

УДК 004.085+004.33+535.015+535.512+535.568+681.7.06

С. Б. О д и н о к о в, В. В. М а р к и н,
А. Ю. П а в л о в, Д. С. Л у ш н и к о в,
А. О. Б о р и с а н о в а

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОЙ И ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКО- КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДУЛЯТОРА СВЕТА В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

Приведены оптимальные параметры схемы модуляции страниц данных, соответствующих требованиям системы голографической памяти. Проанализированы графики амплитудной и фазовой модуляционных характеристик, полученных после обработки экспериментальных данных; определены три точки для кодирования битовых единиц и нулей, оптимальные для реализации гибридной модуляции. Указаны параметры пространственного модулятора света, при которых он сдвинут в рабочую точку, т.е. указаны соответствующие положения поляризатора, анализатора и уровень напряжения, поданного на обкладки жидкокристаллической ячейки.

E-mail: odinokov@bmstu.ru; vmark.39@mail.ru;
pavlovs@hotmail.ru; anna.borisanova@yandex.ru

Ключевые слова: голографическая память, микроголограмма, гибридное кодирование, жидкокристаллический пространственный модулятор света, поляризация, модуляционная характеристика.

В современном информационном мире наблюдается непрерывный рост объемов данных, хранение которых традиционно осуществляется при помощи оптических и магнитных систем. Однако эффективность таких средств, как CD-диски или магнитные ленты, ограничена теоретически достижимой плотностью. Решить данную проблему позволяет оптико-голографическая память, плотность записи данных в которой значительно выше.

В системах памяти информация записывается в виде набора двоичных данных. В оптике двоичный код можно реализовать в виде освещенного плоского транспаранта, ячейки которого в узлах регулярной двумерной сетки соответствуют единицам и нулям.

Устройство голографической памяти было выполнено на базе ранее разработанной схемы получения голограмм с перпендикулярным падением опорного пучка (рис. 1), которая позволяет применить оригинальный метод мультиплексирования голограмм, основанный на пространственном разделении изображений, восстанавливаемых с наложенных голограмм [1].

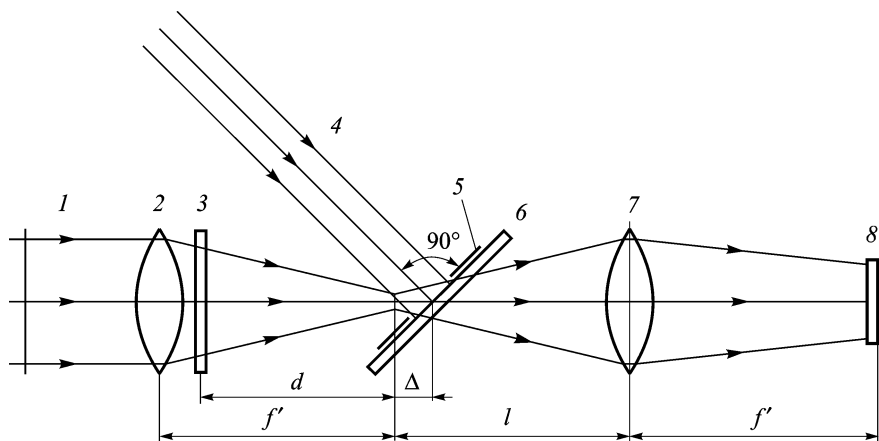


Рис. 1. Схема получения и восстановления голограмм в устройствах записи и считывания:

1 — объектный пучок; 2, 7 — объективы; 3 — ПМС; 4 — опорный пучок; 5 — диафрагма; 6 — регистрирующая среда; 8 — матрица фотоприемника

Задача проводимых исследований. Жидкокристаллические пространственные модуляторы света (ПМС-ЖК) используются для модуляции света в соответствии с заданной пространственной схемой. Это необходимый и один из наиболее важных компонентов в системах страничной оптико-голографической памяти, так как именно он формирует страницу данных хранящейся информации при ее записи в голограмму. Жидкокристаллические пространственные модуляторы света могут осуществлять пространственную модуляцию излучения по амплитуде и фазе, при этом доступные ПМС-ЖК, как правило, предназначены лишь для систем отображения информации. Их использование в системах голографической памяти сдерживается рядом факторов: ограниченной глубиной модуляции, низким контрастом, большим размером пикселя и перекрестными помехами при фазовой и амплитудной модуляции. Поэтому крайне важно знать значения некоторых из этих параметров для улучшения качества хранения данных. Помимо этого, кривая пропускания (интенсивность пропускаемого света относительно напряжения на электродах) такого модулятора является нелинейной и сильно изменяется при различных настройках параметров, т.е. изначально не может быть известно, какова зависимость амплитудного пропускания и фазовой модуляционной характеристики от различных настроек яркости, контраста, напряжения на ячейке, направления поляризации падающего пучка и пр.

Проводимое исследование направлено на то, чтобы найти наиболее оптимальный набор параметров, который будет соответствовать требованиям системы голографической памяти. Таким образом, ПМС-ЖК будет сдвинут в рабочую точку при соответствующих положениях поляризатора, анализатора и уровне напряжения.

