

ФОРМИРОВАТЕЛЬ СТРАНИЦ ДЛЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В устройствах оптической обработки и хранения информации используются многоканальные модуляторы света — управляемые транспаранты. Предъявляемые к транспарантам требования определяются конкретным применением. Так, для устройств записи цифровых голограмм необходимы транспаранты с высоким оптическим контрастом, пропусканием и однородностью характеристик клапанов, в то время как быстроедействие не является определяющим. В этом плане привлекательны жидкокристаллические матричные устройства [1—3], построенные на основе эффекта управляемого полем рассеяния света при фазовом переходе в смесях холестерических и нематических жидких кристаллов (ЖК). В работе рассмотрено автоматизированное устройство формирования страниц с использованием подобной матрицы. Основное внимание уделено при этом оптимизации управления транспарантом.

Структурная схема формирователя страниц показана на рис. 1. Электрооптическим модулем устройства является ЖК-матрица. Она содержит две стеклянные подложки, между которыми находится слой жидкокристаллической смеси толщиной 20 мкм. На сторонах подложек, контактирующих с жидким кристаллом, расположена система прозрачных полосковых электродов из окиси индия. Ширина электродов 200 мкм, шаг 250 мкм. Строки и столбцы матричного устройства образуют ортогональную сетку с числом клапанов 32×32 . Для увеличения оптического контраста и повышения надежности считывания голограмм рабочее поле закрыто непрозрачной диэлектрической маской, в которой фотолитографией выполнены круглые отверстия. Пропускание структуры (для $\lambda = 0,63$ мкм) в области клапана $t_{\text{кл}} = 0,7$; в области маски $t_{\text{м}} = 0,01$.

Информация, записываемая на транспарант, поступает из внешнего запоминающего устройства (ВЗУ). Смена адресов и временная диаграмма работы задаются программой, выполняемой мини-машиной 15-ВСМ-5, которая через блок сопряжения (БС) связана с устройством записи голограмм и вольтметром, используемым для контроля транспаранта. Запись информации на матрицу осуществляется построчно через устройство формирования сигналов (УФС), которое содержит 32 строчных и 32 столбцовых ключа. Ключи, собранные на транзисторных сборках К1НТ661А, обеспечивают переключение напряжений до 250 В с частотой до 10 кГц. Выходные сигналы строчных и столбцовых ключей имеют форму меандра, причем запись «0» или «1» на информационные столбцовые шины осуществляется за счет фазового сдвига меандра столбца на половину периода. Период задается внешним генератором. Форма напряжений на строках (б) и столбцах (а) матрицы, а также их разность, являющаяся сигналом управления на соответствующем клапане (в), показаны на рис. 2. Столбцовые ключи являются двухпозиционными, уровни напряжений на их выходе обозначены V_0 и V_1 . Строчные ключи являются трехпозиционными с уровнями напряжений 0 , $V_2 = (1/2)(V_0 + V_1)$, $V_3 = 2V_2$.

Классификация режимов матричной адресации. В процессе построчного включения транспаранта на его клапанах возникают напряжения, которые нельзя устранить, но можно перераспределить между собой для улучшения качества формируемой картины. Этот вопрос мало обсуждался в литературе, хотя он имеет принципиальное значение для работы УТ [4]. Обозначим амплитуду напряжений на неадресуемых элементах

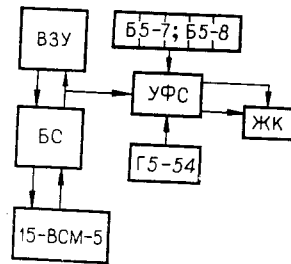


Рис. 1.

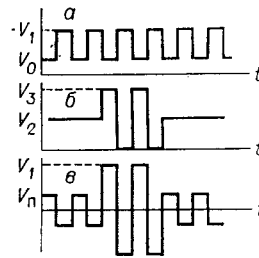


Рис. 2.

