

- [2] Piraux L., Issi J.-P., Michenaud J.-P., McRae E., Mareche J.F. Sol. St. Comm., 1985, v. 56, N 7, p. 567-569.
- [3] Piraux L., Bayot V., Michenaud J.-P., Issi J.-P., Mareche J.F., McRae E. - Sol. St. Comm., 1986, v. 59, N 11, с. 711-715.
- [4] Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А., Никитина О.М., Чудинов С.М. - ФНТ, 1986, т. 12, № 10, с. 1115-1117.
- [5] Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г., Ларкин А.И., Хмельницкий Д.Е. - ЖЭТФ, 1981, т. 81, № 2, с. 768-783.
- [6] Авдеев В.В., Аким В.Я., Кульбачинский В.А., Никитина О.М., Рыбачук В.А. - Вестник МГУ, сер. 3, физика, астрономия, 1987, т. 28, № 5, с. 55-61.
- [7] Pickett W.E., Klein B.M., Zeiler R. - Phys. Rev. B, 1986, v. 34, N 4, p. 2517-2521.
- [8] Santhanam P., Wind S., Prober D.E. - Phys. Rev. B, 1987, v. 35, N 7, p. 3188-3206.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
7 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 18

26 сентября 1988 г.

ОПТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В ТРОИЧНОЙ СИСТЕМЕ СЧИСЛЕНИЯ

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

Основное достоинство троичной системы счисления заключается в ее потенциально более высокой экономичности. При использовании n знаков в m -ичной системе счисления (т.е. n/m разрядов) можно записать $m^{n/m}$ чисел. Легко показать, что эта функция достигает максимума (по m) при m , равном e . Ближайшее к e целое число есть 3. Используя 60 знаков в двоичном коде, возможно записать 2^{30} чисел, а в троичной системе 3^{20} , что почти в четыре раза больше. В [1] рассматривается эмпирическая функция $f(m)$, показывающая, во сколько раз количество оборудования, необходимого для изображения одного числа в системе счисления с основанием m , больше необходимого для изображения одного числа в двоичной системе (при одинаковой точности). При этом предпола-

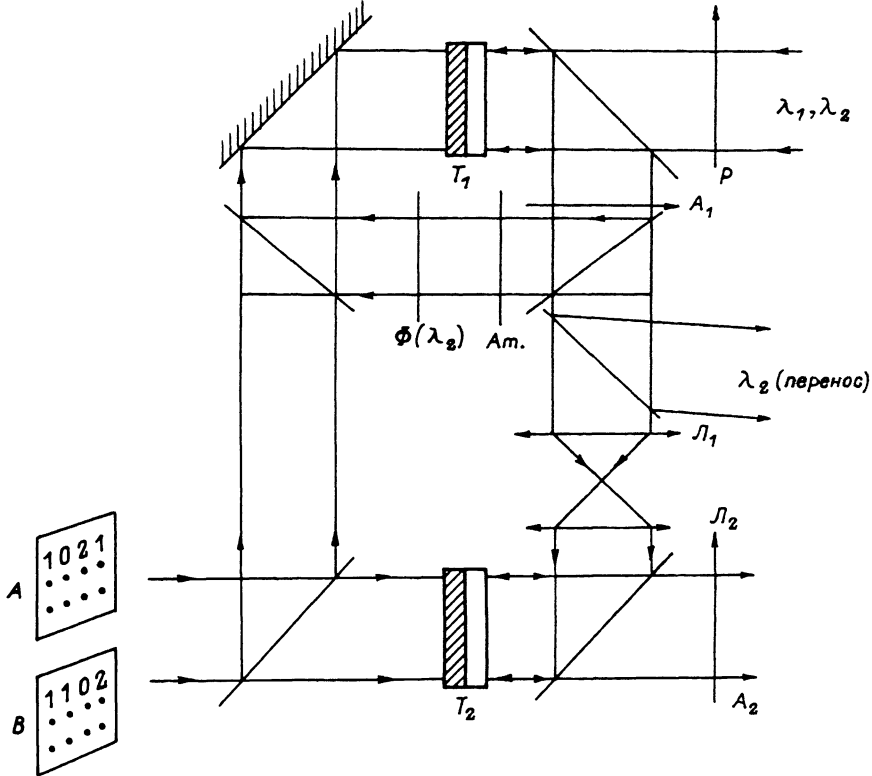


Рис. 1. Оптическая схема реализации сложения в троичной системе счисления.