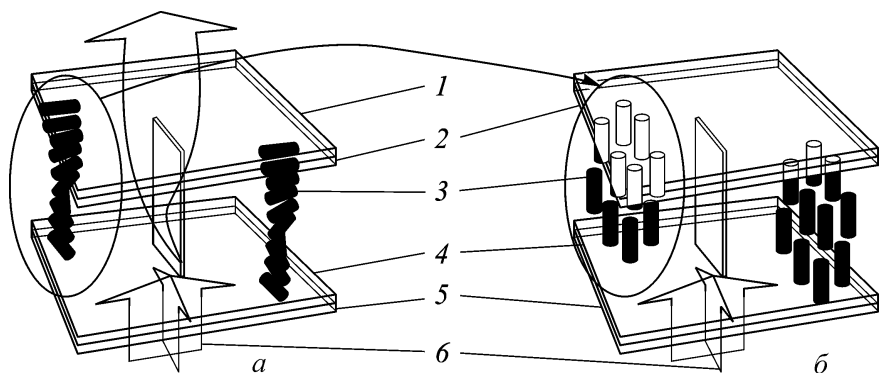


Рис. 2. Прохождение света через ячейку ЖК:

а – потенциала нет; *б* – потенциал подан; 1 – поляризатор; 2, 4 – подложки; 3 – ЖК; 5 – поляризатор; 6 – падающий свет

Общая информация о принципах работы пространственно-временного модулятора света на основе матрицы ячеек жидких кристаллов. Все ячейки ПМС-ЖК (рис. 2) состоят из слоя молекул жидких кристаллов (ЖК), заключенных между двумя прозрачными электродами, и двух поляризационных фильтров (поляризаторов), плоскости поляризации которых, как правило, перпендикулярны относительно друг друга. В отсутствие ЖК свет, пропускаемый первым фильтром, практически полностью блокируется вторым. Поверхность электродов, контактирующая с ЖК, специально обработана для изначальной ориентации молекул в нужном направлении [2]. Эти направления взаимно перпендикулярны, поэтому молекулы при отсутствии напряжения выстраиваются в винтообразную структуру. Плоскость поляризации поворачивается при прохождении от входного фильтра до выходного. Если напряжение отсутствует, то ячейку можно считать прозрачной. Если же к электродам приложено напряжение, то молекулы стремятся выстроиться в направлении электрического поля, что искажает винтовую структуру. При достаточной величине поля практически все молекулы становятся параллельны между собой, что приводит к непрозрачности структуры. Изменяя напряжение, можно управлять степенью прозрачности [3].

В разрабатываемой системе применяется метод гибридного кодирования информации (рис. 3), заключающийся в следующем [4]:

- биты информации “0” кодируются через состояние ячейки с низким пропусканием и нулевой фазовой задержкой;
- биты информации “1” кодируются через два состояния ячеек с высоким пропусканием (одинаковым для обеих ячеек), но с различными фазовыми задержками 0 и π .
- для полного подавления нулевой составляющей в пространственном спектре страницы данных соотношение ячеек ПМС-ЖК, кодиру-

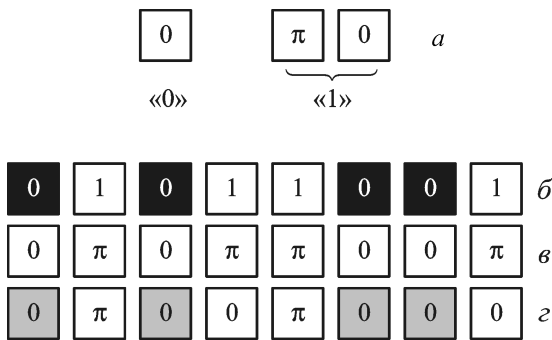


Рис. 3. Схема гибридного кодирования:

a — правило кодирования по предложенному методу; b — обычное амплитудное представление двоичных данных; $в$ — простейшее фазовое представление данных; $г$ — представление данных по гибриднему методу

ющих единичные биты в обоих состояниях, должно быть близко к единице, а их взаимное расположение — максимально хаотичным.

Схемы исследования амплитудной и фазовой модуляционных характеристик. В базовой схеме изучения модуляционной характеристики ПМС-ЖК его располагают между поляризатором и анализатором (рис. 4).

На рис. 4 θ_1 и θ_2 — углы отклонения плоскостей поляризации поляризатора 2 и анализатора 4 от лабораторной вертикали I ; ψ — угол между лабораторной вертикалью и входным директором (направлением ориентации молекул ЖК на первой подложке) [5].

При приложении напряжения к электродам ячейки ЖК меняются не только поляризационные свойства (что видно по изменению пропускания), но также и угол поворота молекул в кристалле. Напряжение изменяет показатель преломления в ячейке ПМС-ЖК с значения n_o на значение n_e ($\Delta n \approx 0,1$), поэтому фаза необыкновенной волны, распространяющейся по ячейке, значительно изменяется с изменением угла поворота молекул от 0° до 90° (показатель преломления обыкновенной волны при этом остается неизменным вне зависимости от угла поворота молекул).

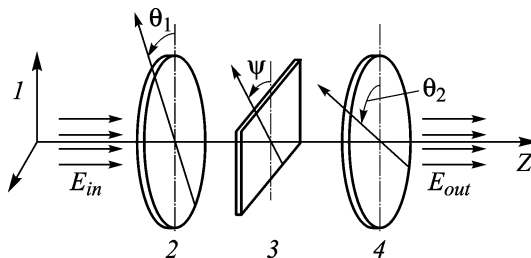


Рис. 4. Базовая конфигурация схемы, показывающая ориентацию лабораторной вертикали (I), поляризатора (2), ПМС-ЖК (3) и анализатора (4)

В эксперименте изучался ПМС-ЖК марки HoloEye НЕО-0017, при этом в его схему были внесены некоторые изменения. Поскольку измерения проводились с использованием (HeCd)-лазера с линейнополяризованным излучением, поляризатор не использовался. Плоскость поляризации лазерного излучения совпадала с вертикалью, поэтому угол между направлением входной поляризации и входным директором ПМС-ЖК изменяли, вращая сам ПМС относительно лабораторной вертикали.

