

5. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. — М.: Наука, 1971.
 6. Хир К. Статистическая механика, кинетическая теория и стохастические процессы. — М.: Мир, 1976.

Поступила в редакцию
17 декабря 1984 г.

УДК 621.372.8

ВЛИЯНИЕ ТОНКОГО СЛОЯ ЖИДКОГО ДИЭЛЕКТРИКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ, ПОМЕЩЕННЫХ В ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ВОЛНОВОД

Н. И. Украинец, Т. К. Мокан

В последние годы в интегральных схемах СВЧ диэлектрические резонаторы (ДР) применяются для создания малогабаритных фильтров [1].

В настоящей работе мы предлагаем использовать ДР для измерения диэлектрической проницаемости ($\epsilon_{ж}$) и тангенса угла потерь ($\text{tg } \delta$) жидких сред. Параметры исследуемой жидкости можно определить по изменению резонансной частоты, величины модуля коэффициента отражения, ширины резонансной полосы, которые происходят под влиянием слоя жидкости, окружающей ДР.

Цилиндры были изготовлены из сегнетокерамики с $\epsilon=92$, $\text{tg } \delta \sim 10^{-3}$. Размеры цилиндров составляли: 1) $d=5,69$ мм, $l=6$ мм; 2) $d=4,8$ мм, $l=6$ мм. В качестве жидкого диэлектрика были использованы дистиллированная вода и алифатические углеводороды (этиловый и метиловый спирты).

Для изучения частотных зависимостей модуля коэффициента отражения от толщины слоя жидкого диэлектрика использовали набор стаканчиков из фторопласта с одинаковой длиной и диаметрами, последовательно отличающимися один от другого на 0,2—0,3 мм. Цилиндрический ДР располагали концентрически в стаканчиках, а жидкий диэлектрик полностью заполнял пространство между стенкой стаканчика и поверхностью керамического цилиндра.

Такие составные резонаторы располагали на подложке из пенопласта в прямоугольном волноводе сечением 35×15 мм². Продольная ось системы «ДР + жидкий диэлектрик» совпадала с направлением электрической составляющей волны H_{10} , а геометрический центр системы находился в геометрическом центре поперечного сечения волновода.

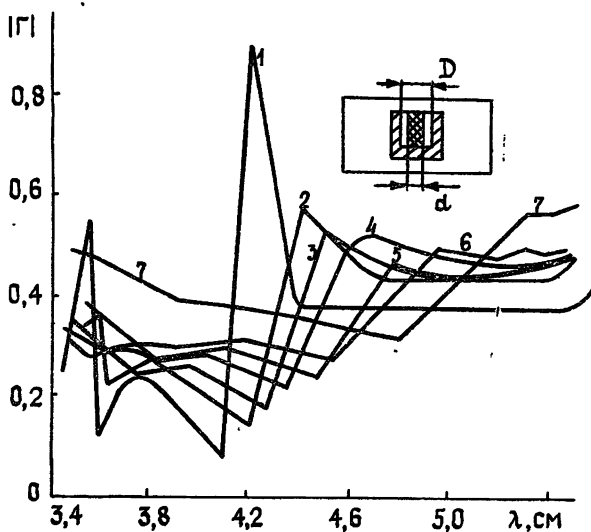


Рис. 1.

При рассеянии электромагнитных волн на малых диэлектрических неоднородностях, изготовленных из материалов с высокими ϵ и малыми $\text{tg } \delta$ и расположенных в прямоугольном волноводе, возникают парные резонансы отражения и пропускания [2, 3]. Для ДР диаметром 5,69 мм, длиной 6 мм, расположенного в стакане из фторопласта без исследуемой жидкости (рис. 1, кривая 1), характерно наличие резонанса отражения E -типа ($\lambda = 4,2$ см) с сопутствующим резонансом пропускания ($\lambda = 4,08$ см) и резонанса отражения H -типа ($\lambda = 3,56$ см) с сопутствующим резонансом пропускания

ния ($\lambda=3,6$ см). Модуль коэффициента отражения при резонансе *E*-типа равен 0,9, а коэффициент стоячей волны на резонансной длине сопутствующего резонанса пропускания составляет 1,15. В случае резонанса *H*-типа модуль коэффициента отражения равен 0,54, а КСТИ при резонансе пропускания равен 1,3.

