

области находится выше кривой 2; общая ОУР регистра хранения информации расположена между кривыми 2 и 3 (показана штриховкой).

Итак, результаты численного моделирования показывают, что модель сокращенного описания (3)—(5) позволяет качественно описать динамику ВБЛ в сдвиговом регистре, однако при коротких фронтах импульсов управляющих полей могут возникнуть значительные расхождения, что, по-видимому, связано с генерацией изгибных колебаний ДГ при движении ВБЛ. Ранее в [13] отмечалось, что излучение изгибных волн колеблющейся ВБЛ приводит к эффективному увеличению вязкости. Это согласуется с обнаруженным здесь кажущимся эффектом увеличения инерционности при переходном процессе в модели сокращенного описания.

Результаты моделирования показывают, что при асимметричной форме импульсов амплитуды требуемых полей несколько возрастают, а полевая область переброса ВБЛ значительно расширяется по сравнению со случаем симметричных импульсов. Аналогичное увеличение критических полей и расширение области переброса происходит при увеличении числа ВБЛ в кластере.

### Литература

- [1] *Konishi S., Matsuyama K., Chida I. et al.* IEEE Trans. Magn., 1984, v. 20, N 5, p. 1129—1134.
- [2] *Matsuyama K., Asada H., Konishi S.* IEEE Trans. Magn., 1985, v. 21, N 5, p. 1770—1772.
- [3] *Suzuki T., Asada H., Matsuyama K. et al.* IEEE Trans. Magn., 1986, v. 22, N 5, p. 784—789.
- [4] *Theile J., Kosinski R. A., Engemann J. J.* Magn. Mater., 1986, v. 62, N 2/3, p. 139—142.
- [5] *Konishi S.* IEEE Trans. Magn., 1983, v. 19, N 5, p. 1838—1840.
- [6] *Slonczewski J.* Intern. J. Magn., 1972, v. 2, N 2, p. 85—97.
- [7] *Малоземов А., Слонзуски Дж.* Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982. 382 с.
- [8] *Звездин А. К., Попков А. Ф., Редько В. Г.* ЖТФ, 1985, т. 55, № 9, с. 1884—1886.
- [9] *Редько В. Г., Сереченко В. А.* Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, № 17, с. 1068—1072.
- [10] *Звездин А. К., Попков А. Ф.* ЖЭТФ, 1986, т. 91, № 5, с. 1789—1798.
- [11] *Никифоров А. В., Сонин Э. Б.* Письма в ЖЭТФ, 1984, т. 40, № 8, с. 325—327.
- [12] *Fujita E., Kawahara H., Sakata S., Konishi S.* IEEE Trans. Magn., 1984, v. 20, N 5, p. 1144—1146.
- [13] *Звездин А. К., Попков А. Ф.* ФТТ, 1987, т. 29, № 1, с. 268—270.

Поступило в Редакцию  
21 сентября 1987 г.

### ОПТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ МДП—ЖК

Г. Г. Воеводкин, Е. М. Дианов, А. А. Кузнецов, С. М. Нефедов

В настоящее время резко возросли требования к производительности вычислительных машин, что связано с решением ряда практических задач, требующих высокоскоростной обработки больших массивов данных в реальном масштабе времени (в экономике, метеорологии, рентгеновской томографии, космических исследованиях). В обычных ЭВМ увеличение скорости вычислений ограничивается последовательным характером вычислительного процесса. Архитектура этих ЭВМ, разработанная Нейманом, за счет последовательного характера работы уменьшает сложность соединений, упрощает аппаратные средства. Центральный процессор получает доступ к памяти через устройство адресации, а содержимое памяти попадает в процессор по одной или нескольким линиям связи. Таким образом, в каждый момент времени может производиться обращение только к одной ячейке памяти (ограничение Неймана) [1]. Ограничение быстродействия современных ЭВМ связано не столько со временем переключения отдельного вентиля, которое приблизилось к 10 пс, сколько с конечной полосой пропускания соединительных линий, искажениями сигналов синхронизации и ограниче-

ниями на число связей между элементами [2]. Развитие современных электронных вычислительных систем идет по пути полного распараллеливания процесса обработки информации. Так, в волновом матричном процессоре нет проблемы синхронизации, поскольку вычислительный процесс управляется потоком данных. Однако основным требованием является решение проблемы соединений параллельных процессорных элементов.

