

Ю. Н. ПОЛУХИН, А. И. РОМАНОВ, Н. М. ГАЛДИНА

РЕЖЕКТОРНЫЙ ФЕРРИТОВЫЙ ФИЛЬТР НА СИММЕТРИЧНОЙ ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

Существующие волноводные и коаксиальные электрически перестраиваемые фильтры на монокристаллах феррогранатов обеспечивают высокие электромагнитные параметры, однако из-за больших габаритов во многих случаях не отвечают потребностям сегодняшнего дня. Габариты ферритовых фильтров можно уменьшить, используя для их создания печатные полосковые линии передачи. При этом не только уменьшается объем, направляющий электромагнитную энергию, но и сокращаются габариты магнитной системы, что обусловлено уменьшением длины зазора, в котором требуется создать резонансное поле.

Для обеспечения резонансного взаимодействия феррита со всей или большей частью энергии падающей волны воздействующее на феррит высокочастотное магнитное поле должно иметь круговую или близкую к круговой поляризацию. В полосковых линиях, как и в других двухсвязных системах, волной основного типа является волна ТЕМ, имеющая линейно поляризованное магнитное поле, поэтому при построении невзаимных резонансных ферритовых устройств на таких линиях приходится применять специальные меры для создания поля круговой поляризации.

Известно несколько способов создания поля круговой поляризации в двухсвязных системах: заполнение линии неоднородным по ее поперечному сечению диэлектриком [1], подключение к основной линии шлейфов, имеющих равные реактивные входные проводимости противоположного знака, и др. Для устройств на печатных полосковых линиях более приемлем второй из указанных способов, не требующий нарушения монолитности подложки печатной схемы. Такой способ использовался ранее в коаксиальных и полосковых резонансных вентилях на поликристал-

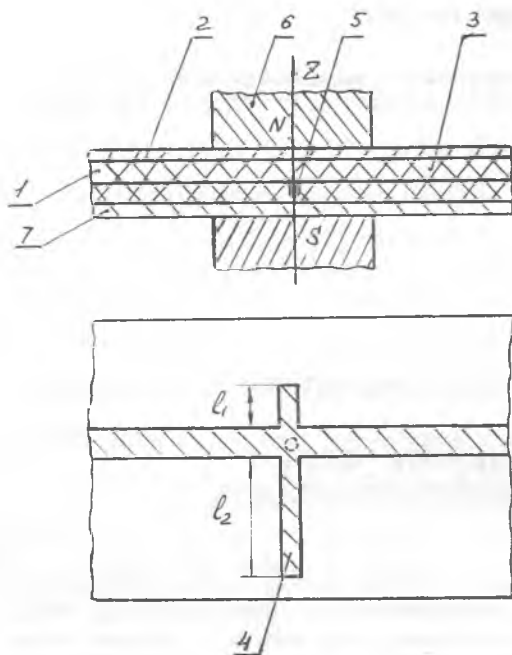


Рис. 1. Конструкция перестраиваемого режекторного фильтра на симметричной полосковой линии.

не. Использование в полосковых устройствах двух разомкнутых шлейфов выгоднее с точки зрения технологии и обеспечивает в коротковолновой части дециметрового и сантиметровом диапазонах малые габариты.

Свойства крестообразного сочленения полосковых линий можно использовать и для создания невзаимного режекторного фильтра на монокристаллическом образце феррограната. Полоса электрической перестройки такого фильтра ограничивается тем диапазоном частот, в котором поляризация поля близка к круговой и обеспечивается требуемое согласование сочленения.

В настоящей работе приводятся результаты разработки перестраиваемых ферритовых режекторных фильтров на симметричных полосковых линиях в коротковолновой части дециметрового диапазона. Полосковая линия (рис. 1) выполнена из двух пластин 1 диэлектрика ПТ-1 с диэлектрической проницаемостью 2,5 толщиной 2 мм, покрытых медной фольгой 2 толщиной 30 мкм. Центральный проводник полосковой линии 3 изготовлен из фольги той же толщины. К линии подключены два разомкнутых шлейфа 4 длиной $\lambda_0/8$ и $3\lambda_0/8$. Сферический образец феррита 5 помещается в углубление над центром сочленения. Макет закреплен

лических ферритах [2, 3]. В известных модификациях вентилях со шлейфами используются или два разомкнутых шлейфа длиной $\lambda_0/8$ и $3\lambda_0/8$ или два короткозамкнутых шлейфа длиной $\lambda_0/8$ и $3\lambda_0/8$, или короткозамкнутый и разомкнутый шлейфы длиной $\lambda_0/8$, где λ_0 — длина волны в линии на средней частоте рабочего диапазона. Сочетание разомкнутого и короткозамкнутого шлейфов длиной $\lambda_0/8$ обеспечивает наименьшие габариты устройства, однако его изготовление и настройка осложняются необходимостью использования подвижного короткозамыкателя и малой абсолютной величиной допусков на длину шлейфов в сантиметровом диапазоне

