

TOTAL INTERNAL REFLECTION ON THE BOUNDARY OF FERRITE - DIELECTRIC

Glushchenko A.¹, Glushchenko E.², Bondarenko A.³, Muzicantov D.⁴

ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ НА ГРАНИЦЕ ФЕРРИТ - ДИЭЛЕКТРИК

Глущенко А. Г.¹, Глущенко Е. П.², Бондаренко А. И.³, Музыкантов Д. В.⁴

¹Глущенко Александр Григорьевич / Glushchenko Alexander - доктор физико-математических наук, профессор;

²Глущенко Евгения Павловна / Glushchenko Evgenija - кандидат физико-математических наук, доцент;

³Бондаренко Артем Игоревич / Bondarenko Artem – студент;

⁴Музыкантов Дмитрий Валерьевич / Muzicantov Dmitry – студент,

кафедра физики, факультет базового телекоммуникационного образования,

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара

Аннотация: рассмотрены особенности эффекта полного внутреннего отражения на границе раздела феррит – диэлектрик. Показано, что эффект полного внутреннего отражения на границе раздела феррит – диэлектрик для волн, падающих с разных сторон, наблюдается в разных диапазонах частот и разных полях намагничивания. Эффект полного внутреннего отражения на границе феррит - диэлектрик наблюдается в областях ниже и выше ферромагнитного резонанса, на границе диэлектрик - феррит – вблизи области поперечного ферромагнитного резонанса. Представлены результаты расчета зависимости угла полного внутреннего отражения от величины внешнего магнитного поля.

Abstract: the peculiarities of the effect of total internal reflection at the interface between the ferrite - dielectric. It is shown that the effect of total internal reflection at the interface between the ferrite - dielectric for waves incident from different angles observed in different frequency ranges and different fields of magnetization. The effect of total internal reflection at the boundary of ferrite - dielectric is observed in the areas above and below the ferromagnetic resonance on a dielectric - ferrite - near the cross of the ferromagnetic resonance. The results of the calculation according to the angle of total internal reflection from the external magnetic field.

Ключевые слова: феррит, диэлектрик, эффект полного внутреннего отражения.

Keywords: ferrite, dielectric, the effect of total internal reflection.

Введение. При переходе волн из более плотной среды в менее плотную среду может наблюдаться эффект полного внутреннего отражения [1-4], получивший широкое применение в построении оптических линий связи. Эффект заключается в полном отражении падающих на границу раздела сред волн при условии, что угол падения превосходит некоторый критический угол, называемый предельным углом полного внутреннего отражения [2]. Этот эффект объясняет многие оптические и акустические явления, наблюдающиеся в природе и является основой работы волоконных оптических линий связи. Угол полного внутреннего отражения на границе раздела сред определяется отношением скоростей волн в граничащих средах и его дисперсия обычно не рассматривается. Однако в общем случае дисперсионные свойства граничащих сред в определенных условиях существенно влияют на характер эффекта [3]. В настоящей работе рассматриваются особенности угла полного внутреннего отражения на границе раздела феррит – диэлектрик, связанные с дисперсионными свойствами ферритов, широко применяемых в магнитооптике. Показано, что эффект полного внутреннего отражения зависит от внешнего поля подмагничивания и направления падения волн.

1. Рассмотрим сначала падение Н волны в области подмагниченного вдоль оси Oz феррита (характеризуемого изотропной диэлектрической проницаемостью ϵ_f и тензором магнитной

проницаемости $\|\mu\|$ [1]:

$$\|\mu\| = \begin{bmatrix} \mu & -i\mu_a & 0 \\ i\mu_a & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{||} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

с компонентами тензора: $\mu = 1 - \frac{\omega_H \omega_M}{\omega^2 - \omega_H^2}$, $\mu_a = \frac{\omega \omega_M}{\omega^2 - \omega_H^2}$, $\mu_z = 1$, $\omega_M = \gamma M_S$,

M_S – величина намагниченности, $\omega_H = \gamma H_0 = \frac{ge}{2mc} H_0$ – частота резонанса, H_0 – величина поля подмагничивания, $g \approx 2$ – фактор спектроскопического расщепления) под углом θ на границу раздела (рис.1а) с изотропным диэлектриком с параметрами диэлектрической проницаемости ϵ_2 и магнитной проницаемости (для диэлектрика $\mu_2 = 1$).

