

Лабораторна робота № 5

Дослідження об'ємного резонатора

Мета роботи: освоєння методики розрахунку конструктивних і електричних параметрів об'ємних резонаторів.

теоретичне введення

Резонатор є найважливішим елементом генераторів радіо - і оптичного діапазонів. У широкому сенсі *резонатором* називають коливальну систему, в якій можливе накопичення енергії акустичних, механічних або електромагнітних коливань. Найпростішим електромагнітним резонатором, що застосовується в радіодіапазоні до частот в кілька десятків мегагерц, є коливальний контур. Зі збільшенням частоти розміри контуру стають порівнянними з довжиною хвилі, що призводить до різкого зростання випромінювання в контурі, і він втрачає свої резонансні властивості. Тому в СВЧ-радіодіапазоні при частотах порядку 10^9 - 10^{11} Гц ($\lambda \approx 0,3 \dots 30$ см) застосовують об'ємний резонатор - коливальну систему, що представляє собою порожнину з електропровідними стінками.

В об'ємному резонаторі можуть збуджуватися коливання тільки певних довжин хвиль і певної структури, що утворюють стоячу хвилю. Частоти цих коливань називаються *резонансними* або *власними частотами резонатора*, а коливання - *власними коливаннями резонатора* або *модами*. Таким чином мода - це власний тип коливань резонатора.

У СВЧ - діапазоні коливальною системою високої добротності є закритий *об'ємний резонатор (ОР)*, що представляє собою оточену замкнутої металевою оболонкою порожнину, у яку, за допомогою елементів зв'язку (штир, петля, отвір) вводиться (і виводиться) електромагнітна енергія. Спільними властивостями всіх закритих ОР є їх здатність запасати електромагнітну енергію і відносно мала значення власних втрат енергії за період. Внаслідок цього добротність ОР виявляється дуже високою.

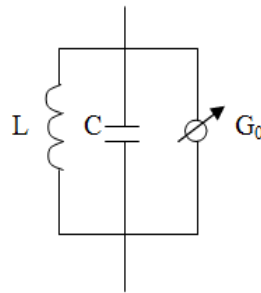
В теорії коливань розрізняють режими власних (вільних) і вимушених коливань. *Власні коливання* - це можливі електромагнітні поля в ОР при відсутності сторонніх джерел. Сторонні коливання включають в себе безліч різних *типів коливань*, кожен з яких характеризується своєю картиною векторних ліній і певною *власною довжиною хвилі (власною частотою)*. В ідеальному (без втрат) ОР коливання будь-якого типу повинні бути незатухаючими. У реальному ОР існують деякі втрати енергії (наприклад, в металевих стінках і випромінювання через отвори), що призводить до загасаючих коливань.

Незгасаючі коливання в реальному ОР існують тільки в режимі *вимушених коливань*, при якому в резонатор через елемент зв'язку вводять енергію від стороннього джерела (генератора). Для збудження резонатора потрібно, щоб частота коливань генератора дорівнювала одній із резонансних частот ОР. В об'ємному резонаторі з великою добротністю резонансні частоти приблизно рівні власній частоті резонатора без втрат. ОР є

багаторезонансною системою, на відміну від коливального контуру із зосередженими постійними.

Об'ємні резонатори, що використовуються в мікрохвильових електронних приладах, характеризуються трьома основними параметрами: резонансною частотою f_0 або резонансної довжиною хвилі λ_0 ; добротністю Q_0 і активною еквівалентною паралельною провідністю G_0 . Ці параметри повністю замінюють параметри L, C, R контурів із зосередженими постійними.

Поблизу резонансної частоти об'ємний резонатор має частотну характеристику, подібну паралельному LC -контуру. Еквівалентна схема ОР представлена на малюнку 1.



Малюнок 1 - Еквівалентна схема ОР поблизу резонансної частоти

Для будь-якого типу коливань справедлива формула для резонансної довжини хвилі

$$\lambda_0 = c / f_0 = c 2 \pi / \omega_0, \quad (1)$$

де $c = 1 / \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ - швидкість світла.

