

ственной емкости клапана, позволяет получить контраст оптического изображения не менее 100. Полученные результаты могут быть использованы при разработке одномерных ПВМС с большим (10^3 — 10^4) числом каналов модуляции света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чепенко В. Г., Дангоvene Г. К., Баталов И. Н. Развитие электрофотографических лазерных печатающих устройств // Полиграфическая промышленность: Обзорная информация.— 1986.— Вып. 8.
2. Вуль В. А. Лазерные устройства вывода графической и алфавитно-цифровой информации из ЭВМ // Зарубеж. радиоэлектрон.— 1978.— № 5.
3. Светодиоды — конкуренты лазеров в принтерах // Электроника.— 1984.— 57, № 7.
4. Принтер с ЖК-затворами // Там же.— № 25.
5. Пилипович В. А., Гук А. В., Коленников П. И. и др. ЦТСЛ керамические одномерные ПВМС в быстродействующих оптических принтерах // Получение, исследование и применение прозрачной сегнетокерамики: Тез. докл. 3—20 Международн. семинара (Рига, 1988).— Рига, 1988.
6. Пилипович В. А., Гук А. В., Коленников П. И. и др. Линейные управляемые транспаранты на основе ЦТСЛ-керамики // Автометрия.— 1981.— № 5.
7. Пилипович В. А., Гук А. В., Малаховский В. Р. и др. Многоканальный электрооптический модулятор света на основе прозрачной керамики ЦТСЛ 9/65/35 // ПТЭ.— 1987.— № 2.
8. Полевые транзисторы. Физика, технология и применение/Под ред. С. А. Майорова: Пер. с англ.— М.: Сов. радио, 1971.
9. Васильев А. А., Касасент Д., Компанец И. Н., Парфенов А. В. Пространственные модуляторы света.— М.: Радио и связь, 1987.
10. Пилипович В. А., Гук А. В., Коленников П. И. Устройство ввода информации в голографическое ЗУ на основе мозаичного жидкокристаллического управляемого транспаранта // Автометрия.— 1979.— № 1.

Поступила в редакцию 9 января 1989 г.

УДК 535.241.13 : 681.527

А. В. ГУК
(Минск)

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ЦТСЛ КЕРАМИЧЕСКИЕ ПВМС В УСТРОЙСТВАХ ВВОДА МНОГОГРАДАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЭВМ

Эффективность использования цифровых систем обработки изображений в значительной мере определяется тем, насколько успешно решены вопросы ввода исходных многоградационных изображений в ЭВМ. Операция ввода при этом включает в себя предварительное преобразование аналогового изображения в эквивалентный числовой массив (оцифровка изображения), который затем и обрабатывается в ЭВМ по заданной программе. Преобразование изображений в цифровой массив осуществляется в результате измерения некоторых физических характеристик, например яркости или оптической плотности.

В настоящее время создание технических средств для осуществления качественного высокопроизводительного ввода многоградационных изображений представляет собой весьма актуальную задачу. По оценкам некоторых авторов [1, 2], подобные устройства должны обеспечивать ввод в ЭВМ 10^5 дискретных точек в секунду при числе уровней квантования

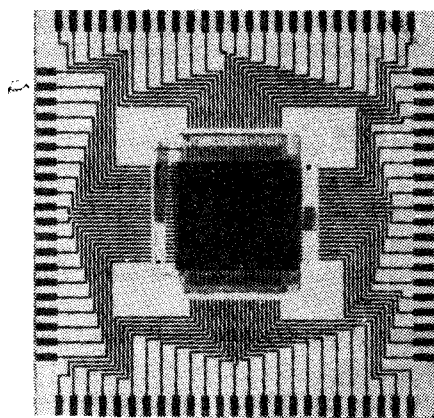


Рис. 1

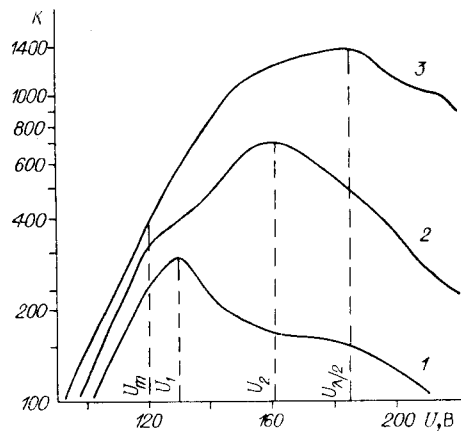


Рис. 2

яркости или оптической плотности, превышающем 100. Существующие одноканальные сканирующие фоторегистраторы [3] обладают недостаточным быстродействием. Системы на базе электронно-лучевых трубок имеют ограниченное применение из-за нестабильности положения, размеров и яркости светового пятна на экране, вследствие чего количество уровней квантования составляет несколько десятков [2]. Устройства ввода на основе многоэлементных светоизлучателей и фотоприемников, например линеек светодиодов и приборов с зарядовой связью, характеризуются значительным разбросом параметров отдельных элементов, что снижает число различимых градаций в анализируемом изображении.