Исходя из теории работы ячейки в выключенном состоянии [6], минимальное пропускание в схеме должно наблюдаться в следующем случае: входной поляризатор ориентирован вдоль направления директора на входной плоскости, а анализатор перпендикулярен директору на выходной плоскости, т.е.

$$\theta_1 = \psi \text{ и } \theta_2 = \psi + \alpha + 90^\circ,$$

где α — угол поворота директора ЖК от входной плоскости до выходной.

Обычно направление входного директора $\psi = 45^\circ$, угол поворота $\alpha = 90^\circ$. Данные значения также рекомендованы производителем и для используемого модулятора, т.е. теоретически для получения минимального пропускания необходимо задать $\theta_1 \approx \theta_2 \approx 45^\circ$.

При подаче напряжения на электроды ячейки ЖК изменяется положение молекул кристаллов, что приводит к изменению направления выходного директора, а значит, и к изменению угла α . Поэтому нужно провести калибровку модулятора во включенном состоянии. Для каждого уровня напряжения будет определяться угол α .

Для измерения фазовой модуляционной характеристики ПМС-ЖК был применен метод цифрового сдвигового интерферометра на основе схемы Маха–Зендера, представленной на рис. 5. Ось поляризатора параллельна молекулярному директору входной грани ПМС-ЖК, в результате в ЖК значительно изменяется показатель преломления для необыкновенной волны, а для обыкновенной — он будет сохранять постоянное значение

При различных выведенных на ПМС уровнях серого на матричном приемнике излучения (МПИ) регистрируется выходная интерференционная картина. Фазовая задержка (в радианах) между двумя ветвями интерферометра может быть рассчитана по формуле

$$\delta = \frac{\Delta}{\Lambda}, \quad (1)$$

где Δ — сдвиг интерференционной полосы, полученный при сравнении двух профилей интерферограммы от различных уровней серого; Λ — период полос. Измеряя фазовую задержку δ , получают искомую фазовую модуляционную характеристику ПМС-ЖК.

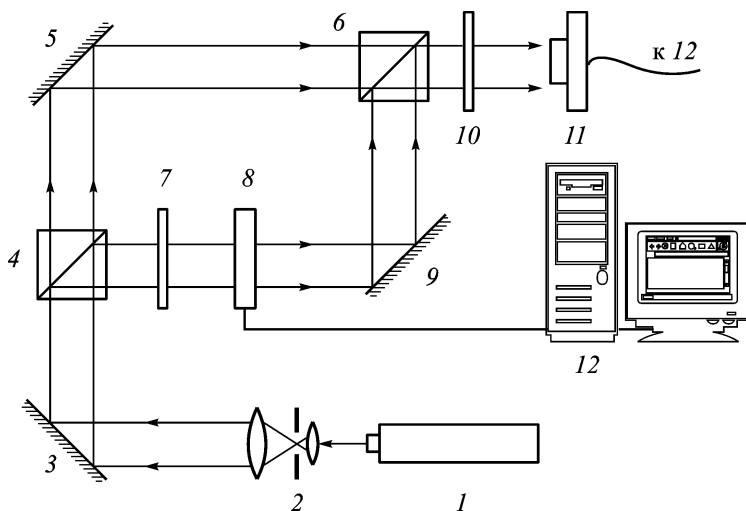


Рис. 5. Интерферометр Маха-Зендера для измерения фазовой задержки ПМС-ЖК:

1 — лазер; 2 — пространственный фильтр; 3, 5, 9 — зеркала; 4, 6 — разделители пучка; 7 — поляризатор; 8 — ПМС-ЖК; 10 — анализатор; 11 — МПИ; 12 — компьютер

Описание эксперимента по определению амплитудных модуляционных характеристик. Пучок лазерного излучения с линейной поляризацией, совпадающей с вертикалью схемы, освещающий ПМС-ЖК, расширяется до размеров ПМС и коллимируется с помощью телескопической системы. Пространственный модулятор света закреплен на вращающемся столике, служащем для изменения угла между плоскостью поляризации входного излучения и направлением директора на передней поверхности слоя ЖК. Анализатором является дихроичная пленка, наклеенная на стеклянную подложку. Анализатор закреплен на моторизованном вращающемся столике, позволяющем изменять угол плоскости выходной поляризации θ_2 . Излучение, прошедшее через анализатор, фокусируется объективом на термопарный приемник измерителя мощности лазерного излучения фирмы Ophir.

Для определения направления ψ входного директора ЖК модулятор был исследован в выключенном состоянии. На рис. 6 приведен график изменения мощности излучения, вышедшего после анализатора, при вращении ПМС-ЖК в интервале от 0° до 360° .

На графике (см. рис. 6) видно, что минимум пропускания наблюдался при четырех значениях угла поворота ПМС, это углы 20° , 110° , 200° , 290° . Точки минимумов при повороте свыше 180° могут не рассматриваться, так как являются положениями, симметричными первым двум. Одно из двух положений 20° и 110° — искомое, в котором плоскость поляризации входного излучения совпадает с направлением директора на первой поверхности модулятора. Другое положение соответствует состоянию, когда направление входной поляризации перпен-

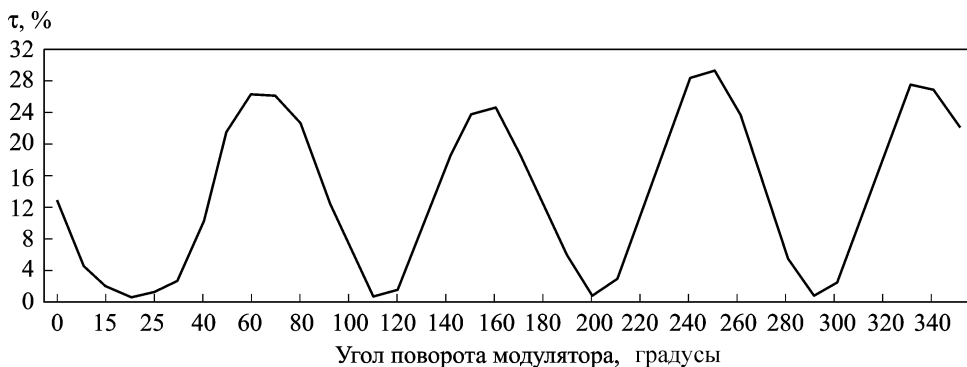


Рис. 6. Пропущенная мощность излучения при угле между поляризатором и анализатором, равном 0° , в зависимости от угла поворота ПМС-ЖК