Розглянемо інший параметр об'ємного резонатора - *добротність* Q , безрозмірна величина, що враховує втрати в контурі. У найбільш загальній формі цей параметр визначається як помножене на 2π відношення запасу енергії W в контурі до середньої потужності втрат P_{Π} за період T вільних коливань:

$$Q = 2\pi \frac{W}{P_{\Pi} T} = 2\pi \frac{W}{W_{\Pi}} = \omega_0 \frac{W}{P_{\Pi}}. \quad (2)$$

Якщо враховувати тільки втрати в стінках резонатора, тобто $W_{\Pi} = W_{\Pi \text{ рез}}$, то

$$Q = Q_0 = 2\pi \frac{W}{W_{\Pi \text{ РЕЗ}}}. \quad (3)$$

Q_0 називається *власною добротністю*.

Добротність (2), що залежить від потужності повних втрат, часто називають *навантаженою добротністю* резонатора. Потужність повних втрат P_{Π}

$$P_{\Pi} = P_0 + P_{\text{вн}},$$

де P_0 - потужність власних втрат, $P_{\text{вн}}$ - *потужність зовнішніх втрат*, що йде з резонатора через елемент зв'язку в зовнішні ланцюги. З (3) і (4) отримуємо, що

$$1 / Q = 1 / Q_0 + 1 / Q_{\text{вн}}, \quad (5)$$

$$Q_0 = \omega_0 W / P_0, \quad Q_{\text{Аі}} = \omega_0 W / P_{\text{Аі}},$$

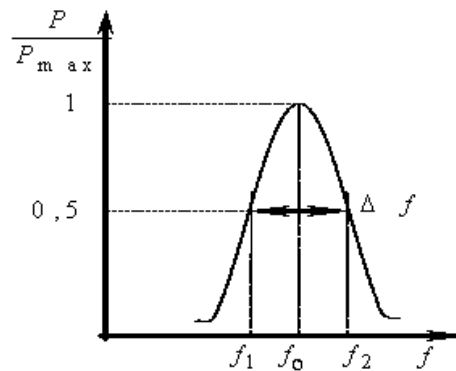
де $Q_{\text{вн}}$ - зовнішня добротність резонатора.

Для кожного типу коливань s добротність має певне значення Q_{0s} , яке може бути розраховане по наближених формулах.

Навантажену добротність Q розраховують по співвідношенню:

$$Q = f_0 / \Delta f. \quad (6)$$

Значення f_0 і Δf визначають з експериментальної кривої залежності коливальної потужності $P_{\text{н}}$ від частоти (малюнок 2).



Малюнок 2 - Резонансна крива об'ємного резонатора

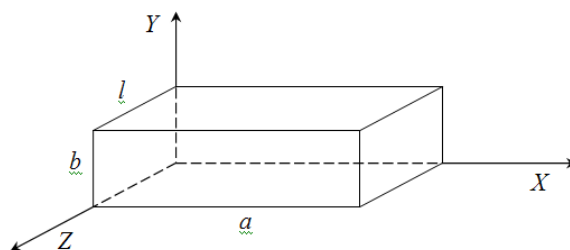
3

зовнішня добротність $Q_{\text{вн}}$ характеризує зв'язок резонатора з навантаженням і знаходиться у відповідності з (5) по співвідношенню:

$$Q_{\text{Аі}} = \frac{2Q_0}{Q_0 - Q}. \quad (7)$$

Розрахункові співвідношення для прямокутного хвильового резонатора

Прямокутний резонатор - це відрізок прямокутного хвильоводу із замкнутою металеву оболонкою (рисунок 3).