транспаранта V_{π} , амплитуду напряжения на включаемых клапанах адресуемой строки V_1 , амплитуду напряжения на остальных клапанах адресуемой строки V_0 . Амплитуды V_1 и V_0 равны потенциалам на столбцах УТ, поэтому для них в тексте использованы одинаковые обозначения. Можно показать, что единственное ограничение на напряжения, накладываемое решеткой адресных электродов, состоит в том, что

$$V_1 = V_0 + 2V_{\pi} \quad \text{или} \quad 1 = v_0 + 2v_{\pi}, \quad (1)$$

где $v_0 = V_0/V_1$, $v_{\pi} = V_{\pi}/V_1$. Из (1) следует, что с уменьшением помехи v_{π} помеха v_0 увеличивается, и наоборот. Соотношения между напряжениями, возникающими в процессе включения матрицы, назовем режимом адресации транспаранта. Режим определяется значением относительной помехи на неадресуемых строках v_{π} . При этом уровни потенциалов на строках и столбцах матрицы должны удовлетворять соотношениям

$$V_0 = V_1(1 - 2v_{\pi}), \quad V_2 = V_1(1 - v_{\pi}) = (1/2)(V_1 + V_0), \quad V_3 = 2V_1(1 - v_{\pi}) = 2V_2.$$

При заданном режиме адресации соотношения между напряжениями на клапанах матрицы заданы жестко и возможно только их пропорциональное изменение. Обычно на практике используется режим $v_{\pi} = 1/3$, который называют также режимом $V/3$ или $1:3$. Его достоинство заключается в том, что минимизируется абсолютная величина максимальной из помех ($V_{\pi} = V_0 = (1/3)V_1$).

Однако оптимальный режим адресации в значительной степени зависит от свойств электрооптического материала и может отклоняться от $v_{\pi} = 1/3$ в сторону как больших, так и меньших значений. Если материал реагирует на напряжения, усредненные по времени включения транспаранта, то целесообразно использовать режимы, для которых $v_{\pi} < 1/3$, так как при уменьшении v_{π} уменьшается среднее значение помехи на клапанах УТ. В частности, это оправдано для многих ЖК, работающих на ориентационных эффектах и эффекте динамического рассеяния [4]. Ниже будет показано, что для УТ на фазовом переходе холестерик — нематик оптимальным является режим $v_{\pi} = 1/2$.

Экспериментальные результаты. Использование транспарантов в устройствах голографической записи значительно затрудняется из-за недостаточности оптического контраста. Оптимизация управления осуществлялась нахождением максимума функции многих переменных с помощью метода сечений. В пределах выбранного режима адресации ($v_{\pi} = 1/3$, $1/2$ и т. д.) проводилась настройка на максимум контраста изменением одного из параметров управляющих импульсов (напряжения, времени записи на строку $\tau_{\text{вкл}}$, частоты наполнения ν) при фиксированных остальных. Значение, максимизирующее контраст, фиксировалось, и оптимум определялся по другому параметру и т. д.

Поскольку ЖК обладает памятью релаксационного типа, качество записанной на УТ картины ухудшается со временем. В экспериментах измерения пропускания клапанов проводились в течение 0,1 с по сигналу от мини-машины 15-ВСМ-5 сразу после записи информации на последнюю строку матрицы. Контраст вычислялся как отношение пропуска-

ния клапана во включенном (нерассеивающем) и выключенном (рассеивающем) состояниях. Средний по матрице контраст \bar{K} определялся по результатам измерения на 25 клапанах, равномерно разбросанных по полю транспаранта. По этим же измерениям вычислялась дисперсия контраста

$$\sigma = \sqrt{(K - \bar{K})^2}.$$

Для режима адресации $v_{II} = 1/3$ наиболее высокий контраст $\bar{K} = 8$ получен при следующих параметрах управляющих сигналов: $V_1 = 3V_{II} = 73,5$ В, $\nu = 50$ Гц, $\tau_{вкл} = 120$ мс. Время формирования страницы, вычисленное по формуле $T = 32 \tau_{вкл}$, составляет 3,8 с. Фактическое же время смены кадра равно 7,6 с, так как требуется дополнительное время для релаксации предыдущей картины.

Более высокий контраст $\bar{K} = 15$ получен в режиме адресации $V/2 (v_{II} = 1/2)$ при следующих параметрах управляющих сигналов: $V_1 = 2V_{II} = 49$ В, $V_0 = 0$, $\nu = 50$ Гц, $\tau_{вкл} = 150$ мс. При адресации к строке матрицы одновременно происходит и включение клапанов транспаранта напряжением V_1 , и стирание записанной ранее информации, так как $V_0 = 0$. С этим связано сокращение времени смены кадра $T = 4,8$ с. К сожалению, разброс контраста остается слишком большим: $K_{min} = 7$, $K_{max} = 30$. Кроме того, он зависит от вида предыдущей картины, что связано с особенностями отклика ЖК на электрический импульс. Так, если после включения клапана напряжением V_1 (переход в нерассеивающую фазу) на нем остается напряжение V_0 , близкое к порогу переключения, то спад пропускания за время формирования страницы не превышает 5–10%. Если же $V_0 = 0$, то клапан в течение 30 мс релаксирует в рассеивающую холестерическую фазу с наиболее низким уровнем пропускания.

