

УДК 519.6

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КВАНТОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ

Лытаев А.А. (Национальный исследовательский университет ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Попов И.Ю.
(Национальный исследовательский университет ИТМО)

Рассматривается система из двух сближенных диэлектрических волноводов. Проводится решение задачи о распространении электромагнитного поля в системе с учётом изгибов волноводов с целью определения оптимальных параметров системы для реализации квантовых вентилях.

Введение. Физическая реализация квантового компьютера является важной и актуальной задачей уже в течение нескольких десятилетий. Решение этой проблемы позволит решать ряд вычислительных задач с существенным ускорением по сравнению с компьютерами, работающими на принципах классической архитектуры. Одной из перспективных моделей квантовых вычислений является оптическая модель, преимуществом которой является устойчивость к декогеренции. В одной из статей, посвященных данному вопросу, предлагается схема для реализации квантового вентиля CNOT на основе эффектов нелинейной оптики, в которых состояния квантовых битов представляются поперечными направляемыми модами оптических волноводов. Ключевым элементом данной схемы является пара волноводов, претерпевающих сближение и удаление для обмена энергиями между их модами. Данная работа посвящена моделированию данной системы, с целью подбора оптимальных геометрических параметров, при которых система осуществляет необходимую операцию.

Основная часть. Данная система полностью описывается системой уравнений Максвелла с граничными условиями, однако, точное аналитическое решение системы на сегодняшний день не известно. В данной работе осуществляется поиск решения этой системы с использованием численных методов и различных упрощений. Направляемые моды одиночного волновода находятся как аналитическое решение уравнения Гельмгольца для прямого плоского волновода. Затем решение в системе из двух волноводов представляется, как сумма отдельных решений для первого и второго волновода. При подстановке данной суммы в систему уравнений Максвелла получается система дифференциальных уравнений на амплитудные коэффициенты, которая в приближении пренебрежения взаимодействием между модами различных порядков имеет аналитическое решение. На основе данного решения был реализован алгоритм, который находит оптимальные геометрические параметры системы в описанном приближении, при которых она полностью переводит моду первого порядка в противоположный волновод, а моду нулевого порядка оставляет в своём волноводе. Для реализованного алгоритма проводится графический анализ зависимости требуемой длины сближения от толщины волновода с целью минимизации размеров устройства. Далее численно решается более сложная система, также учитывающая взаимодействие между модами различных порядков. Различие между аналитическим и численным решением берётся в качестве оценки вычислительной ошибки устройства вследствие взаимодействия между модами различных порядков. В дополнении к этому проводится учёт влияния изгибов на границе сближения волноводов. Для этого направляемые моды изогнутого волновода рассматриваются как композиция мод прямого волновода, изменяющихся под действием постоянных распространения, которые находятся как собственные числа матрицы, составленной из различных интегралов поперечных распределений амплитуд напряженности электрического поля. В данном разложении помимо направляемых мод прямого волновода также рассматривается одна вытекающая мода, комплексная постоянная распространения которой находится с помощью метода Ньютона как решение трансцендентного уравнения аналогичного уравнению для мод прямого волновода. Взаимодействие между изогнутыми

волноводами приближенно описывается с помощью теории связанных мод для параллельных волноводов с переменным расстоянием между ними. Полученные дифференциальные уравнения на амплитудные коэффициенты решаются с помощью метода конечных разностей.

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, что вычислительная ошибка моделируемого устройства не превышает 3% вследствие взаимодействия между модами различных порядков и 10% из-за изгибов волноводов. Подобные результаты позволяют говорить о теоретической возможности реализации квантового CNOT вентиля на основе рассматриваемой схемы, однако, для корректной работы квантового компьютера потребуется применение квантовых алгоритмов коррекции ошибок. Описанный выше алгоритм подбора геометрических параметров системы сближенных плоских волноводов, может быть, в перспективе обобщен до более практически значимой системы сближенных оптических волокон, на основе которой может быть реализован работающий прототип оптического CNOT вентиля.

Лытаев А.А. (автор)

Подпись

Попов И.Ю. (научный руководитель)

Подпись