

Внешний контраст для OLED-дисплеев

Одним из важнейших дисплейных параметров является контраст. С одной стороны, он характеризует динамический диапазон системы, а с другой — возможности самой технологии. Реальное восприятие контраста интересует и разработчиков, и потребителей дисплейной аппаратуры. Различают контраст собственный, обусловленный физическими свойствами модулятора или светоэмиссионной структуры, и внешний контраст, который зависит от внешних условий освещенности. Как правило, в спецификациях фигурирует собственный контраст, который выглядит очень привлекательно. Собственный контраст измеряется при отсутствии внешних источников света. Реально потребитель может оценить качество изображения своими глазами только в условиях внешней засветки экрана, поэтому наиболее адекватная оценка контрастности должна производиться по внешнему контрасту.

Александр САМАРИН

Собственный контраст разных типов дисплеев может измеряться по-разному, однако смысл понятия остается неизменным — это отношение максимальной яркости воспроизводимого на экране элемента изображения к минимальной. Или же отношение уровней максимально белого к уровню черного. Если бы для всех дисплейных технологий был достижим уровень яркости черного, равный нулю, то понятие собственного контраста теряло бы смысл, поскольку его значение было бы всегда равно бесконечности. Однако в реальности уровень черного определяется наличием эффекта паразитной засветки со стороны соседних светящихся элементов (например, в плазменных панелях или OLED) за счет диффузного рассеяния, а также физической невозможности обеспечить нулевой коэффициент пропускания в черном состоянии для дисплеев светомодулирующего типа (ЖК-дисплеи). Собственный дисплейный контраст измеряется в темном помещении с помощью специального оборудования.

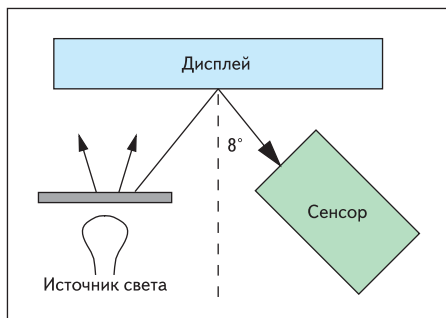


Рис. 1. Схема, регламентированная VESA для измерения внешнего контраста дисплеев

Производители дисплейного оборудования указывают в спецификациях только собственный контраст. Каким бы высоким не был указанный собственный контраст, визуальное восприятие качества изображения производится потребителем в условиях внешней освещенности. Для оценки качества дисплейного изображения в условиях внешней освещенности введено понятие внешнего контраста ACR (ambient contrast ratio).

Величина внешнего контраста определяется так:

$$ACR = \frac{WhiteLum}{BlackLum}, \quad (1)$$

где $WhiteLum$ = отраженный свет + макс. яркость дисплея (уровень «белого»), $BlackLum$ = отраженный свет + мин. яркость дисплея (уровень «черного»).

На рис. 1 показана схема измерения величины внешнего контраста дисплеев, регламентированная VESA.

В качестве источника света используется диффузный источник (лампа накаливания с вольфрамовой нитью), обеспечивающий уровень освещенности 500 лк.

Параметр внешнего контраста более важен, поскольку это то, что реально сможет оценить пользователь, не применяя специальное измерительное оборудование. Даже при очень высоких значениях собственного контраста внешний контраст может оказаться очень малым. Как видно из формулы (1), увеличивать внешний контраст можно либо увеличением яркости дисплея, либо уменьшением влияния паразитной подсветки. Увеличение максимальной яркости для большинства дисплейных технологий практически невозможно ввиду технологических

трудностей и значительного увеличения цены и потребляемой мощности. А вот уменьшения влияния паразитной подсветки можно достигнуть.

Для снижения влияния внешнего света могут использоваться различные технологии, основанные на применении антибликовых покрытий, специальных оптических анизотропных структур и фильтров (как внешних, так и внутренних).

Контраст OLED-дисплеев

OLED-дисплеи имеют много несомненных преимуществ по сравнению с другими плоскострельными дисплеями. Одним из параметров, демонстрирующих преимущества OLED, является их высокий контраст. Бытует ошибочное утверждение, что он свойственен технологии OLED «от рождения». Однако это не так.

Получение высокого контраста в OLED является одной из проблем этой технологии. Начнем с собственного контраста. Его величина, как говорилось ранее, определяется яркостью уровня черного. Теоретически он может быть нулевым. Практически же за счет наличия паразитной засветки соседних пикселей и особенностью схемы управления имеем некоторый уровень фоновой яркости для черного состояния.

Для того чтобы оценить параметр внешнего контраста, рассмотрим структуру OLED.

