

КИНОМЕХАНИК

НОВЫЕ ФИЛЬМЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ

МАССОВО-ТЕХНИЧЕСКИЙ

ЖУРНАЛ

10/2006



А.С.К. группа компаний

Оборудование кинотеатров, проектирование, монтаж, гарантия
Кресла для кинотеатров и других аудиторий

www.ackgroup.ru, e-mail: info@ackgroup.ru

117571, Москва, ул. 26 Бакинских комиссаров, дом 9
(495) 510-25-50, (495) 510-25-52

ТРЕХМЕРНЫЙ ДИСПЛЕЙ ВЫБОР РЕАЛИЗУЕМЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ¹

Василий Ежов

3.2. ПОДКЛАСС «СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЕ ДИСПЛЕИ»

Физико-технический признак подкласса – образ представлен двумерными проекциями сцены

Критические ограничения подкласса отсутствуют. В философском смысле указанные ограничения не возникают потому, что дисплеи данного подкласса создают образы, адекватные по размерности и информационной емкости тем ракурсам-изображениям, которыми оперирует зрение человека при восприятии объектов реального мира. Следует подчеркнуть, что двумерные проекции трехмерной сцены, полученные на двумерной рабочей среде (или на сетчатке глаза), представляют в интеллектуально-сжатом виде всю полноту информации об объеме исходной сцены. Интеллектуальность сжатия исходной трехмерной сцены в двумерную проекцию состоит в том, что автоматически обеспечивается учет оптического перекрытия передними объектами задних объектов (чего нет в трехмерном объектном образе, как показано выше).

Для трехмерных дисплеев данного подкласса характерна высокая гибкость технических решений.

Требования к параметрам рабочей среды и датчику информационного сигнала. Указанные требования, как правило, практически не отличаются от требований к рабочей среде и датчикам сигнала, предъявляемых обычными (моноскопическими) дисплеями. По сути, для данного подкласса в подавляющем большинстве случаев подходят те же 2-координатные стандартные датчики, которые используются для работы со стандартными моноскопическими дисплеями. Единственная проблема, которая успешно решается, заключается в удвоении числа оптических каналов съема информации в датчике.

Учет психофизиологических факторов восприятия. Наиболее существенная проблема стереоскопических дисплеев – возможное рассогласование аккомодации и конвергенции, вызывающее повышенную утомляемость зрения. Однако указанную проблему можно смягчать в любой степени (за счет физического отдаления плоскости предъявления образов от наблюдателя) либо практически ликвидировать, применив *оптическое* удаление плоскости предъявляемого образа за счет использования соответствующих оптических элементов (сферических зеркал или голографических экранов).

Многоракурдность в таких дисплеях также технически реализуема, например, путем формирования смежных зон наблюдения с воспроизведением в них соседних ракурсов.

Наиболее сложно в этом случае реализовать эффект «оглядывания», поскольку необходимо обеспечить точное слежение за положением зрачка наблюдателя и подстраивать с такой же точностью угол съема информации от исходной сцены. При необходимости это технически реализуемо.

Единственным противопоказанием к применению любых коммутационных стереоскопических средств является предрасположенность к эпилепсии у потенциального наблюдателя, который не сможет переносить быстроменяющуюся яркость предметов. Однако для подобных случаев возможно реализовать двухканальные стереоскопические системы, в которых в принципе нет попеременной смены яркости между глазами, и поэтому они приемлемы для всех. Правда, встречаются немногие люди, вообще не способные видеть стереоскопические изображения. По всей видимости, и сцены реального мира воспринимаются ими существенно более «плоскими», поэтому новых ограничений стереоскопические системы и для них не создают.

¹ Продолжение. Начало см. в № 8, 9, 2006 г.

3.3. КЛАСС «ДИСПЛЕИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАММОЙ»

Физический признак класса – интерференционная запись дифракционного (трехмерного или двумерного) образа

Критическое ограничение класса – проблема реализуемости динамической рабочей среды с требуемыми параметрами. На практике требования к разрешающей способности динамической голографической среды составляют несколько тысяч лин/мм (исходя из минимального периода 0,2-0,3 мкм для регистрируемых интерференционных полос). В настоящее время отсутствие полноценной динамической среды с подобным разрешением, как двумерной, так и трехмерной, наиболее серьезно препятствует серьезному практическому применению трехмерных дисплеев данного подкласса.

Подчеркнем, что речь идет о трудностях реализации только *динамических* сред с голографическим разрешением. «Статическая» конкурентоспособная голографическая среда существует – это различные варианты и производные фотографической эмульсии², из которых особую роль играет бихромированный желатин, позволяющий получить разрешение в несколько тысяч линий на мм и дающий дифракционную эффективность около 40–70% для восстановленных с объемных голограмм изображений. Однако эти среды в силу инерционности (и однородности) не могут применяться в качестве динамических рабочих сред. Их целесообразно использовать только для формирования голограмм статических объектов, в первую очередь для формирования дифракционных оптических элементов на замену традиционным преломляющим (стеклянным) оптическим элементам или отражательным элементам с криволинейной поверхностью. Такие голографические оптические элементы могут с успехом применяться во всех классах трехмерных дисплеев.