дикулярно директору на входной плоскости, что также в выключенном состоянии ячейки ЖК будет давать минимум пропускания. Это объясняется тем, что при твист-эффекте в выключенном состоянии в ячейке ЖК происходит поворот эллипса поляризации входного излучения на угол поворота директора α [6], а так как $\alpha \approx 90^\circ$, то линейная поляризация на выходе модулятора будет перпендикулярна анализатору. С точки зрения использования ПМС в качестве амплитудного модулятора оба этих положения равносильны, но в случае использования фазовой или гибридной модуляции необходимо установить точное положение входного директора, поскольку именно в нем модулятор будет проводить максимальную модуляцию фазовой задержки, равную

$$\beta = 2\pi/\lambda(n_e(GL)n_o).$$

Значение фазовой задержки будет меняться вследствие изменения показателя преломления для необыкновенной волны n_e , зависящей от напряжения на электродах ячейки, а значит, и от уровня серого ($GL = \text{gray level}$) в изображении, выведенном на модулятор.

При этом было учтено, что пропускание ПМС-ЖК максимально при выключенном состоянии, поэтому для максимальной засветки в схеме голографической памяти можно просто отключать модулятор, а не выводить на него изображение белого цвета. Кроме того, белый цвет, соответствующий уровню серого 255, не обязательно дает максимальное пропускание системы при заданном наборе параметров и углов поворота элементов схемы.

Таким образом, за направление директора ψ на входной поверхности модулятора можно принять либо угол 20° , либо 110° , что существенно отличается от 45° . Для проверки результатов эксперимента было решено дополнительно исследовать работу ПМС-ЖК во включенном состоянии, когда тот повернут на угол ψ , рекомендованный производителем ЖК-модулятора ($\psi \approx 45^\circ$).

Поворот молекулярного директора ЖК ($\alpha \approx 90^\circ$) при выключенном состоянии ПМС можно не искать, так как при подаче разных значений напряжения на электроды ячейки угол α все равно изменится.

Далее ПМС-ЖК исследовали во включенном состоянии, т.е. его коэффициент пропускания рассчитывали с учетом угла поворота директора α , напрямую зависящего от напряжения на электродах ЖК-ячейки. Показания измерителя мощности снимались при всем доступном интервале напряжений. Уровень напряжения на ЖК-ячейке выражен уровнем серого (GL) в изображении, передаваемом на модулятор, в диапазоне от $GL = 0$ до $GL = 255$. При этом в изображении будет задаваться однородный фон, т.е. страница полностью заполнена пикселями одного цвета.

Глубина модуляции рассчитывается по формуле

$$[T(GL = 255) - T(GL = 0)] \cdot 100 \%,$$

где $T(GL = x)$ — измеренный уровень мощности излучения при выведенном на ЖК цвете x . С практической точки зрения конфигурация, дающая максимальную глубину модуляции, наиболее предпочтительна [5].

В результате этого опыта были получены данные, представленные в виде графика на рис. 7. Из графика следует, что наивысший контраст, рассчитываемый по формуле (“1”–“0”)/ (“1”+“0”), дает кривая, соответствующая углу поворота анализатора на 60° . Значение контраста между “1” ($GL = 0$) и “0” ($GL = 185$) в таком случае равно 0,984.

Затем был проведен эксперимент при положении элементов блока модуляции согласно рекомендациям производителя, т.е. в предположении, что входной директор ЖК направлен под углом 45° к вертикальной оси ЖК-модулятора. Пропускание модулятора в этом случае оказа-

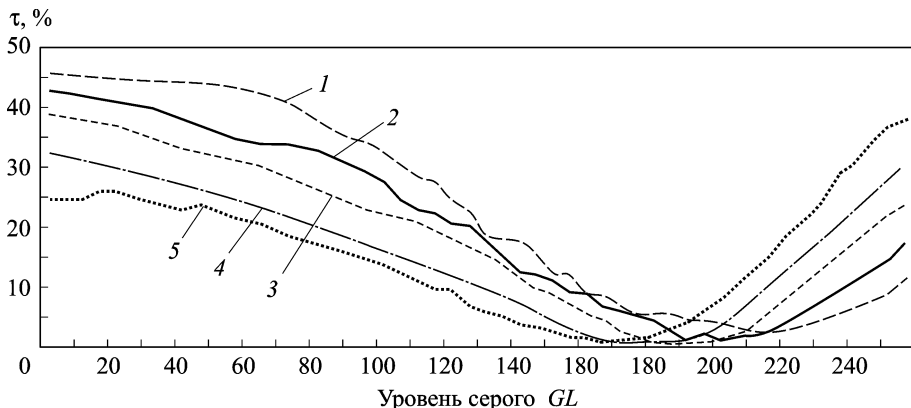


Рис. 7. Амплитудное пропускание модулятора при различных уровнях серого в изображении и углах поворота анализатора относительно лабораторной вертикали: 1 — 40° ; 2 — 50° ; 3 — 60° ; 4 — 70° ; 5 — 80°

лось практически таким же, как и в предыдущем опыте. Такую конфигурацию тоже можно использовать для модуляции по интенсивности, при которой в целом не имеет значение, в каком положении установлена входная ось поляризации, главное правильно установить выходной анализатор, чтобы пропустить максимум возможной энергии. Однако для распространения исключительно необыкновенной волны в транспаранте необходимо согласовать молекулярный директор с направлением входной поляризации. Особенно это важно в случае использования фазовой модуляции. Поэтому результаты первых опытов, дающих информацию о положении директора ЖК-модулятора, чрезвычайно важны.

