

УДК 621.372.413
PACS 07.57.-c; 77.22.-d

Р. И. Белоус, И. Г. Скуратовский, О. И. Хазов, А. С. Шахова
Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Акад. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: briz@ire.kharkov.ua

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕСТРОЙКИ ВОЛНОВОДНО-КОАКСИАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА НА *ТЕМ*-КОЛЕБАНИЯХ РЕЗОНАНСНЫМ КОРОТКОЗАМЫКАЮЩИМ ПОРШНЕМ

Перестраиваемые резонансные структуры служат основой многих сверхвысокочастотных устройств (генераторов, фильтров, волномеров). Одна из разновидностей этих структур – волноводно-диэлектрические и волноводно-коаксиальные резонаторы на запердельных волноводах (ВДР и ВКР).

Основная проблема в перестраиваемых резонаторах с подвижным короткозамыкающим (КЗ) поршнем – плохой контакт поршня со стенками волновода, снижающий добротность резонатора. Эту проблему можно решить с помощью применения дроссельных поршней.

В данной работе экспериментально изучены особенности перестройки ВКР на *ТЕМ*-колебаниях с помощью резонансного короткозамыкающего (РКЗ) поршня – одной из разновидностей дроссельных поршней. Показана высокая эффективность РКЗ-поршня. Приведены добротности ВКР, перестраиваемых простым и РКЗ-поршнями.

Исследования были выполнены в диапазоне 6,7...12,7 ГГц и показали возможность применения РКЗ-поршня для повышения добротности перестраиваемого ВКР на *ТЕМ*-колебаниях. Даны рекомендации по выбору диаметра волновода. Ил. 6. Табл. 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: волноводно-коаксиальный резонатор, запердельный волновод, резонансная частота, добротность, короткозамыкающий поршень.

Развитие радиоэлектроники заставляет искать новые типы колебательных систем, являющихся основными элементами многих функциональных блоков радиоэлектронной аппаратуры и в значительной степени определяющих ее электрические и конструктивные свойства. В качестве колебательной системы генераторов и усилителей используются объемные резонаторы, главным образом коаксиального типа. Такие резонаторы, помимо удобства соединения и механической прочности, обладают высокой добротностью, высоким резонансным сопротивлением, наибольшим частотным диапазоном и в широком диапазоне свободны от паразитных резонансов. Однако при использовании таких резонаторов возникает ряд серьезных трудностей, особенно при конструировании колебательных систем с укорочением длины волны. Основная проблема заключается в необходимости получить высокую надежность работы, определенный закон изменения резонансной частоты и хорошие фильтрующие свойства при малых габаритных размерах. В работах [1–3] были предприняты попытки преодолеть имеющиеся проблемы, улучшая лишь отдельные свойства резонаторов СВЧ, поэтому поиски путей создания высококачественных резонаторов остаются по-прежнему актуальной задачей. В последнее время внимание специалистов привлекают волноводно-коаксиальные резонаторы, отличительной особенностью которых является наличие отрезка коаксиальной линии. Они применяются в различных устройствах, где существенно уменьшение габаритов, разреженность спектра, высокая добротность в широком диапазоне частот.

Распространенным приспособлением для настройки коаксиальных резонаторов является короткозамыкающий (КЗ) поршень.

Основная проблема в перестраиваемых резонаторах с подвижным КЗ-поршнем – плохой контакт поршня со стенками волновода, что приводит к дополнительным потерям энергии в зоне контакта. Для снижения этих потерь применяют различные дроссельные КЗ-поршни [4].

В [5–9] исследована работа дроссельного поршня в волноводно-диэлектрическом (ВДР) и волноводно-коаксиальном резонаторах (ВКР) на запердельных волноводах с колебаниями H_{111} . Там он назван резонансным КЗ-поршнем (РКЗ-поршнем).

Но в ВКР на запердельном волноводе возможен резонанс и на *ТЕМ*-колебаниях. В работе [10] показано, что ВКР на запердельном волноводе с *ТЕМ*-колебаниями обладает широким диапазоном плавной перестройки с помощью КЗ-поршня. Это является одним из его достоинств. Здесь экспериментально исследована работа РКЗ-поршня в ВКР на запердельном волноводе с *ТЕМ*-колебаниями и проведено сравнение характеристик, полученных с РКЗ- и с простыми КЗ-поршнями.