При размещении ДР в стакане с дистиллированной водой с толщиной слоя 0,055 мм резонанс отражения *E*-типа смещается в длинноволновую область и наблюдается уменьшение модуля коэффициента отражения более чем в 1,5 раза (кривая 2). Дальнейшее увеличение толщины слоя окружающей ДР воды приводит к последующему смещению резонансов в сторону увеличения длины волны. На рис. 1 представлены зависимости модуля коэффициента отражения от длины волны для следующих значений *D* ($D=d+\Delta d$, где Δd — удвоенная толщина слоя воды): 5,8 мм (кривая 2); 6 мм (кривая 3); 6,22 мм (кривая 4); 6,45 мм (кривая 5); 6,64 мм (кривая 6).

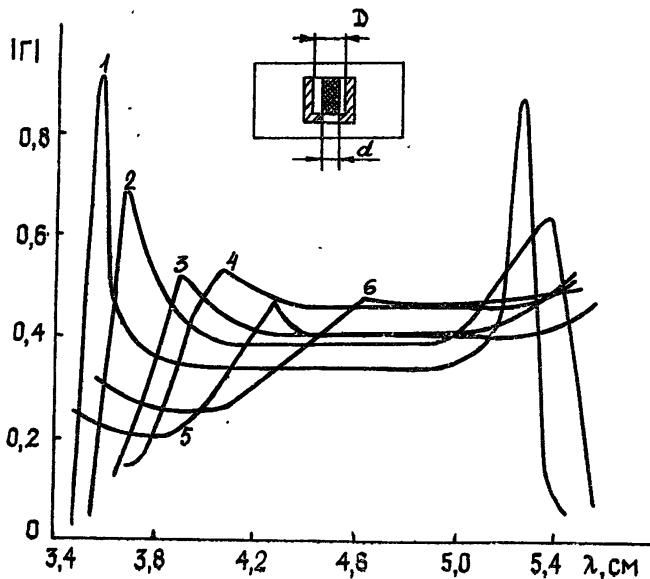


Рис. 2.

Для резонансов пропускания, находящихся в окрестности резонансов отражения *E*-типа, размещение керамического ДР в воде приводит также к смещению резонансных длин волн в длинноволновую область. Кроме этого, наблюдается увеличение КСТИ при резонансах и расширение резонансной полосы. Увеличение толщины слоя воды ведет к дальнейшему смещению резонанса пропускания и увеличению КСТИ. Так, например, для $D=7,05$ мм КСТИ при резонансе достигает величины, равной двум, а резонансная длина волны составляет 5,3 см.

Из экспериментальных кривых, приведенных на рис. 1, следует, что при увеличении толщины слоя воды происходит «размывание» резонансов отражения и пропускания. Объяснить это явление можно, проводя аналогию с резонансным низкочастотным контуром, в котором увеличение активных потерь приводит к расширению резонансной кривой. Аналогичные явления наблюдаются и для другого ДР

($d=4,8$ мм, $l=6$ мм) с тонким слоем оболочки из воды, расположенном в прямоугольном волноводе (рис. 2). На этом рисунке кривая 1 соответствует ДР в стакане без воды, кривая 2 — $D=4,84$ мм, кривая 3 — $D=5,05$ мм, кривая 4 — $D=5,22$ мм, кривая 5 — $D=5,63$ мм, кривая 6 — $D=6$ мм.

Характер изменения резонансной длины волны резонансов отражения *E*-типа от диаметра системы «ДР + жидкий диэлектрик» для цилиндров диаметром 4,8 мм, длиной 6 мм (кривая 1) и диаметром 5,69 мм, длиной 6 мм (кривая 2) приведен на рис. 3. На этих кривых начальные точки соответствуют цилиндрическому ДР без окружающего слоя жидкости.

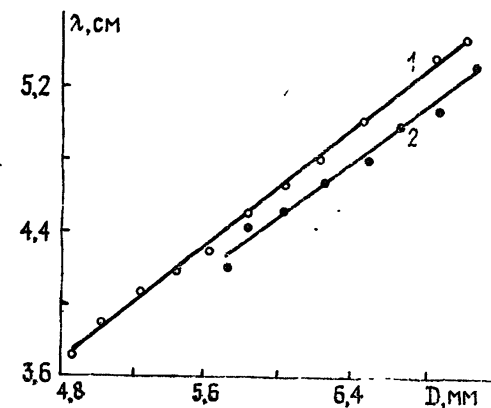


Рис. 3.

