

## ОТОБРАЖЕНИЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДИСПЛЕЯМИ С МАТРИЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИМИ МОДУЛЯТОРАМИ СВЕТА

**Аннотация.** Изложены основные способы отображения визуальной информации на экранах дисплеев с матричными электронно-оптическими модуляторами света. Уделено внимание эффектам поляризации света, лежащим в основе технологии построения жидкокристаллических матричных дисплеев. Приведён принцип построения плазменных панелей.

**Сведения из оптики.** Согласно электромагнитной теории света в электромагнитной волне электрический вектор  $E$  и магнитный вектор  $B$  перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (рис. 1). Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор  $E$ , поэтому его называют световым вектором. Если при распространении электромагнитной волны световой вектор сохраняет свою ориентацию, то такую волну называют *линейно поляризованной* или *плоско поляризованной* [1, 2]. Плоскость, в которой колеблется световой вектор  $E$ , называется *плоскостью колебаний* (плоскость  $yz$  на рис. 1), а плоскость  $xz$ , в которой совершает колебание магнитный вектор  $B$  – *плоскостью поляризации*.

Если вдоль одного и того же направления распространяются две монохроматические волны, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то в результате их сложения в общем случае возникает *эллиптически поляризованная волна*. В эллиптически поляризованной волне в любой плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, конец результирующего вектора  $E$  за один период светового колебания обегает эллипс, который называется эллипсом поляризации. Форма и размер эллипса поляризации определяются амплитудами  $a_x$  и  $a_y$  линейно поляризованных волн и фазовым сдвигом  $\Delta\varphi$  между ними. Частным случаем эллиптически поляризованной волны (при  $a_x = a_y$ ,  $\Delta\varphi = \pm \pi / 2$ ) является волна с круговой поляризацией.

Электрическое поле  $E(z, t)$  волны, возникшей при сложении двух волн одинаковой частоты с ортогональными направлениями линейной поляризации, имеет выражение[1]:

$$E_x(z, t) = E_{0x} e^{i(kz - \omega t)} = a e^{-i\varphi_1} e^{i(kz - \omega t)}, \quad (1)$$

$$E_y(z, t) = E_{0y} e^{i(kz - \omega t)} = b e^{-i\varphi_2} e^{i(kz - \omega t)}, \quad (2)$$

где  $k$  – модуль волнового вектора вдоль оси  $z$ ,  $\omega$  – частота колебаний.

При одинаковых фазах  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  комплексных амплитуд  $E_{0x}$  и  $E_{0y}$  в любой точке происходит сложение взаимно перпендикулярных колебаний, что даёт линейно поляризованное колебание в новом направлении, которое зависит от отношения амплитуд  $a$  и  $b$ .

