным образом [4]:

$$\hat{S}_0 = \begin{vmatrix} S_{aa} + S_{ac} S_{ca} \Gamma \Delta^{-1}, & S_{ab} + S_{ac} S_{cb} \Gamma \Delta^{-1} \\ S_{ba} + S_{bc} S_{ca} \Gamma \Delta^{-1}, & S_{bb} + S_{bc} S_{cb} \Gamma \Delta^{-1} \end{vmatrix}$$

$$(\Delta = 1 - S_{cc} \Gamma),$$

где S_{ij} ($i, j = a, b, c$) — элементы матрицы \hat{S} неидеального шестиплюсника с невзаимными свойствами: $|S_{ba}| < |S_{ab}|$, $|S_{cb}| < |S_{bc}|$, $|S_{ac}| < |S_{ca}|$. Подберем величину $|S_{ab}|$ так, чтобы она была близка к единице ($|S_{ab}| \rightarrow 1$), что обеспечит малые потери при передаче энергии из плеча b в a . Это можно сделать, выбрав специальным образом место расположения ферритового цилиндра внутри тройника (рис. 3, $\vartheta = 0$, $r = 1$ мм). Теперь, изменяя модуль и фазу коэффициента отражения от нагрузки Γ , добьемся выполнения условия

$$|S_{ba} + S_{bc} S_{ca} \Gamma \Delta^{-1}| \rightarrow 0. \quad (1)$$

Это условие обеспечивает большие обратные потери в схеме в целом при передаче энергии из плеча a в b . Оно, как показывают эксперимен-

тальные результаты, может быть выполнено при весьма малых полях. По своей сущности оно представляет условие минимума при интерференции двух волн, одной, непосредственно проходящей из плеча a в b , и второй — проходящей из a в c , отраженной от нагрузки и попадающей в b из c .

Рис. 2. Эквивалентная схема вентиля.

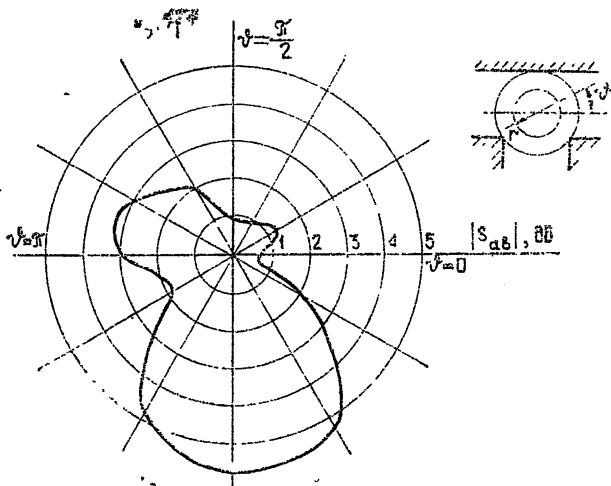
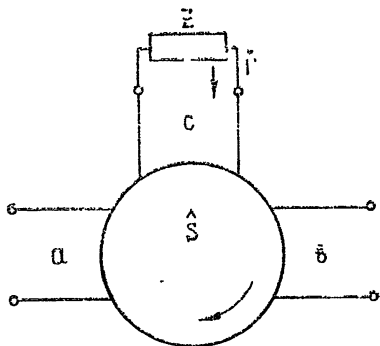


Рис. 3. Зависимость величины $|S_{ab}|$ от угла ϑ . Ферритовый цилиндр перемещается по окружности радиусом $r = 1,0$ мм, центр окружности совпадает с центром вписанной в тройник окружности (рисунок в правом углу).

Настройка вентиля сводится к подбору размеров и места расположения ферритового цилиндра, обеспечивающего в заданном магнитном поле максимум $|S_{ab}|$, а затем к подбору нагрузки, обеспечивающей выполнение условия (1).