В данной работе исследуются вопросы использования для ввода изображений в ЭВМ многоканальных ПВМС типа «разнесенная матрица» на основе квазисегнетоэлектрической керамики системы ЦТСЛ состава 10/65/35. ПВМС в таком устройстве работает в режиме сканирования с тактовой частотой 0,1—1 МГц. При этом изображение всех световых клапанов (СК) ПВМС проецируется на одиночный фотоприемник [4], что значительно упрощает электронные схемы управления каналом считывания. Использование многоканального ПВМС позволяет при том же формате кадра и степени его дискретизации существенно сократить количество необходимых точек позиционирования сканирующего механизма в сравнении с одноканальным фоторегистратором и увеличить производительность устройства в целом.

На рис. 1 представлен внешний вид матричного ПВМС типа «разнесенная матрица» с числом СК 44×44 . Образец ПВМС состоит из двух ЦТСЛ-керамических пластин размером $0,2 \times 10 \times 15$ мм, на одной из поверхностей которых сформированы системы встречно-штыревых электродов. Ширина электродов 100 мкм при шаге их расположения 200 мкм. ЦТСЛ-керамические пластины расположены ортогонально друг другу таким образом, что электродные системы на обеих пластинках образуют строки и столбцы. Пластины помещены между тремя скрещенными поляроидными пленками и склеены прозрачным кремнеорганическим клеем со стеклянной подложкой.

Для модуляции света используется поперечный электрооптический эффект наведенного двулучепреломления. Конструктивно матричный ПВМС состоит из двух взаимно ортогональных линейных ПВМС со щелевой апертурой СК. Включение СК осуществляется при подаче разности потенциалов на электроды, ограничивающие его апертуру. На рис. 2 представлены зависимости контрастных характеристик линейного ПВМС в режиме поэлементного сканирования от величины напряжения, приложенного к включенному СК, для длины волны света $\lambda = 440$ нм и тактовой частоты 10 кГц. Исследование светомодуляционных характеристик проводилось с использованием методики динамических исследований многоканальных ПВМС, позволяющей подавить эффект накопления остаточ-

ной поляризации. Управление ПВМС осуществлялось биполярными импульсами напряжения, имеющими вид симметричных меандров. Кривая 1 на рис. 2 представляет зависимость контраста K_1 клапанов, расположенных рядом с включенным, а кривая 2 — контраста K_2 следующей пары соседних СК. Зависимость контраста K остальных клапанов линейного ПВМС описывается кривой 3. Из приведенного графика видно, что вначале с повышением напряжения U величины K_1 , K_2 и K монотонно растут, что объясняется ростом пропускания включенного СК в соответствии с модуляционной характеристикой квадратичного электрооптического эффекта в ЦТСЛ-керамике. Затем, несмотря на дальнейшее увеличение пропускания, скорость роста контраста K_1 замедляется и при некотором напряжении $U_1 < U_{\lambda/2}$ величина K_1 достигает максимума. Такое поведение кривой $K_1(U)$ связано с частичным переключением включенного соседнего СК. Степень этого переключения при невысоких напряжениях мала и не сказывается на возрастании K_1 при увеличении пропускания включенного СК. При больших напряжениях частичное пропускание соседнего клапана начинает расти быстрее, замедляя возрастание K_1 . При $U = U_1$ паразитное электрическое поле в апертуре этого СК достигает такой величины, что рост его частичного пропускания начинает опережать увеличение пропускания включенного СК. Контраст K_1 при этом снижается.

Поведение кривой $K_2(U)$ аналогично $K_1(U)$ за исключением того, что максимум K_2 достигается при $U_2 > U_1$, поскольку второй соседний клапан расположен дальше от включенного и наводимое паразитное электрическое поле в его апертуре ослабляется сильнее. Для остальных СК независимо от их положения относительно включенного контраст во всем диапазоне напряжений описывается одной кривой 3. В данном случае изменение контраста K связано лишь с изменением светопропускания включенного СК и видом светомодуляционной характеристики электрооптического материала.