1. Методика и техника экспериментов. На рис. 1 схематично изображены ВКР с простым КЗ-поршнем и РКЗ-поршнем. ВКР состоит из цилиндрического волновода 1, запердельного для волн рабочего диапазона частот. Если резонатор работает на колебаниях H_{111} , то волновод запердельный для волн H_{11} , если на *ТЕМ*-колебаниях, то для волн E_{01} . Внутри волновода плотно вставлен металлодиэлектрический элемент (МДЭ) 2.

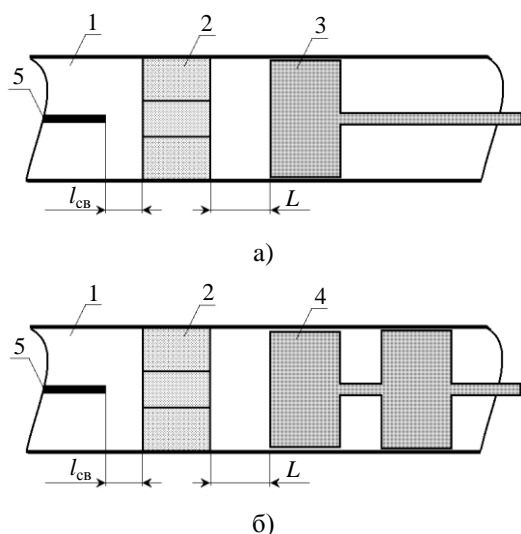


Рис. 1. ВКР с простым (а) и резонансным (б) КЗ-поршнем: 1 – цилиндрический волновод; 2 – МДЭ; 3 – простой КЗ-поршень; 4 – РКЗ-поршень; 5 – центральный проводник возбуждения ВКР

Он представляет собой диэлектрический цилиндр, плотно входящий в волновод; внутри цилиндра соосно расположен металлический стержень. Длина стержня равна длине диэлектрического цилиндра. Если необходим перестраиваемый ВКР, то в волновод помещают простой КЗ-поршень 3 или РКЗ-поршень 4. Резонансная частота ВКР зависит от диаметров волновода и металлического стержня, относительной диэлектрической проницаемости ϵ диэлектрика, длины МДЭ и расстояния L между КЗ-поршнем и МДЭ.

Резонансная частота ВКР также зависит от среды, заполняющей волновод. Обычно волновод заполнен воздухом (его ϵ приблизительно равна ϵ вакуума), поэтому резонансную частоту полагают равной 1.

Резонансный КЗ-поршень представляет собой последовательное соединение двух отрезков коаксиальных линий с разными волновыми сопротивлениями и сплошного направляющего цилиндра (рис. 1, б). Первый отрезок («головка») имеет малое волновое сопротивление Z_1 и диаметр на $0,5 \dots 1$ мм меньше диаметра волновода, т. е. он не должен касаться стенок волновода. Второй отрезок («шейка») имеет большое волновое сопротивление Z_2 и минимально возможный диаметр. На частоте, при которой длины «шейки» и «головки» равны четверти длины волны в соответствующих коаксиальных волноводах (резонансной частоте РКЗ-поршня), можно получить максимальное снижение сопротивления потерь направляющего цилиндра в $(Z_1/Z_2)^2$ раз [1] (потери в проводниках линий не учитываются). Это позволяет использовать РКЗ-поршень для уменьшения потерь, а следовательно, и для увеличения добротности перестраиваемого ВКР. Исследования ВДР с РКЗ-поршнем показали его высокую эффективность для повышения добротности H_{111} -колебания в резонаторе во всем диапазоне перестройки частоты [8, 9].

В ходе эксперимента были исследованы ВКР трех модификаций (табл. 1).

Размеры элементов ВКР и параметры диэлектриков МДЭ

№ ВКР	Диаметр волновода, мм	МДЭ			
		диаметр внутреннего проводника, мм	длина, мм	диэлектрик	ϵ
1	13,05	3,6	5,8	фторопласт-4	$\approx 2,050$
2	7,5	2,0	7,0	фторопласт-4	$\approx 2,050$
3	7,5	2,0	9,5	пенополистирол	$\approx 1,045$

Волновод, внутренний проводник МДЭ и поршни были изготовлены из бескислородной меди.