Выберем конкретную конфигурацию взаимного расположения поляризатора, ПМС-ЖК и анализатора, а также уровни серого, которые будут задавать информационные единицы “1” и нуль “0” так, чтобы получался максимально достижимый контраст между ними.

Такая конфигурация характеризуется следующими значениями:

Угол анализатор–ЖК	20°
Угол анализатор–поляризатор	60°
“1”	яркость 0
“0”	яркость 185
Контраст	0,984

Описание эксперимента по определению фазовой модуляционной характеристики. Оптическая схема для экспериментального исследования фазовой модуляционной характеристики была построена на базе интерферометра Маха–Зендера. В схеме использовалось излучение (HeCd)-лазера с длиной волны 441,6 нм. Узкий пучок на выходе лазера разделялся на два при помощи светоделительного кубика, затем в обеих ветвях пучки расширялись при помощи телескопических систем, состоящих из микрообъектива, диафрагмы типа pinhole и коллимирующего объектива. В ветви сравнения пучок проходил без изменения до плоскости МПИ, тогда как в объектную ветвь вводился калибруемый ПМС-ЖК. Перед регистрацией на МПИ две ветви снова объединялись в одну светоделительным кубиком большего диаметра [7].

В результате в объединенном пучке формировалась интерференционная картина, несущая информацию о фазовой модуляционной характеристике ПМС-ЖК. Далее в схеме был установлен анализатор, а после него МПИ (ПЗС-камера), в регистрирующей плоскости которого формируется двумерное распределение интенсивности излучения в виде интерференционных полос.

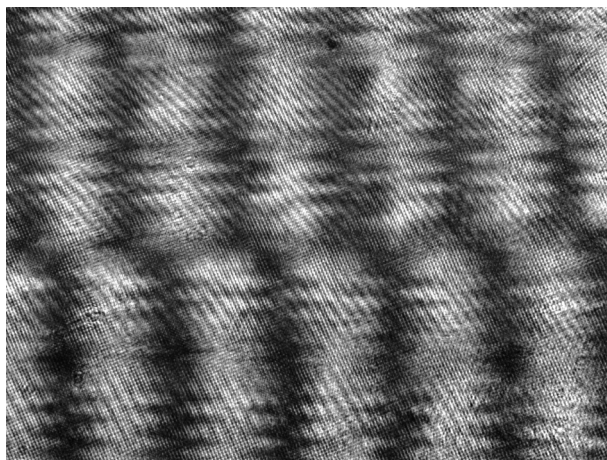


Рис. 8. Интерференционная картина в плоскости регистрации ПЗС-камеры для схемы ПМС-ЖК с углом между анализатором и поляризатором 60° и уровнем серого $GL = 165$

Электронный блок модулятора подключен к персональному компьютеру, который передает на него требуемое изображение, состоящее из двух широких полос с разным оттенком серого для исследования фазовой модуляционной характеристики. Для удобства текущий (изменяемый или исследуемый) цвет выводился только на одну половину поля модулятора. На другую половину поля модулятора был выведен цвет, принятый как опорный, т.е. для которого фазовая задержка считалась равной нулю. На рис. 8 представлена характерная интерференционная картина, регистрировавшаяся в эксперименте. Посередине фотографии четко видна горизонтальная граница между двумя интерференционными картинками, сдвинутыми относительно друг друга.

Между интерференционными картинками от двух разделенных пучков, один из которых проходит через верхнюю половину поля ПМС, а другой — через нижнюю, образуется некий сдвиг. Он превышает половину ширины интерференционной полосы, что соответствует фазовому сдвигу больше π . Этот сдвиг, выраженный в относительных долях ширины полосы интерференционной картины, впоследствии измерялся для нахождения фазовой модуляционной характеристики [8].

Эксперимент по исследованию фазовой модуляции проводился для тех наборов параметров схемы, которые были изучены во время эксперимента по амплитудной модуляции, так как для реализации гибридного кодирования нужно знать обе эти характеристики. Наиболее важным будет провести измерения тех конфигураций, которые дали максимальный контраст по амплитудному пропусканию.

В первую очередь была измерена фазовая модуляционная характеристика для набора параметров, выявленных в ходе первого опыта, т.е.

с заданными углами между входным директором ЖК и поляризатором, равным 20° , и между анализатором и поляризатором, равным 60° .

При этом одна половина экрана сохраняет свой цвет в течение всего эксперимента, — это опорный цвет, относительно которого будет измеряться фазовая задержка. В данном эксперименте за опорный цвет верхней половины экрана был выбран черный.

Весь набор полученных изображений интерференционных картин, аналогичных приведенным на рис. 8, был в дальнейшем обработан в среде Matlab. В результате были получены профили, соответствующие распределению интенсивности в интерференционных полосах, в которых нивелированы шумы регистрации. После этого была проведена дополнительная фильтрация значений в полученных векторах-строках на основе удаления высоких частот из их фурье-образов [8]. Примеры профилей распределения интенсивности излучения в интерференционных картинах, полученные в результате такой фильтрации, приведены на рис. 9. На графиках сплошной линией обозначен профиль интерференционной картины от нижней, не изменявшейся части изображения, а штриховой — верхней, изменявшейся части.