При этом, иногда говоря об информационной «избыточности» голографической записи, на самом деле имеют в виду:

а) избыточность относительно записи обычного фотографического изображения, которое воспроизводит только один ракурс. Относительно записи объемного отображения нет избыточности, поскольку в одной и той же рабочей среде (в статической или динамической голограмме) записаны сразу все требуемые ракурсы объемного изображения интегрально, со взаимным наложением без взаимовлияния (в пределах линейного участка передаточной функции рабочей среды);

б) распределенный характер размещения информации о каждой точке исходной сцены – по всей поверхности рабочей среды или по ее участкам, что резко снижает возможность потери информации при воспроизведении каких-либо точек сцены при нарушении целостности каких-либо участков рабочей среды (последнее вызовет только ухудшение качества предъявляемого изображения).

Голограмму можно назвать рекордсменом по интегральности представления многих ракурсов в единой записи и надежности хранения информации, но именно это качество является причиной предъявления крайне высоких требований к разрешающей способности рабочей среды. Голограмма «слишком рано родилась» относительно уровня развития существующих динамических рабочих сред, но это не значит, что она автоматически решит проблему трехмерного дисплея просто при появлении соответствующей ей по параметрам динамической среды – необходимо постепенно создавать соответствующую инфраструктуру, в частности, датчики-генераторы дифракционного образа в реальном времени.

Требования к параметрам датчика информационного сигнала. Оптическая запись информации о динамичных сценах реального мира требует использования мощных лазерных источников с тремя различными основными цветами. Такое решение весьма проблематично как практический вариант, поскольку сцены с участием живых объектов (человека и животных) снимать в таких условиях невозможно. Столь же проблематично снимать видовые сцены, в которых необходимо освещать большой объем пространства, а фоточувствительность гипотетической динамической (которая может появиться в отдаленном будущем) голографической среды должна быть очень высокой.

² Получаемые в основном за счет сенсбилизации последней.

В подобных случаях нелазерные источники света тоже не применяют, поскольку, например, ртутные лампы не обеспечивают требуемую яркость освещения, а другие источники света не обладают достаточной пространственно-временной когерентностью, чтобы сформировать интерференционные полосы достаточной видности (контраста) для получения полноценной голограммы.

При формировании полноцветного изображения невозможно обойтись одной толстослойной голограммой; нужны три голограммы для реализации трех парциальных цветоделенных изображений.

Однако при записи голограмм (а в случае использования тонкослойных голограмм – и при их восстановлении) не избежать зашумления полезного изображения муароподобной мелкозернистой стохастической картиной («спеклом»), возникающей из-за высокой степени пространственно-временной когерентности лазерного света. Избавиться от спекла за счет снижения когерентности не получится, поскольку такой путь приведет к снижению видности регистрируемых интерференционных полос в голографической записи (к снижению оптической эффективности последующего восстановления записи).

Кроме того, чисто оптический метод формирования голографической структуры неприменим для голографического воспроизведения видеоинформации в реальном времени, поскольку имеющиеся источники видеоинформации, как правило, генерируют электронные видеосигналы. Поэтому решать проблему реализуемости трехмерного дисплея с динамической голограммой приемлемо только на пути синтеза аналога голографической (интерференционной) картины из исходных сигналов электрической природы.

Свойства голографически воспроизводимого образа отвечают всем основным психофизиологическим особенностям зрения. Голограмма характеризуется уникальными свойствами восстанавливаемого с нее визуального образа, так как восстанавливает практически полную информацию о комплексной амплитуде той световой волны, которая шла от объектов исходной сцены в момент регистрации голограммы. Поэтому наблюдение формируемого голограммой оптического образа сцены теоретически тождественно прямому наблю-

дению световой волны исходной сцены с реализацией эффекта оглядывания и эффекта полиракурсности (спектр ракурсов имеет здесь квазинепрерывный характер).

В дифракционном образе нет угловой селективности (как в случае представления трехмерного образа в предметной области) – элементарные оптические волны, пришедшие в пространство голограммы от физически существующих или синтезированных объектов, образуют интегральную совокупность, в которой уже заблокированы волны от «затененных» частей объектов. А трехмерный объектный образ представляет собой дифференцированную по пространству совокупность, интегрирование которой не состоялось до процесса ее наблюдения.

4. ПЕРВИЧНЫЙ ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО БАЗОВОГО ПОДКЛАССА ТРЕХМЕРНЫХ ДИСПЛЕЕВ

Из выполненного анализа следует, что первичным факторам реализуемости удовлетворяет только подкласс «стереоскопические дисплеи» (на основе объектного представления трехмерной сцены в виде ее двумерных проекций).

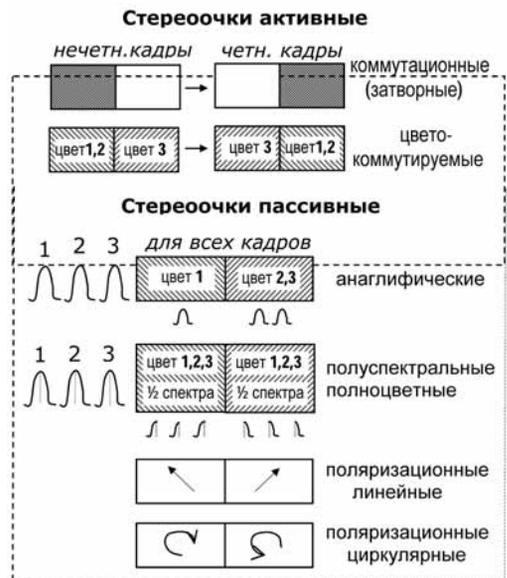


Рис.7

Подкласс «дисплеи с 3-координатной разверткой объектного трехмерного образа» (volumetric diplays) следует признать не удовлетворяющим указанным первичным факторам. Учитывая крайнюю сложность реализации таких дисплеев (очень высокими требованиями, предъявляемыми к параметрам рабочей среды, источнику информационного сигнала и из-за необходимости в ряде вариантов применять трудновыполнимые динамические оптические системы), можно прийти к первичному выводу о неперспективности этого класса дисплеев.