Собственная добротность ВКР измерялась методом коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН). Коэффициент связи ВКР с источником сигнала устанавливался подбором расстояния $l_{св}$ между центральным проводником возбуждения и МДЭ. Его значение варьировалось в пределах $0,37 \dots 0,58$, что соответствует КСВН в точке резонанса $2,7 \dots 1,72$. Измерения производились с применением панорамных измерителей КСВН и

ослаблений Р2-60, Р2-61 и частотомера ЧЗ-54. Длина МДЭ была выбрана такой, чтобы все ВКР входили приблизительно в один диапазон ($6,8 \dots 12,7$ ГГц).

При экспериментах с ВКР № 1, кроме измерений с двумя видами поршней (простой КЗ-поршень и РКЗ-поршень), были проведены и так называемые контрольные измерения. В этом случае торец волновода закрывался хорошо притертым медным диском, выполняющим роль КЗ-поршня, который прижимался винтом. МДЭ располагался на заданном расстоянии L от диска.

Для обеспечения необходимого коэффициента связи было изготовлено несколько волноводов разной длины. Таким образом сводились к минимуму потери в зоне прилегания диска к волноводу и получался почти идеальный КЗ-поршень.

В измерениях с ВКР № 1 простой КЗ-поршень – это медный цилиндр с размерами приведенными в табл. 2. Разные длины «головки» и «шейки»

РКЗ-поршня из меди обусловлены погрешностью изготовления, что существенно не влияет на эффективность поршня. Данные длины элементов РКЗ-поршня обеспечивают «равенство» их четверти длины волны на частоте 9 ГГц. В измерениях с ВКР № 2 и № 3 «равенство» длин элементов РКЗ-поршня четверти длины волны соблюдается на частоте 9,4 ГГц.

Таблица 2

Габаритные размеры поршней

№ ВКР	Поршень			«Головка» поршня		«Шейка» поршня	
	Тип	Длина, мм	Диаметр, мм	Длина, мм	Диаметр, мм	Длина, мм	Диаметр, мм
1	КЗ	30	на $\approx 0,05$ мм меньше диаметра волновода	–	–	–	–
	РКЗ	–	–	8,36	12,50	8,31	7,05
2, 3	КЗ	20	на $\approx 0,1$ мм меньше диаметра волновода	–	–	–	–
	РКЗ	–	–	8,0	7,0	7,7	3,8

КЗ-поршень максимально влияет на добротность ВКР на самых низких частотах, что соответствует минимальным расстояниям L . Для обеспечения удовлетворительной работы РКЗ-поршня во всем диапазоне перестройки ВКР были выбраны частоты 9,0 и 9,4 ГГц для минимизации потерь в поршнях.

2. Основные результаты экспериментов. На рис. 2 представлена зависимость частоты ВКР №1 от расстояния L между МДЭ и КЗ-поршнем. Масштаб для L выбран пропорциональным \sqrt{L} , так как при величине L , близкой к нулю, очень крутая кривая перестройки. При выбранном масштабе L начальный участок кривой имеет, в первом приближении, линейный характер.

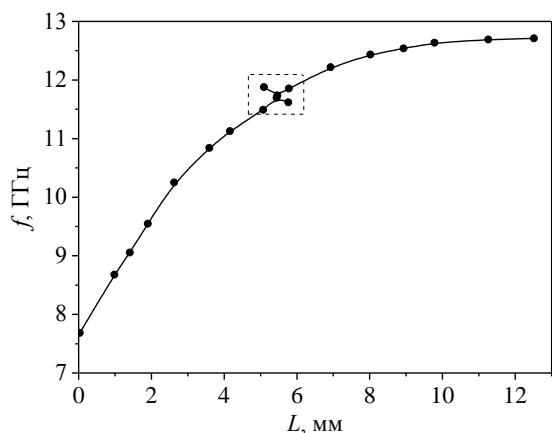


Рис. 2. Характеристика перестройки ВКР № 1 КЗ-поршнем

Частоты ВКР, перестраиваемого с помощью простого КЗ-поршня и РКЗ-поршня, настолько

