

Выбор резонатора для СВЧ датчиков малых амплитуд

В работе приводится расчет чувствительности СВЧ датчиков–генераторов трехсантиметрового диапазона длин волн, использующих колебательные системы в виде объемных резонаторов. Расчет проводился для видов колебаний, позволяющих реализовать конструкцию генератора стабилитронного типа, в котором активный элемент генератора (диод или транзистор) установлен в отрезке коаксиальной линии, связанной с резонатором.

Ключевые слова: объемный резонатор, вид колебаний, чувствительность датчика

К СВЧ датчикам малых амплитуд (датчикам – генераторам) предъявляют следующие требования:

- высокая чувствительность;
- высокая долговременная стабильность частоты.

В работе [1] предлагается СВЧ датчик малых амплитуд, построенный на базе генератора на лавинно–пролетном диоде, колебательная система которого содержит высокочастотный цилиндрический объемный резонатор, работающий на виде колебаний H_{011} , при этом разрешающая способность такого датчика при внешнем воздействии, изменяющим длину резонатора, составляет $\approx 0,1$ мкм.

В то же время представляет несомненный практический интерес анализ возможностей использования в датчиках рассматриваемого типа колебательных систем с объемными резонаторами, работающими на видах колебаний, отличных от вида колебаний H_{011} .

1. Призматический объемный резонатор на виде колебаний H_{101}

Резонансная длина волны призматического волноводного резонатора, работающего на виде колебаний H_{101} , определяется выражением [2]:

$$\lambda = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{l^2}}}, \quad (1)$$

где a – размер широкой стенки прямоугольного волновода, l – длина резонатора.

Частота генерируемых колебаний

$$f = \frac{c}{2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{l^2} \right)^{0,5}}, \quad (2)$$

c – скорость света.

Дифференцируя (2) по l , получим выражение для чувствительности датчика при изменении его длины:

$$\frac{\partial f}{\partial l} = -0,5 c a l^{-2} (\alpha^2 + 1)^{-0,5}, \quad (3)$$

где $\alpha = a/l$.

На частоте 10ГГц для волновода со стандартным размером $a \times b = 23 \times 10\text{мм}^2$, $l = 19,8$ мм, $\alpha = 1,162$, следовательно, $\frac{df}{dl} = -290 \text{кГц/мкм}$.

Дифференцируя (2) по a , получим чувствительность датчика при изменении размера широкой стенки волновода a , образующего резонатор:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = -0,5c\alpha^{-3}l(\alpha^2 + 1)^{-0,5} \quad (4)$$

На частоте 10ГГц для того же волновода получим чувствительность датчика

$$\frac{\partial f}{\partial a} = -\frac{185\text{кГц}}{\text{мкм}}.$$

2. Цилиндрический резонатор на виде колебаний E_{010}

Резонансная частота цилиндрического объемного резонатора, работающего на виде колебаний E_{010} от длины резонатора не зависит [2]:

$$f = \frac{c}{2,62R}, \quad (5)$$

c – скорость света, R – радиус резонатора.

Чувствительность датчика при изменении радиуса резонатора R будет равна:

$$\frac{\partial f}{\partial R} = -\frac{c}{2,62} \cdot \frac{1}{R^2}. \quad (6)$$

На частоте 10ГГц радиус резонатора должен составлять $R = 11,45$ мм и

$$\frac{\partial f}{\partial R} = -\frac{873,4\text{кГц}}{\text{мкм}}.$$

3. Цилиндрический резонатор на виде колебаний E_{011}

Частота генерируемых колебаний датчика с цилиндрическим объемным резонатором, работающим на виде колебаний E_{011} [2]:

$$f = c \left[\frac{1}{(2,62R)^2} + \frac{1}{4l^2} \right]^{0,5} \quad (7)$$

Чувствительность датчика при изменении радиуса резонатора R :

$$\frac{\partial f}{\partial R} = -0,76c\alpha R^{-3}l(6,9\alpha^2 + 4)^{-0,5} \quad (8)$$

На частоте $f = 10$ ГГц ($R=12$ мм, $l = 50$ мм) $\frac{\partial f}{\partial R} = -\frac{755\text{кГц}}{\text{мкм}}$.

Чувствительность датчика при изменении длины резонатора:

$$\frac{\partial f}{\partial l} = -1,31c\alpha l^{-2}(6,9\alpha^2 + 4)^{-0,5} \quad (9)$$

На частоте 10ГГц при тех же размерах резонатора R и l , что и в предыдущем случае:

$$\frac{\partial f}{\partial R} = -\frac{18\text{кГц}}{\text{мкм}}.$$

4. Цилиндрический резонатор на виде колебаний H_{111}

Резонансная частота цилиндрического объемного резонатора, работающего на виде колебаний H_{111} [2]:

$$f = c \left[\frac{1}{(3,41)^2} + \frac{1}{4l^2} \right]^{0,5} \quad (10)$$

Для чувствительности датчика при изменении его длины l и радиуса R можно получить:

$$\frac{\partial f}{\partial l} = -1,705\text{cal}^{-2} (11,63\alpha^2 + 4)^{-0,5} \quad (11)$$

$$\frac{\partial f}{\partial R} = -0,59\text{cal}R^{-3} (11,63\alpha^2 + 4)^{-0,5} \quad (12)$$

На рабочей частоте датчика равной 10ГГц при $R = 12\text{мм}$, $l = 22,1\text{мм}$ величины соответствующих чувствительностей составят:

$$\frac{\partial f}{\partial R} = -\frac{208\text{кГц}}{\text{мкм}},$$

$$\frac{\partial f}{\partial l} = -\frac{448\text{кГц}}{\text{мкм}}.$$

Проведенный анализ показывает, что для получения максимальной чувствительности датчиков рассматриваемого типа в их колебательной системе целесообразно использовать цилиндрический объемный резонатор, работающий на виде колебаний H_{111} . При одновременном воздействии на длину и радиус такого резонатора разрешающая способность датчика может составлять 0,005мкм. Кроме того, вид колебаний H_{111} является низшим видом в цилиндрическом резонаторе, что существенно упрощает настройку датчика – генератора и позволяет обеспечить его минимальные размеры.

Библиографический список

1. Богомолов И.А., Мерзлов В.С., Ширяев А.В. Микроволновый датчик колебаний с малыми амплитудами. Труды Международного форума по проблемам науки, техники, образования. Под ред. В.П.Савиных, Б.В.Вишневого. – М.:1997 г., с.180–181.
2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Т.1, Техника СВЧ. – М.: Высшая школа, 1972 г., 440с.