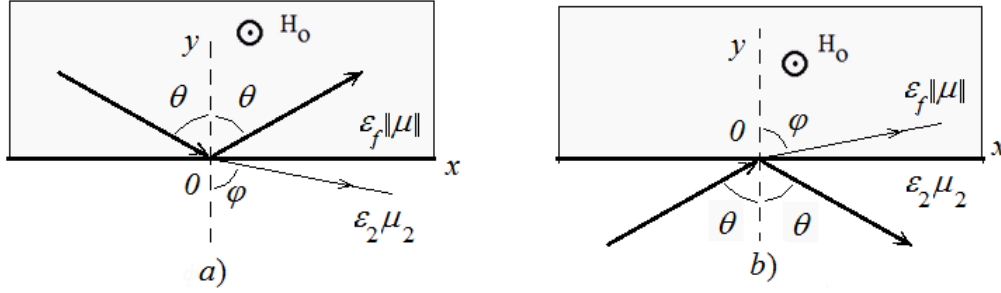


Рис. 1. Прохождение луча через границу феррит-диэлектрик

Из уравнений Максвелла следует, что волновые уравнения $H(H_x, H_y, E_z)$ волн для компонент E_z в подмагниченном вдоль оси Oz феррите и в диэлектрике имеют вид:

$$(2) \quad \frac{\partial^2 E_{z1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_{z1}}{\partial y^2} + k_0^2 \epsilon_f \mu_{\perp} E_{z1} = 0, \quad \frac{\partial^2 E_{z2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_{z2}}{\partial y^2} + k_0^2 \epsilon_2 \mu_2 E_{z2} = 0,$$

где $\mu_{\perp} = \frac{\mu^2 - \mu_a^2}{\mu}$ – поперечная магнитная проницаемость. Учет граничных условий в плоскости

раздела сред $E_{z1}(y=0) = E_{z2}(y=0)$ приводит к обобщенному соотношению Снеллиуса, связывающему углы падения θ , преломления φ и параметры граничащих сред, которое (рис. 1а) можно представить в виде:

$$\frac{\sin \theta}{\sin \varphi} = \frac{\sqrt{\epsilon_2 \mu_2}}{\sqrt{\epsilon_f \mu_{\perp}}} \quad \text{или} \quad \frac{\sin \theta}{\sin \varphi} = \frac{\sqrt{\epsilon_2 \mu_2 \mu}}{\sqrt{\epsilon_f (\mu^2 - \mu_a^2)}}$$

Полное внутреннее отражение наблюдается при $\varphi \rightarrow \pi/2$. В этом случае угол полного внутреннего отражения для границы феррит-диэлектрик определяется соотношением:

$$\theta_{crfd} = \arcsin \left(\sqrt{\frac{\epsilon_2 \mu_2}{\epsilon_f \mu_{\perp}}} \right) = \arcsin \sqrt{\frac{\epsilon_2 \mu_2}{\epsilon_f} \frac{\omega^2 - (\omega_H + \omega_M) \omega_H}{\omega^2 - (\omega_H + \omega_M)^2}}, \quad (2)$$

$$\text{где } \mu_{\perp} = \frac{\mu^2 - \mu_a^2}{\mu} = \frac{\omega^2 - (\omega_H + \omega_M)^2}{\omega^2 - (\omega_H + \omega_M)\omega_H} \quad [1]. \text{ Полное внутреннее отражение наблюдается}$$

при условии $\epsilon_f \mu_{\perp} > \epsilon_2 \mu_2$ в области прозрачности феррита (в областях частот вне области ферромагнитного резонанса (ФМР) $\omega < \sqrt{\omega_H(\omega_H + \omega_M)}$, $\omega > \omega_H + \omega_M$ (рис. 2)).