мало отличаются, что погрешность установки L не позволила определить это отличие (кроме точки $L = 0$). В этой точке частота с простым поршнем и при контрольных измерениях равна 7,72 ГГц, а с РКЗ-поршнем – 7,83 ГГц. При $L = 10$ мм частота с поршнями всех типов одинакова и равна 12,68 ГГц. Область на графике (рис. 2), выделенная пунктиром, на рис. 3 изображена в более крупном масштабе. При данных размерах волновода и МДЭ в диапазон перестройки ВКР с TEM -колебаниями попадает и ВКР с колебаниями H_{111} . Так как их перестройка идет навстречу друг другу (частота резонанса на H_{111} -колебаниях уменьшается с ростом L , а TEM – растет), то в точке $L = 1,73$ мм они должны пересекаться. В действительности пересечения нет. Кривая 1 на рис. 3, при $L < 1,5$ мм, отображает только резонанс на TEM -колебаниях. В точке $L = 1,5$ мм наблюдаются уже два резонанса. Кривая 1 – резонанс на TEM -колебаниях, начало кривой 2 – на H_{111} -колебаниях. В этой точке КСВН TEM -колебаний ВКР на резонансной частоте около 2, а H_{111} -колебаний > 50 при одном и том же расстоянии $l_{св}$, т. е. резонанс на H_{111} -колебаниях только начинает проявляться. В диапазоне $L 1,5...1,73$ мм сигнал резонанса H_{111} -колебаний увеличивается и при $L = 1,73$ мм КСВН обоих резонансов равны. При этом, какой из них TEM , а какой H_{111} , при используемой методике эксперимента определить невозможно. При дальнейшем увеличении L кривая 1 уже отображает резонанс H_{111} -колебаний, а кривая 2 – TEM . При $L > 2,1$ мм резонанс H_{111} -колебаний уже не наблюдается. В точке $L = 1,73$ мм кривые 1 и 2 сближаются до 65 МГц

(расстояние между кривыми по оси частот). Данный эффект можно объяснить асимметрией МДЭ, непараллельностью торцов МДЭ и овальностью поперечного сечения волновода.

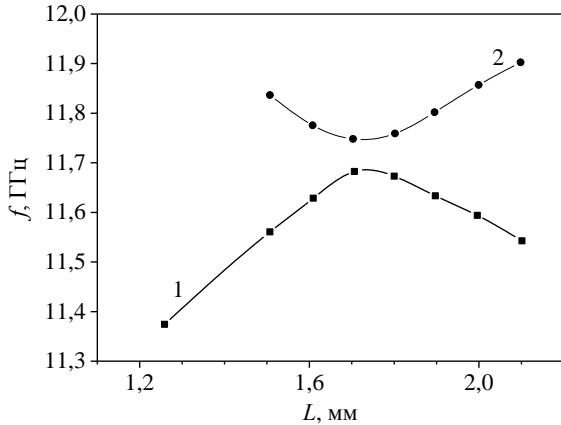


Рис. 3. Выделенная на рис. 2 область перестройки ВКР № 1 в увеличенном масштабе

С улучшением симметрии МДЭ уменьшается зона наблюдения резонанса H_{111} -колебаний и становится меньше расстояние между кривыми в точке их экстремумов. От описанного эффекта полностью избавиться не удастся, так как идеально выполнить волновод и МДЭ практически невозможно. Исследование подобного явления, получившего название междутиповых колебаний, подробно проведено в [11].

На рис. 4 показана зависимость добротности ВКР № 1, перестраиваемого КЗ- и РКЗ-поршнями, от частоты. Крайние левые точки графиков соответствуют $L = 0$ (частоты 7,72...7,83 ГГц), крайние правые (частота 12,68 ГГц) – $L = 10$ мм.