Из рис. 9 следует, что при увеличении значения уровня серого GL профиль соответствующей интерференционной картины (пунктирная линия) смещается вправо относительно профиля неподвижной картины (сплошная линия).

После нахождения локальных максимумов этих линий, соответствующих друг другу, выводятся их индексы (координаты по оси абсцисс), а разница эти индексов, получаемая вычитанием индекса штриховой кривой из индекса сплошной, дает смещение по фазе между двумя линиями, а следовательно, и между двумя интерференционными картинками. Если учесть, что ширина полосы между локальными

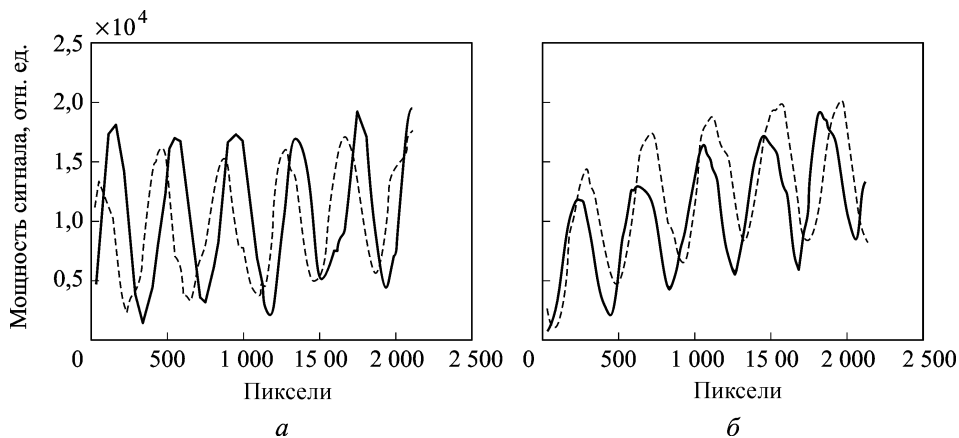


Рис. 9. Смещение профилей интерференционных картин при изменении уровня серого в изменяемой части изображения от $GL = 40$ (а) до $GL = 170$ (б)

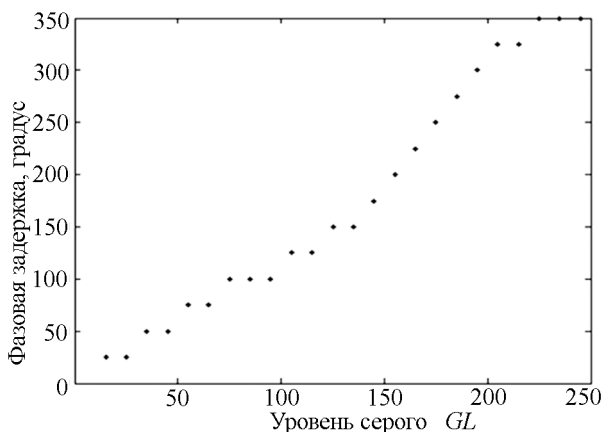


Рис. 10. Фазовая модуляционная характеристика исследуемого ПМС-ЖК

максимумами по оси абсцисс соответствует полному кругу фаз, то можно посчитать, какая фазовая задержка была в каждом случае для конкретного уровня серого, используя формулу (1).

Полученный график зависимости фазовой задержки от уровня серого приведен на рис. 10 (за нуль фазовой задержки принят уровень серого $GL = 0$). Видно, что ПМС позволяет осуществить модуляцию фазы проходящего излучения от 0° до 350° .

На рис. 11 одновременно приведены графики амплитудной и фазовой модуляционных характеристик, из которых легко определить три точки, оптимальные для реализации гибридной модуляции.

Для формирования нулей в схеме гибридной модуляции [4] следует задать уровень серого $GL = 185$ с минимальным амплитудным пропусканием, а для формирования единиц надо выбрать два уровня, дающих одинаковое, достаточно высокое пропускание, но отличаю-

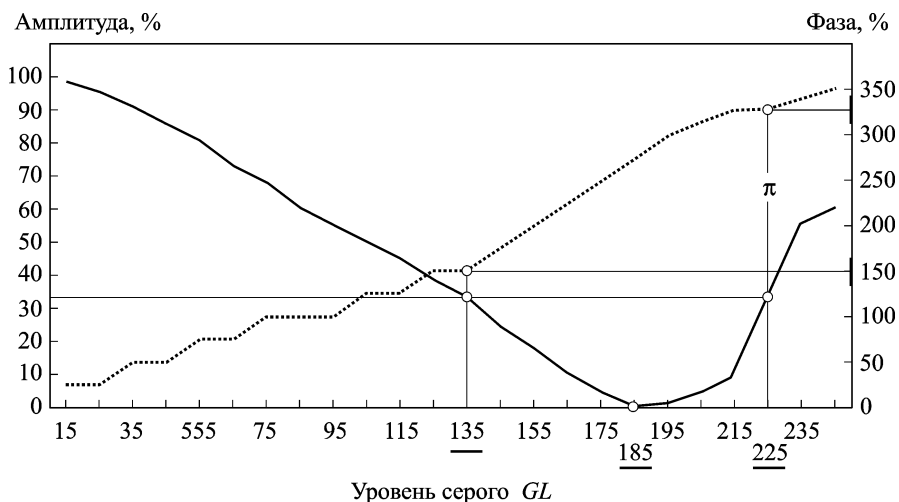


Рис. 11. Обобщенный график модуляционных характеристик

щихся примерно на π радиан по фазовому сдвигу. Это могут быть уровни серого $GL = 135$ и $GL = 225$, их фазовые задержки равны соответственно 150 и 330 рад, а сдвиг фаз между ними равен 180° ; амплитудное пропускание для обоих уровней равно 33 %.

