

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»

---

Дисциплина «Техническая электродинамика»

**Лабораторная работа № 6**

Измерение добротностей объемного резонанса

Выполнили:  
ст. гр. ИКТ3-83  
Миколасни М. С.  
Громов А. А.

Проверил:  
Гуреев А. Е.

---

Санкт-Петербург  
2020

## Цель работы

- Изучение устройства закрытых цилиндрических объемных резонаторов и электромагнитных процессов в них.
- Освоение методов измерений основных параметров резонатора (резонансной частоты и добротностей)

## Схема установки:

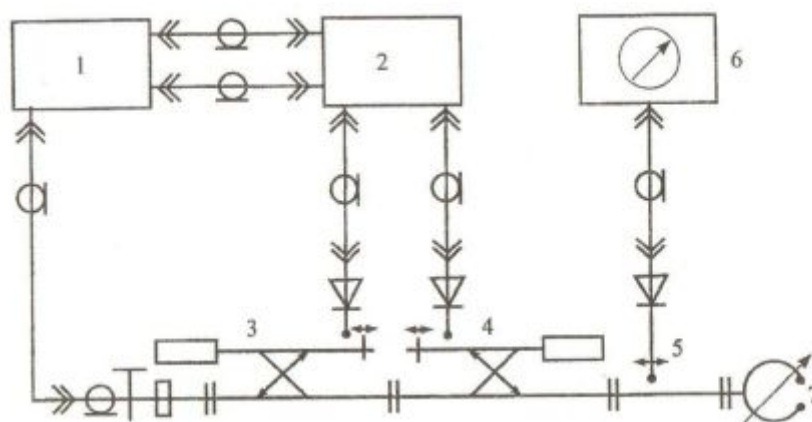


Рис. 1 Структурная схема лабораторной установки

Панорамный измеритель КСВ состоит из генератора качающейся частоты (ГКЧ) 1, индикатора 2 и двух направленных ответвителей (НО) 3 («падающая волна») и 4 («отраженная волна»), которые включены в схему навстречу друг другу; измерительная линия 5 с индикатором 6 (низкочастотным измерительным усилителем или микроамперметром) присоединена к НО 4, а к измерительной линии подключен исследуемый ОР 7. В такой схеме НО 3 регистрирует падающую на резонатор волну, а НО 4 — отраженную им волну.

## Теоретическая часть:

1. При изучении общих свойств закрытых объемных резонаторов (ОР) обратите, прежде всего, внимание на их назначение, на сходство и различие процессов в резонаторах и обычных колебательных  $LC$ -контурах, на определения понятий параметров, которые подлежат измерению: резонансной частоты и добротностей. Разберитесь в характере поля вдоль отрезка линии передачи, короткозамкнутого с обоих концов (стоячая волна), и в условии резонанса (на длине отрезка должно укладываться целое число полуволн). Рассмотрите конструкции закрытых

цилиндрических резонаторов: коаксиального (в том числе с укорачивающей емкостью), прямоугольного и круглого. Уясните ориентацию и расположение элементов связи (зонда, петли и отверстия) по отношению к полю рабочего типа колебаний. Заметьте, что ОР может иметь как один, так и два (на входе и выходе) элемента связи; в первом случае он называется непроходным, а во втором - проходным резонатором.

Очень важно понять возможные способы перестройки частоты ОР изменением его длины, внесением в него, металлического или диэлектрического тела (винта, шайбы). Естественно, что немного изменяют частоту ОР и элементы связи. В любом случае нарушается установившийся при резонансе баланс электрической и магнитной энергий, который восстанавливается уже на другой резонансной частоте ОР ( $W_{э.макс} = W_{м.макс} = w$ ).

2. Вблизи резонансной частоты ОР имеет частотную характеристику, подобную параллельному LC-контуре. Поэтому на эквивалентной схеме он условно изображается параллельным соединением  $L$ ,  $C$  и  $G_0$  элементов, где  $G_0$  - активная проводимость, которая учитывает потери в резонаторе. Реальными параметрами ОР являются резонансная частота  $\omega_0$  и нагруженная добротность.