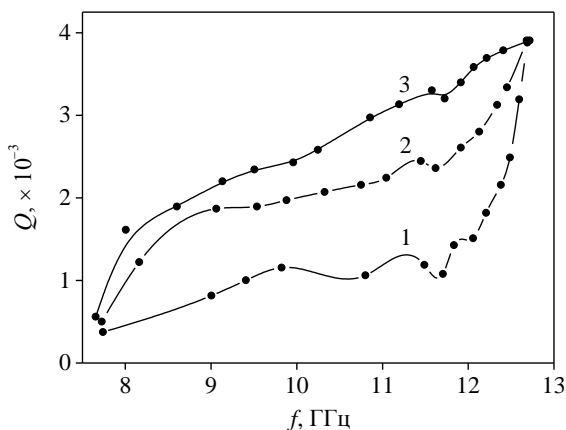


Рис. 4. Графики зависимости добротности ВКР № 1 от частоты при перестройке КЗ-поршнями разных типов: кривая 1 – перестройка простым КЗ-поршнем; кривая 2 – перестройка РКЗ-поршнем; кривая 3 – контрольные измерения

При дальнейшем увеличении L добротность практически не изменялась, а частота увеличи-

лась на 15 МГц. Кривая 1 отображает добротность при перестройке простым КЗ-поршнем, кривая 2 – перестройка РКЗ-поршнем, кривая 3 – контрольные измерения (методика описана выше). Сравнительный анализ кривых 1 и 2 показывает, что РКЗ-поршень дает выигрыш по добротности в 1,8 и более раз по сравнению с КЗ-поршнем (до частоты 12 ГГц). Далее кривые сближаются из-за уменьшения влияния поршней на добротность резонатора. «Негладкость» кривой 1 объясняется неустойчивостью контакта поршня со стенками волновода. Наилучшая эффективность РКЗ-поршня – на частоте около 9 ГГц, на которую он и рассчитывался. Резкий спад добротности ВКР в точке $L = 0$ происходит из-за плохого контакта металлического стержня МДЭ с КЗ-поршнем. Получить «идеальный» контакт в этой точке для перестраиваемого ВКР практически невозможно. Следует отметить небольшое снижение добротности в диапазоне 11,6...11,8 ГГц, что соответствует возбуждению резонанса на H_{111} -колебаниях.

Для исключения возможности возбуждения резонанса на H_{111} -колебаниях в рабочем диапазоне $ТЕМ$ -колебаний был изготовлен волновод диаметром 7,5 мм и два МДЭ. Это обеспечило критические частоты волны H_{11} в зоне МДЭ для ВКР № 2 – 14,43 ГГц и ВКР № 3 – 20,23 ГГц. Критическая частота волны H_{11} в зоне «головки» РКЗ-поршня равна 13,16 ГГц. Такие критические частоты исключают в диапазоне частот до 13 ГГц возникновение резонансов на H_{111} -колебаниях как в ВКР, так и в РКЗ-поршне. Соотношение диаметров волновода и металлического стержня в ВКР № 2 и ВКР № 3 такое, как и в ВКР № 1.

На рис. 5 изображена характеристика перестройки ВКР № 2 КЗ-поршнем. Масштаб для L выбран аналогичный рис. 2.

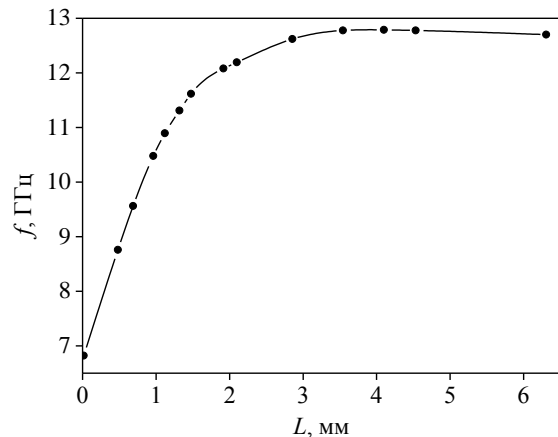


Рис. 5. Характеристика перестройки ВКР № 2 КЗ-поршнем

Перестройка КЗ- и РКЗ-поршнями практически не отличается. Частота изменяется от 6,85 ГГц

(для КЗ-поршня) и 6,87 ГГц (для РКЗ-поршня) при $L = 0$ до 12,72 ГГц при $L = 10$. Для ВКР № 3 кривая перестройки не приводится, так как ее характер мало отличается от ВКР № 2. Частота ВКР № 3 изменяется от 6,9 ГГц до 12,64 ГГц. Особенностей в перестройке нет.