Изучим влияние диэлектрической проницаемости окружающей ДР жидкости на характеристики рассеяния при постоянной толщине слоя. Для этого цилиндр диаметром 4,8 мм и длиной 6 мм расположим в стакане из фторопласта с внутренним диа-

метром 5,3 мм. Для цилиндра без исследуемой жидкости характерно наличие резонанса отражения E -типа ($\lambda=3,62$ см) и H -типа ($\lambda=5,28$ см) (рис. 4, кривая 1). При заполнении пространства между ДР и внутренней стенкой стакана жидким диэлектриком с наименьшей диэлектрической проницаемостью (этиловый спирт, $\epsilon_{ж}=1,7^*$) наблюдается небольшое смещение резонансов E - и H -типа в сторону увеличения длины волны (кривая 2). При увеличении диэлектрической проницаемости окружающей ДР жидкости наблюдается более значительное смещение резонансной кривой в длинноволновую область. На рис. 4 кривая 3 отображает это явление для метилового спирта ($\epsilon_{ж}=8,9$). Для дистиллированной воды ($\epsilon_{ж}=55$) смещение резонансов самое большое (кривая 4). Зависимость резонансной длины волны системы «ДР + жидкий диэлектрик» от диэлектрической проницаемости жидкости показана на рис. 5.

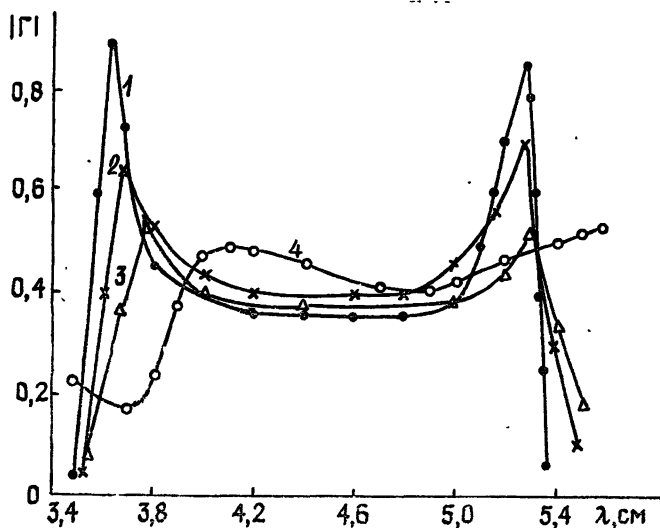


Рис. 4.

Таким образом, из экспериментальных результатов следует, что наличие даже очень тонкого слоя жидкого диэлектрика оказывает весьма существенное влияние на резонансную длину волны, величину модуля коэффициента отражения и ширину резонансной полосы ДР. При изменениях относительной толщины слоя жидкого диэлектрика до значений $\Delta d/d \sim 0,15 \div 0,2$ резонансные кривые имеют четко выраженные максимумы, а увеличение толщины слоя более чем на 0,2 приводит к тому, что вершины резонансных кривых становятся более пологими, в результате чего точность определения резонансной частоты ухудшается. Поэтому в случае использования полученных результатов для измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков относительная толщина слоя жидкости должна быть по значению не более 0,2.

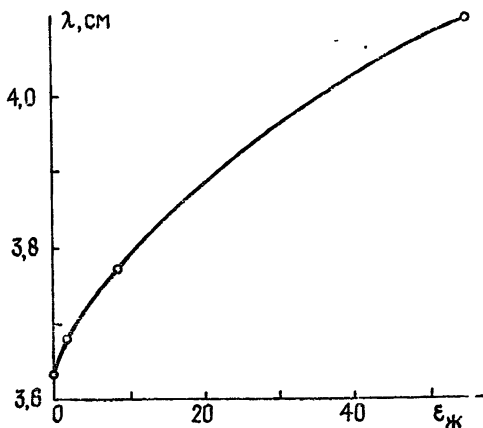


Рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

- Капилевич Б. Ю. Волноводные диэлектрические фильтры. — М.: Связь, 1980. — 136 с.
- Козарь А. И., Хижняк Н. А. — УФЖ, 1970, 15, № 5, с. 847.
- Украинец Н. И., Хижняк Н. А. — Сб.: Радиотехника. — Харьков: Высшая школа, 1976, вып. 37, с. 79.
- Хиппель А. Р. Диэлектрики и их применение. — М.: Госэнергоиздат, 1959. — 336 с.

Харьковский государственный университет

Поступила в редакцию
10 июля 1985 г.,
после переработки
6 января 1986 г.

* Значения диэлектрических проницаемостей жидкостей взяты из [4] при частоте 10^{10} ГГц и температуре 25°C .