Малюнок 3 - Позначення сторін прямокутного хвильового резонатора

1. Розміри поперечного перерізу резонатора вибираються з умови одномодового режиму основної хвилі прямокутного хвилеводу Н₁₀

$$\lambda = \frac{c}{f_0}$$

2. Довжина резонатора дорівнює половині довжини хвилі в прямокутному хвилеводі

$$\ell = \frac{\lambda_{H_{10}}}{2}, \quad \text{де} \quad \lambda_{H_{10}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}}$$

3. Власна добротність для коливання Н₁₀ визначається розмірами резонатора і провідність стінок резонатора

$$Q_0 = \frac{1}{2\delta_0} \cdot \frac{v(a^2 + \ell^2)}{\frac{v\ell^2}{a} + \frac{a^2v}{\ell} + \frac{a^2}{2} + \frac{\ell^2}{2}},$$

$$\delta_0 = \frac{0,066}{\sqrt{f_0}}$$

де: δ_0 - глибина проникнення поля в провідник, для міді, м

При обчисленні $Q_0 f_0$ слід підставляти в Гц; а, в - в метрах.

4. Навантажену добротність Q_H можна обчислити по відомим D і f_0

$$Q_H = \frac{f_0}{\Delta f}$$

5. Зовнішня добротність знаходиться по відомим Q_0 і Q_H

$$Q_\ell = \frac{2Q_H Q_0}{Q_0 - Q_H}$$

6. Діаметр діафрагми зв'язку знаходиться по обчисленому значенню зовнішньої добротності Q_ℓ

$$d = \sqrt[3]{6M}, \quad \text{де:}$$

$$M = \frac{av\ell^2}{\lambda_0 \sqrt{2\pi Q_\ell}} \quad \text{- магнітна поляризованість діафрагми зв'язку.}$$

7. Скоригований довжина резонатора з урахуванням впливу діафрагм зв'язку

$$\ell_{\text{корр}} = \ell - D \ell,$$

$$\Delta \ell = \frac{\ell}{\pi} \arctg \left(\frac{8\pi M}{av\lambda_{H_{10}}} \right)$$

де:

Завдання

Для власного варіанту по заданих в таблиці значеннях резонансної частоти f_0 і смуги пропускання Δf провести конструктивний розрахунок прямокутного резонатора:

- визначити довжину резонатора l (значення a і b взяти в таблиці);
- розрахувати власну добротність Q_0 ;
- обчислити навантажену Q і зовнішню $Q_{\text{вн}}$ добротності резонатора;
- по знайденому значенню зовнішньої добротності визначити діаметр d круглої діафрагми зв'язку;
- визначити скориговану довжину резонатора $l_{\text{кор}}$ з урахуванням впливу діафрагм зв'язку.

Таблиця- Вихідні дані для розрахунку

№	а x в, мм	f_0 , ГГц	Δf , МГц
1	28,5 x 12,6	7,00	56,0
2	58,0 x 25,0	4,05	32,0
3	23,0 x 10,0	10,24	55,0
4	58,0 x 25,0	3,69	90,0
5	23,0 x 10,0	9,02	101,0
6	28,5 x 12,6	7,68	60,0
7	58,0 x 25,0	3,88	125,0
8	23,0 x 10,0	8,62	28,0
9	28,5 x 12,6	6,90	57,0
10	58,0 x 25,0	4,10	33,0
11	23,0 x 10,0	10,12	56,0
12	58,0 x 25,0	3,50	92,0
13	23,0 x 10,0	9,12	102,0
14	28,5 x 12,6	7,50	62,0
15	58,0 x 25,0	4,70	130,0
16	23,0 x 10,0	6,75	29,0

Контрольні питання

1. Дайте визначення об'ємного резонатора.
2. Що таке власна добротність і від чого вона залежить?
3. Які фактори впливають на величину власної добротності об'ємного резонатора?
4. Дайте визначення навантаженої добротності об'ємного резонатора.
5. Як зміна ступеня зв'язку резонатора з навантаженням впливає на значення резонансної частоти?
6. Навіщо внутрішню поверхню об'ємних резонаторів полірують?