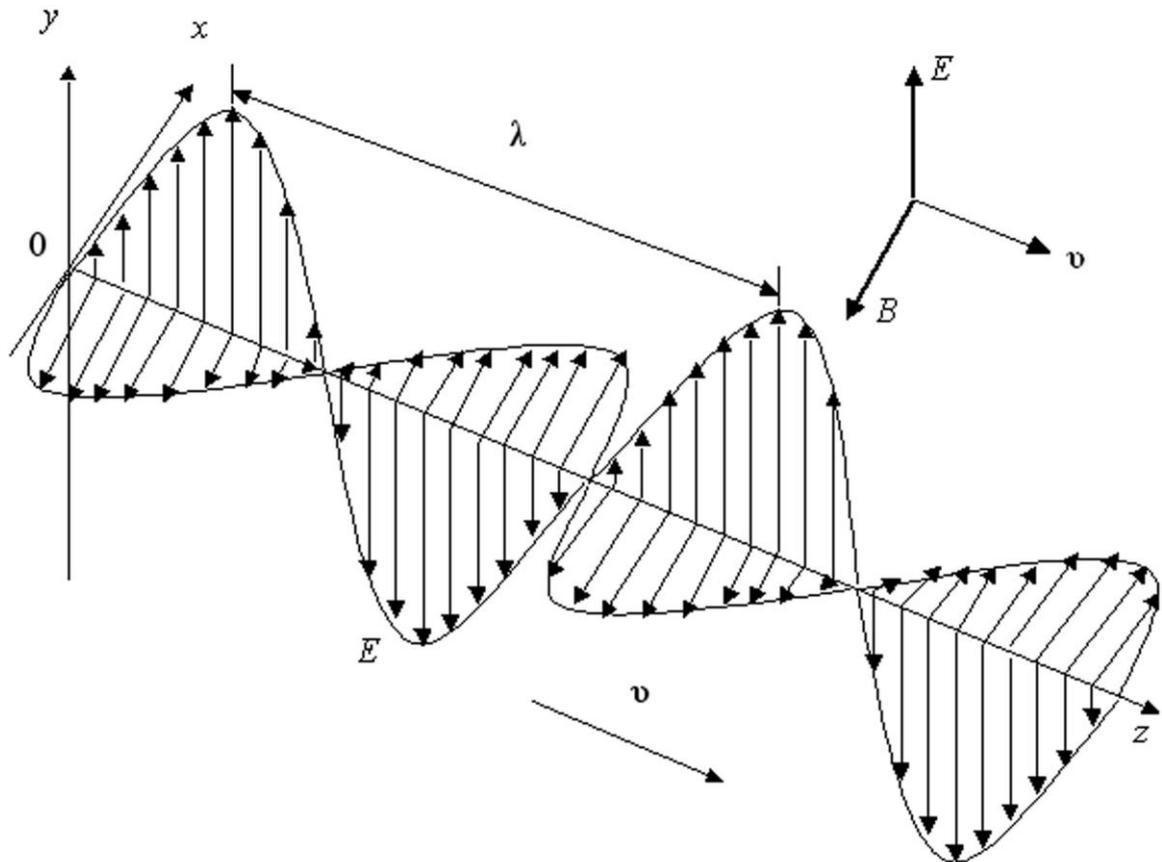


Рис. 1. Линейно поляризованная электромагнитная волна

В случае, если поляризованная вдоль оси  $y$  волна отстаёт по фазе на  $\pi/2$  от волны, поляризованной вдоль оси  $x$  (т. е. при  $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi/2$ ), то при условии равенства амплитуд этих волн ( $a$  и  $b$ ) вектор  $E$  будет вращаться в плоскости  $xu$  против часовой стрелки, оставаясь неизменным по модулю. При этом

$$\begin{aligned} E_x(t) &= a \cos(\omega t + \varphi_1), \\ E_y(t) &= a \cos(\omega t + \varphi_1 - \pi/2) = a \sin(\omega t + \varphi_1). \end{aligned} \quad (3)$$

Такую волну называют с левой круговой поляризацией. Правая круговая поляризация соответствует вращению вектора  $E$  в направлении по часовой стрелке:

$$\begin{aligned} E_x(t) &= a \cos(\omega t + \varphi_1), \\ E_y(t) &= a \cos(\omega t + \varphi_1 + \pi/2) = -a \sin(\omega t + \varphi_1), \end{aligned} \quad (4)$$

т. е.  $E_y(t)$  опережает по фазе волну  $E_x(t)$  на  $\pi/2$ .

Для превращения линейно поляризованного света в свет круговой поляризации используют анизотропные кристаллические структуры, в которых две волны с ортогональными направлениями линейной поляризации имеют различные фазовые скорости. Волну с произвольной (эллиптической) поляризацией всегда можно разложить на сумму двух линейно поляризованных волн с ортогональными направлениями поляризации, либо на сумму двух поляризованных по кругу волн с *правой* и с *левой поляризацией*.

*Неполяризованный* свет, испускаемый обычными источниками (например, солнечный свет, излучение ламп накаливания и т. п.), называют также естественным светом. Свет таких источников состоит в каждый момент из вкладов огромного числа независимо излучающих атомов с различной ориентацией светового вектора в излучаемых этими атомами волнах. Поэтому в результирующей волне вектор  $E$  беспорядочно изменяет свою ориентацию во времени, так что в среднем все направления колебаний оказываются равновероятными.

В каждый момент времени вектор  $E$  может быть спроектирован на две взаимно перпендикулярные оси  $X$  и  $Y$ , т. е. любую волну можно представить как суперпозицию двух линейно поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях волн:  $E(t) = E(x) + E(y)$ . В поляризованной волне обе составляющие  $E_x(t)$  и  $E_y(t)$  когерентны, а в неполяризованной – некогерентны, т. е. в первом случае разность фаз между  $E_x(t)$  и  $E_y(t)$  постоянна, а во втором она является случайной функцией времени. Явление двойного лучепреломления света объясняется тем, что во многих кристаллах показатели преломления для двух взаимно перпендикулярно поляризованных волн различны, что приводит к раздвоению проходящих через кристалл лучей. Такие кристаллы обладают свойством *анизотропии*.

Явление зависимости поглощения света в кристаллах от направления электрического вектора в световой волне называют *дихроизмом*. Некоторые кристаллы почти полностью поглощают одну из взаимно перпендикулярно поляризованных волн (например,  $E_x$ ) и частично пропускают вторую волну ( $E_y$ ). Колебания электрического вектора в прошедшей волне проходят по *разрешенному направлению* кристалла. Кристаллы используют как для получения поляризованного света (*поляризатор*), так и для анализа характера поляризации света (*анализатор*). В настоящее время широко применяются искусственные дихроичные пленки, которые называются *поляроидами*. Поляроиды почти полностью пропускают волну разрешенной поляризации и не пропускают волну, поляризованную в перпендикулярном направлении. Таким образом, поляроиды являются весьма эффективными *поляризационными фильтрами*. Эффекты поляризации света широко используются в дисплеях типа LCD.