Итоговая схема ПМС-ЖК должна иметь следующие параметры: 20° — для ЖК, 60° — для анализатора.

Исследование модуляционных характеристик ПМС-ЖК для системы с высокой плотностью хранения информации. Отдельный интерес представляет собой эксперимент по исследованию модуляционных характеристик для параллельного положения анализатора и ЖК-панели, что значительно более выгодно с точки зрения компактности схемы записи, а значит, и с точки зрения емкости голографического носителя. Ведь при таком взаимном положении этих двух элементов они будут занимать меньше места в пространстве, а значит, можно будет уместить большее число каналов записи для мультиплексирования голограмм. Вместе с ростом числа каналов мультиплексирования растет и емкость носителя.

Тогда угол поворота ЖК-панели и анализатора задает угол выходной поляризации, при этом входная поляризация может быть повернута произвольно. Именно за счет этого угла поворота можно найти наиболее оптимальное положение, и именно этот угол будет меняться в ходе следующего эксперимента.

Чтобы выбрать точки гибридной модуляции, необходимо вначале исследовать прохождение сигнала по амплитудной составляющей. Для расчета коэффициента пропускания ЖК-ячейки измерим уровень сигнала в объектной ветви без ЖК-панели. Диаграмма на рис. 12 демонстрирует пропускание ПМС-ЖК в зависимости от трех различных параметров схемы.

Эта диаграмма представляет собой поверхность с максимумами каждой кривой в области уровня серого от $GL = 180$ до $GL = 200$. Гребенчатая структура вызвана различиями в условиях проведения эксперимента для разных углов совместного поворота системы ЖК—анализатор, поэтому ее не нужно учитывать. Вместе с тем наблюдается однотипность всех кривых, из чего можно сделать вывод, что вне зависимости от выбранного угла поворота элементов относительно входной поляризации, график амплитудного пропускания будет одинаковым. На рис. 12 видно, что наибольшее пропускание наблюдается в интервале небольших углов (кривая, соответствующая углу 20° , имеет самый высокий пик). Производитель рекомендует устанавливать элементы ЖК-модулятора параллельно плоскости поляризации излучения.

Как следует из рисунка, графики для углов поворота модулятора и анализатора относительно входной поляризации лазерного излучения

■ 0–10 ■ 10–20 ■ 20–30 ■ 30–40 ■ 40–50 ■ 50–60 ■ 60–70

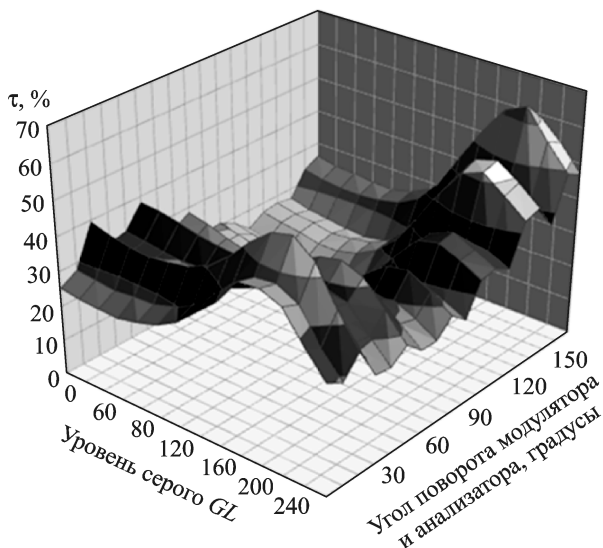


Рис. 12. Коэффициент пропускания ячеек модулятора в зависимости от углов поворота элементов и уровня серого GL

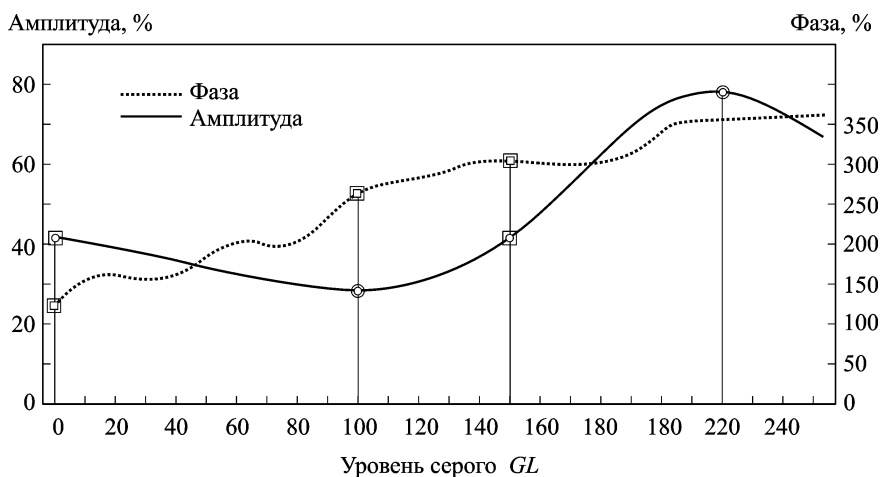


Рис. 13. Обобщенный график модуляционных характеристик для параллельных модулятора и анализатора

имеют одинаковую тенденцию. Аналогично оказалось, что фазовая модуляция тоже не сильно меняется при разных углах. Таким образом, достаточно выбрать одну пару кривых, чтобы определить точки гибридной модуляции такой схемы. Для примера был выбран угол поворота, равный 100° . Совместим кривые амплитудной и фазовой модуляции на одном графике (рис. 13).

Из рис. 13 следует, что в такой схеме добиться идеального состояния для гибридной модуляции сложнее, чем при раздельном вращении поляризатора и анализатора (см. рис. 11).