Рассмотрим режим ввода многоградационных изображений в ЭВМ с использованием матричного ПВМС с построчным сканированием и одиночного фотоприемника. Матричный ПВМС с числом СК, равным n^2 , состоит из двух ортогонально расположенных линейных ПВМС со целевой апертурой СК, имеющих контрастные характеристики в соответствии с рис. 2. Предположим, что в некоторый момент времени $t_{i,j}$ включен целевой СК с номером j первого линейного ПВМС и i -й СК второго линейного ПВМС. Тогда коэффициенты пропускания первого столбцового линейного ПВМС можно записать в виде

$$C_{i,j}^1 = 1, \quad j = 1, \dots, n;$$

$$C_{i\pm m,j}^1 = \begin{cases} 1/K_1, & m = 1; \\ 1/K_2, & m = 2; \\ 1/K, & m \geq 3. \end{cases} \quad (1)$$

Аналогично коэффициенты пропускания СК второго строчного линейного ПВМС определяются таким образом:

$$C_{i,j}^2 = 1, \quad i = 1, \dots, n;$$

$$C_{i,j\pm m}^2 = \begin{cases} 1/K_1, & m = 1; \\ 1/K_2, & m = 2; \\ 1/K, & m \geq 3. \end{cases} \quad (2)$$

Предположим, что динамический диапазон интенсивностей световых потоков, проходящих через различные участки фотоснимка, лежит в пределах $[I_{\min}, I_{\max}]$, а на включенный СК матричного ПВМС падает световой поток с интенсивностью $I_a (I_{\min} < I_a < I_{\max})$. Тогда интенсивность света на выходе включенного СК может быть записана как $I_{i,j} = \eta I_a$, где η — оптическая эффективность ПВМС. Сигнал, регистрируемый в этом случае фотоприемником, будет состоять из суммы световых

потоков, прошедших через i -, j -й СК и все остальные клапаны в соответствии с их контрастными свойствами. Дополнительный световой поток, обусловленный конечным значением величин контраста матричного ПВМС, имеет паразитный характер и вносит ошибку в определение интенсивности искомого светового потока, проходящего через включенный СК. При этом возможны два предельных случая, соответствующие падению на все, кроме i -, j -го, СК света с одинаковой интенсивностью, равной в первом случае I_{\min} , во втором — I_{\max} . Регистрируемые фотоприемником сигналы в этих случаях запишутся как

$$\begin{aligned} I_{a\min}^{\text{фп}} &= \eta \left(I_a + I_{\min} \sum_1^{n^2-1} C_{i,j} \right); \\ I_{a\max}^{\text{фп}} &= \eta \left(I_a + I_{\max} \sum_1^{n^2-1} C_{i,j} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициенты пропускания матричного ПВМС можно представить в виде произведения соответствующих коэффициентов пропускания первого (1) и второго (2) линейных ПВМС:

$$C_{i,j} = C_{i,j}^1 C_{i,j}^2. \quad (4)$$

Для исследуемого матричного ПВМС (см. рис. 2) экспериментальные значения контрастов $K > K_2 > K_1 > 100$. Тогда, пренебрегая членами второго порядка малости по сравнению с $1/K_1$, $1/K_2$ и $1/K$, выражение (4) можно записать

$$C_{i,j} = \frac{4(K_1 + K_2)(K + n)}{K_1 K_2 K} + \frac{2(n-5)}{K} + \frac{n(n-10)}{K^2}. \quad (5)$$

Пусть интенсивность светового потока на входе i -, j -го СК изменится на величину $\Delta I > 0$ и станет равной $I_b = I_a + \Delta I$, причем $I_{\min} < I_b < I_{\max}$. Тогда соответствующие минимально и максимально возможные сигналы, проходящие на фотоприемник, можно представить в виде

$$\begin{aligned} I_{b\min}^{\text{фп}} &= \eta \left(I_a + \Delta I + I_{\min} \sum_1^{n^2-1} C_{i,j} \right); \\ I_{b\max}^{\text{фп}} &= \eta \left(I_a + \Delta I + I_{\max} \sum_1^{n^2-1} C_{i,j} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Поскольку входной сигнал увеличился, т. е. $I_b > I_a$, то очевидно, что и сигнал на фотоприемнике $I_b^{\text{фп}}$ будет всегда превышать $I_a^{\text{фп}}$. В частности, должно выполняться условие

$$I_{b\min}^{\text{фп}} \geq I_{a\max}^{\text{фп}}. \quad (7)$$

Подставляя в неравенство (7) соответствующие выражения из (3) и (6), после тождественных преобразований получаем

$$I_{\max} - I_{\min} / \Delta I \leq \left(\sum_1^{n^2-1} C_{i,j} \right)^{-1}. \quad (8)$$