На рис. 6 показаны зависимости добротностей ВКР № 2 и № 3 от частоты при перестройке разными КЗ-поршнями. Кривая 1 показывает добротность ВКР № 2, перестраиваемого простым КЗ-поршнем; кривая 2 – РКЗ; кривая 3 – добротность ВКР № 3, перестраиваемого РКЗ-поршнем. Так как рабочие диапазоны частот ВКР № 2 и № 3 близки, то они перестраивались одним и тем же РКЗ-поршнем.

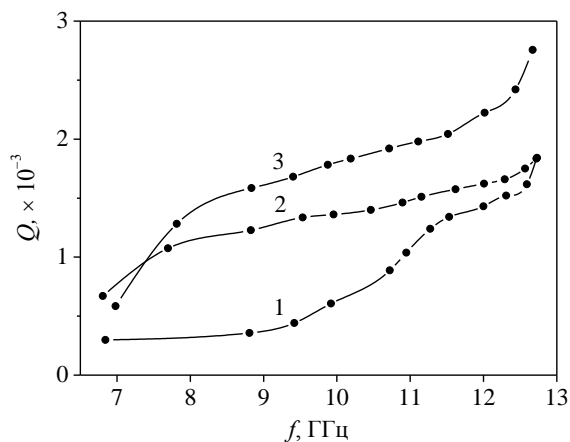


Рис. 6. Графики зависимости добротности ВКР № 2 и № 3 от частоты при перестройке КЗ-поршнями разных типов: кривая 1 – перестройка ВКР № 2 простым КЗ-поршнем; кривая 2 – перестройка ВКР № 2 РКЗ-поршнем; кривая 3 – перестройка ВКР № 3 РКЗ-поршнем

Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что РКЗ-поршень дает значительный прирост добротности. На частотах до 10,5 ГГц добротность увеличивается в 1,7 и более раз. Далее прирост уменьшается в связи с уменьшением влияния поршня на потери в резонаторе (ослабляется связь). Быстрое увеличение добротности на частотах выше 12 ГГц ($L > 1$ мм) объясняется медленным изменением частоты, а влияние поршня на добротность уменьшается по экспоненте.

Малая добротность на самой низкой частоте ($L = 0$) в ВКР № 2 и № 3 обусловлена, как и в ВКР № 1, плохим контактом металлического стержня МДЭ с КЗ-поршнем.

Сравнение добротностей ВКР № 1 и № 2 (см. кривые 2 на рис. 4 и 6) показывает, что добротность ВКР № 2 меньше в 1,4...2,1 раза. Это, в основном, связано с уменьшением объема резонатора в одном и том же диапазоне частот. Для увеличения добротности в ВКР № 3 в качестве

диэлектрика МДЭ был использован пенополистирол. Он имеет меньшие потери, чем фторопласт, что дает увеличение добротности. Кривая 3 (на рис. 6) отображает добротность ВКР № 3, перестраиваемого РКЗ-поршнем. Таким образом, удалось увеличить добротность в 1,3...1,5 раза.

Большое отличие частот ВКР № 1 в точке $L = 0$ при перестройках КЗ- и РКЗ-поршнями, по сравнению с ВКР № 2, можно объяснить влиянием резонанса на H_{111} -колебаниях в РКЗ-поршне. Измеренная частота этого резонанса 7,6 ГГц.

Оптимальный выбор диаметра волновода (критические частоты зон МДЭ и «головки») РКЗ-поршня для волн H_{11} – больше максимальной частоты ВКР) позволяет избавиться от «посторонних» резонансов. Следует учитывать, что с уменьшением диаметра волновода будет падать добротность резонатора. В работе [6] показана возможность получения широкого диапазона перестройки ВКР с H_{111} -колебаниями (до 1,6), но его добротность не превышает добротность ВКР № 2.

Выводы. В работе исследованы характеристики собственных частот и добротностей TEM -колебания в ВКР на запердечном волноводе. Показана хорошая эффективность РКЗ-поршня при перестройке резонатора и его удовлетворительная работа в широком диапазоне частот ($f_{max}/f_{min} \geq 1,6$, если $L \geq 0,01$ мм).

