

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет радиозлектроники
Академия наук прикладной радиозлектроники

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

1-й Международной конференции « ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ »

в рамках 3-го Международного радиозлектронного форума «Прикладная радиозлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2008

Том III

30 сентября - 3 октября 2008г.

Харьков - Судак
2008

ОПТИЧЕСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

Мачехин Ю.П., КОРТУНОВ Т.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. Физических основ электронной техники,
тел. (057) 702-10-57,
E-mail: yuri_m49@mail.ru

Based on mathematical method of Jons matrix the results of research of possibility of application of optical devices as a logical elements of digital technique are presented.

В электронных вычислительных машинах каждую логическую функцию реализуют соответствующие логические элементы, работа которых основана на свойствах полупроводниковых транзисторов. В оптических же компьютерах работа логических элементов основана на принципиально иных физических законах.

В данной работе предложены структурные схемы реализации логических элементов, основанные на явлении поляризации оптического излучения.

1 Логический элемент «НЕ»

Оптическая схема элемента «НЕ» представлена на Рис. 1. Входные лазерные пучки являются линейно поляризованными, а колебания соответствующих им электрических векторов параллельны оси OX . Векторы Максвелла для данных электрических векторов будут иметь следующий вид:

$$\vec{E}_1 = A_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \vec{E}_2 = A_2 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

где A_1 и A_2 – амплитуды входных лазерных пучков. Для простоты расчетов примем амплитуды равными единице. Тогда получим что логической единице на входе 1 будет соответствовать вектор $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$. Логическому нулю на входе 1, как было отмечено выше, соответствует нулевой уровень сигнала. На вход 2 излучение поступает постоянно. Соответствующий ему вектор Максвелла так же равен $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$.

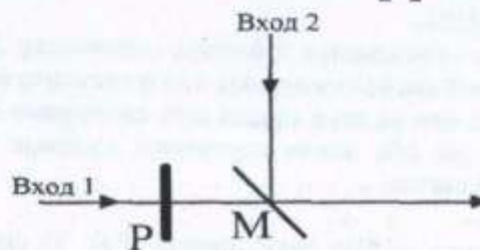


Рис.1 – Схема логического элемента «НЕ» с использованием полуволновой пластинки

Поляризатор P является полуволновой пластинкой, быстрая ось которой повернута на угол $\frac{\pi}{2}$ относительно оси OX . Матрица Джонса для данного типа пластин будет равна $\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$. В качестве сумматора M используется полупрозрачное зеркало.

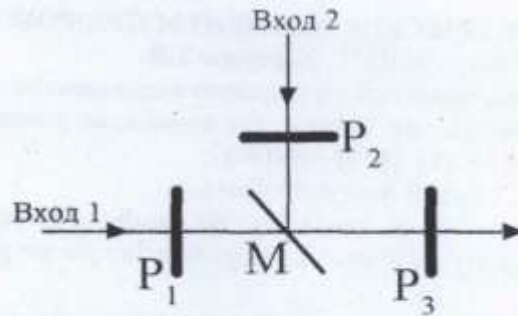


Рис.2 – Схема реализации элемента «НЕ» на четвертьволновых пластинках)

Еще одним вариантом реализации логического элемента «НЕ» является схема, представленная на рис. 2. Здесь в качестве поляризаторов P_1 и P_2 выступают четвертьволновые пластинки, быстрые оси которых повернуты относительно оси OX на углы $\frac{-\pi}{4}$ и $\frac{\pi}{4}$ соответственно. Поляризатор P_3 является линейным, ориентированным вдоль оси OY . Запишем матрицы Джонса, соответствующие данным фазовым пластинкам:

$$J_1 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1-i & -(1+i) \\ -(1+i) & 1-i \end{bmatrix} \quad J_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1-i & 1+i \\ 1+i & 1-i \end{bmatrix} \quad J_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Таблица 1 – Результаты расчетов амплитуд для схем элемента «НЕ»

Амплитуда входного излучения (вход 1)	Амплитуда выходного излучения	
	При использовании полуволновых пластинок	При использовании четвертьволновых пластинок
0	0,5	0,354
1	0	0

2 Логический элемент «ИЛИ»

Работа элемента «ИЛИ» описывается таблицей истинности функции логического сложения (табл. 2.4). Единичный сигнал на выходе этого элемента возникает тогда, когда или на входе 1, или на входе 2, или на двух входах есть единичные сигналы (рис. 2.3а). И только в том случае, когда на оба входа поступают нулевые сигналы, на выходе элементов появляется нулевой сигнал.

Оптическая схема элемента «ИЛИ» очень проста (Рис. 3). Для функционирования данного ЛЭ достаточно просуммировать входные пучки на полупрозрачном зеркале M .