Подкласс «дисплеи с динамической толстослойной голограммой» (то есть класс с дифракционным представлением образа в трехмерной рабочей среде) удовлетворяет первичным факторам перспективности, но он пока практически нереализуем из-за отсутствия адекватной динамической голографической среды. Только использование электрически управляемых оптических модуляторов может дать надежду на будущее практическое применение дисплеев данного класса (см. разделы 7, 8).

В подтверждение сделанного первичного выбора сравним реальную конкурентоспособность обоих реализуемых подклассов (стереоскопические дисплеи и дисплеи с 3-координатной разверткой) в решении различных групп современных задач объемного отображения. Сначала рассмотрим принципы работы и параметры реально выпускаемых трехмерных дисплеев, начиная со стереоскопических.

5. ПРАКТИЧЕСКИ РЕАЛИЗОВАННЫЕ (ВЫПУСКАЕМЫЕ) СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЕ ДИСПЛЕИ

Многие стереоскопические дисплеи могут быть выполнены на базе обычных (моноскопических) дисплеев, снабженных стереоскопическими приставками (дополнениями). Такая преемственность (от моноскопических к стереоскопическим дисплеям) способствует экономически наиболее эффективному пути развития трехмерных дисплеев и их инфраструктуры.

Требуемый стереоскопический формат реализуется соответствующим выполнением источника стереоскопического сигнала, например записью на стандартных цифровых носителях – CD, DVD, жестких

дисках, генерацией компьютером, передачей по стандартным телевизионным каналам и т.д.

Способы наблюдения ракурсов. Следует отличать стереоскопический формат (способ представления ракурсов на рис.3) от способа предъявления ракурсов глазам наблюдателя. Варианты последнего – параллельное предъявление, последовательное предъявление и параллельно-последовательное.

Последовательное предъявление соответствует попеременному предъявлению левого и правого ракурсов соответствующим глазам (на время предъявления ракурса определенному глазу другой глаз остается в темноте). Параллельное предъявление соответствует параллельному поступлению левого и правого ракурсов соответственно в левый и правый глаза. Последовательно-параллельное соответствует параллельному предъявлению обоим глазам неполных ракурсов, которые взаимно дополняются в последовательные промежутки времени до полных (например, предъявляются в каждом кадре неполные цветоделенные ракурсы, которые в сумме двух смежных кадров дают полный цветной ракурс).

Способ предъявления определяется логикой работы применяемого средства наблюдения. Последовательное предъявление реализуется при применении коммутационных средств (раздел 5.1) – коммутационных (активных) стереочков (рис.7, сверху) и стереопанелей (рис.9), которые обеспечивают коммутацию светового потока изображения в соответствующий глаз наблюдателя при предъявлении нужного ракурса на экране дисплея. Параллельное предъявление реализуется при использовании, к примеру, двухканальных стереоскопических систем с пассивными стереочками (рис.7, внизу), в безочковых дисплеях или в стереочках с микродисплеями (раздел 5.2). Последовательно-параллельный способ наблюдения реализуется, в частности, при использовании цветокмутируемых стереочков (рис.7, сверху).

5.1. СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЯ В ФОРМЕ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ПРИСТАВОК (СТЕРЕОЧКИ И СТЕРЕОПАНЕЛИ)

Рассмотрим физические основы работы и технические параметры жидкокристаллических (ЖК) стереочков и стереопанелей, являющихся основой реальных стерео-

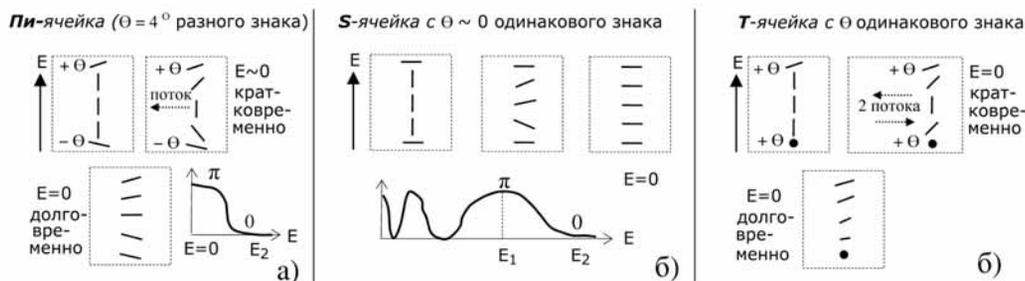


Рис.8. Характерные отличительные физические признаки пи-ячейки

скопических приставок (дополнений) к стандартным микроскопическим дисплеям.

Физический механизм работы практических коммутационных стереочков и стереопанелей.