На рис. 2 показана типовая оптическая структура OLED. Пленка отражающего электрода выполняет две функции. Через этот слой к светодиодной матрице подключается источник питания. Излучающий OLED-переход ламбертовского типа, то есть равно-

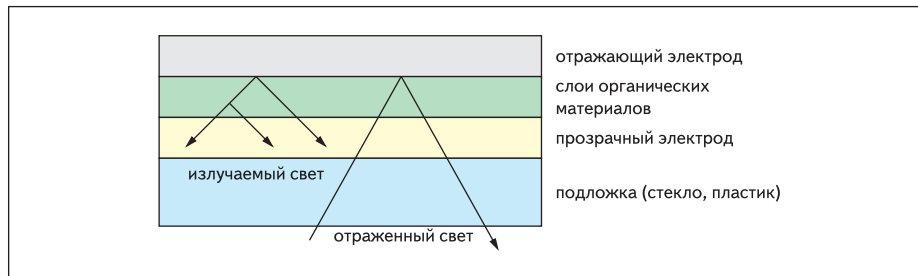


Рис. 2. Типовая оптическая структура OLED

мерно излучающий по всему угловому диапазону. Поэтому необходим отражатель для тыловой части светового потока. Вторая функция — отражение излучения, возникающего в структуре, в сторону фронтального прозрачного электрода.

Поскольку и сам органический активный слой в основном прозрачен, большая часть любого внешнего светового излучения будет успешно проникать во внутрь структуры OLED и, отразившись от противоэлектрода, будет смешиваться с полезным эмиссионным излучением OLED. Очевидно, что в этом случае контраст дисплея уменьшается, а качество изображения ухудшается.

Величина внешнего контраста определяется по формуле:

$$ACR = \text{WhiteLum}/\text{BlackLum}, \quad (2)$$

где *WhiteLum* = отраженный свет + макс. яркость OLED (уровень «белого»), *Black Lum* = отраженный свет + мин. яркость OLED (уровень «черного»).

Поскольку яркость излучения OLED в темном состоянии ничтожна, то ею можно пренебречь. Получим:

$$ACR = 1 + \frac{\text{яркость излучаемого света}}{\text{яркость отраженного света}}, \quad (3)$$

где *яркость излучаемого света* = макс. яркость OLED (уровень «белого»), *яркость отраженного света* = яркости внешнего света.

Следовательно, величина внешнего контраста определяется отношением яркости самой светоизлучающей структуры OLED к яркости фоновой излучения. При уменьшении фоновой излучения до нуля контраст увеличивается до бесконечности, и наоборот, при увеличении яркости внешней засветки контраст приближается к единице.

Без использования специальной фильтрации внешнего излучения уровень отраженного от дисплея света может достигать нескольких процентов (обычно на уровне 4%).

Оценим действующие уровни фоновой засветки. Типичный уровень освещенности при просмотре телевизионных программ — около 100 лк, освещенность в офисе — 500 лк.

В пасмурный день уровень освещенности на улице может достигать 2000 лк, а в солнечный — от 50 000 до 100 000 лк. В кабине са-

молета и на горных вершинах уровень освещенности еще выше!

4% отраженного потока от уровня 500 лк составит 20 лк! Уменьшение уровня отраженного света до 1% увеличивает внешний контраст в 4 раза. Тот же эффект можно получить, если увеличить в четыре раза яркость дисплея, но это потребует огромных энергетических затрат, не говоря уже о стоимости дисплея.

Можно заметить, что на контраст будет одинаково отрицательно влиять как направленное внешнее световое излучение, так и диффузное (рассеянное). С направленным световым потоком бороться гораздо проще за счет использования тех же антибликовых дополнительных слоев на внешней поверхности стеклянной подложки OLED. А с диффузным излучением большой яркости бороться сложнее.

Методы повышения внешнего контраста

Самый распространенный метод увеличения внешнего контраста ЭЛТ, OLED, ЖК-дисплеев и плазменных панелей основан на применении антибликовых (Antiglare Film — AG) и противоотражательных (Antireflective Film — AR) пленочных фильтров или же композитных фильтров (Antireflective Film and Antiglare Film AR & AG).

Антибликовый фильтр обеспечивает диффузное рассеяние внешнего светового потока при отражении от поверхности дисплея (рис. 3). Диффузная поверхность может быть получена за счет механической обработки поверхности, а также химическим путем или же путем напыления мелких частиц прозрачных материалов.

В качестве антибликового покрытия диффузного типа может использоваться нане-

сение из растворной композиции мелкодисперсной двуокиси кремния. На поверхности образуется фактически прозрачный, но со свойствами сильного рассеяния падающих световых потоков, слой. Антиотражательное покрытие снижает коэффициент отражения с 4 до 0,5%. Таким образом получаем увеличение внешнего контраста в 8 раз.