Оптические вычислительные машины обладают рядом преимуществ: они по своей природе являются двумерными и параллельными (соединительные линии реализуются просто световыми пучками, не взаимодействующими между собой и имеющими широкую полосу пропускания) и не требуют согласования волновых сопротивлений передающих линий. Скорость распространения оптических сигналов равна скорости света в соответствующей среде. Оптические связи в принципе трехмерны.

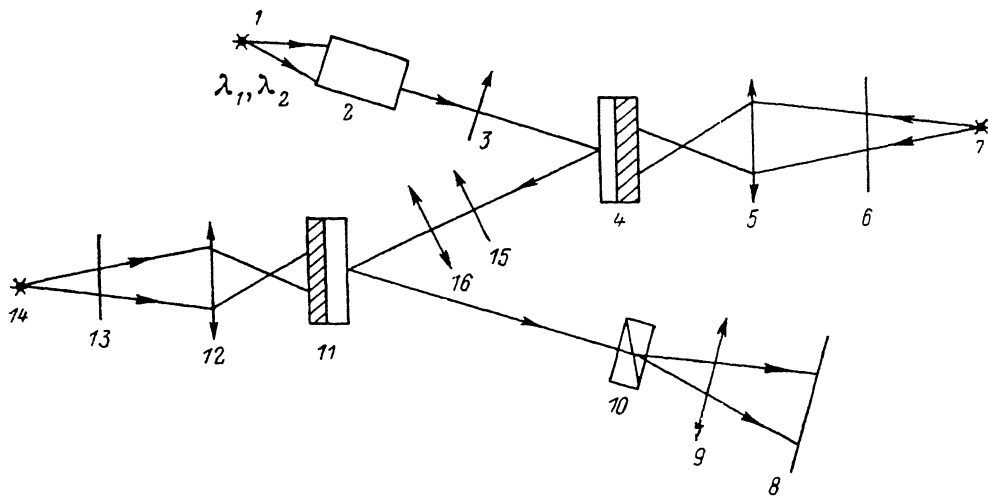


Рис. 1. Оптическая схема реализации логических функций.

1, 7, 14 — источники света; 2 — коллиматор; 3, 15 — поляризаторы; 4, 11 — оптически управляемый транспарант; 5, 9, 12, 16 — объективы; 6, 13 — слайды с входными изображениями; 8 — экран; 10 — призма Волластона.

Несколько оптических реализаций параллельной двоичной логики даны в работах [3-5]. Двоичные логические операции являются основой цифровой вычислительной машины. Основные логические операции определяются комбинациями 16 логических функций двух переменных, представленных в таблице для положительной логики: 1 — понятие «истинно» и 0 — понятие «ложно», что соответствует наличию или отсутствию оптического сигнала на выходе устройства. В нашем эксперименте двоичные переменные представлены в виде пространственного распределения пропускания бинарного объекта: прозрачные участки имеют значение логической 1 и непрозрачные — 0.

В настоящей работе мы исследовали возможность оптической реализации 16 логических функций с применением оптически управляемого транспаранта на основе структуры МДП—ЖК [6] по принципу [4] с тем важным отличием, что использовался источник излучения с двумя длинами волн. Механическое вращение поляризаторов [4] в нашем случае заменяется переключением (или совместным включением) двух разноцветных излучений.