Коммутация светового потока изображения в стереочках осуществляется за счет попеременного просветления/затемнения двух окон. В каждом окне между поляроидами (со скрещенными осями поляризации) находится слой ЖК, осуществляющего при приложении управляющего напряжения вращение вектора поляризации проходящего света на 90° . Таким образом, происходит затемнение окна при приложении напряжения и просветление при отсутствии напряжения³. Стереопанели работают в сочетании с пассивными поляроидными очками, содержащими два поляроида с взаимно ортогональными состояниями поляризации (линейной или циркулярной). Поэтому от стереопанели требуется обеспечить два соответствующих взаимно ортогональных состояния поляризации на своем выходе (стохастическое рабочее состояние поляризации недопустимо).

В выпускаемых коммутационных стереочках и стереопанелях в качестве рабочего вещества используются только нематические ЖК материалы. Реально в стереочках и стереопанелях применяется так называемая пи-ячейка (π -ячейка), существенными отличительными признаками которой являются (рис.8,а):

– углы θ начального наклона ЖК молекул, прилегающих к разным сторонам ЖК слоя, выбраны одина-

ковыми по абсолютной величине (3° – 5°), но разными по знаку;

– вариации фазы света, проходящего пи-ячейку, не превосходят π радиан при изменениях величины управляющего электрического поля E от близкого к нулю минимального значения до максимального⁴ (за счет выбора соответствующих толщины ЖК слоя, как правило, величиной 4–6 мкм, и параметров диэлектрической анизотропии ЖК).

Структура пи-ячейки в классическом виде, позволяющая работать с белым светом (рис.8,а) предложена в [4], где указано, что только в такой структуре осуществляется быстрый, оптически не осциллирующий переход в состояние с максимальной фазовой задержкой π после кратковременного снятия управляющего напряжения E . Быстрый переход осуществляется благодаря однонаправленному потоку ЖК молекул в процессе их релаксации (этот поток показан стрелкой на рис.8,а, справа) при сохранении последнего состояния в виде метастабильного в течение десятков секунд – до появления исходной «веерообразной» структуры, соответствующей долговременной подаче $E = 0$.

Переход в последнюю указанную структуру вообще предотвращается при сколь угодно долгом выполнении условия $E=0$, если ввести в слой нематического ЖК оптически активную добавку холестерического ЖК (со спиральной структурой), вызывающего закрутку нематических ЖК молекул. Шаг спирали холестерического ЖК выбирают так, чтобы толщина нематического ЖК слоя

³ В отсутствие напряжения состояние поляризации света может быть даже стохастическим (неопределенным) – все равно поляриод с линейной поляризацией пропустит этот свет.

⁴ Максимальное значение составляет около $30V$.

равнялась, например, одной трети шага спирали холестерического ЖК, тогда состоянием с наименьшей энергией (устойчивым в течение неограниченно долгого времени) будет состояние ЖК слоя с фазовой задержкой π .

Эти черты отличают пи-ячейку от похожих ЖК структур, описанных в более ранних работах [5-7], которые не могли быть практически применены в стереочках и стереопанелях.

Одиночная пи-ячейка с холестерической добавкой широко используется в стереочках, так как дает достаточно высокий контраст при приемлемом быстродействии (см. табл.1, строка 2), либо пи-ячейка с дополнительной двупреломляющей пленкой и измененной ориентацией анализатора линейной поляризации с целью компенсации эллиптичности результирующего света (в стереочках CrystalEyes – табл. 2, строка 1) [8,9].

Однако пи-ячейка с холестерической добавкой или двупреломляющей пленкой (оптическим компенсатором) не может работать в стереопанелях, поскольку состояние поляризации света в отсутствие напряжения явля-

ется достаточно неопределенным (из-за наличия оптически активной закрутки ЖК молекул или фазового сдвига, вызванного компенсатором). Одновременно одиночная пи-ячейка характеризуется невысоким контрастом (см. табл.1, строка 1). Хотя некоторые производители и признают его достаточным (и применяют одиночную пи-ячейку с сегментированными электродами в стереопанелях – рис.9, внизу), такое решение все же не является адекватным, так как стереопанели гораздо (на один и более порядков) дороже стереочков и их контраст не должен быть хуже. Кроме того, время релаксации одиночной пи-ячейки достаточно велико и сказывается на качестве верхней части стереоизображения при высоких (120-160 Гц) кадровых частотах.

Для кардинального увеличения контраста и быстродействия коммутации света предложено техническое решение с двойными пи-ячейками (двойными ЖК пи-слоями), суть которых состоит в том, что два ЖК пи-слоя располагаются друг за другом так, что направления начальной ориентации ЖК молекул в указанных слоях взаимно ортогональны (рис.9, сверху) [10, 11].

