

ЛИТЕРАТУРА

1. О. М. Карпова, Е. С. Нежевенко, Г. Д. Уманцев. Распознавание изображений известной формы на фотоснимках.— «Автометрия», 1975, № 3, с. 68—72.
2. Ф. Ф. Веряскин, Л. В. Выдрин, В. Т. Давыдов, Т. Н. Мантуш, Е. С. Нежевенко, Б. Н. Панков, П. Е. Твердохлеб. Опико-электронный процессор для распознавания изображений.— «Автометрия», 1975, № 3, с. 73—77.
3. Дж. Бендат, А. Пирсол. Измерение и анализ случайных процессов. М., «Мир», 1971.

Поступила в редакцию 15 июня 1976 г.

УДК 681.325 : 621.375.826

И. Н. КОМПАНЕЦ, Г. Ш. МЦКЕРАДЗЕ, Л. А. ОРЛОВ

(Москва)

О РЕАЛИЗАЦИИ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО АРИФМЕТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА НА УПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНСПАРАНТАХ

Известно, что применение оптоэлектроники в вычислительной технике позволяет значительно повысить скорость обработки информации путем представления цифровой информации в виде двумерных массивов и использования параллельных алгоритмов ее преобразования. Общие принципы построения оптоэлектронных арифметических устройств (ОЭАУ), изложенные в [1—3], показывают, что ОЭАУ должны обладать рядом существенных достоинств.

В данной работе ставилась задача реализации одного из вариантов ОЭАУ на управляемых транспарантах [1, 2]. Основное внимание было уделено выбору оптоэлектронных элементов и общей компоновке оптического тракта. При этом были использованы существующие материалы и элементы, а такие параметры, как быстродействие, потребление энергии и габариты, не оптимизировались, поскольку они определяются в основном материалом управляемых транспарантов (УТ), который в настоящее время еще окончательно не определен.

С целью уменьшения общего объема работы по изготовлению управляемых транспарантов была выбрана схема двухразрядного двоичного процессора, выполняющего две операции: сложение и умножение целых чисел $A=00a_3a_4$ и $B=00b_3b_4$. Операции вычитания и деления в данном случае не предусматривались, так как при этом существенно усложнилась бы электронная часть ОЭАУ. Умножение было реализовано как однотактное сложение с соответствующими сдвигами слагаемых A и B . (При $B=0011$ выполнялось $2A+A$). Результат умножения представлялся с удвоенным количеством разрядов. Таким образом, описываемый процессор являлся прообразом байтового процессора для ОЭАУ.

При построении процессора полностью сохранилась однотактная логика выполнения операций, т. е. переносы определялись без цепочки переносов одновременно с формированием суммы [1]. Переносы $E=e_1e_2e_3e_4$ определялись следующими формулами (сложение и вычитание понимаются как дизъюнкция и конъюнкция соответственно):

$$\begin{aligned} e &\equiv 0; & \bar{e}_1 &\equiv 1; \\ e^2 &= a_3b_3 + (a_3 + b_3)a_4b_4; & \bar{e}_2 &= \bar{a}_3\bar{b}_3 + (\bar{a}_3 + \bar{b}_3)(a_4 + b_4); \end{aligned}$$

$$e_3 = a_4 b_4; \quad \bar{e}_3 = \bar{a}_4 + \bar{b}_4; \quad (1)$$

$$e_4 \equiv 0; \quad e_4 \equiv 1,$$

при этом разряды суммы $C = A \oplus B \oplus E = A\bar{B}\bar{E} + \bar{A}B\bar{E} + ABE + \bar{A}\bar{B}E$ равны:

$$\begin{aligned} c_1 &= 0; \\ c_2 &= e_2 = a_3 b_3 + a_3 a_4 b_4 + b_3 a_4 b_4; \\ c_3 &= a_3 \bar{b}_3 \bar{a}_4 + a_3 \bar{b}_3 \bar{b}_4 + \bar{a}_3 b_3 \bar{a}_4 + \bar{a}_3 b_3 \bar{b}_4 + a_3 b_3 a_4 b_4 + \bar{a}_3 \bar{b}_3 a_4 b_4; \\ c_4 &= a_4 \bar{b}_4 + \bar{a}_4 b_4. \end{aligned} \quad (2)$$

Реализация формул (2) возможна при двух вариантах расположения управляемых транспарантов: последовательном и параллельном (рис. 1). В первом случае они располагаются друг за другом, а во втором — в одной плоскости, в виде матрицы транспарантов.