**Жидкокристаллические матрицы.** Из жидкокристаллических матриц нашёл широкое применение дисплей типа LCD (Liquid Crystal Display) – матрица на базе ЖК

элементов с тонкоплёночными транзисторами, которые управляют работой каждого из трёх R, G, B цветоделённых частей любого элемента изображения ЖК матрицы. Яркость экрана достигает  $400 \text{ кд/м}^2$  и контрастность 500:1 [3, 4].

Конструкция ЖК матрицы (рис. 2) включает две стеклянные подложки (каждая толщиной около одного миллиметра) с зазором между ними, составляющем несколько единиц микрометров. Именно в этот зазор введён ЖК материал, обладающий эффектом вращения поляризации света при приложении к полупрозрачным электродам электрического напряжения. Эти электроды и электроды адресации и управления, а также цветные светофильтры наносятся на внутренние поверхности стеклянных подложек. На внешние поверхности подложек наклеены поляроиды (поляризационные фильтры). С целью обеспечения равномерной засветки всех элементов матрицы между источником света и ЖК матрицей помещён рассеиватель. Вся конструкция с торцов герметизирована.

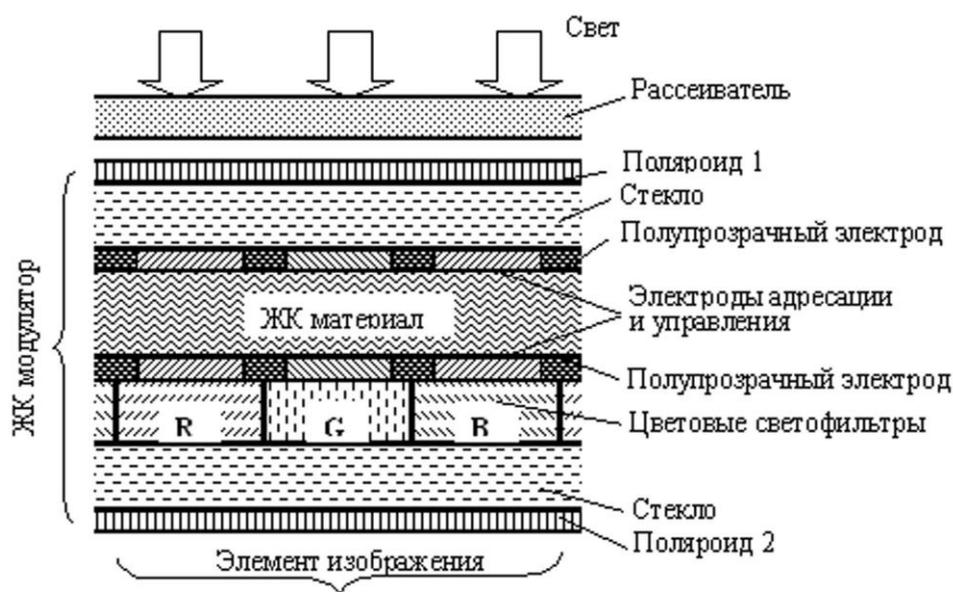


Рис. 2. Принцип работы ЖК модулятора.

Свойства структур жидких кристаллов изменять угол поляризации под действием электростатического или электромагнитного поля позволяют создать электронно-оптический модулятор света, прозрачность которого зависит от действия приложенного напряжения. Матрица является модулятором равномерного внешнего светового потока, освещающего экран изнутри. Формирование цветных изображений реализуют способом пространственного смешения цветов R, G, B. Для управления прозрачностью среды каждого элемента матрицы используется явление поляризации света. Векторы плоскостей первого и второго поляризаторов повернуты относительно друг друга на  $90^\circ$ . В отсутствие внешнего электрического поля ЖК материал поворачивает плоскость светового потока на  $90^\circ$ , т.е. его плоскость поляризации совпадает с плоскостью второго поляризатора и свет с минимальными потерями проходит через ЖК модулятор. Управляя разностью потенциалов между полупрозрачными электродами,

можно осуществлять модуляцию проходящего светового потока. В матрицах LCD типа каждый элемент изображения включает тонкоплёночные TFT (Thin Film Transistor) транзисторы (а также ёмкости памяти), с помощью которых формируют управляющие элементы.