Принцип работы оптически управляемого жидкокристаллического транспаранта, работающего на S-эффекте, основан на переориентации анизотропных молекул в слое ЖК при приложении напряжения, причем потенциальный рельеф может быть создан оптическим путем. В этом случае записывающий свет попадает на фотополупроводник и генерирует в нем носители, пространственно модулируя тем самым его сопротивление, а значит, и напряжение на ЖК. Интенсивность света, прошедшего через такой транспарант, помещенный между скрещенными поляризаторами, равна

$$I = I_0 \sin^2 2\varphi \sin^2 [\pi d \Delta n(V) / \lambda],$$

где  $\Delta n(V)$  — разность показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей (зависящая от напряжения на ЖК),  $\lambda$  — длина волны считывающего света,  $\varphi$  — угол между осями поляризатора и директора ЖК (для получения максимального контраста  $\varphi$  выбирают равным 45 град),  $d$  — толщина слоя ЖК.  $\Delta n$  для ЖК достаточно велико (~0.2).

Из формулы видно, что интенсивность считывающего света зависит как квадрат синуса от отношения  $\Delta n/\lambda$ . В прозранте, работающем на  $S$ -эффекте,  $\Delta n$  отлично от нуля при отсутствии светового потока от темных участков бинарного объекта, поэтому выбором  $\lambda_1$  можно добиться нулевого считывающего потока от темных участков изображения. В целом на  $\lambda_1$  возможно адекватное (прямое) считывание бинарного объекта  $A$ . С другой стороны, возможно подобрать такую  $\lambda_2$ , для которой светлые участки изображения будут давать минимум считывающего потока. Указанные возможности прямо следуют из [?], где описано псевдоокрашивание с помощью МДП—ЖК изображения черно-белого слайда. Таким образом, при создании на фотополупроводнике изображения бинарного объекта и считывании его светом с двумя различными длинами волн возможно одновременное получение прямого изображения входного объекта в одном цвете и обращенного изображения в другом (т. е. если  $A$  — входное изображение, то  $A$  будет на выходе зеленым, а  $\bar{A}$  — красным).

Оптическая схема установки изображена на рис. 1. В качестве источника считывающего света мы использовали лампу КГМ-75 с двумя интерференционными фильтрами с пропусканием на 625 нм (красный) и на 525 нм (зеленый). На рис. 2, а, б представлены осциллограммы

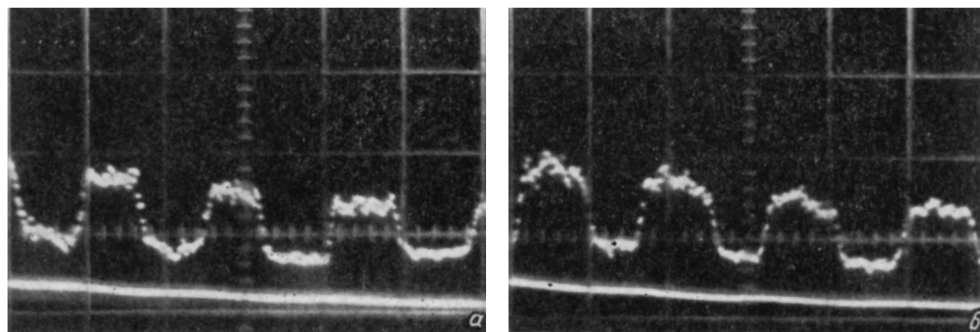


Рис. 2. Осциллограммы распределения интенсивности света в изображении бинарной решетки для двух длин волн:  $\lambda_1=525$  (а),  $\lambda_2=625$  нм (б).

распределения интенсивности изображения бинарной решетки, полученные на одном прозранте и зарегистрированные ПЗС линейкой 1200 ЦЛ-2 через два фильтра (зеленый и красный), откуда видно, что полученные изображения являются прямыми и инвертированным.

