

ВПЛИВ ЕМП ТА ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

УДК 621.374

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТКРЫТОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ БИООБЪЕКТА, НАХОДЯЩЕГОСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭМП

Косулина Н. Г.¹, Черенков А. Д.¹, Чёрная М. А.¹, Янукович Г. Й.²

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко,

²Белорусский аграрный технический университет

В работе проведен теоретический анализ открытой электродинамической системы, представляющей собой симбиоз открытого резонатора и отрезка прямоугольного волновода.

Постановка проблемы. Для измерения хемилюминесценции биологических материалов, кювету необходимо облучать электромагнитным полем (ЭМП). В миллиметровом (мм) диапазоне длин волн для этих целей целесообразно использовать резонаторы, поскольку одномодовые волноводы имеют малые поперечные размеры.

Однако здесь возникает ряд трудностей. Помещение кюветы с биообъектами в резонансный объем приведет к сдвигу частоты. В этом случае при перестройке частоты задающего генератора в резонаторе может возбудиться другой тип колебаний, что в итоге исказит результаты измерений.

Анализ последних достижений. Хорошо известно, что открытые резонаторы (ОР) находят широкое применение в различных областях науки и техники [1].

Отличительной особенностью таких резонансных систем являются их геометрические размеры, которые значительно превышают рабочую длину волны.

Кроме того, связь с внешним пространством обеспечивает дополнительную селекцию спектра. Задача по измерению сверхслабого свечения семян с помощью ОР сродни вопросу определения электрофизических свойств различных материалов.

В мм диапазоне с помощью метода ОР исследуются, как правило, только плоские образцы, которые располагаются перпендикулярно оси, либо на поверхности одного из зеркал, либо в области перетяжки, где фазовый фронт гауссова пучка плоский.

Однако они не решают задачу исследования кюветы с биологическим материалом, которая должна помещаться в область с одной и той же напряженностью ЭМП и не приводить к сильному возмущению колебания ОР.

Цель статьи. Теоретический анализ открытой электродинамической системы для измерения хемилюминесценции биологических материалов.

Основные материалы исследования. Будем рассматривать полусферический ОР, в центре плоского зеркала которого расположен прямоугольный волновод. Волна TE_{10} возбуждается в нем с помощью колебания TEM_{00q} . Отражением от раскрытия прямоугольного волновода пренебрегаем, а апертуры зеркал резонатора считаем бесконечными. Геометрические

параметры резонатора и амплитудное распределение возбуждающего поля $\vec{E}_e(x, y)$ приведены на рис. 1.

Прямоугольный волновод ориентирован таким образом, что вектор напряженности электрического поля $\vec{E} = E_y \vec{y}_0$ волны TE_{10} , которая возбуждается с помощью колебания ОР, перпендикулярен плоскости рисунка.

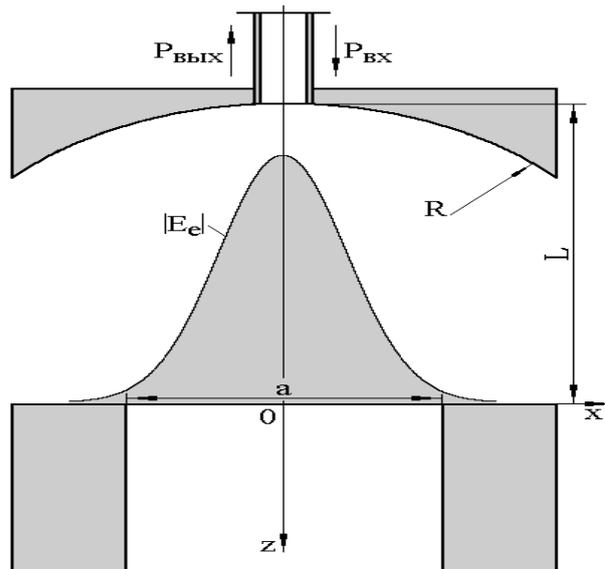


Рисунок 1 – Полусферический ОР с отрезком прямоугольного волновода

Учитывая, что колебание в резонаторе линейно поляризовано таким образом, что вектор \vec{E}_e перпендикулярен плоскости рисунка 1, можем записать распределение электрической компоненты возбуждающего поля в плоскости $z=0$, которое представляет собой основной тип колебаний ОР TEM_{00q} :

$$\vec{E}_e(x, y) = A_{00} \exp\left[-(x^2 + y^2)/w_0^2\right] \vec{y}_0, \quad (1)$$

где A_{00} – амплитудный коэффициент, w_0 – радиус пятна поля основного колебания на плоском зеркале резонатора.