Параметры всех указанных вариантов ЖК-ячеек сведены в таблицу 1. Одна и та же двойная пи-ячейка может работать в двух режимах, определяемых блоком управления (контроллером). В пушпульном режиме⁵ время реакции и время релаксации⁶ равны и малы (табл.1, строка 2), но контраст в параллельных поляризидах (для одного глаза наблюдателя) хуже, чем в скрещенных (для другого глаза) из-за того, что при отсутствии управляющего напряжения на ЖК слое начинает сказываться неоднородность ориентации ЖК молекул, обусловленная несовершенством механизма ориентации, и присутствует существенная хроматическая дисперсия из-за двойного по π фазового набегу, составляющего 0° в сумме (соответствующего состоянию с отсутствием фазовой задержки проходящего света). В скре-

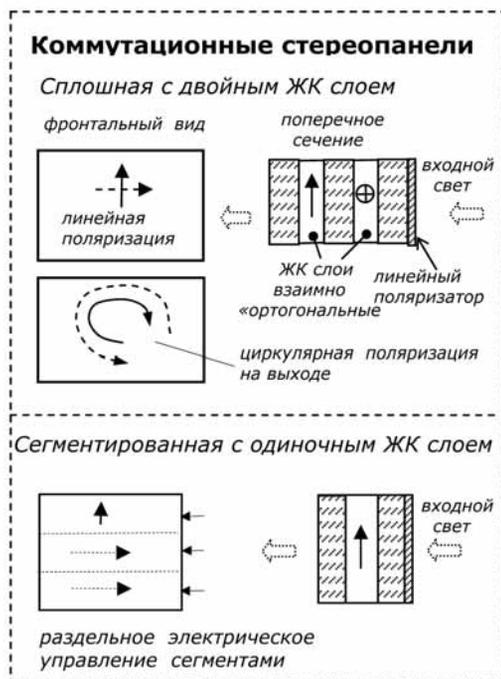


Рис.9

⁵ В пушпульном режиме оптический переход в состояние с фазовой задержкой 0° или π осуществляется подачей максимального электрического напряжения только на одну из ячеек по очереди.

⁶ Времена реакции и релаксации определяются временем принудительной ориентации ЖК молекул под действием указанного электрического поля.

Таблица 1. Параметры коммутации света ЖК-ячейками, применяющимися в стереочках и стереопанелях

Вид ЖК-ячейки	Контраст K в скрещенных поляроидах	Контраст K в параллельных поляроидах	Оптическая эффективность E , (%)	Время реакции T_{ON} (мс)	Время релаксации T_{OFF} (мс)
Пи-ячейка одиночная	12-15:1	8-10:1	30-35%		3
Пи-ячейка двоянная пушпульная	40-100:1	30-50:1	25-27%		0,1
Пи-ячейка двоянная с независ. управлением	40-70:1	40-60:1	25-27%	0,05-0,5	1,5
Пи-ячейка одиночная с холестерической добавкой (6 мкм)	50-80:1	Не работает	20-25%		2,5-3
Пи-ячейка одиночная с холестерической добавкой (4 мкм)	70-100:1	Не работает	15-20%		2
Пи-ячейка одиночная с дупреломляющей пленкой	100-200:1	Не работает	30-35%		3

щенных поляроидах (исходно темном состоянии) дисперсией можно пренебречь, но в параллельных поляроидах (в исходно белом состоянии) она уже сказывается на контрасте. При наличии же управляющего напряжения в пушпульном режиме на одной из ЖК-ячеек ЖК молекулы принудительно выстраиваются электрическим полем, и контраст для этого состояния получается выше из-за меньшей суммарной оптической толщины (меньше хроматическая дисперсия и меньше неупорядоченных молекул на пути света). В режиме циркулярной поляризации (когда оптический переход в состояния $\pm \pi/2$ осуществляется поочередным «опусканием» ЖК-ячеек в данные состояния из ориентированного под действием поля состояния) контраст выравнивается для обоих состояний ЖК коммутатора, хотя быстродействие несколько ухудшается, поскольку вовлекается процесс самопроизвольной релаксации ЖК молекул в переход между состояниями (табл.1, строка 4).

Контраст K – отношение интенсивности прошедшего света J_O , соответствующего открытому состоянию оптического коммутатора, к интенсивности прошедшего J_C света, соответствующего закрытому состоянию коммутатора ($K = J_O/J_C$). Оптическая эффективность E – отношение интенсивности J_O к интенсивности J входного неполяризованного света ($E = J_O/J$). Время реакции T_{ON} соответствует времени смены состояния оптического

коммутатора, вызванного приложением управляющего напряжения (принудительный переход от исходной ориентации ЖК молекул в иницированную электрическим полем ориентацию). Время релаксации T_{OFF} соответствует времени смены состояния, вызванное снятием управляющего напряжения (релаксация ЖК молекул в исходное состояние).

Указанные пределы изменения времени T_{ON} соответствуют пределам изменения амплитуды управляющего напряжения от 12В (большее время реакции) до 30-40В (меньшее время), характерным соответственно для стереочков и стереопанелей.

Перечень предлагаемых на рынке стереочков и стереопанелей приведен в таблице 2. Выпускаются проводные и беспроводные (с передачей синхросигнала по ИК-каналу) модели стереочков.

Следует отметить, что приведенные значения контраста ЖК стереопанелей зарубежными производителями в сопроводительной технической документации не указываются. Данные об изделиях иностранных производителей получены на основе анализа патентной документации, а для отечественных стереопанелей и стереочков (и ряда зарубежных стереочков) – экспериментально измерены. Преимущества по контрасту двойных ЖК слоев подтверждены экспертными оценками. Так, в 1994 году отечественные стереопанели с

двойными ЖК слоями были представлены на выставке SEBIT (Ганновер), где специалисты немецкого института Coip (Потсдам) визуально сравнили качество сепарации ракурсов стереоизображения, обеспечиваемое указанными стереопанелями относительно стереопанелей производства фирмы Tektronix (США), хотя и дорогостоящих, но имеющих только один ЖК слой. Было отмечено существенно более высокое качество сепарации ракурсов (более высокий контраст) в отечественных стереопанелях, стоимость которых существенно ниже. В настоящее время фирмы StereoGraphics и NuVision выпускают стереопанели по той же технологии, которую применяла фирма Tektronix.