Другой метод диффузного отражения основан на применении микротекстурированной поверхности. Визуально диффузные пленочные фильтры создают слегка матовую поверхность. Наличие фильтра немного ослабляет и полезный световой поток, излучаемый дисплеем, однако в целом эффект от его применения очень сильный.

В качестве материала для антиотражательной пленки может быть использован фторид магния или многослойная композиция из нескольких диэлектрических пленок с различными коэффициентами преломления.

Для специфической структуры OLED-дисплеев могут быть использованы и другие методы повышения внешнего контраста.

Рассмотрим методы нейтрализации внешней подсветки, применяемые для повышения внешнего контраста OLED-дисплеев.

Поляризатор + четвертьволновый фазосдвигающий фильтр

Для подавления паразитной внешней подсветки может использоваться поляризатор и четвертьволновый фазосдвигающий фильтр. На рис. 4 показана структура OLED-дисплея подобного типа.

Внешний свет проходит через поляризатор, затем через фазосдвигающий фильтр. При этом сначала отсекается как минимум 50% проходящего внешнего света, а затем производится поворот плоскости поляризации на 45°. После отражения от противоэлектрода внешний свет опять проходит через фазосдвигающий фильтр, который «доворачивает» сдвиг вектора поля до 90°. Такое излучение полностью задерживается поляризационным фильтром. 100%-ный успех! Решение достаточно универсальное и подходит не только для OLED-дисплеев. Данный метод ослабления внешней засветки с успехом применяется во многих оптических устройствах, например, в объективах цифровых камер. Правда, следует отметить, что кроме усложнения и удорожания конструкции дисплея мы получили и 50% уменьшение яркост-

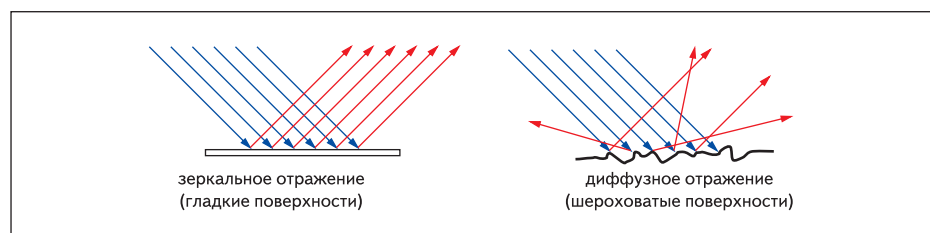


Рис. 3. Принцип действия антибликового дисплейного фильтра

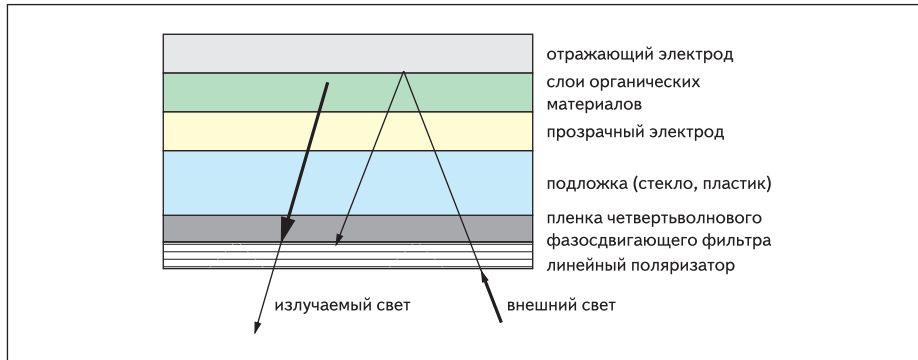


Рис. 4. Схема поляризатор + четвертьволновый фазовращатель

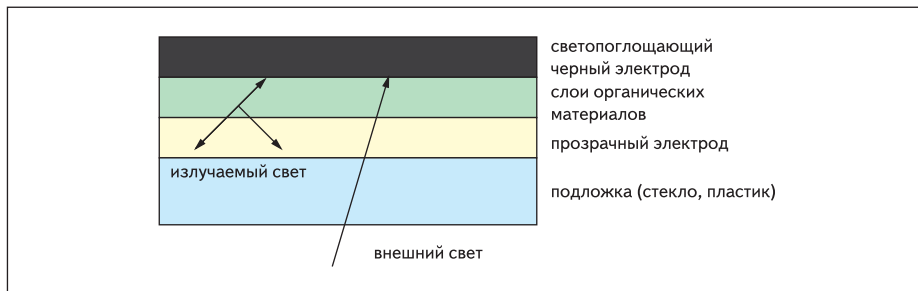


Рис. 5. Световая схема с поглощением внешнего излучения пленкой противозэлектрода черного цвета