Как известно, нагруженная (или полная) добротность резонатора  $Q$  выражается соотношением

$$Q = \omega_0 \frac{w}{P_{\pi}}, \quad (6.1)$$

где  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ,  $w$  - запасенная при резонансе внутри ОР электромагнитная энергия исследуемого типа колебаний,  $P_{\pi}$  - средняя за период мощность полных потерь. Мощность  $P_{\pi}$  складывается из мощности собственных потерь резонатора  $P_c$  и мощности потерь через элементы связи во внешних цепях  $P_{вн}$ :

$$P_{\pi} = P_c + P_{вн}. \quad (6.2)$$

Поэтому можно ввести соответствующие мощностям потерь  $P_c$  и  $P_{вн}$  частичные собственную  $Q_c$  и внешнюю  $Q_{вн}$  добротности. Из (6.1) и (6.2) легко установить следующую связь между добротностями:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_{вн}}, \quad (6.3)$$

причем  $Q_c = \omega_0 w / P_c$ ,  $Q_{\text{вн}} = \omega_0 w / P_{\text{вн}}$ .

Вспомните, что основным методом измерения параметров контуров является метод четырехполюсника. Он применим и для ОР проходного типа. Как известно, по этому методу снимается зависимость мощности на выходе резонатора от частоты при постоянной входной мощности.

Более характерен для техники СВЧ метод двухполюсника, пригодный как для проходного ОР, так и непроходного. В методе двухполюсника снимается частотная характеристика (ЧХ) коэффициента стоячей волны (КСВ) в волноводе, который нагружен на объемный резонатор. Зависимость КСВ от частоты имеет резонансный характер, причем минимум КСВ соответствует резонансной частоте  $f_0$  (рис. 6.1).

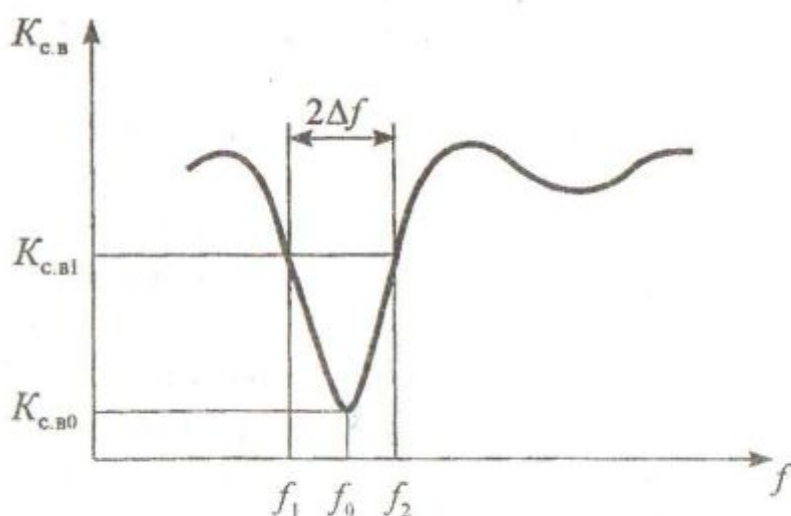


Рис. 6.1

Следует отметить, что поскольку ОР - многорезонансная система, существует ряд резонансных частот, соответствующих различным типам колебаний резонатора.

По измеренному КСВ легко найти соответствующий ему модуль коэффициента отражения,  $\rho$  :

$$|\rho| = \frac{K_{\text{св}} - 1}{K_{\text{св}} + 1} \cdot (6.4)$$

Если с помощью ЧХ КСВ резонатора (рис. 6.1) на резонансной частоте  $f_0$  найти  $K_{\text{с.в}0}$  и рассчитать согласно (6.4) величину  $|\rho_0|$ , а на частотах  $f_1$  и  $f_2$  рассчитать величину  $|\rho_1|$ , соответствующую произвольно выбранному значению  $K_{\text{с.в}1}$ , то легко определить нагруженную добротность ОР для исследуемого типа колебаний:

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f} \sqrt{\frac{|p_1|^2 - |p_0|^2}{1 - |p_1|^2}}, \quad (6.5)$$

где  $2\Delta f = f_2 - f_1$ .