В выражении (8) левая часть фактически представляет собой число уровней квантования изображения m , имеющего динамический диапазон I_{\max} , I_{\min} , при шаге квантования ΔI . Равенство в выражении (8) характеризует предельный случай, когда границы двух соседних градаций шкалы серых тонов смыкаются и достигается максимально возможное количество уровней квантования m . С учетом (5) можно записать

$$m_{\max} = \left[\frac{4(K_1 + K_2)(K + n)}{K_1 K_2 K} + \frac{2(n-5)}{K} + \frac{n(n-10)}{K^2} \right]^{-1}. \quad (9)$$

На рис. 3, а представлены семейства кривых, выражающих зависи-

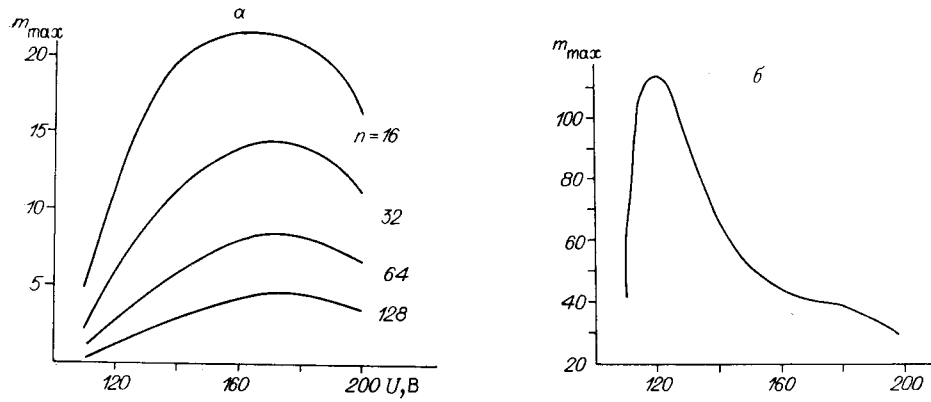


Рис. 3

мость m_{\max} от U при различных n . Кривые построены на основании выражения (9) и контрастных характеристик линейных ПВМС (см. рис. 2). Очевидно, что если необходимо получить определенное число градаций интенсивности в анализируемом изображении, то возможное количество СК в матричном ПВМС не должно превышать некоторой величины, убывающей с ростом m_{\max} . Так, для $\lambda = 440$ нм при $m_{\max} = 4$ матричный ПВМС может иметь не более 128×128 СК. При $m_{\max} = 14$ информационная емкость ПВМС не превышает 32×32 . Причем характер зависимости m_{\max} от n такой, что даже при небольшом числе СК, например $n = 16$, максимально возможное число уровней квантования анализируемого изображения не превышает 21 и не удовлетворяет условиям многих задач обработки изображений, где требуемое значение m_{\max} составляет 64 и выше [3].

Проведем анализ выражения (9). Основное ограничение на число градаций шкалы серых тонов накладывается членами $2n/K$ и n^2/K^2 . Член $2n/K$ определяет паразитный световой поток, проходящий через клапаны i -й строки и j -го столбца матричного ПВМС, а член n^2/K^2 — световой поток через СК с порядковыми номерами $i \pm m$, $j \pm m$, где $m \geq 3$. Увеличить количество уровней квантования вводимого изображения можно, применив дифференциальный режим ввода [4]. В нашем случае режим ввода модифицируется следующим образом. Сначала измеряется суммарная интенсивность сигнала на фотоприемнике при включении i -го, j -го СК. Из этого сигнала вычитаются интенсивности двух световых потоков, проходящих через матричный ПВМС, когда включены только i -я строка первого линейного ПВМС (все столбцы второго линейного ПВМС выключены) и j -й столбец второго линейного ПВМС (строки первого линейного ПВМС выключены). Затем к ним добавляется световой поток, прошедший через выключенный матричный ПВМС. Коэффициенты пропускания матричного ПВМС в режимах включения только одного из линейных ПВМС по аналогии с (1), (2) и (4) можно представить как

$$C_{i,j} = 1/K, \quad j = 1, \dots, n; \quad C_{i,j} = 1/K, \quad i = 1, \dots, n;$$

$$C_{i \pm m, j} = \begin{cases} 1/K_1 K, & m = 1; \\ 1/K_2 K, & m = 2; \\ 1/K^2, & m \geq 3; \end{cases} \quad C_{i, j \pm m} = \begin{cases} 1/K_1 K, & m = 1; \\ 1/K_2 K, & m = 2; \\ 1/K^2, & m \geq 3. \end{cases} \quad (10)$$

