Письма в ЖТФ, том 10, вып. 13 12 июля 1984 г.

ЭФФЕКТ РЕЗКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ ОТКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР ВНУТРЕННИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

В.Н. Кошпаренок, П.Н. Мележик,
А.Е. Поединчук, В.П. Шестопалов

Как известно [1], поперечные колебания типа H_{01} круглого цилиндрического резонатора бесконечной длины обладают высокой добротностью. Продольная щель в этом резонаторе, разрывая поперечные токи H_{01}-колебания, приводит к существенным потерям на излучение. Оказывается, дифракционные потери в этом случае в таком открытом резонаторе (ОР) можно компенсировать внутренней неоднородностью – узкой цилиндрической лентой.

Развитая в [3, 4] строгая спектральная теория ОР в виде кругового цилиндра с продольной щелью, внутри которого соосно расположена идеально проводящая цилиндрическая лента (рис. 1, а), позволяет вычислить характеристические числа построенной определенным образом оператор-функции данной краевой задачи, которые определяют действительную ($Re\,\varkappa$) и мнимую ($Jm\,\varkappa$) части собственной частоты поперечных колебаний. Добротность H_{01}-колебания в отсутствие омических потерь определяется по формуле $Q = -\dfrac{Re\,\varkappa}{2Jm\,\varkappa}$, где $\varkappa = \dfrac{2\pi a_2}{\lambda} = ka_2$, a_2 – радиус кругового цилиндра с продольной щелью. Зависимости $Re\,\varkappa$ (пунктир) и логарифма добротности $lg\,Q$ (сплошная линия) H^{01}-колебания в круглом разонаторе со щелью от углового размера внутренней цилиндрической ленты (σ), полученные из точного решения граничной задачи, представлены на рис. 2. Отношение радиуса кривизны ленты a_1 к радиусу цилиндра a_2 фиксировано и равно $\gamma = \dfrac{a_1}{a_2} = 0.8$; угловой размер внешней щели $2\vartheta = 10^{\circ}$. Видно, что при плавном изменении величины $Re\,\varkappa$ зависимость $lg\,Q$ от σ имеет ярко выраженный резонансный характер. При $\sigma = \sigma_p \approx 19^{\circ}$ добротность увеличивается на четыре порядка по сравнению с добротностью пустого щелевого цилиндра. С другой стороны, если $\sigma > \sigma_p$, то, изменяя ориентацию цилиндрической ленты по отношению к внешней щели, получаем уже два максимума добротности при определенных углах поворота ленты δ. На рис. 1 построены зависимости $lg\,Q$ (сплошная линия) и $Re\,\varkappa$ (пунктир) от угла поворота щели (ленты) при фиксированных $\gamma = 0.8$ и $\sigma = 26^{\circ}$. Отметим, что вращение ленты практически не влияет на значение действительной части собственной частоты структуры ($Re\,\varkappa$), в то время как значение добротности при резонансе возрастает на два порядка.

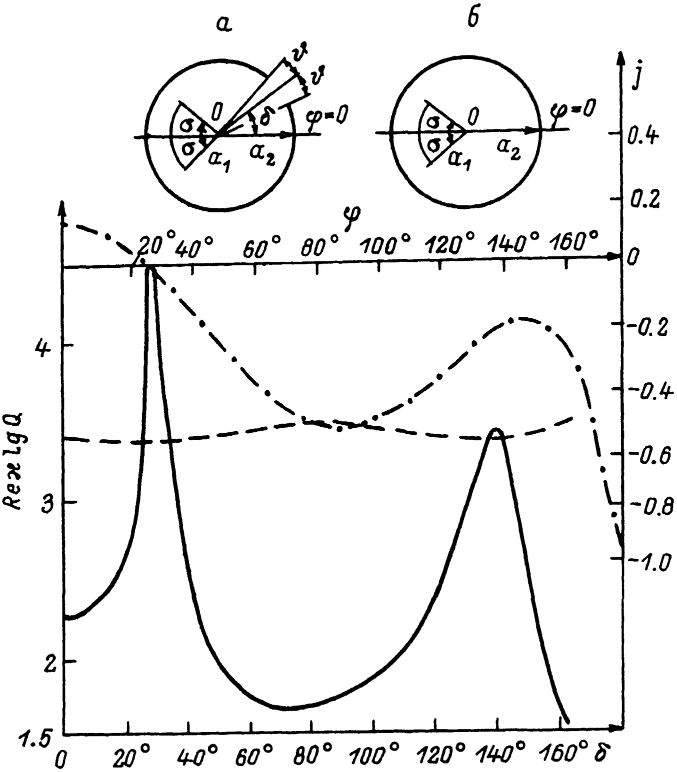

Рис. 1.

Механизм эффекта резкого возрастания добротности в рассмотренной структуре (рис. 1,а) становится ясным после изучения распределения поверхностного тока собственных колебаний закрытого резонатора с внутренней лентой, показанного на рис. 1,б.