Метод двухполюсника позволяет также определить собственную и внешнюю добротности. Собственная добротность ОР определяется одной из двух формул:

$$Q_c = Q(1 + K_{с.в0}) \quad (6.6)$$

либо

$$Q_c = Q(1 + 1/K_{с.в0}). \quad (6.7)$$

Какой из этих формул пользоваться, можно выяснить по поведению электрического поля в волноводе при расстройке резонатора относительно частоты резонанса  $f_0$  (в пределах резонансной кривой исследуемого типа колебаний). Если при расстройке ОР происходит сдвиг минимумов (и максимумов) поля почти на четверть длины волны в волноводе  $\Lambda_0$ , то справедлива формула (6.6); Если же сдвига почти не происходит, то справедлива формула (6.7).

3. В работе исследуется непроходной прямоугольный ОР 3-сантиметрового диапазона. Он образован короткозамкнутым на одном конце отрезком прямоугольного волновода, к которому через элемент связи на другом конце (индуктивная диафрагма) присоединен торец питающего прямоугольного волновода. Питающий волновод и волновод, образующий ОР, имеют одинаковые поперечные сечения.

В волноводе распространяется волна основного типа  $H_{10}$ , для которой  $\Lambda_0$

$$\Lambda_0 = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (\lambda_0/2a)^2}}$$

где  $a$  - размер широкой стенки волновода,  $\lambda_0$  - резонансная длина волны ( $\lambda_0 = c/f_0$ ,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с).

Рабочим типом колебаний ОР служит  $H_{10p}$ , для которого длина  $l$  короткозамкнутого с обоих концов резонатора связана с  $\Lambda_0$  соотношением

$$l = p \frac{\Lambda_0}{2}, \quad (6.9)$$

где  $p$  - число стоячих полуволн, укладывающихся на длине  $l$ . Если, однако, элемент связи резонатора с питающим волноводом является

индуктивной нерегулярностью, то длина  $l$  оказывается несколько меньше значения (6.9), если же он является емкостной нерегулярностью, то - больше.

### Измерения:

$$l_0 = 3,2 \text{ мм} \quad l_1 = 15 \text{ мм}$$

$$f_0 = 10,42 \text{ ГГц}$$

$$\Delta L = 7 \text{ мм}$$

$$f_1 = 10,40 \text{ ГГц}$$

$$f_2 = 10,44 \text{ ГГц}$$

$$K_{\text{св}0} = 1$$

$$K_{\text{св}1} = 6$$

### Выполнение работы

### Обработка результатов измерений:

$$1) \quad \Lambda_0 = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (\lambda_0/2a)^2}}, \text{ где } a \cdot b = 23 \times 10 \text{ мм}^2, \lambda_0 = c/f_0, c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$\Lambda_0 = \frac{0.03}{\sqrt{1 - (0.03/(2 \cdot 23 \cdot 10^{-3}))^2}} = 0.037$$

$$2) \quad l = l_0 + l_1 = 3,2 + 15 = 18,2 \text{ мм}$$

$$l = p \frac{\Lambda_0}{2} \rightarrow p = \frac{2l}{\Lambda_0} = 0.98 \approx 1$$

Тип колебаний колебаний в резонаторе -  $H_{101}$

$$3) \quad Q = \frac{f_0}{2\Delta f} \sqrt{\frac{|\rho_1|^2 - |\rho_0|^2}{1 - |\rho_1|^2}} = \frac{10,42 \cdot 10^9}{2 \cdot 0,04 \cdot 10^9} \sqrt{\frac{|0,7|^2 - |0|^2}{1 - |0,7|^2}} = 130,25 \cdot 1,021 = 132,99, \text{ где:}$$

$$2\Delta f = f_2 - f_1 = 0,04 \text{ ГГц}, \quad |\rho_1| = \frac{K_{\text{св}1} - 1}{K_{\text{св}1} + 1} = \frac{5}{7}, \quad |\rho_0| = \frac{K_{\text{св}0} - 1}{K_{\text{св}0} + 1} = 0$$

$$4) \quad \Delta L \approx \Lambda_0/4, \text{ т.к. } 9,25 \text{ мм} \approx 7 \text{ мм}$$

$$\text{Значит } Q_c = Q(1 + K_{\text{св}0}) = 132,99 \cdot (1 + 1) = 265,98$$

$$5) \quad \frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_{\text{вн}}} \Rightarrow Q_{\text{вн}} = \frac{Q \cdot Q_c}{Q_c - Q} = 265,98$$

### Выводы:

1. Изучили устройства закрытых цилиндрических объемных резонаторов и э/м процессов в них.

2. Освоили методы измерения основных параметров резонатора (резонансной частоты и добротности)