Подобный характер функции пропускания указывает на возможность осуществления режима адресации, который назовем инверсным. Суть его заключается в том, что перед записью очередной страницы происходит параллельное включение клапанов матрицы напряжением V_1 , после чего построчно в нужные места записывается «0» информации. Это обеспечивает высокий оптический контраст при сравнительно малом времени смены кадра $T = 1,85$ с. Оптимальные параметры управляющих сигналов следующие: $\tau_{вкл} = 50$ мс, $V_1 = 2V_{II} = 49$ В, $V_0 = 0$, $\nu = 50$ Гц. При этом оптический контраст $\bar{K} = 60$, $K_{min} = 25$, $K_{max} = 120$, дисперсия контраста $\sigma = 8$.

На рис. 3 оптический контраст дан как функция времени, прошедшего с момента записи нуля информации на клапан. Поскольку для различных строк матрицы проходит разное время от момента записи информации до момента измерения, временная зависимость контраста приводит к его разбросу по полю транспаранта. Как и следовало ожидать, контраст увеличивается при уменьшении угловой апертуры оптической системы (рис. 4). Естественно, что в реальных случаях уменьшать угловую апертуру можно лишь до тех пор, пока

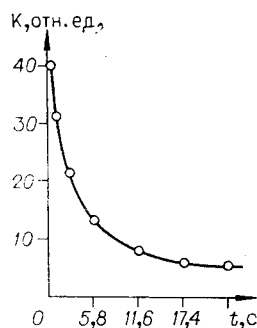


Рис. 3.

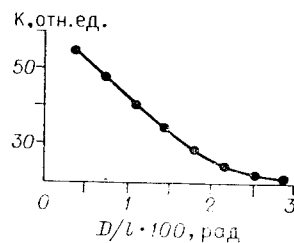


Рис. 4.

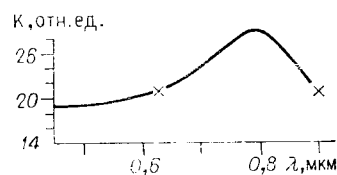


Рис. 5.

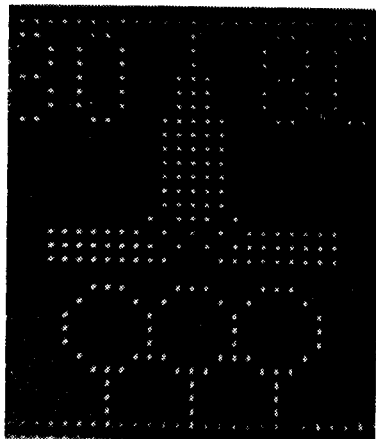


Рис. 6.

ской в холестерическую фазу. После прохождения включающего импульса напряжения клапан в течение 30 мс релаксирует в рассеивающее состояние, и его пропускание становится минимальным. В среднем за цикл включавшиеся клапаны выглядят гораздо темнее остальных, т. е. формируется инверсная картина с достаточно хорошим оптическим контрастом $\bar{K} = 20$. Так как все клапаны находятся в холестерической фазе, пропускание открытых клапанов недостаточно. Правильным выбором напряжения V_{π} оно может быть доведено до 0,3 от максимального. Время смены кадра составляет 7 с, что существенно больше, чем для режима $V/2$.

Голограммы Фурье управляемого транспаранта были записаны с помощью гелий-неонового и полупроводникового лазеров. Транспарант работал в инверсном режиме $V/2$. При экспонировании матрица располагалась за объективом и освещалась сходящейся сферической волной. В этом случае угловая апертура, влияющая на контраст изображения, $\Theta = D/l = 3 \cdot 10^{-3}$, где $D = 1$ мм — диаметр голограммы, $l = 300$ мм — расстояние от транспаранта до фотопластины. Угол между опорным и предметным пучками составлял 30° при соотношении мощностей $30:1$. Для записи голограмм гелий-неоновым лазером использовались фотопластины ЛОИ-2, которые проявлялись в проявителе Д-19 по обычной методике. Дифракционная эффективность отбеленных голограмм составила 6%. Средний контраст на восстановленном изображении $\bar{K} = 18$. Фотография восстановленного изображения приведена на рис. 6. Для записи голограмм на длине волны $\lambda = 0,9$ мкм использовался непрерывный полупроводниковый лазер с внешним резонатором. Методика записи голограмм и контроля когерентности излучения лазера аналогична описанной в работе [5]. Средний контраст клапанов в восстановленном изображении составил $\bar{K} = 10$. Уменьшение контраста связано главным образом с увеличением прозрачности маски, пропускание которой на длине волны 0,9 мкм $t_m = 0,14$.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что устройство формирования страниц на основе жидкокристаллической матрицы обеспечивает наиболее высокий контраст $\bar{K} = 60$ (при $\Theta = 3,3 \cdot 10^{-3}$) в инверсном режиме записи $V/2$. Время формирования страницы информации составляет 1,85 с, что в настоящее время можно считать приемлемым для голографических запоминающих устройств. Матрица может работать в широком диапазоне

разрешение оптической системы остается удовлетворительным.