Времена реакции и реакции, не превосходящие 1 мс, фактически не влияют на качество стереоотображения, поскольку время между соседними кадрами (полями) для практически любой стандартной системы отображения составляет около 1 мс. Время релаксации в 2-3 мс слишком велико, поскольку время ре-

лассации (за вычетом 1 мс на время между кадрами) определяет ширину зоны затемнения в верхней части и ограничивает предельно допустимое значение кадровой частоты. Это обстоятельство свидетельствует о целесообразности изготовления ЖК панелей на двойных ЖК слоях.

В стереоочках всегда применяются ЖК-ячейки, работающие в скрещенных поляроидах, с целью получения максимального контраста. Контраст около 70-80:1 является практически достаточным для многих применений. Увеличение до значений $K=150-200$ дает некоторое улучшение сепарации ракурсов (уменьшение заметности перекрестных помех – ghosts). Дальнейшее увеличение контраста оказывается практически безрезультатным, потому что влияние послесвечения люминофора (для мониторов на ЭЛТ) на появление перекрестных помех становится доминирующим. Это влияние невозможно подавить при любом значении K . Метод электронного вычитания пе-

Таблица 2. Выпускаемые коммутационные стереоочки и стереопанели

Наименование	Поставщик	Используемый вариант ЖК-ячейки
	Стереоочки	
CrystalEyes 3 (беспроводные)	StereoGraphics (США) (www.stereographics.com)	Пи-ячейка одиночная с двупреломляющей пленкой
3DS-GS (Панорама) (проводные)	Корпорация СТЭЛ (РФ) (http://3dstereo.ru)	Пи-ячейка одиночная с холестерической добавкой (варианты с толщ. слоя ЖК – 4 и 6 мкм)
E-D (проводные)	E-Dimensional (США) (www.e-dimensional.com)	$K=40-50:1$, $T_{OFF} \sim 6-8$ мс
E-D (беспроводные)		$K=60-80:1$, $T_{OFF} \sim 2-3$ мс
60GX (беспроводные)	NuVision(США) (www.nuvision3d.com)	$K=40-50:1$, $T_{OFF} \sim 3$ мс (пи-ячейка с 12V управлением)
3DTV (проводные, беспроводные)	3DTV (США) (www.3dmagic.com)	$K=60:1$, $T_{OFF} \sim 2$ мс
	Стереопанели	
Z-screen (диагональ 6 дюймов)	StereoGraphics (США) (www.stereographics.com)	Пи-ячейка двоякая с независимым управлением
Z-screen (диагональ 21 дюйм)		Пи-ячейка одиночная (с сегментиров. электродами)
3DS-P6 (диагональ 6 дюймов) 3DS-P17 (диагональ 17 дюймов)	Корпорация СТЭЛ (http://3dstereo.ru)	Пи-ячейка двоякая с независимым управлением
17SX, 21SX (диагональ 17 и 21 дюйм соответственно)	NuVision (США) (www.nuvision3d.com)	$T_{ONN} \sim 0,3$ мс, $T_{OFF} \sim 3,2$ мс

рекрестных помех можно применить, но только в случае, когда указанные помехи появляются на некотором фоне соответствующего участка другого ракурса, имеющем некоторый уровень интенсивности, то есть не являющемся полностью черным⁷.

Сравнительно недавно был предложен и исследован новый электрооптический эффект⁸, суть которого состоит в образовании в ЖК-ячейке после снятия внешнего электрического поля двух долговременно живущих, взаимно оптически компенсирующих ЖК «подслоев». Их совокупное действие на фазу проходящего света практически не меняется в течение времени оптической релаксации ЖК молекул, составляющей десятки миллисекунд, при этом в режиме коммутации света контраст достигает величин несколько сотен к одному. Данный эффект позволил бы реализовать стереочки с рекордным значением контраста, если бы удалось решить проблему электрического управления временем релаксации, которое сейчас определяется только свойствами ЖК слоя.

Для изготовления указанных отечественных ЖК-ячеек для стереочков и стереопанелей используется технология ФГУП «НИИ Волга» (г. Саратов).

Ограничения на применение коммутационных стереоскопических средств. Коммутационные средства могут работать только с теми мониторами, которые характеризуются пренебрежимо малым остаточным высвечиванием предыдущего кадра во время просмотра текущего кадра – таковыми являются практически все компьютерные мониторы на ЭЛТ, телевизоры с ЭЛТ, некоторые плазменные дисплеи, ряд DLP-проекторов (на микрзеркальных матрицах). Коммутационные средства не способны работать с ЖК-мониторами, потому что алгоритм смены кадров в последних специально рассчитан на максимальное время удержания предыдущей информации вплоть до момента смены ее на новую. При этом даже те из ЖК-мониторов, которые

рекламируются как быстродействующие, на практике таковыми не являются⁹.