В работе был реализован матричный вариант расположения УТ. В этом случае возможна работа как на пропускание света, так и на его отражение. При матричном расположении УТ формулы (2) видоизменяются (с использованием частичного преобразования де Моргана):

$$\begin{aligned} c_1 &= 0; \\ c_2 &= \overline{\bar{a}_3 + \bar{b}_3} + \overline{\bar{a}_3 + \bar{a}_4 + \bar{b}_4} + \overline{\bar{a}_4 + \bar{b}_3 + \bar{b}_4}; \\ c_3 &= \overline{\bar{a}_3 + b_3 + a_4} + \overline{\bar{a}_3 + b_3 + b_4} + \overline{a_3 + \bar{b}_3 + a_4} + \overline{a_3 + \bar{b}_3 + b_4} + \\ &\quad + \overline{\bar{a}_3 + \bar{b}_3 + \bar{a}_4 + \bar{b}_4} + \overline{a_3 + b_3 + \bar{a}_4 + \bar{b}_4}; \\ c_4 &= \overline{\bar{a}_4 + b_4} + \overline{a_4 + \bar{b}_4}. \end{aligned} \quad (3)$$

В этом случае возможна работа как на пропускание света, так и на юнкции и инверсии, что дает возможность получать результат путем сборки световых сигналов.

При умножении разряды $C = A \times B$ выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} c_1 &= a_3 a_4 b_3 b_4 = \overline{\bar{a}_3 + \bar{a}_4 + \bar{b}_3 + \bar{b}_4}; \\ c_2 &= a_3 b_3 \bar{a}_4 + a_3 b_3 \bar{b}_4 = \overline{\bar{a}_3 + \bar{b}_3 + a_4} + \overline{\bar{a}_3 + \bar{b}_3 + b_4}; \\ c_3 &= a_3 b_4 \bar{a}_4 + a_3 b_4 \bar{b}_3 + \bar{a}_3 a_4 b_3 + \bar{b}_3 a_4 b_3 = \\ &= \overline{\bar{a}_3 + \bar{b}_4 + a_4} + \overline{\bar{a}_3 + \bar{b}_4 + b_3} + \overline{a_3 + \bar{a}_4 + \bar{b}_3} + \overline{b_4 + \bar{a}_4 + \bar{b}_3}; \\ c_4 &= a_4 b_4 = \overline{\bar{a}_4 + \bar{b}_4}. \end{aligned} \quad (4)$$

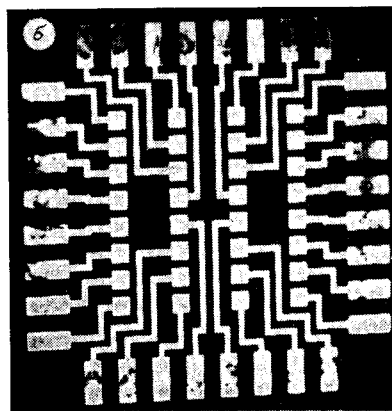
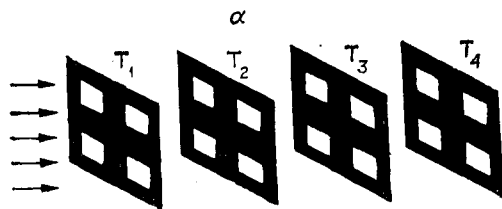


Рис. 1. Варианты расположения управляемых транспарантов в ОЭАУ:

a — последовательное расположение УТ ($T_1 \dots T_4$ — транспаранты); b — матричное расположение УТ в одной плоскости (показана геометрия электродов).

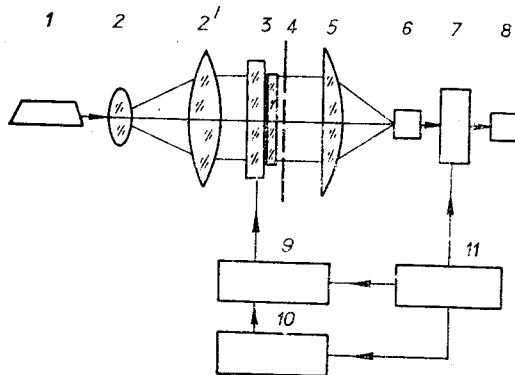


Рис. 2. Блок-схема построения ОЭАУ с матрицей ОТ:

1 — лазер; 2, 2' — линзы коллиматора; 3 — матрица ОТ; 4 — маска; 5 — цилиндрическая линза; 6 — линейка фотодиодов; 7 — блок триггеров; 8 — световое табло; 9 — дешифратор; 10 — блок ввода информации; 11 — блок питания.

Для получения результата оптические сигналы с отдельных транспарантов сводятся на регистрирующую линейку фотоприемников с помощью цилиндрической линзы. Несмотря на некоторое усложнение логики в таком ОЭАУ, в целом получается большой энергетический выигрыш по свету и значительно упрощается настройка оптической схемы.

Схема построения процессора на ОТ показана на рис. 2. Она состоит из двух частей — оптической и электронной. Источником света служил гелий-неоновый лазер 1 ($\lambda=0,63$ мк), луч которого коллимировался с по-

мощью линз 2, 2'. Через управляемый транспарант 3 пропускался световой пучок, соответствующий апертуре матрицы ОТ. Оптические сигналы, снятые с ОТ, проходили через маску 4, которая повторяла форму элементарных ячеек на ОТ и позволяла резко повысить отношение сигнал/шум на выходе оптического блока. Результирующие оптические сигналы регистрировались линейкой фотодиодов 6.