Представляет интерес зависимость контраста от длины волны (рис. 5). Важно, что транспарант обеспечивает приемлемые контрасты не только во всем видимом диапазоне длин волн, но и на длине волны полупроводникового лазера $\lambda = 0,9$ мкм. Аномальное поведение графика $K(\lambda)$ связано с тем, что размеры рассеивающих центров соизмеримы с длиной волны.

Рассмотрим пример применения нестандартного режима матричной адресации $V/4$ с уровнями напряжения $V_1 = 64$, $V_0 = 32$ В. При этом напряжение помехи $V_{\pi} = 16$ В существенно меньше порога переключения жидкого кристалла, что приводит к быстрой релаксации из нематиче-

длин волн, включая интервал 0,4—0,9 мкм. Хорошая прозрачность клапанов $t_{кл} = 0,7$ и наличие внутренней маски подтверждают перспективность использования транспаранта для целей голографической записи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митикадзу К., Кейити К. Жидкокристаллическое отображающее устройство.— Ое Буцури, 1978, т. 47, № 3, с. 254.
2. Волин В. И. и др. Жидкокристаллическая матричная панель.— Техника средств связи. Сер. Радиоизмерит. техника, 1979, вып. 5, с. 85—89.
3. Мцкерадзе Г. Ш. и др. Запись голограмм с помощью жидкокристаллического транспаранта 128×128 элементов.— Квант. электроника, 1978, № 7, с. 1891.
4. Alt P. M., Pleshko P. Scanning Limitations of Liquid-Crystal Displays.— IEEE Trans. on El. Dev., 1974, vol. ED-21, p. 146.
5. Воробьев А. В. и др. Запись голограмм излучением полупроводникового лазера с голографическим селектором.— Квант. электроника, 1980, т. 7, № 12, с. 2741.

В. Ф. СОЛОМАТИН

(Ленинград)

ТЕОРИЯ АССОЦИАТИВНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЗАПИСЬЮ ИНФОРМАЦИИ

В современных ЗУ обычно запись осуществляется локально: в одном запоминающем элементе (ЗЭ) хранится одна величина. Результаты исследования памяти мозга, которая отличается высокой надежностью (не смотря на то что нейроны ненадежны и работают при наличии помех), высокой плотностью записи и функциональной гибкостью, показывают, что в мозгу запись осуществляется распределенно, ассоциативно, а организация памяти мозга является вероятностно-статистической [1]. Цель настоящей работы — попытаться выяснить, каким образом указанные принципы организации памяти мозга могут быть реализованы в технических ЗУ и какие возможности открывает такая реализация для повышения эффективности кибернетических систем.

Общие замечания. При распределенной записи одна величина, подаваемая на вход ЗУ, записывается в нескольких ЗЭ. Величина $q_m^{(N)}$, хранимая в m -м ЗЭ, после записи N ассоциаций в общем случае зависит от значений определенных компонент нескольких векторов (или кодов). Свойство ассоциативности памяти означает, что ее следы формируются в результате одновременного поступления двух (или нескольких) объектов и что в дальнейшем при предъявлении на входе одного из записанных объектов памяти (в ЗУ — кодов) на выходе возникает «изображение» (код) объекта памяти, запомненного вместе с первым. В этом смысле адресное ЗУ ассоциативно, а обычное ассоциативное ЗУ (АЗУ) [2] не ассоциативно, поскольку в нем можно «ассоциировать» коды, предъявляемые в разное время. В АЗУ фактически ассоциируются не код-признак и информационный код, а каждый из этих кодов с сигналом, выделяющим ячейку ЗУ.

Процесс записи в ЗУ различных типов формально можно представить как запись произведения двух функций: ключевой g и информационной f . При обычной ячейечной организации ЗУ функция $f(z_{ij})$ (z — ЗЭ, i — номер ячейки, j — номер разряда) одинакова для всех i , а $g(z_{ij})$ — для всех j , причем