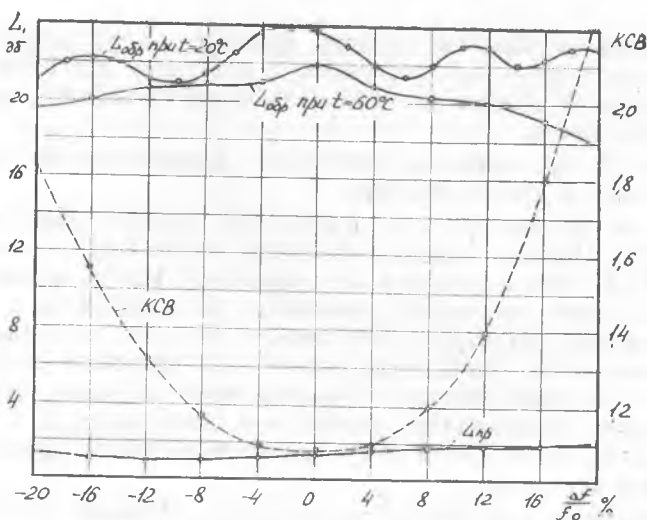


Рис. 2. Характеристики режекторного фильтра на симметричной полосковой линии.

в экранирующем каркасе 7, выполненном из немагнитного материала.

Габариты устройств на полосковых линиях определяются размерами области, в которой существует электромагнитное поле. По данным работы [4] поле практически отсутствует при удалении от центрального проводника на удвоенную его ширину. Поэтому фильтр может иметь следующие размеры (без магнитной системы): длину 5ω , ширину $5\omega + \lambda_0/2$, где ω — ширина центрального проводника основной линии.

Для увеличения широкополосности устройства был применен метод [3], заключающийся в увеличении волновых сопротивлений шлейфов по сравнению с волновым сопротивлением основной линии, которое в рассматриваемом макете составляло 50 ом . Эксперимент показал, что применение шлейфов с волновым сопротивлением более 100 ом не приводит к дальнейшему расширению полосы согласования и уменьшает обратные потери. В окончательном варианте фильтра использовались шлейфы с волновым сопротивлением 80 ом .

Выбор параметров ферритового образца сводится в основном к выбору его размеров и намагниченности насыщения. Для волноводных фильтров данного диапазона наиболее часто применяются образцы иттрий-скандиевого и кальций-висмут-ванадиевого гранатов с намагниченностью насыщения 650 гс диаметром $0,5 \div 1,0 \text{ мм}$.

Измерения параметров фильтров производились в коаксиальном тракте с использованием коаксиально-полосковых переходов.

При измерении обратных потерь фильтра определялись только резонансные потери, по сравнению с которыми потерями, вносимыми основной линией и коаксиально-полосковыми переходами, можно пренебречь.

На рис. 2 представлены частотные характеристики резонансных параметров макета фильтра.

Обратные потери фильтра превышают 20 дБ в диапазоне частот $f_0 \pm 20\%$. Прямые потери составляют менее 2 дБ в том же диапазоне. КСВ входа фильтра не превышает 1,25 в полосе частот $f_0 \pm 10\%$. Полоса режекции практически не изменяется в диапазоне перестройки фильтра и составляет 3,0 мГц по половинному уровню мощности. Как видно из рис. 2, диапазон перестройки фильтра в первую очередь ограничивается полосой требуемого согласования. Необходимо учесть, что значительную величину КСВ (1,10–1,15 в диапазоне перестройки) имеют коаксиально-полосковые переходы.

Приведенные результаты получены со сферическим образцом кальций-висмут-ванадиевого граната, имеющим следующие параметры: диаметр 0,95 мм, $4\pi M_s = 650$ гс, $2\Delta H = 0,76$ э. Сферы с диаметром 0,3–0,5 мм обеспечивают затухание менее 5–7 дБ. Сферы с диаметром более 1,5 мм дают значительную неравномерность поглощения в диапазоне перестройки. Образцы железо-иттриевого граната с более узкой полосой ферромагнитного резонанса (0,2–0,4 э) не позволяют получить обратные потери более 10 дБ.

Положение ферритового образца в плоскости центрального проводника весьма критично. При смещении сферы из центра сочленения по оси основной полосковой линии на 0,5 мм обратные потери падают с 20 дБ до 8 дБ. Допуски на перемещение образца по оси шлейфов менее жесткие: смещение образца на 0,5 мм вызывает уменьшение потерь на 4–5 дБ. Перемещение образца по оси намагничивания показало, что оптимальным является его расположение в центре диэлектрического зазора линии. При расстоянии между образцом и металлической поверхностью менее 0,2–0,3 мм появляются побочные резонансные пики поглощения, отстоящие на несколько десятков мегагерц от основного, что указывает на возбуждение в образце неоднородных типов прецессии намагниченности.

В процессе создания фильтра значительное внимание уделялось увеличению диапазона требуемого согласования. С этой целью исследовалась зависимость КСВ входа фильтра от геометрии шлейфов. На рис. 3 представлены частотные характеристики КСВ устройства при постоянном соотношении $l_2 = 3l_1$ и изменении длин шлейфов. Как и следовало ожидать, одновременное увеличение или уменьшение длин шлейфов не приводит к расширению полосы требуемого согласования, а вызывает лишь сдвиг минимума КСВ по частоте. Отмеченную зависимость можно использовать для настройки фильтра по КСВ.