Для получения максимального контраста, равного 47 %, можно задать только одну точку высокого пропускания на уровне $GL = 220$, а для гибридной модуляции нужны две такие точки (кружком отмечены “1” и “0”).

Если же выбрать две точки на одном уровне амплитуды пропускания (отмечены одинарными прямоугольниками), то разница фаз между двумя “1” составит как раз 180° , т.е. π радиан (см. точки на фазовой кривой, обозначенные двойными прямоугольниками). Однако контраст между “1” и “0” будет тогда равен всего 17 %. Распознать единицы и нули в восстановленном с голограммы изображении с таким контрастом достаточно сложно. Эту схему будет необходимо проверить в ходе дальнейших экспериментов, так как она представляет значительный интерес по плотности записи ввиду большей компактности

Из результатов, полученных в ходе экспериментов, можно сделать вывод, что в системе голографической памяти лучше всего применить схему с разделенными модулятором и анализатором излучения. Именно в такой схеме можно получить идеальную гибридную модуляцию страниц данных (см. рис. 11).

Заключение. Описан метод исследования ПМС-ЖК, дающий точные результаты, необходимые для использования модуляторов в системах голографической памяти. Также приведены схема лабораторного стенда, описание эксперимента и результаты исследования. Описаны модуляционные характеристики модулятора, на основании которых стало возможным задать параметры схемы, удовлетворяющие требованиям системы голографической памяти.

В ходе эксперимента было выявлено, что как амплитудная, так и фазовая составляющая сильно зависят от расположения оптических элементов, причем эта зависимость носит явно нелинейный характер. При этом если схема записи страниц данных позволяет вводить различные углы поворота анализатора и поляризатора лазерного излучения, то можно легко реализовать гибридный метод модуляции страницы данных, необходимый для получения высокой плотности хранимой информации и правильного распознавания восстановленных бит данных.

Была разработана новая методика обработки экспериментальных данных в целях получения точных модуляционных характеристик. Анализ последних позволил определить наилучшие параметры схемы, а именно углы между элементами блока модуляции и уровни напряжения на электродах ЖК-ячейки. При этих параметрах можно получить идеальное качество микроголограмм, что необходимо в условиях постоянной борьбы за высокую плотность записи и большой объем хранимой информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. RU 80 968 U1. Устройство записи мультиплексных голограмм в системе оптико-голографической памяти / Д.С. Лушников, В.В. Маркин, С.Б. Одинокоев и др. № 2008137767/22; Заявл. 24.09.08 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2009.
2. П р о в о т о р о в Б. Устройство мониторов // http://www.kompstat.ru/view_sos-tav.php?id=7
3. Ж и д к о к р и с т а л л и ч е с к и й дисплей // <http://ru.wikipedia.org/wiki/LCD>
4. J o h n R., J o s e p h J., S i n g h K. Contentaddressable Holographic Digital Data Storage Based on Hybrid Ternary Modulation with a Twisted-Nematic Liquid-Crystal Spatial Light Modulator // Optical Review. – 2005. – No. 3. Vol. 12. – P. 155–160.
5. V a n u a l R. K. Data storage and retrieval using photorefractive crystals (holographic memories): Дисс. ... PhD / Indian Institute of Astrophysics. – Бангалор, Индия, 2005. – 184 с.
6. Y a n g D. -K., W u S. -T. Fundamentals of liquid crystal devices. – John Wiley & Sons, 2006. – 394 p.
7. M u l t i p l e x i n g holograms for data page storage using a LCD as a hybrid ternary modulation / Fernández E., Ortuño M., Gallego S. et. al. // SPIE. – 2009. – Vol. 7358. – С 1С-1–1С-9.
8. C o m p l e x modulation characterization of liquid crystal devices by interferometric data correlation / Martín-Badosay E., Carnicer A., Juvells I., S. Vallmitjana // Meas. Sci. Technol. – 1997. – No. 8. – P. 764–772.

Статья поступила в редакцию 4.02.2011

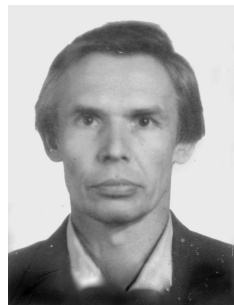
Сергей Борисович Одинокоев родился в 1950 г, окончил МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1973 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э.Баумана. Автор около 150 научных работ в области оптоэлектронной обработки информации и голографии.

S.B. Odinokov (b. 1950) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1973. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of the “Laser and Optic-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of about 150 publications in holography and optic-electronic doctaprocessing.



Владимир Васильевич Маркин родился в 1939 г., окончил МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1962 г. Инженер кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э.Баумана. Автор более 15 научных работ области оптико-электронных приборов и голографии.

V.V. Markin (b. 1939) graduated from the Bauman Moscow Technical School in 1962. Engineer of “Laser and Optic-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 15 publications in the field of optic-electronic devices and holography.





Александр Юрьевич Павлов родился в 1983 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2007 г. Инженер кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 20 научных работ в области оптоэлектронной обработки информации, голографии и информационных защитных технологий.

A.Yu. Pavlov (b. 1983) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2007. Engineer of “Laser and Optic-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 20 publications in the field of optic-electronic information processing, holography and information security technologies.



Дмитрий Сергеевич Лушников родился в 1978 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2002 г. Старший научный сотрудник кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 20 научных работ и 10 патентов в области оптико-электронных приборов и голографии.

D.S. Lushnikov (b. 1978) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2002. Senior Researcher of “Laser and Optic-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 20 publications and 10 patents in the field of optic-electronic devices and holography.



Анна Олеговна Борисанова родилась в 1985 г., окончила МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2009 г. Инженер кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана.

A.O. Borisanova (b. 1985), graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2009. Engineer of “Laser and Optic-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University.