К недостаткам ВКР на TEM -колебаниях следует отнести:

- 1) невозможность использования точки $L = 0$ (непредсказуемая добротность резонатора в этой точке);
- 2) большую крутизну характеристики перестройки частоты при малых L , что требует высокой точности механизма перемещения поршня.

Библиографический список

1. Плодукин Б. В. Коаксиальные диапазонные резонаторы. Москва: Советское радио, 1965. 240 с.
2. Орлов С. И. Расчет и конструирование коаксиальных резонаторов. Москва: Советское радио, 1970. 253 с.
3. Воинов Б. С. Широкодиапазонные колебательные системы СВЧ. Москва: Советское радио, 1973. 304 с.
4. Лебедев И. В. Техника и приборы сверхвысоких частот. Москва–Ленинград: Госэнергоиздат, 1961. Т. 1. 512 с.
5. Белоус Р. И., Мартынюк С. П., Моторненко А. П., Скуратовский И. Г. Свойства перестраиваемого волноводно-диэлектрического резонатора миллиметрового диапазона с повышенной добротностью. *Радиофизика и электроника*. 2015. Т. 6(20), № 1. С. 81–84.
6. Белоус Р. И., Моторненко А. П., Скуратовский И. Г., Хазов О. И. Особенности волноводно-диэлектрического резонатора с резонансным короткозамыкающим поршнем. *Радиофизика и электроника*. 2014. Т. 5(19), № 2. С. 90–93.
7. Белоус Р. И., Мартынюк С. П., Моторненко А. П., Скуратовский И. Г., Хазов О. И. Свойства волноводно-

- диэлектрического резонатора с резонансным короткозамыкающим поршнем. *Радиотехника*. 2013. Вып. 174. С. 53–57.
8. Моторненко А. П., Скуратовский И. Г., Хазов О. И. Волноводно-диэлектрический резонатор с резонансным короткозамыкающим поршнем. *Радиофизика и электроника*. 2012. Т. 3(17), № 4. С. 14–17.
 9. Bilous R. I., Motornenko A. P., Khazov O. I., Skuratovskiy I. G. Waveguide-coaxial resonator with wide-range frequency tuning and increased Q-factor. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2016. Vol. 75, Iss. 10. P. 887–894.
 10. Мартынюк С. П., Моторненко А. П., Скуратовский И. Г., Хазов О. И. Т- и Н-колебания в волноводно-коаксиальном резонаторе. *Радиофизика и электроника*: сб. науч. тр. Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. Харьков, 2009. Т. 14, № 1. С. 7–10.
 11. Шестопалов В. П. Морсовские критические точки дисперсионных уравнений. Киев: Наукова думка, 1992. 240 с.

REFERENCES

1. Ploduhin, B. V., 1965. *Coaxial band resonators*. Moscow: Sovetskoe Radio Publ. (in Russian).
2. Orlov, S. I., 1970. *Calculation and design of coaxial resonators*. Moscow: Sovetskoe Radio Publ. (in Russian).
3. Voinov, B. S., 1973. *Wide-range microwave oscillation systems*. Moscow: Sovetskoe Radio Publ. (in Russian).
4. Lebedev, I. V., 1961. *Equipment and devices at microwave frequencies*. Moscow-Leningrad: Gosenergoizdat Publ. (in Russian).
5. Belous, R. I., Martynyuk, C. P., Motornenko, A. P., Skuratovskiy, I. G., 2015. Properties of tunable waveguide-dielectric resonator of millimeter range with high Q-factor. *Radiofizika i elektronika*, **6**(20), pp. 81–84 (in Russian).
6. Belous, R. I., Motornenko, A. P., Skuratovskiy, I. G., Khazov, O. I., 2014. Peculiarities of waveguide-dielectric resonator with short-circuit plunger. *Radiofizika i elektronika*, **5**(19), pp. 90–93 (in Russian).
7. Belous, R. I., Martynyuk, C. P., Motornenko, A. P., Skuratovskiy, I. G., Khazov, O. I., 2013. Properties of waveguide-dielectric resonator with resonance short-circuit plunger. *Radiotekhnika*, **174**, pp. 55–57 (in Russian).
8. Motornenko, A. P., Skuratovskiy, I. G., Khazov, O. I., 2012. Waveguide-dielectric resonator with resonance short-circuit plunger. *Radiofizika i elektronika*, **3**(17), pp. 14–17 (in Russian).
9. Belous, R. I., Motornenko, A. P., Khazov, O. I., Skuratovskiy, I. G., 2016. Waveguide-coaxial resonator with wide-range frequency tuning and increased Q-factor. *Telecommunications and Radio Engineering*. **75**(10), pp. 887–894.
10. Martynyuk, C. P., Motornenko, A. P., Skuratovskiy, I. G., Khazov, O. I., 2009. T- and H-modes in waveguide-coaxial resonator. In: V. M. Yakovenko, ed. 2009. *Radiofizika i elektronika*. Kharkov: IRE NAS of Ukraine Publ. **14**(1), pp. 7–10 (in Russian).
11. Shestopalov, V. P., 1992. *Morse critical points of dispersion equations*. Kiyev: Naukova Dumka Publ. (in Russian).

