

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

УДК 621.374

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

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.

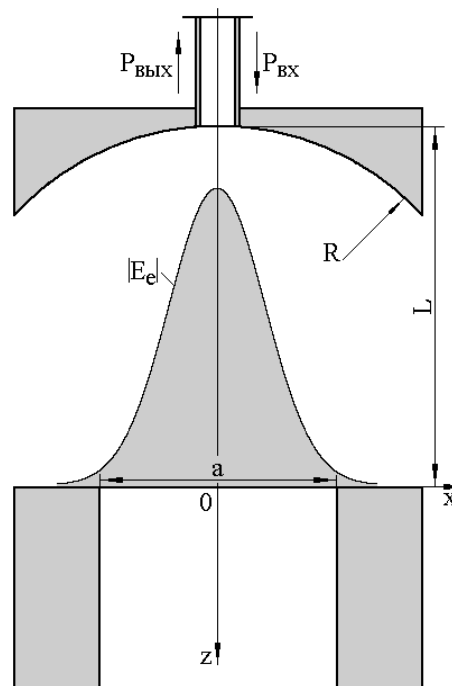


Рисунок 1 – Полусферический ОР с отрезком прямоугольного волновода

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 $C_0 = ik_0 W_0 \mu_0$,

$$k_0 = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}, \quad W_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} = 120\pi,$$

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

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

ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ХЕМИЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

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 хвильоводу.

Abstract

ELECTRODYNAMIC SYSTEM FOR MEASURING OF CHEMILUMINESCENCE BIOLOGICAL MATERIALS

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.