

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 614.89:537.868

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЕЩЕСТВ

Кунденко Н. П., Черенков А. Д., Кунденко А. Н.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Приведены результаты исследования по возбуждению в отрезке круглого волновода, выполненного в центре плоского зеркала резонатора.

Постановка проблемы. При исследовании электрофизических параметров веществ необходимо переходить к резонансным системам, адекватным рассматриваемому диапазону длин волн – к открытым резонансным системам (ОР). Общий недостаток существующих резонансных систем – это излучение энергии во внешнее пространство, что в итоге приводит к значительному снижению добротности. С укорочением рабочей длины волны будут также уменьшаться и размеры самих резонаторов. Все это делает проблематичным использование открытых диэлектрических резонаторов в коротковолновой части миллиметрового и, тем более, в субмиллиметровом диапазонах длин волн.

Анализ последних исследований и публикаций. В миллиметровом диапазоне длин волн ОР является высокочувствительным инструментом для измерения электрофизических характеристик веществ [1, 2, 3]. Благодаря применению полусферической геометрии резонатора устраняются ошибки, связанные с определением углового положения образца, поскольку последний в этом случае помещается на плоское зеркало ОР [3]. Образец должен располагаться в максимуме электрической компоненты поля стоячей волны в резонаторе. Это связано с необходимостью обеспечить наибольшую точность измерений. При этом одним из основных условий применимости метода ОР для измерения электрофизических характеристик веществ являются малые потери мощности в измеряемом образце, так как только в этом случае ОР с образцом остается высокодобротной резонансной системой, и сохраняются все преимущества такого метода измерений

Цель статьи. Провести как теоретические, так и экспериментальные исследования по возбуждению в отрезке круглого волновода, выполненного в центре плоского зеркала резонатора, волны TM_{01} с помощью колебания TEM_{01q} .

Основные материалы исследования. Рассмотрим задачу о возбуждении волны TM_{01} в отрезке круглого волновода, выполненного в центре одного из зеркал ОР, с помощью колебания TEM_{01q} . Предполагаем, что апертуры зеркал резонатора бесконечны и коэффициент отражения от раскрытия круглого волновода равен нулю. Запишем выражение для поперечных составляющих электрического поля волны TM_{01} ($m = 0, n = 1$)

$$\dot{E}_\rho = \frac{i\beta}{\gamma_\perp} E_{0z} J_1(\gamma_\perp \rho). \quad (1)$$

Теперь выпишем соотношение для амплитудного распределения напряженности электрического поля колебания TEM_{01q} в плоскости $Z = 0$, которое в цилиндрической системе координат имеет вид

$$E_e(x, y) = A_{01} \frac{\sqrt{2} \rho}{w_0} \exp\left(-\frac{\rho^2}{w_0^2}\right) \sin\phi, \quad (2)$$

где A_{01} – амплитудный коэффициент,

w_0 – радиус пятна поля основного колебания TEM_{00q} ОР в плоскости $Z = 0$.

Как известно из теории зеркальных антенн, для получения высокого коэффициента использования поверхности (КИП) необходимо обеспечить согласование полей в фокальной плоскости рефлектора и в раскрытии антенного облучателя. С физической точки зрения это тоже самое, что согласовать поле возбуждаемого в ОР колебания с полем волноводной волны, распространяющейся, в данном случае, по отрезку круглого волновода, выполненного в центре одного из зеркал резонатора. Теперь запишем выражение, которое будет определять эффективность возбуждения волны TM_{01} в круглом волноводе с помощью колебания ОР TEM_{01q}

$$\eta = \frac{128}{\pi^2} \tilde{a}^4 \frac{\left| \int_0^1 u^2 \exp(-u^2 \tilde{a}^2) J_1(2,405 u) du \right|^2}{(J_2(2,405))^2}. \quad (3)$$

В качестве следующего шага оценим эффективность возбуждения волны TM_{01} в круглом волноводе с помощью колебания TEM_{01q} ОР, когда учитывается векторный характер электромагнитного поля. Запишем выражение (1) с учетом ориентации вектора E_w в волне TM_{01}

$$E_w = B_{01} J_1(\gamma_\perp \rho) \rho_0, \quad (4)$$

где $B_{01} = i\beta E_{0z} / \gamma_\perp$.