Рассмотрим, каким образом можно получить все 16 логических функций двух переменных. Прозрапты 4 и 11 настроены одинаково, причем единице записывающего света соответствует максимальная яркость считывающего зеленого света, а нулю — красного. При включенном источнике света 14 (0 на входе ОУТ 11) и одновременном считывании двумя длинами волн на выходе схем, после призмы Волластона, появляются два пространственно разнесенных изображения  $A$  и  $\bar{A}$ . Действительно, после анализатора 16 на ОУТ 11 идут изображения  $A$  (зеленое) и  $\bar{A}$  (красное) одинаковой линейной поляризации, но ОУТ 11 придает сдвиг  $\sim \pi/2$  их векторам поляризации, что и обеспечивает пространственное разнесение разноцветных  $A$  и  $\bar{A}$  призмой Волластона. При считывании изображения  $B$  одним из лучей (зеленым или красным) на экране 8 появляются два пространственно разнесенных изображения  $B$  и  $\bar{B}$ . При одновременной подаче на входы прозраптов изображений  $A$  и  $B$  и считывании зеленым светом на выходе будут логические функции  $A \cdot B$  и  $A \cdot \bar{B}$ , при считывании красным светом — функции  $\overline{A+B}$  и  $\bar{A} \cdot B$ . При одновременном считывании светом с двумя длинами волн на выходе реализуются логические функции  $A \cdot B$  и  $\overline{A \cdot B}$ . Понятно, что две логические функции — тождественный 0 и 1 — получаются совсем просто. Для реализации оставшихся четырех функций необходимо либо изменить настройку прозрапнта, изменяя приложенное к нему напряжение, либо (что более предпочтительно) использовать третий прозрапнт, поместив его на месте расположения экрана. В этом случае можно воспользоваться тем фактом, что оставшиеся четыре функции на самом деле уже реализованы (правда, для отрицательной логики). Так, например, реализованная функция  $\bar{A} \cdot B$  является  $A + \bar{B}$  для отрицательной логики (см. таблицу). Понятно, что, используя третий прозрапнт и призму Волластона, возможно получить одновременно прямую и обратную функции (подобно прямому и инверсному выходу электронных цифровых микросхем). Напомним, что для реализации

Шестнадцать логических функций двух переменных

Вход		Выход							
A	B	$F_0$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Функция		0	$A \cdot B$	$A \cdot \bar{B}$	$A$	$\bar{A} \cdot B$	$B$	$A * B$	$A + B$

Продолжение таблицы

Вход		Выход							
A	B	$F_8$	$F_9$	$F_{10}$	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	$F_{15}$
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Функция		$\bar{A} + \bar{B}$	$\bar{A} * \bar{B}$	$\bar{B}$	$A + \bar{B}$	$\bar{A}$	$\bar{A} + B$	$\bar{A} \cdot \bar{B}$	1

Примечание. Точка — логическое произведение «и», + — логическая сумма «или», \* — операция «исключающее или», — — логическое отрицание «не».

оптической вычислительной машины необязателен полный набор всех 16 функций, можно обойтись меньшим количеством.

Измеренная величина контраста (для одного транспаранта) при использовании двух длин волн составила 4 : 1, но при согласованном включении двух транспарантов она увеличи-

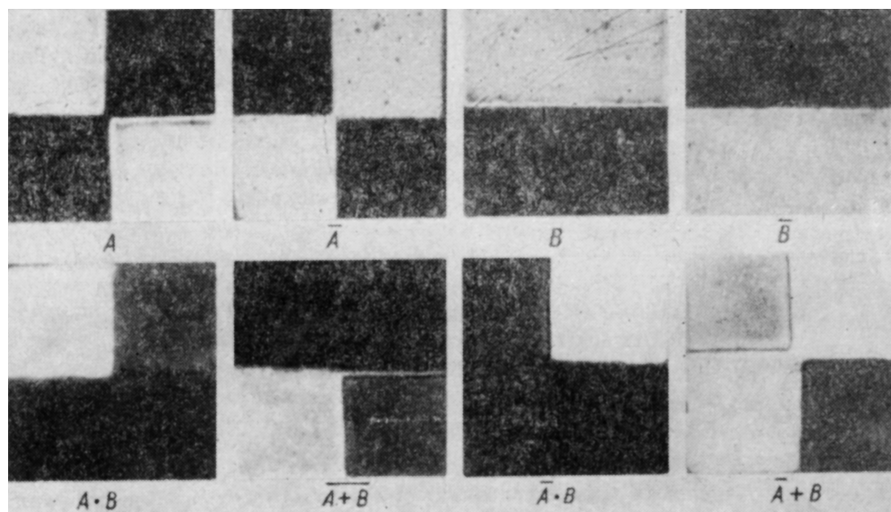


Рис. 3. Результаты оптической реализации некоторых логических функций.

