

Использование импульсно-гармонической схемотехники позволяет реализовать синфазное возбуждение полей модулей, создающих общее электромагнитное поле, наводящее вихревые токи на поверхности ОК. В случае отсутствия вносимых индуктивностей имеем равенство резонансных частот  $\omega_o = \omega_{vo} = \omega_{no}$  контуров. Различие вносимых параметров соседних контуров приводит к нарушению синфазности колебаний. Появляется частота биения  $\omega_{bien} = \omega_{ov} - \omega_{on}$  и набег фаз  $\Delta\varphi = (\omega_{ov} - \omega_{on}) \cdot t$ , что приводит к необходимости дополнительной оценки изменений топологии полей модулей МВП. Так при синфазном ( $\Delta\varphi=0$ ) возбуждении дальное действие поля модулей МВП определяется длиной магнитопровода. Магнитный поток каждого модуля проходит только через свой магнитопровод. Общее магнитное поле МВП наводит единый восьмёркообразный контур вихревых токов при произвольном количестве модулей. В случае противофазного возбуждения силовые линии возбуждающего магнитного поля МВП связывают соседние магнитопроводы. С увеличением количества модулей пропорционально растет число контуров вихревых токов, наведенных на поверхности ОК.

Создан компьютеризованный лабораторный стенд для научных исследований МВП и отработки программного обеспечения для определения контролируемых факторов.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.А.Матюнин, В.Д.Паранин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г.Самара

Принцип действия управляемых дифракционных элементов (УДЭ) основан на изменении показателя преломления электрооптического кристалла вблизи управляющих электродов, представляющих собой амплитудную дифракционную решетку, что приводит к изменению распределения интенсивности в картинной плоскости [1]. Последнее явление может быть использовано для создания элементов различного назначения, например, модуляторов, коммутаторов, фокусаторов оптического излучения. А поскольку дифракционная решетка обладает спектральной (а в некоторых случаях и поляризационной) избирательностью, то появляется возможность расширения функциональности УДЭ за счет реализации частотного и/или поляризационно-модового уплотнения информации.

С целью улучшения тактико-технических характеристик конструкция УДЭ может содержать дополнительные наборы пропускающих, отражающих или дифрагирующих электродов, спектроформирующих, защитных и

поляризующих оптических покрытий [2]. Так, использование многократных переотражений внутри электрооптического кристалла позволяет существенно снизить управляющие напряжения, а применение зеркальных слоев на одной из сторон кристалла – создать ассиметричную конструкцию, работающую на отражение, и снизить ее габаритные размеры.

Из сказанного следует, что для расчета характеристик УДЭ-элементов необходимо учесть различные виды взаимодействия световой волны с элементами конструкции. Представляется, что к таковым относятся дифракционное, спектральное, амплитудное и фазовое взаимодействие [3].

Данная работа посвящена созданию программного обеспечения для расчета параметров управляемых дифракционных оптических элементов. Под основными расчетными параметрами понимаются распределение интенсивности УДЭ в плоскости расположения приемника оптического излучения и ее изменение под действием управляющих электрических сигналов, а также величины управляющих напряжений и мощностей.

Проведенный анализ существующих теоретических моделей показал их отсутствие для случая нескольких дифракционных решеток с произвольными геометрическими размерами топологии, разделенных средами с управляемыми оптическими параметрами (плотностью). Поэтому авторами была предложена математическая модель, описывающая распространение световой волны в слабонеоднородных средах с управляемой оптической плотностью, учитывающая дифракционное рассеяние на управляющих электродах и многократное переотражение в электрооптическом кристалле, в виде дискретного набора световых лучей. Восстановление непрерывной амплитудной и фазовой функций в картинной плоскости производится путем интерполяции их значений в опорных точках. Подобный подход позволяет решить сразу несколько задач.

Во-первых, становится возможным использовать для расчета электрического поля и соответствующего распределения оптической плотности кристалла численные методы. В этом случае, рассчитывая текущую координату луча и определяя величину напряженности поля в близлежащих узлах сеточного решения, можно легко определить показатель преломления и соответствующее приращение фазы световой волны вне зависимости от характера распределения оптической плотности среды.

Применение численных методов расчета привлекательно вследствие того, что аналогичные аналитические выражения будут представлять собой громоздкие выражения, содержащие численно определяемые коэффициенты, что снижает удобство их использования и универсальность аналитического решения. Получение аналитического решения также серьезно ограничивается нелинейным характером решаемой задачи электростатики для электрооптических кристаллов. Напротив, процесс численного решения нелинейной задачи сводится к многоступенчатому итерационному процессу

решения системы линейных уравнений, который может быть автоматизирован с помощью существующих программных средств. В данной работе, в частности, был использован пакет конечноэлементных вычислений FlexPDE. Пример распределения электрического поля в виде эквипотенциальных линий для случая х-среза ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ) с диагональным тензором диэлектрической проницаемости и наличием защитного покрытия ( $\text{SiO}_2$ ) приведен на рис. 1.