Решение спектральной задачи для этого резонатора проводится методом, рассмотренным в [2, 3]. Отличие состоит в том, что соответствующая оператор-функция имеет только действительный дискретный спектр характеристических чисел. Точное решение этой задачи при произвольной геометрии структуры требует применения специального численного алгоритма, обоснованного в [4]. В частном случае узкой ленты удается построить приближенное решение в замкнутом виде. При этом собственную частоту возмущенной лентой H_{01}-колебания в закрытом резонаторе можно вычислить по формуле:

$$\varkappa_{01} \approx \nu'_{01}\left\{1-\gamma(1-\gamma)\left[\frac{\gamma\nu'_{01}\,\mathrm{tg}\,\sigma}{2}\right]^2\right\}+O(\sigma^6), \qquad (1)$$

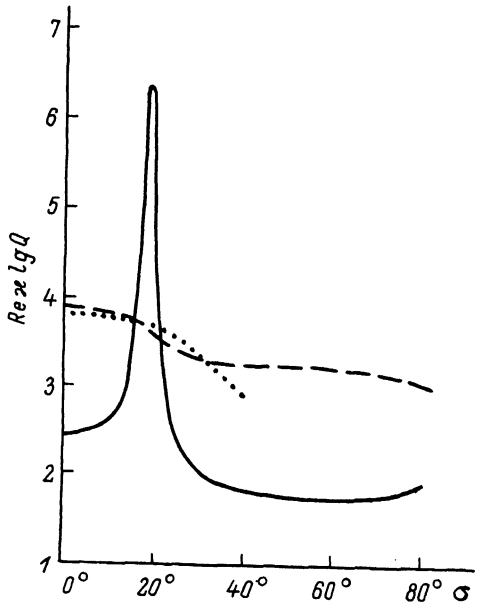

Рис. 2.

где $\varkappa_{01} = ka_2$, $\gamma = \frac{a_1}{a_2}$, σ – угловой размер ленты, ν'_{01} =3.832 – первый корень производной функции Бесселя $J_0(x)$. Расчет по формуле (1) приведен на рис. 2 (точки). В рамках этого же приближения распределение поперечного тока на поверхности цилиндра задается нормированной функцией

$$j(\varphi) \approx 2\varkappa_{01}^2 \left[\frac{1}{\nu_{01}'^2 - \varkappa_{01}^2} + \frac{2\cos(2\varphi)}{\nu_{21}'^2 - \varkappa_{01}^2} \right] - \frac{(1+\gamma)(2\cos\varphi + \gamma)}{1 + 2\gamma\cos\varphi + \gamma^2}, \qquad (2)$$

где ν'_{21} =3.054 – первый корень производной функции Бесселя $J_2(x)$.

Зависимость функции поверхностного тока от координаты при σ=26°, γ=0.8 приведена на рис. 1 (штрих-пунктирная линия); она существенно отличается от постоянного значения амплитуды поверхностного тока H_{01}-колебания полого резонатора. В цилиндре с лентой амплитуда поверхностного тока при некоторых значениях координаты φ имеет минимум или даже обращается в нуль (прорезание продольной щели в области нуля или минимума амплитуды поперечного тока не может внести такого значительного затухания, как в полом цилиндре). Как видно из рис. 1, максимумы добротности колебаний в щелевом цилиндре соответствуют тем значениям угла поворота щели (ленты) δ , которые совпадают со значениями угла φ , в которых амплитуда поверхностного тока замкнутой структуры минимальна. Следовательно, эффект резонансного возрастания добротности щелевого цилиндра вытекает из асимметрии поверхностных токов аналогичной замкнутой структуры.

Таким образом, даже узкая проводящая лента внутри открытого кругового цилиндрического резонатора позволяет существенно снизить потери на излучение низкодобротного H_{01}-колебания.

Л и т е р а т у р а

[1] Е ф и м о в И.Е., Ш е р м и н а Г.А. Волноводные линии передачи, М.: Связь, 1979, 232 с.

[2] Ш е с т о п а л о в В.П. Сумматорные уравнения в современной теории дифракции, Киев: Наукова думка, 1983, 252 с.

[3] П о е д и н ч у к А.Е. Точечный спектр одного класса открытых цилиндрических структур. - Докл. АН УССР, 1983, сер. „А", № 8, с. 53-57.

[4] К о ш п а р е н о к В.Н., М е л е ж и к П.Н., П о е д и н ч у к А.Е., Ш е с т о п а л о в В.П. Численный алгоритм расчета точечного спектра одного класса открытых цилиндрических структур. - Докл. АН УССР, 1983, сер. „А", № 2, с. 55-58.

Институт радиофизики
и электроники АН УССР,
Харьков

Поступило в Редакцию
11 марта 1984 г.