Набор исходных чисел и выдача результата осуществлялись в двоичном коде. За логический «0» было принято состояние, когда свет не пропускался ни одной из восьми ячеек столбца; пропускание хотя бы одной из этих ячеек соответствовало логической «1». Инверсия, необходимая при реализации (3) и (4), осуществлялась путем выбора соответствующего режима работы ячеек ОТ, когда выход «1» возникал при нулевых входных управляющих сигналах. Управляющие электрические сигналы, соответствующие числам, набранным на блоке ввода информации 10, поступали через диодный дешифратор 9 на ячейки ОТ, вызывая рассеяние света во включаемых элементах. Переход от одной арифметической операции к другой осуществлялся путем переключения в блоке дешифратора.

Результат операции отображался на световом табло 8, управляемом электрическими сигналами с фотодиодов. Использовались фотодиоды типа ФД-3а. Сигналы перебрасывали триггеры 7, которые были выполнены по схеме триггера Шмидта, в положение «0» или «1» (рис. 3).

В качестве материала для ОТ были выбраны нематические жидкие кристаллы (ЖК), которые, как известно, имеют хорошие энергетические и оптические характеристики переключения, а главное, позволяют сравнительно просто создавать многоэлементные ячейки ОТ на своей основе. Использовался эффект динамического рассеяния света в ЖК. Геометрия электродов для применения в ОЭАУ жидкокристаллической матрицы ОТ изображена на рис. 1, б. Размер матрицы 4×8 элементов определялся формулами (3) и (4). На подложке с прозрачным электродным слоем двуокиси олова были вытравлены 32 ячейки, расположенные в виде 4 столбцов по 8 элементов в каждом столбце. Размеры каждой ячейки составили 1×1 мм, а размеры, занимаемые матрицей, — 12×12 мм. По краям подложки были выведены токоподводящие шины (по 8 штук с каждой стороны матрицы), что обеспечивало индивидуальное управление всеми элементами ОТ. Использовалась смесь двух ЖК (МББА:ЭББА=1:2). Толщина слоя ЖК составляла около 20 мк.

Оба блока (оптический и электронный) были смонтированы в виде единого устройства, на вход которого подавался световой пучок. Можно привести некоторые параметры работы ОЭАУ, хотя в соответствии с поставленной задачей они не оптимизировались. Пропускание матрицы УТ равнялось 50%. Мощность светового излучения, прошедшего через отдельный элемент УТ, составляла величину около 10 мкВт, а оптический контраст — более 10:1. Чувствительность регистрирующих фотодиодов ФД-3а по паспортным данным была равна 0,15 А/Вт. Быстродействие макета ОЭАУ определялось выбранным рабочим веществом (ЖК-смесью), для которого время включения составляло около 100 мс и время выключения (релаксации) — порядка 500 мс. Для питания электронного блока ОЭАУ применялся маломощный стабилизированный источник питания; потребляемая мощность не превышала 10 Вт.

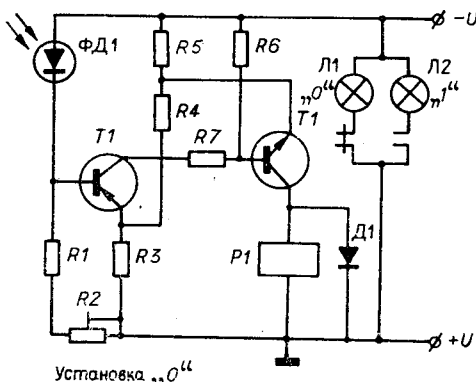


Рис. 3. Принципиальная схема Шмидта с приемным и регистрирующим устройствами.

Разработанное ОЭАУ удовлетворительно производило заданные операции сложения и умножения. Однако оно отличалось достаточно сложной электрической частью, поскольку блок управления был фактически реализован с помощью обычных элементов. Усовершенствованием данной схемы может быть выполнение всех дизъюнкций без диодов путем сложения световых потоков от УТ в соответствии с входными операндами и вышеприведенными формулами.

В дальнейшем, по-видимому, более целесообразно использовать комбинированный способ выполнения операций, при котором общий результат компонуется с помощью оптоэлектронного дешифратора [3].

В заключение авторы выражают признательность В. В. Никитину за постоянное внимание к работе и С. П. Берестневу за помощь в проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Орлов, Ю. М. Попов. Оптоэлектронное быстродействующее арифметическое устройство на управляемых транспарантах.— «Автоматика», 1972, № 6, с. 8—13.
2. Л. А. Орлов, Ю. М. Попов. Возможность построения арифметического устройства с помощью управляемых световых транспарантов.— «Квантовая электроника», 1974, № 1, с. 27—34.
3. Л. А. Орлов, Ю. М. Попов. Оптоэлектронное арифметическое устройство в системе остаточных классов.— «Автоматика», 1972, № 6, с. 14—22.

Поступила в редакцию 2 декабря 1975 г.;
окончательный вариант — 22 июня 1976 г.