Рукопись поступила 18.09.2017.

R. I. Belous, I. G. Skuratovskiy,
O. I. Khazov, A. S. Shakhova

PECULIARITIES OF A WAVEGUIDE-COAXIAL RESONATOR ON THE TEM-OSCILLATIONS WITH A RESONANCE SHORT-CIRCUIT PLUNGER

Tunable resonant structures serve as the basis for many microwave devices (generators, filters, wavemeters). One of the varieties of these structures is waveguide-dielectric and waveguide-coaxial resonators on the evanescent waveguides (WDR and WCR).

The main problem for tunable resonators with a moving short-circuit (SC) plunger is a poor contact between the plunger and the waveguide walls, reducing the quality factor of the resonator. This problem can be solved by using the constrictor plungers.

In this paper, we have experimentally studied the peculiarities of the WCR tuning on the TEM oscillations using a resonance short-circuit (RSC) plunger, which is one of the varieties of the constrictor plungers. High efficiency of the RSC plunger is shown. The Q-factors of the WCR tunable with simple and RSC plungers are given.

The investigations were performed in the range of 6.7...12.7 GHz and suggested the possibility of applying the RSC plunger to improve the Q-factor of the tunable WCR at the TEM oscillations. Recommendations are given for the choice of the waveguide diameter.

Key words: waveguide-coaxial resonator, evanescent waveguide, resonance frequency, Q-factor, short-circuit plunger.

Р. І. Білоус, І. Г. Скуратовський,
О. І. Хазов, Г. С. Шахова

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕСТРОЮВАННЯ ХВИЛЕВІДНО-КОАКСІАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА НА TEM-КОЛИВАННЯХ РЕЗОНАНСНИМ КОРОТКОЗАМИКАЮЧИМ ПОРШНЕМ

Перестроювані резонансні структури є основою багатьох надвисокочастотних приладів (генераторів, фільтрів, хвилемірів). Одним з різновидів цих структур є хвилевідно-діелектричні та хвилевідно-коаксіальні резонатори на поза межних хвилеводах (ХДР та ХКР).

Основною проблемою в перестроюваних резонаторах з рухомих короткозамикаючим (КЗ) поршнем є недосконалий контакт поршня зі стінками хвилеводу, що знижує добротність резонатора. Цю проблему можна вирішити за допомогою дросельних поршнів.

У цій роботі експериментально вивчено особливості перестроювання ХКР на TEM-коливаннях за допомогою РКЗ-поршня – різновиду дросельних поршнів. Показано високу ефективність РКЗ-поршня. Наведено добротності ХКР, перестроюваних КЗ- і РКЗ-поршнями.

Дослідження були виконані в діапазоні 6,7...12,7 ГГц та показали можливість застосування РКЗ-поршня для підвищення добротності перестроюваного ХКР на TEM-коливаннях. Надано рекомендації щодо вибору діаметра хвилеводу.

Ключові слова: хвилевідно-коаксіальний резонатор, поза-межний хвилевід, резонансна частота, добротність, короткозамикаючий поршень.