гается, что количество оборудования в каждом разряде пропорционально величине m . Показано, что эта функция достигает минимума при $m = 3$. Скорость выполнения операций зависит от основания системы и для $m > 2$ при выполнении операции умножения путем последовательных сложений и сдвигов количество сложений увеличивается, но уменьшается количество сдвигов.

Рассмотрим возможность оптической реализации операций сложения и умножения в троичной системе счисления. Для наглядности здесь представлены результаты сложения и умножения двух однозарядных троичных чисел. Интересно заметить, что знакомая всем формула $2 \times 2 = 2 + 2 = 4$ (11 в троичной системе) показывает, что результаты сложения и умножения двух чисел с максимальным весом в троичной системе совпадают.

	0	1	2
0	0	1	2
1	1	2	10
2	2	10	11

сложение

	0	1	2
0	0	0	0
1	0	1	2
2	2	2	11

умножение

Для оптической реализации основных арифметических операций (сложение и умножение) мы использовали оптически управляемый транспарант на основе структуры МДП-ЖК, работающий на S эффекте [2]. Принцип работы оптически управляемого транспаранта основан на переориентации анизотропных молекул в слое ЖК при приложении напряжения, причем потенциальный рельеф может быть создан оптическим путем.

Легко видеть, что для выполнения операции сложения наибольшую трудность представляют преобразование результата сложения, равного 3 или 4 (в десятичной системе счисления), в троичную форму (10 и 11) и перенос из младшего разряда в старший. Для оптической реализации операции сложения предложена схема рис. 1. Две матрицы A и B с набором входных данных, представленных в троичной системе счисления, проецируются на фоточувствительный слой транспарантов T_1 и T_2 , где происходит суммирование интенсивностей этих матриц в соответствующих разрядах. На T_1 отводится малая часть суммарного светового потока (в эксперименте отвод осуществляется стеклянной пластинкой).

При считывании с транспаранта T_1 происходит разбиение суммарной интенсивности на две группы значений: 0, 1, 2 и 3, 4. Это достигается путем бихроматического считывания и применения обратной связи [3, 4], обеспечивающей пороговую дискриминацию интенсивности.

При бихроматическом считывании с транспаранта T_1 светом с длинами волн λ_1 (красный луч) и λ_2 (зеленый луч) возможно обеспечить такой режим, когда при интенсивностях на фотослое 0, 1 и 2 (т. е. при очень малых, согласно слабому отводу энергии на транспарант T_1) в считывающем потоке будет присутствовать после анализатора A_1 только излучение λ_1 практически одинаковой интенсивности для всех трех значений [5]. Это происходит благодаря различному двулучепреломлению в ЖК для двух длин волн, обеспечивающему ортогональное соотношение поляризаций двух излучений. Для λ_2 образована цепь обратной связи (λ_1 подавлена в ней фильтром $\Phi(\lambda_2)$), переводящая транспарант в триггерный режим работы. При освещении фотослоя внешним записывающим сигналом (суммой $A + B$), превышающим некоторый порог (в нашем случае при $I_{3A/B} \geq 3$), происходит лавинообразное увеличение сигнала на выходе транспаранта для света с длиной волны λ_2 до некоторого постоянного уровня. При этом, благодаря ортогональности поляризаций двух излучений, интенсивность света с λ_1 после анализатора A_1 становится близкой к нулю в точках „разгорания“ света с λ_2 .