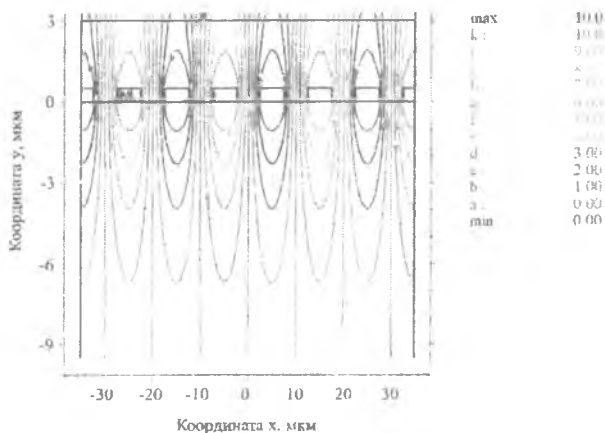


Рис. 1. Пример распределения электрического поля УДЭ

Во-вторых, появляется возможность управления точностью решения задачи и временными затратами ЭВМ путем изменения числа световых лучей, исходящих из источника излучения, а также количества опорных точек в картинной плоскости. Критерием оценки достаточной точности решения может являться как визуальная оценка непрерывности полученного распределения интенсивности в картинной плоскости (при линейной интерполяции), так и отношение заданного числа опорных точек в плоскости изображения, к числу точек, необходимых для надежного покрытия области приемника оптического излучения или отображения пропускающей топологии электродов. Очень эффективным методом снижения трудоемкости решения также является учет сеточного решения только на области существования сильного электрического поля (область вблизи электродов), определяющего наибольший вклад в изменение оптической плотности кристалла и фаз световых лучей. Так, поскольку проникновение электрического поля электродов в электрооптический кристалл области межэлектродной щели происходит на расстоянии порядка периода решетки (около 10 мкм), то для кристалла толщиной 0,5-1 мм это позволяет снизить трудоемкость решения приблизительно в 50-100 раз.

С учетом указанных особенностей конструкции управляемых дифракционных элементов и процесса моделирования программный комплекс был создан на основе взаимодействия пакета конечноэлементных вычислений FlexPDE и системы программирования высокого уровня MatLab.

Разработанный программный комплекс работает следующим образом. С помощью пакета FlexPDE вычисляется двумерное распределение напряженностей  $E_x(x,y)$ ,  $E_y(x,y)$  электрического поля в конструкции УДЭ. Далее производится сохранение вычисленных функций  $E_x(x,y)$ ,  $E_y(x,y)$  на интересующей области, например, вблизи электродов или на всей толщине кристалла в виде текстовой таблицы. При этом табличные значения соответствуют узлам прямоугольной сетки решения, размер ячейки которой может варьироваться вдоль любой координатной оси, что позволяет задать требуемую плотность дискретной сетки. Сохраненные табличные значения поля считываются разработанным программным интерпретатором MatLab и на их основе вычисляется сетка показателей преломления электрооптического кристалла. Далее производится задание начальных амплитуд, фаз и направлений некоторого определенного числа световых лучей и осуществляется пошаговое вычисление координат положения лучей, изменения их амплитудной и фазовой функции. При этом изменение амплитуды происходит при взаимодействии лучей с границами разделов сред в ходе отражения, преломления или дифракционного рассеяния, а расчет изменения фазы производится с учетом показателей преломления в узлах дискретной сетки, расположенных рядом с текущей координатой светового луча.

При падении луча на поверхность кристалла с управляющими электродами производится сравнение координаты точки падения с размерами электродов и межэлектродных щелей и выбирается один из вариантов дальнейшего распространения луча: геометрическое преломление или отражение, дифракционное рассеяние или отражение. В любом из названных вариантов происходит разделение луча на 2 или более лучей, обладающих собственными параметрами и распространяющихся независимо.

При достижении всех прошедших и переотраженных лучей картинной плоскости производится их интерференционное сложение в дискретных точках и интерполяция набора амплитуд и фаз с целью получения непрерывной амплитудной и фазовой функции. Поскольку расстояние между соседними точками задается пользователем, то возможно изменение как точности решения и трудоемкости компьютерного моделирования, так и качества отображения интенсивности результирующей световой волны в картинной плоскости.

Таким образом, в работе разработана методика и программное обеспечение расчета диаграммы направленности управляемых

дифракционных элементов, основанная на взаимодействии среды программирования высокого уровня и программы численного моделирования. Поскольку предложенный алгоритм расчета параметров лучей универсален, то программный комплекс может использоваться для анализа управляемых дифракционных элементов, обладающих произвольной конструкцией.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках программы «Развитие научного потенциала высшей школы 2009-2010».

### Список использованных источников

1. Матюнин, С.А. Моделирование фазовой функции управляемых дифракционных элементов на основе линейного электрооптического эффекта [Текст] / С.А.Матюнин, В.Д.Паранин, В.И.Левченко // Вестник СибГАУ. - № 1. - 2010. - С.126-130.
2. Паранин, В.Д. Электрооптические дифракционные структуры: система классификации [Текст] / Сб. трудов Всероссийской молодежной конференции с международным участием «X Королевские чтения». Самара. - 2009. - С.233.
3. Ахманов, С.А. Физическая оптика: учебник, 2-е изд. [Текст] / С.А.Ахманов, С.Ю.Никитин. - М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. - 656 с.

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ЛА

Р.К Мирзаев

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Results of research of a problem of safety of flights (SF) are stated and proved maintenance SF on the basis of integration onboard measuring, information-managers and onboard expert systems of the flying devices (FD) forming a uniform control system of safety of flights (CSSF), basing on special processing and the analysis of the values which are not exceeding as operational restrictions, and in a deviation{rejection} during the critical moments of parameters of the flight measured by various onboard gauges LA. The statistical control (estimation) of these parameters and gauges of mechanical pressure{voltage} are offered.

*SF, control system SF, onboard gauges, registration of parameters of flight, information managers and onboard expert systems*

В настоящее время системы управления безопасностью полетов (СУБП) в военной и гражданской авиации на основе стандартов и рекомендуемой практики (SARPS) международной организации