Вследствие этого для ЖК-мониторов и ЖК-видеопроекторов надо переходить к двухканальным стереоскопическим системам с применением поляризационной или спектральной сепарации ракурсов. Можно воспользоваться, если не предъявляются высокие требования к цветопередаче стереоизображения, анаглифической сепарацией, которая «работает» практически на любом цветном дисплее.

Статическая поляризационная, цветовая и спектральная сепарация ракурсов.

Поляризационная сепарация. Для «расшифровки» состояний поляризации света на выходе стереопанелей и двухканальных проекционных систем используют пассивные поляроидные очки и с линейной, и с циркулярной поляризацией (рис.7, внизу). Применение линейных поляризаторов дает более высокое значение сепарации ракурсов в двухканальных системах (К-300-500:1 при применении высококачественной поляроидной пленки, например, выпускаемой фирмой «НИТТО», Япония) по сравнению с циркулярными поляризаторами (К-70-100:1), однако применение последних позволяет наблюдателю наклонять голову без потери качества наблюдаемого изображения, в то время как при использовании линейных поляризаторов даже небольшой наклон головы наблюдателя (в несколько угловых градусов) вызовет существенное снижение сепарации (на 30–50%). Уменьшенное значение контраста в циркулярных поляроидах вызвано наличием в них двоякопреломляющей пленки с фазовым сдвигом $\pi/2$, характеризующейся хроматической дисперсией (циркулярный поляроид состоит из линейного поляроида и указанной двоякопреломляющей пленки).

При применении поляризационной сепарации ракурсов в двухканальной проекционной стереоскопической системе необходимо использовать специ-

⁷ В таком случае нечего вычитать.

⁸ В ЖК-ячейке с определенными значениями углов Θ начального наклона разного знака, с заданными углами закрутки ЖК молекул и оптической толщиной нематического ЖК слоя [12].

⁹ Так, ЖК монитор BenQ FP71E+ с указанным быстродействием 8 мс характеризуется, как показало независимое тестирование (<http://www.thg.ru>), реальным временем полной смены информации не менее 20 мс, а заявленные производителем 8 мс относятся только к некоторым быстроменяющимся цветовым компонентам изображения.

альные экраны, обладающие способностью поддерживать поляризацию света. В России такие экраны выпускаются в НИКФИ (Москва) (www.stereomir.ru), за рубежом – в частности, фирмой Harkness Hall (www.merlin.com.ru/Harknesshall.htm) или Silver Fabric (www.silverfabric.com).

Спектральная полноцветная сепарация. Использовать любой обычный экран в стереопроекционной системе позволяет недавно предложенный метод спектральной (спектроделительной) полноцветной фильтрации, который состоит в том, что каждая из основных цветовых компонент R,G,B делится в энергетическом смысле пополам по спектральной шкале (соответствующими интерференционными светофильтрами), а наблюдатель снабжается соответствующими пассивными спектроделительными стереочками (рис.7, центр). Следует отметить, что экспертная оценка качества стереоизображения в такой реальной системе указывает на некоторое ухудшение цветопередачи по сравнению с поляризационной сепарацией, зато отсутствие потерь при переводе стохастической поляризации в линейную (циркулярную) приводит к выигрышу в яркости.

Анаглифическая (цветоделительная) сепарация. Если требования к цветопередаче стереоизображения невелики и его необходимо реализовать с минимально возможными экономическими затратами, целесообразно использовать анаглифические стереочки, осуществляющие разделение ракурсов за счет цветоделения (рис.7, центр). В этом случае на экране дисплея предъясняется анаглифическая стереопара (рис.3,ж), в которой один ракурс (например, левый L) представлен одной основной цветовой компонентой (допустим, красной L_R), а другой ракурс (правый R) представлен двумя цветовыми компонентами (зеленой L_G и синей L_B). В окнах очков установлены соответствующие спектральные фильтры, обеспечивающие поступление в один глаз наблюдателя компоненты L_R , а в другой глаз – компонент L_G и L_B . В этом случае в зрительном аппарате будут присутствовать формально все три основные цветовые компоненты, и наблюдатель увидит близкое к полноцветному стереоизображение. Тем не менее, недостающие основ-

ные цветовые компоненты в каждом из ракурсов вызывают ощущение зрительного дискомфорта, к которому постепенно вырабатывается привычка. Однако наблюдать по-настоящему полноцветное стереоизображение таким способом невозможно.

Существует несколько практических вариантов анаглифических стереочков. Наиболее сбалансирован по энергии световых потоков между глазами вариант с представлением R-компоненты в одном окне (в левом ракурсе) и суммы G+B-компонент в другом окне (в правом ракурсе), то есть красно-зелено/синие очки. Такие выпускают, в частности, НТЦ «Стереokino» (www.stereomir.ru) и фирма Anachrome (www.anachrome.com). В изделиях последней осуществляется легкая фокусировка в окне, соответствующем R-компоненте (для компенсации природной размытости изображения в этом цвете в зрении человека). Другим вариантом анаглифических очков являются сине/желтые очки ColorCode (www.colorcode3D.com), в левом и правом окнах которых находятся фильтры B- и G+R-цветовых компонент соответственно.

Стереочки с линейной и циркулярной поляризацией выпускает, к примеру, фирма American Paper Optics (www.3dglasseonline.com). Сложившимся международным стандартом является расположение направлений линейной поляризации света под углами $\pm 45^\circ$ относительно вертикали (рис.7).