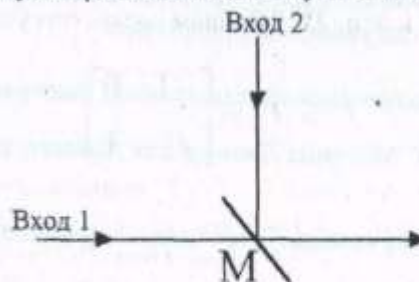


Рис.3 – Оптическая схема реализации элемента «ИЛИ»

Результаты расчетов амплитуд выходного пучка для элемента «ИЛИ» занесены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов амплитуд для схемы элемента «ИЛИ»

Амплитуды входных сигналов		Амплитуда сигнала на выходе элемента.
Вход 1	Вход 2	
0	0	0
0	1	0,5
1	0	0,5
1	1	1

3 Логический элемент «И-НЕ»

Оптическая схема реализации данного элемента с использованием полуволновых фазовых пластинок представлена на рис. 4. На все три входа ЛЭ подается, как и в предыдущих схемах, линейно поляризованное (вдоль оси OX) лазерное излучение единичной амплитуды. Логические переменные подаются на входы 1 и 2, а сигнал на входе 3 является постоянным. Соответствующие вектора Максвелла равны (при наборе 3):

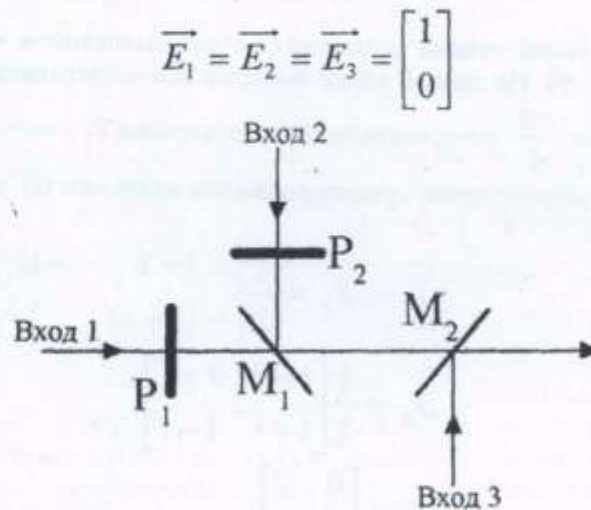


Рисунок 4 – Оптическая схема реализации элемента «И-НЕ» с использованием полуволновых пластинок

Поляризаторы P_1 и P_2 являются полуволновыми пластинками, быстрые оси которых ориентированы под углом $\frac{\pi}{2}$ к оси OX . Запишем соответствующие им матрицы Джонса:

$$J_1 = J_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Очевидно, что на наборе 0 (на входах 1 и 2 логические нули) амплитуда выходного излучения будет равна половине амплитуды пучка на входе 3, т.е. 0,5. На наборе 1 излучение со входа 2 пройдет фазовую пластинку P_2 , полупрозрачное зеркало M_1 и просуммируется на зеркале M_2 с излучением со входа 3. Следовательно, для вектора Максвелла выходного пучка можно записать:

$$\vec{E}_{\text{вых}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 0,25 \\ 0 \end{bmatrix}$$

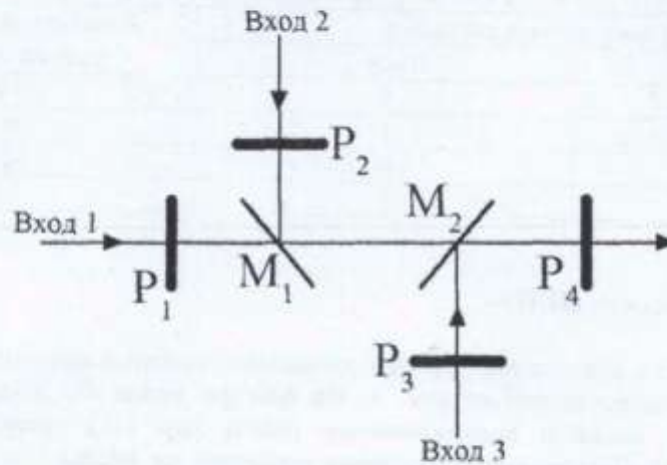


Рисунок 5 – Оптическая схема реализации элемента «И-НЕ» с использованием четвертьволновых пластинок

Элемент «И-НЕ» также можно реализовать с использованием четвертьволновых фазовых пластинок (рис. 5). На данной схеме быстрые оси четвертьволновых пластинок P_1 и P_2 повернуты на угол $-\frac{\pi}{4}$ относительно OX , а пластинки P_3 – на угол $\frac{\pi}{4}$. Пластинка P_4 является линейным поляризатором, ориентированным вдоль оси OY . Соответствующие матрицы Джонса равны:

$$J_1 = J_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1-i & -(1+i) \\ -(1+i) & 1-i \end{bmatrix}$$

$$J_3 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1-i & 1+i \\ 1+i & 1-i \end{bmatrix}$$

$$J_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

В работе показано, что данный метод создания цифровых логических элементов, основанный на использовании поляризационных свойств оптического излучения, позволяет реализовать схемы практически всех основных логических функций. Однако две функции пока остаются не реализованными – это функции логического умножения (элемент «И») и отрицания от логического сложения (элемент «ИЛИ-НЕ»). Проблематика объясняется тем, что для правильной работы элементов, разработанных данным методом, важны точные соотношения между абсолютными значениями амплитуд и фаз входных сигналов.