Теперь выпишем соотношение для амплитудного распределения напряженности электрического поля колебания TE_{01q} в плоскости $Z = 0$, которое в декартовой системе координат с учетом векторного характера электромагнитного поля имеет вид

$$E_e(\rho, \phi) = A_{01} \frac{\sqrt{2} \rho}{w_0} \exp\left(-\frac{\rho^2}{w_0^2}\right) \left(\rho_0 \cos^2 \phi - \phi_0 \frac{1}{2} \sin 2\phi\right). \quad (5)$$

По аналогии с тем, как мы это делали выше, вычислим квадраты норм функций возбуждающего и рабочего полей. В качестве следующего шага рассмотрим соотношение, которое после подстановки в него значений $E_e(\rho, \phi)$ и $E_w(\rho, \phi)$ примет вид

$$\eta(\rho, \phi) = A_{01}^2 B_{01}^2 \frac{2}{w_0^2} \pi^2 \left| \int_0^a \rho^2 \exp\left(-\frac{\rho^2}{w_0^2}\right) J_1(\gamma_\perp \rho) d\rho \right|^2. \quad (6)$$

Запишем выражение, которое будет определять эффективность возбуждения волны TM_{01} в круглом волноводе с помощью колебания ОР TE_{01q} .

$$\eta = 8 \tilde{a}^4 \frac{\left| \int_0^1 u^2 \exp(-u^2 \tilde{a}^2) J_1(2,405 u) du \right|^2}{(J_2(2,405))^2}. \quad (7)$$

Нетрудно заметить, что и в этом случае имеет место явно выраженный максимум эффективности возбуждения рассматриваемой волны в круглом волноводе при изменении его радиуса a с помощью колебания TE_{01q} открытой резонансной системы. И величина η достигает максимального значения, равного 0,418, при том же самом значении $\tilde{a} = 1,433$. Однако, при оценке эффективности возбуждения волны в волноводе всегда необходимо учитывать векторный характер электромагнитного поля. Поскольку рассмотрение только амплитудного распределения полей приводит к завышенному значению эффективности возбуждения волноводной волны.

Как показано в работах [4, 5] при возбуждении волны TE_{01} в отрезке круглого волновода, выполненного в центре одного из зеркал ОР и содержащего поршень, происходит преобразование колебания резонансной системы TE_{01q} в аксиально-симметричное колебание TE_{01q} .

Получим в окончательном виде выражение для эффективности возбуждения волны TM_{01} в круглом волноводе с помощью колебания ОР TE_{01q} ("воловоый глаз"). Результаты расчета по формуле показывают, что в этом случае эффективность возбуждения рассматриваемой волноводной волны стала существенно выше. При этом, как и в предыдущих случаях, имеется явно выраженный максимум по η , который имеет значение равное 0,835 при $\tilde{a} = 1,433$.

$$\eta = 16 \tilde{a}^4 \frac{\left| \int_0^1 u^2 \exp(-u^2 \tilde{a}^2) J_1(2,405 u) du \right|^2}{(J_2(2,405))^2}, \quad (8)$$

где, как и выше, $u = \rho/a$, $\tilde{a} = a/w_0$.

Выводы. В данной работе проведено изучение особенностей возбуждения волны TM_{01} в отрезке круглого волновода, выполненного в центре одного из зеркал резонатора, с помощью первого высшего неаксиально-симметричного колебания TE_{01q} . Поскольку задачи электродинамики обладают принципом взаимности, то можно утверждать, что с эффективностью равной 0,835 волноводная волна TM_{01} будет возбуждаться в резонансной системе аксиально-симметричное колебание TE_{01q} при указанном выше диаметре круглого волновода.

Список использованных источников

1. Afsar M. N. Millimeter – wave dielectric measurement of materials / M. N. Afsar, K. Button // Proc. of the IEEE. – 1985. – Vol. 73, No. 1. – P. 131–153.
2. Кунденко Н. П. Исследование открытой резонансной системы с отрезком круглого волновода / Н. П. Кунденко, А. Д. Черенков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/5 (57). – С. 10-13.
3. Кунденко Н. П. Анализ характеристик открытого резонатора для измерения диэлектрической проницаемости жидких биологических веществ / Н. П. Кунденко // Вісник національного технічного університету "ХПІ". – 2012. – Вип. 26/2012. – С. 50–55.
4. Kuzmichev I. K. An open resonator for physical studies / I. K. Kuzmichev, P. N. Melezhik, A.Ye. Poyedinchuk // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. - 2006. – Vol. 27, No. 6. – P. 857-869.
5. Попков А. Ю. Открытый резонатор с отрезком круглого волновода: расчет и эксперимент / А. Ю. Попков, И. К. Кузьмичев // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009. – Т. 14. - № 4. – С. 425-432.

Анотація

ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНОГО РЕЗОНАТОРА В СИСТЕМАХ ВИМІРУ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЧОВИН

Кунденко М. П., Черенков О. Д., Кунденко О. М.

Приведені результати дослідження по збудженню у відрізки круглого хвилеводу, виконаного в центрі плоского дзеркала резонатора.

Abstract

USE OF THE OPTICAL RESONATOR IN COUNT SYSTEMS OF ELEKTROFIZICHESKY OF PARAMETERS OF SUBSTANCES

N. Kundenko, A. Cherenkov, A. Kundenko

Research results are resulted on excitation in the segment of round waveguide, executed in a center the flat mirror of resonator.