Применяют различные форматы топологии матричных ЖК дисплеев. Синтез структуры электродов адресации определяется выбранным вариантом топологии цветных фильтров, используя как простые полосковые, так и более сложные мозаичные и дельта структуры.

При проектировании видеотракта необходимо учитывать нелинейность модуляционной характеристики ЖК элементов матрицы, что связано со сложным характером зависимости интенсивности света на выходе ЖК модулятора от угла поворота плоскости поляризации. Наличие в каждом элементе ёмкости памяти даёт возможность управления длительностью свечения каждого элемента изображения с помощью широтно-импульсной модуляции.

**Плазменные панели.** Плоские плазменные панели типа PDP (Plasma Display Panel) широко используются в информационных системах и в телевизионных приёмниках [5, 6]. На экране плазменной панели можно формировать изображение с яркостью до 700 кд/м<sup>2</sup> и контрастностью не менее 500:1 в широком угле зрения до 160°. Экран плазменной панели представляет собой матрицу, состоящую из триад R, G, B цветоделённых частей любого элемента изображения. Для формирования цветного изображения здесь также используется способ пространственного смешения цветов.

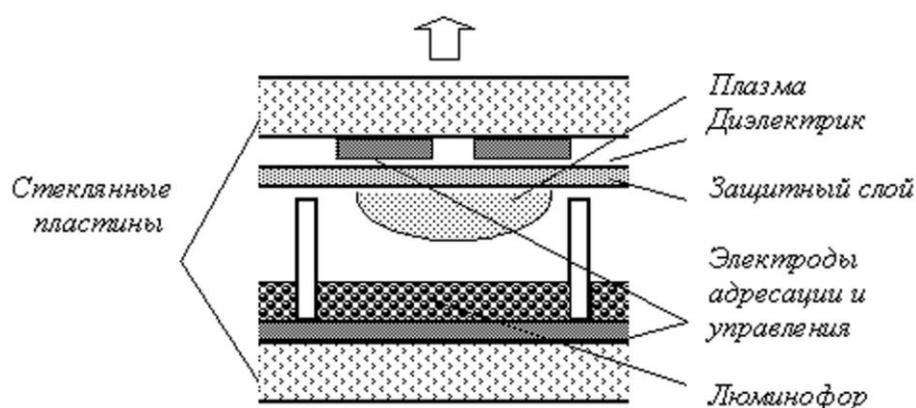


Рис. 3. Элемент плазменной панели

Конструкция плазменной панели (рис. 3) представляет собой две стеклянные панели, на внутренние поверхности которых нанесена система полосковых электродов, слои диэлектрика, люминофоры и перегородки, отделяющие одну излучающую ячейку от другой. Пространство между стеклянными панелями заполнено рабочим газом.

Принцип действия элемента основан на свечении люминофоров R, G, B при воздействии на них ультрафиолетового излучения, возникающего при электрическом разряде в среде разряженного газа. Разряд возникает при подаче напряжения к верхним прозрачным для света электродам, в результате чего происходит ионизация газа с образованием плазмы. Плазма и является источником ультрафиолетового излучения, под действием которого происходит свечение люминофоров. Следует отметить, что яркость каждого элемента при возбуждении люминофора остаётся постоянной, а снижение кажущейся яркости для получения полутоновых изображений осуществляется уменьшением длительности свечения соответствующих ячеек плазменной панели. Основным недостатком плазменных панелей является достаточно высокое энергопотребление.

### **Выводы**

Сравнительный анализ плазменных и жидкокристаллических дисплеев с матричными экранами показывает, что, несмотря на высокие качественные показатели изображения на экранах матричных плазменных панелей, интегральные показатели матричных электронно-оптических модуляторов света с применением поляризации света типа LCD имеют большие преимущества по энергопотреблению, что создаёт серьёзную конкуренцию плазменным панелям типа PDP.

### **Литература**

1. **Бутиков Е. Н.** Оптика: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Н.И. Калитиевского. – М.: Высш. шк., 1986. – 512 с.: ил.
2. **Гуторов М. М.** Основы светотехники и источники света: Учеб. пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 384 с., ил.
3. **Телевидение:** Учебник для вузов / Ред. В. Е. Джакони. – М.: Радио и связь, 2004. – 616 с.: ил.
4. **Самарин А. В.** Жидкокристаллические дисплеи. Схемотехника, конструкция и применение / А.В. Самарин – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 304 с.
5. **Ф. Н. Покровский, А. Ю. Прибытков, Б. И. Прокофьев, А. Г. Тынкован.** Плазменные панели / Под ред. профессора С. М. Смольского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006 — 100 с.: ил.
6. **Пескин А. Е.** Плазменные панели // Радио. 2004. № 8, с. 7 — 10.