вается. На рис. 3 представлены результаты оптической реализации некоторых логических функций для полного набора сочетаний входов  $A$  и  $B$ . Подобным образом параллельно (одновременно) реализуются логические функции над двумя входными бинарными матрицами, число элементов в которых ( $\sim 10^6$ ) ограничивается полем и разрешением транспаранта.

При наличии на входах транспарантов матриц  $A$  и  $B$  возможны три состояния системы. Включен один зеленый источник, один красный или оба. С учетом поляризационного раздвоения изображений в призме Волластона получаем на выходе системы реализацию 6 логических функций, причем в этом случае быстрдействие ограничивается только скоростью переключения источников. Возможны еще три состояния на входах (отсутствие матриц, только  $A$  или только  $B$ ), что увеличивает число реализуемых функций. Скорость смены изображений на входах ограничивается быстрдействием транспарантов.

К основным особенностям предложенного метода следует отнести следующие.

1. Все 16 логических функций реализуются параллельно.

2. В системе просто реализуется любая операция комбинаторной логики, так как применяемый метод требует только переключения источников излучения, что легко обеспечивает программируемость системы.

3. Применение ОУТ, обладающего широкими функциональными возможностями (усиление, возможностью считывания когерентным светом, высокой чувствительностью, низким напряжением питания и малой потребляемой мощностью), позволит создать достаточно простые и гибкие узлы ОВМ.

4. В системе не требуются электронные или механические дефлекторы.

5. Использование ОУТ с обратной связью [8] позволяет реализовать пороговые устройства и запоминание бинарного изображения. К недостаткам ОУТ следует отнести невысокую разрешающую способность (30 лин/мм) и большое время переключения.

Представленный метод является одним из перспективных при реализации параллельной оптической обработки. Возможно, что его дальнейшее развитие позволит создать достаточно простые схемы решения оптических вычислительных машин.

### Литература

- [1] Хуан А. ТИИЭР, 1984, т. 72, № 7, с. 34—42.
- [2] Егоров В. М., Косцов Э. Г. Автометрия, 1985, № 1, с. 114—125.
- [3] Lahmann A. W., Weigelt J. Appl. Opt., 1987, v. 26, N 1, p. 131—135.
- [4] Fatehi M. T., Wasmundt R. C., Collins S. A. Appl. Opt., v. 20, N 13, p. 2250—2256.
- [5] Итйока Е., Танида Д. ТИИЭР, 1984, т. 72, с. 42—58.
- [6] Грибов В. Г., Думаревский Ю. Д., Кавтонюк И. Ф. и др. Электронная техника. Сер. Микроэлектроника, 1981, № 5, с. 82—87.
- [7] Воеводин Г. Г., Дианов Е. М., Кузнецов А. А., Нефедов С. М. Письма в ЖТФ, 1986, № 122, с. 1373—1377.
- [8] Воеводин Г. Г., Дианов Е. М., Кузнецов А. Н., Нефедов С. М. Квант. электр., 1988, т. 15, № 4, с. 805—811.

Институт общей физики АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
14 октября 1987 г.

## О ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВ В ПЛОСКОМ СВЕРХЗВУКОВОМ СОПЛЕ

Б. М. Добрынин, В. Г. Масленников, В. А. Сахаров

При работе сверхзвуковых сопел в условиях существенного перерасширения потока газа ( $N < 0.5$ ) возможно возникновение отрывного течения. При этом внутри сопла образуются косые скачки уплотнения, которые взаимодействуют с пограничным слоем на стенках сопла и вызывают его отрыв. Анализ опубликованных теоретических и экспериментальных исследований [1—3] показывает, что основной проблемой в такого рода течениях является определение положения точки отрыва потока от стенок сопла. Показано, что ее положение зависит не только от давления во внешней среде, но и от формы сопла и характера взаимодействия вязкого и невязкого потоков внутри сопла и за ним. До настоящего времени не изучена зависимость локализации точки отрыва потока в сопле от рода истекающего из него газа.