На рис. 4 представлены частотные характеристики вентиля, имеющего среднюю частоту настройки $f_0 = 40$ ГГц и рабочую полосу $\pm 1,0$ ГГц. Для настройки вентиля на другие частоты (34,0—42,0 ГГц), необходимо изменять диаметр ферритового цилиндра и согласующей диэлектрической втулки из фторопласта, в которую он помещается, в соответствии с экспериментальными кривыми рис. 5. Они получены для ферритового материала марки 1СЧ4 [5]. Нагрузка изготавливается из поглощающего материала ПМ-4. Для создания необходимых магнитных полей применены два цилиндра из ЮНДК-35Т5 диаметром 8 мм и высотой 5 мм. Габаритные размеры вентиля $16 \times 23 \times 9$ мм, вес 30 г. Возможно увеличение рабочей полосы частот за счет изменения конфигурации согласующей диэлектрической вставки до 10—12%.

Рис. 4. Частотные характеристики вентиля: $f_0 = 40,0$ ГГц, P_0 —обратные потери, P_n —прямые потери. Интервал температур: $-70 \div +70^\circ\text{C}$.

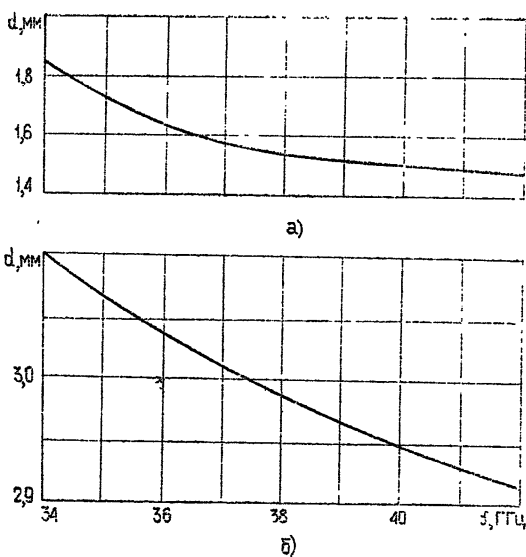
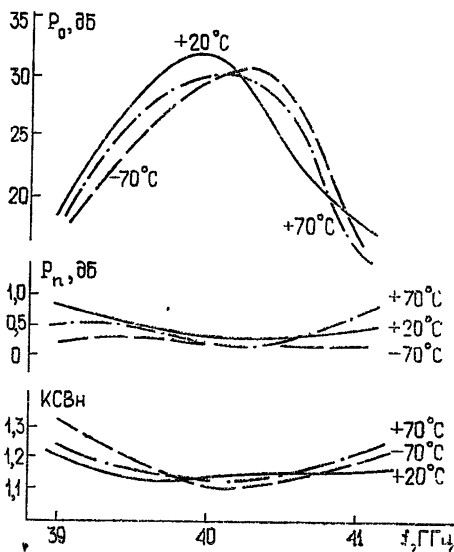


Рис. 5. Экспериментальные кривые для выбора диаметров:
а) ферритового цилиндра, б) диэлектрической втулки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Л. Микаэлян, Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах, Госэнергоиздат, М., 1963.
2. Л. К. Михайловский, Б. П. Поллак и др., Радиотехника и электроника, 10, № 10, 1739 (1965); А. А. Медведев, Б. П. Поллак и др., Сб. докладов НТК 1968—1969, секция радиотехники, МЭИ, М., 1969.
3. А. К. Столяров, И. А. Наумов, Авт свид. № 184946 от 26.5.65.
4. Б. М. Машковцев, К. Н. Цибизов, Б. Ф. Емелин, Теория волноводов, изд. Наука, М., 1966.
5. Н. Д. Горбунов, Г. А. Матвеев, Ферриты и магнитодиэлектрики, изд. Сов. радио, М., 1968.

Куйбышевский электротехнический институт связи

Поступила в редакцию
4 апреля 1974 г.

A MILLIMETER SMALL-SIZE MINIATURE FERRITE VALVE

A. I. Bochkarev, E. P. Kurushin, A. P. Chasovnikov

The problem of matching waveguide tracks in a wide enough band is solved for a measuring equipment, mm radio spectrometers and in many other applications.
