

2. S. Mulder, Loss formulas for power ferrites and their use in transformer design. Philips Components, 1994.

УДК 621.317

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОКАСКАДНОГО МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ПРОДОЛЬНОГО ЭФФЕКТА ФАРАДЕЯ

В.Д. Паранин, Л.И. Сеницын  
Самарский университет, г. Самара

Для измерения электрических и магнитных полей перспективными являются магнитооптические датчики, действие которых основано на продольном магнитооптическом эффекте Фарадея [1-5]. Схема магнитооптического датчика с однопроходным чувствительным элементом в виде магнитооптической плёнки показана на рисунке 1. При прохождении через поляризатор  $\Pi$  свет от источника излучения становится линейно поляризованным с азимутальным углом  $\gamma_1$ . Магнитооптическая плёнка железо-иттриевого граната (ЖИГ) поворачивает плоскость поляризации излучения на угол  $\gamma_2$ . На выходе схемы установлен анализатор с азимутальным углом  $\gamma_3$ , преобразующий вращение плоскости поляризации в изменение интенсивности.

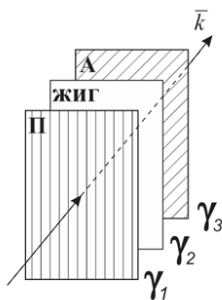


Рисунок 1 – Однокаскадная схема проходящего типа «поляризатор – магнитооптическая плёнка ЖИГ – анализатор»

В качестве метода расчёта такой системы используется метод матриц Джонса, применимый для полностью поляризованного входного излучения. В рамках метода Джонса оперируют со столбцом Максвелла, элементы которого определяют амплитуды и фазы поперечных компонент электрического вектора электромагнитного поля.

Если отклик среды на воздействие электромагнитного поля линеен, можно ожидать, что если вектор:

$$\overline{E}^{in} = \begin{bmatrix} A_x^{in} \exp(i\varphi_x^{in}) \\ A_y^{in} \exp(i\varphi_y^{in}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

является столбцом Максвелла падающего излучения, то столбец Максвелла выходного пучка можно записать в виде:

$$\overline{E}^{out} = \begin{bmatrix} A_x^{out} \exp(i\varphi_x^{out}) \\ A_y^{out} \exp(i\varphi_y^{out}) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

причём

$$\begin{bmatrix} A_x^{out} \exp(i\varphi_x^{out}) \\ A_y^{out} \exp(i\varphi_y^{out}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x^{in} \exp(i\varphi_x^{in}) \\ A_y^{in} \exp(i\varphi_y^{in}) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где матрица  $J$ , состоящая из четырёх элементов  $J_{ij}$ , называется матрицей Джонса оптического устройства (магнитооптического датчика).

Неидеальный поляризатор, ориентированный под азимутальным углом  $\gamma_1$  к оси  $x$ , с амплитудами пропускания  $t_x$  и  $t_y$  вдоль осей  $x$  и  $y$ , соответственно, можно представить, как произведение матриц [6, 7]:

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 & -\sin \gamma_1 \\ \sin \gamma_1 & \cos \gamma_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \exp(i\varphi_{x1}) & 0 \\ 0 & t_y \exp(i\varphi_{y1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 & \sin \gamma_1 \\ -\sin \gamma_1 & \cos \gamma_1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Анализатор  $M_3$  с азимутальным углом  $\gamma_3$  на выходе схемы описывается аналогично поляризатору  $M_1$ .

Магнитооптический вращатель Фарадея с углом поворота плоскости поляризации  $\gamma_2$  и коэффициентом пропускания  $t_2$  описывается следующей матрицей Джонса [8]:

$$M_2 = t_2 \begin{bmatrix} \cos \gamma_2 & \sin \gamma_2 \\ -\sin \gamma_2 & \cos \gamma_2 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Столбец Максвелла выходного пучка для однокаскадной схемы находится так:

$$\overline{E}^{out} = M_3 M_2 M_1 \overline{E}^{in}. \quad (6)$$

Интенсивности входного и выходного излучения, записываются в виде:

$$I^{in} = \overline{E}^{in*T} \overline{E}^{in}, \quad (7)$$

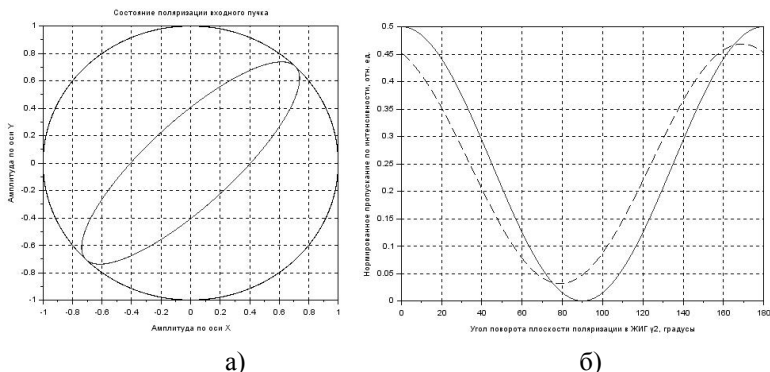
$$I^{out} = \overline{E}^{out*T} \overline{E}^{out}, \quad (8)$$