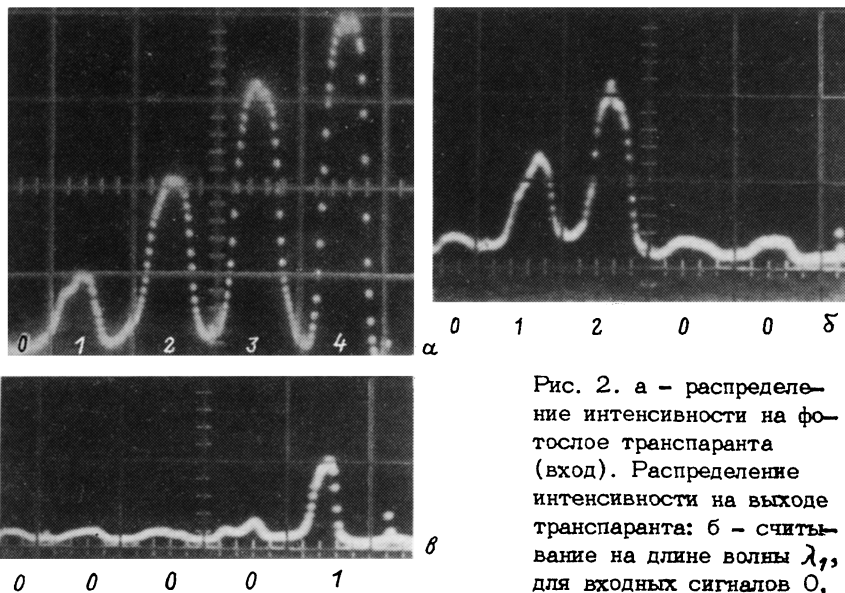


Рис. 2. а - распределение интенсивности на фотослое транспаранта (вход). Распределение интенсивности на выходе транспаранта: б - считывание на длине волны λ_1 , для входных сигналов 0, 1, 2; в - считывание на длине волны λ_2 для входных сигналов 3 и 4.

Таким образом, после анализатора A_1 входным сигналам 0, 1 и 2 будет соответствовать одна интенсивность света для λ_1 и 0 для λ_2 , а сигналам 3 и 4 - одинаковая интенсивность для λ_2 и 0 для λ_1 .

Часть света с длиной волны λ_2 отводится полупрозрачным зеркалом для дальнейшего суммирования (что соответствует переносу единицы для входных сигналов 3 и 4). Двухцветная матрица в целом отображается на транспарант T_2 с соблюдением условия автоморфизма. При этом светом с длиной волны λ_1 считываются только входные сигналы 0, 1, и 2 (рис. 2,б), что дает идентичные выходные сигналы 0, 1 и 2. На λ_2 считываются только входные сигналы 3 и 4; при этом минимум характеристики транспаранта T_2 для λ_2 настроен на сигнал 3. Тогда считывание 3 и 4 даст на выходе 0 и 1 (рис. 2,в), что соответствует остаткам в данном разряде в троичной системе счисления.

Оптическое суммирование результата считывания с T_2 на λ_1 и λ_2 с результатом считывания с T_1 на λ_2 (с переносом) дает результат суммирования в троичной системе счисления. С учетом результатов переноса снова возможно получение интенсивностей 3 и

4; тогда для осуществления дальнейшего переноса необходимо последовательное включение нескольких транспарантов.

Выполнение операции умножения в троичной системе возможно, как и в двоичной, с использованием операции аналоговой свертки [6], однако мы рассмотрим возможность иной оптической реализации результатов согласно приведенной ранее табличке перемножения.

Для выполнения операции умножения отобразим матрицы входных данных (сомножители) на фоточувствительные слои двух идентичных транспарантов в виде картинок с распределением интенсивности 0, 1 и 2 и воспользуемся возможностью усиления при считывании. Пусть нулю на входе соответствует минимум оптического излучения на выходе, а двойке – максимум. Тогда при распределении интенсивности на фотослое первого транспаранта 0, 1 и 2 (в относительных единицах) и считывании светом с интенсивностью, равной 4, после анализатора (без учета потерь) будет распределение 0, 2 и 4. Теперь при считывании картинкой с таким распределением интенсивности данных со второго транспаранта считывание нулем дает 0 для любого распределения интенсивности на втором транспаранте, двойкой – 0, 1 и 2, четверкой 0, 2 и 4. Так оптически реализуется операция умножения одnorазрядных чисел, отраженная в табличке. Для представления результата 4 в виде 11 в троичной системе приходится опять использовать обратную связь и бихроматическое считывание.

Использование транспаранта на основе структуры МДП-ЖК с обратной связью и бихроматического источника света позволило реализовать операции сложения и умножения в троичной системе счисления.

Л и т е р а т у р а

- [1] Карцев М.А. Арифметика цифровых машин. М., 1969. 576 с.
- [2] Грибов Б.Г., Думаревский Ю.Д., Ковтонюк Н.Ф. и др. – Электронная техника, сер. Микроэлектроника, 1985, в. 5, с. 82–88.
- [3] A k i n s R.P., A t h a l e R.A., L e e S.H. – Opt. Eng., 1980, v. 19, N 3, p. 347–358.
- [4] Воеводкин Г.Г., Дианов Е.М., Кузнецов А.А. и др. – Квантовая электроника, 1988, № 4, с. 805–811.
- [5] Воеводкин Г.Г., Дианов Е.М., Кузнецов А.А., Нефедов С.М. – Письма в ЖТФ, 1986, в. 122, с. 1373–1377.
- [6] Родес У.Т., Джиллофойл П.С. – ТИИЭР, 1984, т. 72, № 7, с. 80–91.