Суммарное пропускание матричного ПВМС в обоих случаях будет равно

$$\sum_1^{n^2} C_{i,j} = \frac{n}{K} + \frac{2n}{K_1 K} + \frac{2n}{K_2 K} + \frac{n(n-5)}{K^2}. \quad (11)$$

Пропускание выключенного матричного ПВМС определяется как

$$\sum_1^{n^2} C_{i,j} = \frac{n^2}{K^2}. \quad (12)$$

В рассматриваемом дифференциальном режиме ввода изображений интенсивность светового потока, проходящего через анализируемый i - j -й СК, изменится и на основании (3) может быть представлена в виде

$$I_{i,j} = \eta I_a \left(1 - \frac{2}{K} + \frac{1}{K^2} \right). \quad (13)$$

Для этого сигнала проводим анализ, аналогичный представленному выше (выражения (3)–(8)), и в итоге, пренебрегая членами второго порядка малости по сравнению с $1/K_1$, $1/K_2$ и $1/K$, на основании (10)–(13) получаем

$$m_{\max} = \frac{K_1 K_2 (K - 2)}{4(K_1 K + K_2 K - 2K_1 K_2)}. \quad (14)$$

Таким образом, в дифференциальном режиме ввода количество уровней квантования изображения определяется только контрастными свойствами матричного ПВМС и не зависит от числа СК в последнем.

На рис. 3, б представлены зависимости m_{\max} от управляющего напряжения U , построенные на основании формулы (14) и контрастных характеристик линейных ПВМС (см. рис. 2). Из сравнения кривых на рис. 3, а и б видно, что в дифференциальном режиме ввода возможное количество уровней квантования существенно возрастает. Если в режиме прямого ввода для $\lambda = 440$ нм m_{\max} не превышало 21 уже при числе СК, равном 16×16 , то в дифференциальном режиме для любого числа СК количество уровней квантования превышает 100.

Представляет интерес вид кривой $m_{\max}(U)$. Она имеет хорошо выраженный максимум при рабочем напряжении $U_m = (0,6-0,7) U_{\lambda/2}$. Простой анализ выражения (14) показывает, что m_{\max} зависит как от абсолютных значений K_1 , K_2 и K , так и от разброса их значений. Увеличение абсолютных значений вызывает рост m_{\max} , а увеличение разброса — снижение. Как видно из данных рис. 2, m_{\max} достигается при управляющем напряжении $U = U_m$, характеризующемся малым разбросом значений K_1 , K_2 и K . Дальнейшее увеличение абсолютных величин контрастов уже не может компенсировать роста их разброса, и значение m_{\max} при увеличении управляющих напряжений уменьшается.

Следует отметить, что при $U = U_m$ светопропускание выключенного СК составляет около 30 % от максимального значения при $U = U_{\lambda/2}$. При $U > U_m$ светопропускание растет, но возможное число градаций вводимого изображения снижается с 114 до 38 (для $U = U_{\lambda/2}$), т. е. при работе на полуволновом напряжении матричный ПВМС имеет хорошие светомодуляционные характеристики, но число уровней квантования при этом примерно в 3 раза меньше максимально возможного.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований контрастных свойств матричных ПВМС из электрооптической керамики системы ЦТСЛ рекомендованы режимы ввода изображений в ЭВМ. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности эффективного использования таких устройств для ввода многоградационных изображений в ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин М. П., Курбанов Ш. М., Маркелов В. П. Автоматический ввод и обработка фотографических изображений на ЭВМ.— М.: Энергия, 1976.
2. Васильков С. Т., Мамонтов Г. М., Поташников А. К., Ткач С. Е. Сканирующие устройства на ЭЛТ высокого разрешения.— Новосибирск: Наука, 1978.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.— М.: Мир, 1982.
4. А. с. 1323998 СССР. Электрооптическое устройство ввода-вывода изображений/ В. А. Филипович, А. В. Гук, В. Р. Малаховский и др.— Оpubл. в БИ, 1987, № 26.

Поступила в редакцию 7 апреля 1988 г.