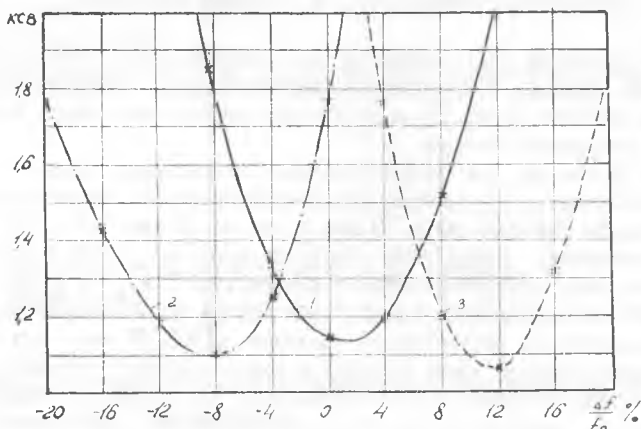


Рис. 3. Частотные зависимости КСВ фильтра от длины шлейфов:

1- $l_1=\lambda_0/8$, $l_2=3l_1$; 2- $l_1=1,1\lambda_0/8$, $l_2=3l_1$; 3- $l_1=0,9\lambda_0/8$, $l_2=3l_1$

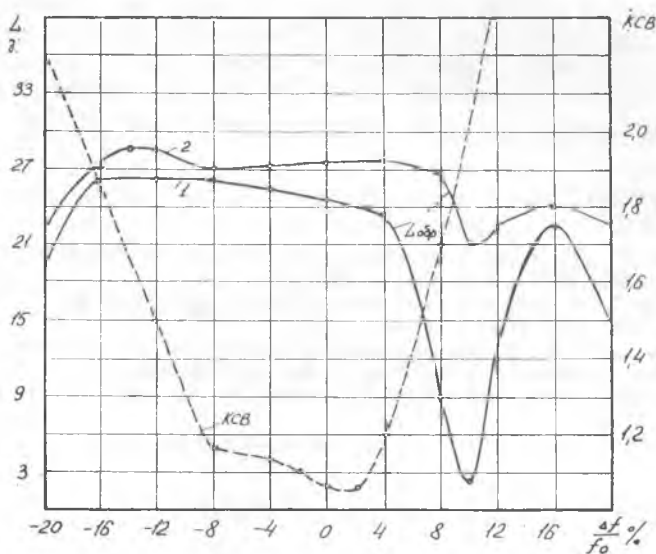


Рис. 4. Характеристики неэкранированного (1) и экранированного (2) макетов фильтра.

Важное значение имеет экранирование макета. Через открытые торцевые поверхности, где диэлектрик полосковой линии граничит с внешним пространством, может излучаться высокочастотная энергия, что приводит к искажению поля в полосковой линии. На рис. 4 представлены частотные зависимости обратных потерь

и КСВ неэкранированного 1 и экранированного 2 макетов фильтра.

Макет фильтра был испытан при повышенной температуре окружающей среды. Повышение температуры несколько снизило обратные потери (рис. 2) и практически не сказалось на величинах КСВ и прямых потерь.

Макет фильтра на симметричной полосковой линии в сборе с электромагнитом и коаксиально-полосковыми переходами имеет размеры $80 \text{ мм} \times 50 \text{ мм} \times 70 \text{ мм}$ и вес не более 300 г. Перестройка по частотному диапазону осуществляется изменением тока электромагнита, потребляющего мощность 2 вт. С целью уменьшения габаритов вместо электромагнита целесообразнее использовать постоянные магниты из сплавов ЮНДК или титаната бария. Перестройка в этом случае осуществляется механически.

Параметры разработанного фильтра не являются предельными для устройств данного типа, так как основное внимание было сосредоточено на влиянии конструктивных данных устройства на его электромагнитные параметры, однако отсутствие необходимой технологической базы не позволило оптимизировать параметры ферритового образца. Кроме того, из-за отсутствия полосковых измерительных устройств измерения проводились с помощью технологических переходов, имеющих неудовлетворительное согласование и вносящих значительные погрешности в результаты измерений. Можно надеяться, что разработанные макеты обеспечат лучшие характеристики при работе в полосковом тракте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fleri D. and Hanly G. Nonreciprocity in dielectric loaded TEM Transmission lines, «IRE MTT», p 33, № 1, 1961.
2. Lewin L. A resonance absorption isolator in microstrip for 4 G/S. «Proc. IEE», vol. 104, Part B, n. 6, p. 384, 1957.
3. Ершов И. В. К вопросу о широкополосности одного типа вентилей дециметрового диапазона. «ВРЭ», серия V, № 1, стр. 94, 1965.
4. Печатные схемы сантиметрового диапазона. Сб. под. ред. В. И. Сушкевича. «ИЛ», 1956.