2. Если волна падает из диэлектрика на границу раздела с ферритом (рис. 1б) угол полного внутреннего отражения определяется в виде:

$$\theta_{crdf} = \arcsin\left(\sqrt{\frac{\epsilon_1 \mu_{\perp}}{\epsilon_2 \mu_2}}\right) = \arcsin\sqrt{\frac{\epsilon_f}{\epsilon_2 \mu_2} \frac{\omega^2 - (\omega_H + \omega_M)^2}{\omega^2 - (\omega_H + \omega_M)\omega_H}} \quad (3)$$

и полное внутреннее отражение наблюдается при выполнении соотношения $\epsilon_2 \mu_2 > \epsilon_f \mu_{\perp}$ (при $\mu_{\perp} > 0$) в другой области частот (или полей подмагничивания). На рис. 2 показаны значения угла полного внутреннего отражения для одной и той же границы раздела сред феррит-диэлектрик для волн, падающих на границу со стороны феррита (кривые 1, 3) и волн, падающих на границу раздела с другой стороны - со стороны диэлектрика (кривые 2, 4) при разных соотношениях диэлектрических постоянных граничащих сред ϵ_f / ϵ_2 .

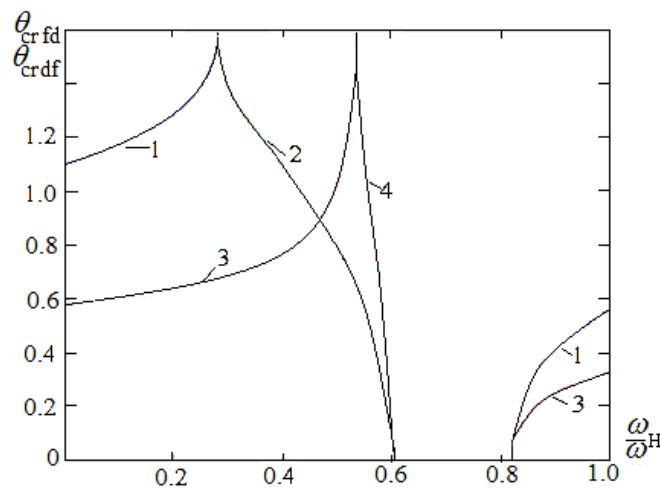


Рис. 2. Зависимость углов полного внутреннего отражения на границе феррит-диэлектрик (1- $\epsilon_f / \epsilon_2 = 1,5$, 3- $\epsilon_f / \epsilon_2 = 4$) и на границе диэлектрик-феррит (2- $\epsilon_f / \epsilon_2 = 1,5$, 4- $\epsilon_f / \epsilon_2 = 4$) от параметра ω_H / ω

Выводы. Эффект полного внутреннего отражения в дисперсных средах имеет ярко выраженную частотную зависимость, области отсечки. На границе феррит-диэлектрик при отражении во взаимно противоположных направлениях эффект ПВО проявляется в различных полях подмагничивания (при заданной частоте) или в различных диапазонах частот (при фиксированном поле подмагничивания).

Литература

1. Гуревич А. Г. Ферриты на СВЧ.- М.: Физматгиз, 1960. - 720 с.
2. Волоконно-оптические датчики. Под ред. Э. Удда 2008. -526 с.
3. Глуценко А. Г., Глуценко Е. П., Жуков С. В., Агаповичева А. Эффект полного внутреннего отражения на границе намагниченной плазмы // Успехи современной науки и образования, 2016. № 12. Т. 8. С. 114-116.
4. Глуценко А. Г., Глуценко Е. П., Устинова Е. С. Невзаимные волновые процессы // European research, 2015. № 10 (11). С. 9.