

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

В.Г. Мадриченко, А.М. Масленников

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Измерение напряженности магнитного поля является актуальной задачей, которая находит применение в различных областях человеческой деятельности. Измерение поля требуется для контроля различных параметров, в том числе окружающей среды, параметров различных приборов.

Использование оптических и волоконно-оптических датчиков магнитного поля носит целый ряд преимуществ. Основными из них являются отсутствие электропитания, взрывопожаробезопасность, помехозащищенность, высокая чувствительность и миниатюрность чувствительного элемента.

Задачу измерения напряженности магнитного поля обычно решают использованием нескольких физических эффектов: эффекта Фарадея (эффект поворота плоскости поляризации света под действием магнитного поля), эффекта магнитоотрицательности (эффект удлинения оптической среды, в которой распространяется свет, за счет изменения размеров магнитоотрицательного материала под действием магнитного поля), эффекта отклонения проводника с током в магнитном поле под действием магнитного поля за счет силы Лоренца [1].

В работе рассмотрен способ измерения магнитного поля с помощью эффекта Фарадея. Эффект Фарадея или эффект кругового магнитного двулучепреломления - один из эффектов магнитооптики, заключающийся в повороте плоскости поляризации линейно поляризованной электромагнитной волны при ее прохождении через продольно намагниченную среду. Вследствие этого волны, поляризованные по правому и левому кругу, распространяются в веществе с разными фазовыми скоростями, и при прохождении ими в веществе некоторого расстояния  $l$  между ними появляется разность фаз. Кроме того, плоскость поляризации результирующей поляризованной волны поворачивается на угол:

$$\theta = V_v \int H dl, \quad (1)$$

где  $V_v$  - постоянная Верде;  $L$  - длина оптического волокна, на которое воздействует поле;  $H$  - напряженность магнитного поля.

Эффект Фарадея довольно хорошо проявляется в магнитооптических кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_4\text{Ge}_7\text{O}_{12}$ ,  $\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ . Рассмотрим схему для регистрации магнитного поля на основе магниточувствительного кристалла, представленную на рис. 1.

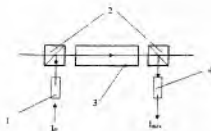


Рис. 1. Оптическая схема чувствительного элемента проходного типа: 1, 4 – градиентные линзы; 2 – поляризационные делительные кубитки; 3 – магнитооптический кристалл;  $I_0$ ,  $I_{\max}$  – интенсивность света на входе и выходе соответственно

Для описания свойств света на выходе данной системы используется формализм матриц Джонса. Интенсивность света на выходе данной измерительной системы будет определяться [2]

$$I = A^{\dagger} * A, \quad (2)$$

где  $A$  – матрица описывающая состояние поляризации на выходе оптической схемы; где  $A^{\dagger}$  – транспонированная матрица  $A$ .

Матрица состояний поляризации данной системы имеет следующий вид:

$$A = R(\alpha) * P * R(-\alpha) * R(\varphi) * M * R(-\varphi) * R(\gamma) * P * R(-\gamma) * \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}$  – матрица, описывающая входной свет;

$R = \begin{pmatrix} \cos\vartheta & \sin\vartheta \\ -\sin\vartheta & \cos\vartheta \end{pmatrix}$  – матрицы поворота на определенный угол  $\vartheta$ ;

$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  – матрица Джонса для поляризатора;

$M = \begin{pmatrix} \cos(mL) + i \frac{\beta}{m} \sin(mL) & \frac{\epsilon}{m} \sin(mL) \\ -\frac{\epsilon}{m} \sin(mL) & \cos(mL) - i \frac{\beta}{m} \sin(mL) \end{pmatrix}$  – матрица

Джонса для магнитооптического кристалла;

$m = \sqrt{c^2 + \beta^2} = \sqrt{(\theta + V * H)^2 + \beta^2}$  – коэффициент двулучепреломления;

$\theta$  – коэффициент собственного кругового двулучепреломления;

$\beta$  – коэффициент линейного двулучепреломления;

$L$  – длина кристалла;

$\alpha, \varphi, \gamma$  – углы между кристаллическими осями оптических элементов и осями  $OX$  и  $OY$ .

Тогда интенсивность света на выходе оптической системы определяется из выражения

$$I = \frac{1}{m^2} (\beta^2 \cos^2(\alpha') - \beta^2 \cos^2(Lm) \cos^2(\alpha') + c^2 \sin^2(Lm) \sin^2(\alpha') - 2cm * \cos(Lm) \sin(Lm) \cos(\alpha') \sin(\alpha') + m^2 \cos^2(Lm) \cos^2(\alpha')),$$

(4)

где  $\alpha'$  — угол между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов.

Подбирая угол  $\alpha'$  можно добиться увеличения чувствительности оптической схемы к магнитному полю. На рис. 2 представлена зависимость выходной интенсивности от угла  $\alpha'$ , для напряженности магнитного поля  $H = 1000 \text{ A/м}$ .

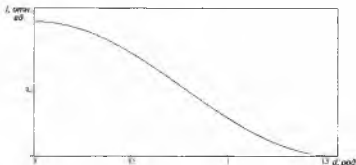


Рис. 2. Зависимость выходной интенсивности от угла  $\alpha'$  для напряженности магнитного поля  $H = 1000 \text{ A/м}$

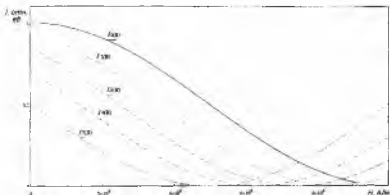


Рис 3 Зависимость интенсивности света на фотоприемнике от напряженности магнитного поля для различных углов между поляризаторами: J1(B) для 0 градусов, J2(B) для  $\alpha' = 13$  градусов, J3(B) для  $\alpha' = 23$  градусов, J4(B) для  $\alpha' = 33$  градусов, J5(B) для  $\alpha' = 45$  градусов

Зависимость интенсивности проходящего света от напряженности магнитного поля представлена на рис. 3. Можно сделать вывод, что увеличение угла между разрешенными направлениями входного и выходного поляризаторов приведет к уменьшению диапазона измеряемых магнитных полей.

Приведенная математическая модель описывает измерение магнитного поля в широких диапазонах напряженности, однако использование однопроходной измерительной схемы не позволяет добиться высокой чувствительности, одним из вероятных способов получения более чувствительных датчиков магнитного поля является использование многопроходных оптических схем.

#### Список использованных источников

1. H. Sohlstrom "Fibre Optic Magnetic Field Sensors Utilizing Iron Garnet Materials". Royal Institute of Technology, Stockholm, 1993.158 p.
2. А. Ярич, П. Ю. Оптические волны в кристаллах. Пер. с англ.—М.: Мир. 1987.—616 с.: ил.

## ТЕЛЕВИЗИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Б.В. Скворцов, С.А. Борминский, А.Н. Малышева-Стройкова  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Дистанционные измерения геометрических параметров профильных объектов (ГППО) актуальны, так позволяют оценивать размеры изделий без механического контакта с ними, в том числе в труднодоступных местах, а также в процессе их производства. Широко известны оптические методы, связанные с проецированием изделий на шаблоны и применением дорогостоящей оптики с метрологическими штрихами.

Также известные телевизионные устройства для измерения геометрических параметров объектов, в том числе труб, содержащие телекамеру и устройства обработки, основанные на формировании изображения контролируемого объекта на поверхности ПЗС матрицы