а выражение для коэффициента пропускания  $T$  по интенсивности (передаточной характеристики):

$$T = \frac{I^{out}}{I^{in}}. \quad (9)$$

На рисунке 2 приведены результаты расчёта пропускания  $T$  для эллиптической ( $\varphi_y^{in} - \varphi_x^{in} = \pi/6$ ) поляризации падающего излучения при условии  $\varphi_{x1} = \varphi_{y1}$ ,  $\varphi_{x3} = \varphi_{y3}$ ,  $t_2 = 1$ . Разработанная математическая модель и программное обеспечение позволяют учесть неидеальность пленочных поляроидов, которая наблюдается при работе в ближнем ИК

диапазоне и при повышенных температурах. По результатам анализа модели было определено, что зависимость нормированного пропускания  $T(\gamma_2)$  носит периодический характер, выбором угла  $\gamma_3 - \gamma_1$  достигается смещение начальной рабочей точки характеристики и изменение чувствительности  $\frac{dT}{d\gamma_2}$ .



а) эллиптическая поляризация входного пучка; б) зависимость нормированного пропускания по интенсивности от угла вращения Фарадея  $\gamma_2$  для идеальных ( $t_x=1$ ,  $t_y=0$ , сплошная линия) и неидеальных ( $t_x=\sqrt{0,95}$ ,  $t_y=\sqrt{0,05}$ , штриховая линия) поляризатора и анализатора,  $\gamma_1 = \gamma_3 = 0^\circ$

Рисунок 2 – Результаты моделирования

Влияние поляризации входного пучка усиливается с увеличением отклонения параметров поляроидов от идеальных и проявляется в виде снижения глубины модуляции за счёт появления шумовой подсветки и приводит к угловому сдвигу характеристики преобразования датчика.

#### Список использованных источников

1. Рандошкин, В.В. Прикладная магнитооптика [Текст] / В.В. Рандошкин, А.Я. Червоненкис. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
2. Евстафьев, А.И. Применение матриц Джонса для описания состояния поляризации света в магнитооптическом датчике тока [Текст] / А.И. Евстафьев, М.А. Ураксеев // Electrical and data processing facilities and systems. №3, v. 10, 2014. – P. 97-102.
3. Берикашвили, В.Ш. Волоконно-оптический датчик на основе доменной структуры ЖИГ+V1 для измерения силы тока [Текст] / В.Ш. Берикашвили, В.С. Чижов, М.Я. Яковлев // Радиотехника. - 2004. - N 12. - С. 78-81.
4. Parani, V. D. Investigation of optical properties of epitaxial yttrium iron garnet films [Текст] // AIP Conference Proceedings 1724, 020024 (2016).
5. Matyunin, S.A. et al. Fiber-optical sensors based on mono-crystal films of garnet ferrites for mechatronic systems [Текст] // Procedia Engineering 106 (2015), - P. 202-209.
6. Джеррард, А. Введение в матричную оптику [Текст] / А. Джеррард, Д.М. Берч. – М.: Мир, 1978. -341 с.
7. Шерклифф, У. Поляризованный свет [Текст] / У. Шерклифф. — М.:Мир, 1965. –264 с.

8. Тарасов, Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения [Текст] / Л.В. Тарасов — М.: Радио и связь, 1981. – 440 с.

УДК 621.382

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ МИКРОСХЕМ

Д.Н. Пустынников, Г.П. Шопин  
Самарский университет, г. Самара

Нагрузочная способность цифровой интегральной микросхемы относится к числу её важнейших параметров и оказывает влияние на её передаточную характеристику, помехозащищённость и быстродействие.

Предложено устройство для определения нагрузочной способности микросхем. Рассмотрен принцип его работы и описаны блоки, входящие в его состав. Отмечены преимущества устройства.

Устройство позволяет определять нагрузочную способность испытуемой микросхемы 3 по изменению высокого уровня (первый режим) и по изменению низкого уровня (второй режим) ее выходного сигнала.

В соответствии с первым режимом устройство работает следующим образом. Выходное напряжение испытуемой микросхемы 3 поступает на вход повторителя 4 и сигнальный вход коммутатора 9. Последний первоначально находится в состоянии, когда элементы нагрузки 8–1...8–k отключены от выхода испытуемой микросхемы 3. Компаратор 5 сравнивает выходное напряжение повторителя 4 (оно практически совпадает с выходным напряжением испытуемой микросхемы 3) с выходным напряжением источника опорного напряжения 1. Последнее совпадает с минимально допустимым значением напряжения высокого уровня (логической «1») выходного сигнала испытуемой микросхемы 3. На выходе компаратора 5 формируется логическая «1», если первое из сравниваемых напряжений превышает второе, в противном случае – логический «0». В случае использования исправной испытуемой микросхемы 3, при первоначальном состоянии коммутатора 9, выходное напряжение повторителя 4 превышает напряжение источника опорного напряжения 1 и на выходе компаратора 5 формируется логическая «1». Она поступает на второй вход элемента И 6, разрешая прохождение с его первого входа на выход импульсов высокого уровня генератора прямоугольного напряжения 2. Выходные импульсы элемента И 6 поступают на входы счётчика импульсов 10 и реверсивного счётчика импульсов 11. На их выходах формируются цифровые сигналы, код которых несёт информацию о числе этих импульсов. «Вес» каждого разряда счётчика 10 и реверсивного счётчика 11, начиная со второго, в два