Распределение электрической компоненты поля волны TE_{10} в прямоугольном волноводе сечением $a \times b$ в плоскости $z=0$ запишем в виде:

$$\vec{E}_w(x, y) = \vec{E}_{10}(x, y, 0) = C_0 \frac{1}{N_{10}} \left(\frac{\pi}{a} \cos \frac{\pi x}{a} \vec{y}_0 \right), \quad (2)$$

где $C_0 = ik_0 W_0 \mu_0$,

$$k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}, \quad W_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 120\pi,$$

$$N_{10} = (\pi/a) \sqrt{ab/2} - \text{константа нормировки.}$$

Как видно из приведенных формул, ориентации векторов напряженностей электрических полей в возбуждающем колебании и волне TE_{10} в прямоугольном волноводе, выполненном в центре плоского зеркала ОР (см. рис. 1), совпадают.

Из теории зеркальных антенн [2] известно, что для получения высокого коэффициента использования поверхности (КИП) η необходимо согласовать поля в фокальной плоскости рефлектора и в раскрыве облучателя.

С физической точки зрения это аналогично согласованию поля резонатора с полем волны, распространяющейся по волноводу, расположенному в центре плоского зеркала ОР.

Поэтому, чтобы определить эффективность возбуждения волны TE_{10} в прямоугольном волноводе с помощью колебания TEM_{00q} ОР, воспользуемся представлениями (1), (2) и соотношением [3]:

$$\eta = \frac{\left| \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \vec{E}_e(x, y) \vec{E}_w^*(x, y) dx dy \right|^2}{\|\vec{E}_e(x, y)\|^2 \|\vec{E}_w(x, y)\|^2}. \quad (3)$$

В результате преобразований было получено выражение для величины η :

$$\eta = \frac{4\pi}{\tilde{a}\tilde{b}} \Phi^2 \left(\frac{\tilde{b}}{2} \right) \times \left| e^{-(\pi/2\tilde{a})^2} + j \frac{e^{-(\tilde{a}/2)^2}}{2} \left[W^* \left(\frac{\pi}{2\tilde{a}} + i \frac{\tilde{a}}{2} \right) - W \left(\frac{\pi}{2\tilde{a}} + i \frac{\tilde{a}}{2} \right) \right] \right|^2, \quad (4)$$

$$\text{где } \tilde{a} = a/w_0, \quad \tilde{b} = b/w_0.$$

Расчеты по формуле 4 показывают, что при $\tilde{a} = 2,844$ и $\tilde{b} = 1,980$ эффективность возбуждения волны TE_{10} в прямоугольном волноводе, расположенном в центре плоского зеркала ОР, с помощью основного колебания резонатора TEM_{00q} максимальна и равна 0,881.

Выводы. Таким образом, проведенные исследования показали, что в отрезке прямоугольного волновода, выполненного в центре одного из зеркал ОР, с эффективностью $\approx 90\%$ возбуждается основная волноводная волна с помощью колебания TEM_{00q} ОР. Поскольку почти вся мощность идет на возбуждение

этой волны, то такая открытая электродинамическая система должна иметь одночастотный отклик в широкой полосе частот.

При этом сам волновод является сверхразмерным с поперечными размерами $\tilde{a} = 2,844$ и $\tilde{b} = 1,980$. Поэтому такая система идеально подходит для измерения сверхслабого свечения биологического материала при его облучении ЭМП мм диапазона.

Кроме того, учитывая поперечные размеры волновода, довольно просто решается задача о размещении кюветы с материалом в области с одной и той же напряженностью ЭМП.

Список использованных источников

1. Шестопалов В. П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники: в 2 т. / В. П. Шестопалов. – К.: Наукова думка, 1985. – Т. 2: Источники. Элементная база. Радиосистемы. 1985. – 256 с.
2. Kay A. F. Near – field gain of aperture antennas / A. F. Kay // IRE Trans. on Antennas and Propagation. – 1960. – Vol. 8, No. 6. – P. 586 – 593.
3. Kuzmichev I. K. Excitation efficiency of quasioptical resonance systems / I. K. Kuzmichev // Telecommunications and Radio Engineering. – 2009. – Vol. 68, No. 1. – P. 49 – 63.

Анотація

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВІДКРИТОЇ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРУ ХЕМІЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ БІОБ'ЄКТУ, ЩО ПЕРЕБУВАЄ ПІД ВПЛИВОМ ЕМП

Косуліна Н. Г., Черенков О. Д.,
Чорна М. О., Янукович Г. Й.

У роботі проведений теоретичний аналіз відкритої електродинамічної системи, що є симбіозом відкритого резонатора і відрізка прямокутного хвилеводу.

Abstract

THEORETICAL ANALYSIS OF OPEN ELECTRODYNAMIC SYSTEM OF MEASURING OF CHEMILUMINESCENCE FOR DISTANCE DIAGNOSTICS OF BIOBJECT UNDER ACT OF EMF

N. Kosulina, A. Cherenkov, M. Chorna,
G. Yanukovich

A theoretical analysis is in-process conducted of the open electrodynamic system, being symbiosis of open resonator and segment of rectangular waveguide.