Стереочки со спектроделительной фильтрацией поставляет фирма Barco (www.barco.com), разработавшая эти очки совместно с DaimlerCrysler.

Цветокоммутируемая сепарация ракурсов может быть применена, в частности, для существенного понижения мерцания наблюдаемого изображения при недостаточно высокой кадровой частоте, когда ее невозможно повысить. Например, для стандартных телевизоров, кадровая частота которых фиксирована и равна 50 Гц для телевизионных систем PAL, SECAM и 60 Гц – для NTSC. Критическая частота, при которой становятся малозаметными мерцания наблюдаемого стереоизображения, равна 40-50 Гц на глаз при условии, что оптически неадресуемые глаза (в промежутке между временами восприятия изображения) остаются в полной темноте. Исследования, проведенные в НИК-

ФИ (Москва) в 1985–1987 годах [13], показали, что если во время указанного промежутка неадресуемый глаз получает какой-то световой стимул вместо полной темноты, то заметность мерцаний существенно уменьшается. Для экспериментов была использована трехканальная видеопроекторная система на ЭЛТ, которая отображала в двух соседних кадрах две взаимно дополняющие друг друга цветокоммутируемые стереопары (рис.3,з), а в качестве указанного светового стимула были выбраны сами цветные компоненты изображения, которое «расщеплялось» на три цветные компоненты, предъявляемые обоим глазам последовательно-параллельно. Эксперименты показали успешное подавление мерцаний. К недостатку данного метода следует отнести заметное для глаза расслоение цветов на границах наблюдаемых объектов изображения в случае очень быстрого движения объектов.

Цветокоммутируемые стереоочки. В [13] предложены и цветокоммутируемые стереоочки с ЖК-ячейками, работающими в сочетании с дихроичными све-

тофильтрами. При проведении экспериментов с цветокоммутируемыми стереоочками, в которых использовались дихроичные светофильтры в сочетании с ЖК-ячейками, было отмечено существенное снижение мерцаний стереоизображения с кадровой частотой 60 Гц, генерируемого персональным компьютером. Однако величина контраста результирующего изображения была невысокой (около 15:1) из-за малого цветового контраста используемых дихроичных фильтров. Такие стереоочки использовать на практике пока нецелесообразно. Возможное дальнейшее развитие данного направления связано с поиском более высококонтрастных анизотропных (селективных к состоянию поляризации) цветных фильтров.

Похожий метод цветокоммутируемой селекции был в это же время независимо запатентован за рубежом [13].

Стереопара с движущейся границей (ДГС).

Принцип дисплея, работающий с указанной стереопарой, предложен в [15] и достаточно подробно описан в [2].

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов Л.В., Ежов В.А. Когерентнооптическая обработка радиосигналов. – Зарубежная электроника, 1980, № 2, с. 3–36.
2. Ezhov V.A., Studentsov S.A. Volume (or stereoscopic) images on the screens of standard computer and television displays. – Proc. SPIE, 2005, v.5821, pp.102–116.
3. Ежов В.А., Тарасов Л.В. Акустооптическая обработка радиосигналов. – Зарубежная радиоэлектроника, 1982, № 7, с. 3–35.
4. Bos Ph.J. Rapid starting, high-speed liquid crystal variable optical retarder. – Патент США № 4566758, G02F 1/13, опублик. 28.01.86.
5. Компанец И.Н. Нематические кристаллы в оптоэлектронных устройствах. – М., 1973, Автореферат диссертации (ФИАН), с.12.
6. Van Doorn. Transient behaviour of twined nematic liquid crystal layer in an electric field. – Journal de physique, 1975, v.36, pp.C1/C261–C1/C263.
7. Boyd G.D., Cheng J., Ngo P.D. Mechanically multistable liquid crystal cell. – Патент США № 4333708, G02F 1/133, опублик. 08.01.82.
8. Lipton L., Berman A., Meyer L. Achromatic liquid crystal shutter for stereoscopic and other applications. – Патент США № 4884876, G02F 1/13, опублик. 05.12.89.
9. Bos P.J. High contrast light shutter system. – Патент США № 5187603, G02F 1/13, опублик. 16.02.93.
10. Haven T.J. A liquid-crystal video stereoscope with high extinction ratios, a 28% transmission state, and one-hundred-microsecond switching. – Proc. SPIE, 1987, v.761, pp.23–26.
11. Lipton L., Berman A., Meyer L. et al. Method and system employing a push-pull liquid crystal modulator. – Патент США № 4792850, H04N 13/04, опублик. 20.12.88.
12. Брежнев В.А., Ежов В.А., Симоненко Г.В., Студенцов С.А. Пассивно-матричный ЖК экран и способ управления данным экраном. – PCT/RU01/00492, G02F 1/133, G09G 3/36, дата приоритета 24.04.2001.
13. Ежов В.А., Зарецкий П.Н., Семочкин П.Н. Телевизионное устройство для демонстрации стереоскопических изображений. – Патент СССР № 1715179, H04N 15/00, дата приоритета 09.11.89.
14. Green G.S. – Method and apparatus for producing stereoscopic images. – Патент США № 4641178, H04N 15/00, опублик. 03.02.87
15. Ежов В.А., Зарецкий П.Н., Семочкин П.Н. Телевизионное устройство для воспроизведения стереоскопических изображений. – PCT/RU01/00240, H04N 15/00, дата приоритета 06.11.90.