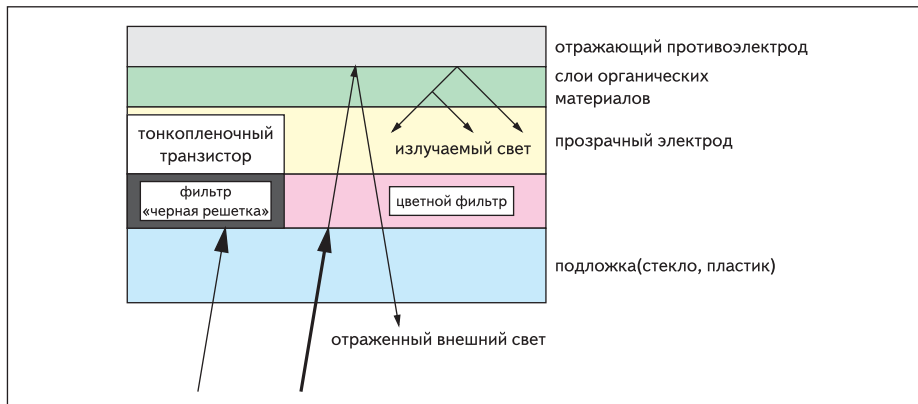


Рис. 6. Использование черной апертурной решетки в AMOLED

ти OLED, ведь поляризатор не умеет действовать избирательно, определяя «своих» и «чужих».

Следует признать, что использование данного метода эффективно и просто незаменимо для условий высокой освещенности. В помещениях же уровень яркости излучения OLED значительно выше, чем уровень засветки, поэтому использование дополнительного фильтра, снижающего яркость дисплея более чем в два раза, нежелательно.

Существуют и другие методы для ослабления влияния внешнего излучения.

Нейтральный фильтр (Neutral Density Films)

Самый простой из них основан на использовании пленки нейтрального фильтра на внешней стороне прозрачной подложки. Фильтр будет поглощать 50% светодиодного

излучения и 75% внешнего света, поскольку он проходит через фильтр дважды. Результат — внешний контраст повышается вдвое, а яркость бликов от внешних источников уменьшается втрое.

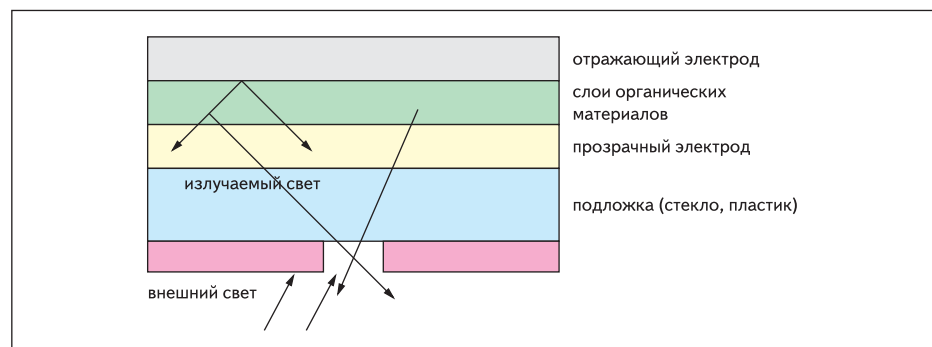


Рис. 7. Внешний апертурный фильтр для ослабления влияния внешнего света

Конвертирование внешнего излучения

Технология микропористых (microcavity) OLED позволяет не только получать глубокие и насыщенные цвета излучения, но и обладает селективным спектральным поглощением внешнего света. В результате конверсии часть паразитного фонового света вносит свой вклад в полезный излучаемый OLED световой поток. Внешний контраст увеличивается.

Черный электрод

На рис. 5 показана световая схема структуры OLED, в которой для повышения внешнего контраста используется пленка черного цвета, наносимая на задний электрод.

В этой структуре вместо отражающего слоя противозэлектрода используется черная пленка, поглощающая любое видимое излучение. Пленка может быть получена комбинацией нескольких диэлектрических слоев. Недостаток метода — пленка фильтра поглощает также и 50% полезного излучения OLED. Яркость дисплея уменьшается в два раза. Достоинство — простота и дешевизна реализации.

Black Matrix в AMOLED

В структуре AMOLED используется черный решетчатый фильтр (Black Matrix), который закрывает неизлучающие области на экране. Наличие фильтра позволяет улучшить параметр внешнего контраста. На рис. 6 показана оптическая схема TFT AMOLED с белыми светодиодами и цветными фильтрами. Поверхность черной решетки поглощает часть падающего внешнего света. Другая часть внешнего светового потока дважды проходит через слой цветных фильтров и поглощается на 75%. В данной оптической схеме цветные фильтры действуют аналогично нейтральному фильтру, описанному выше.

Уменьшая величину апертюры пикселя, можно увеличивать степень фильтрации внешнего света. В оптической схеме с излучением с обратной стороны эмиттера (bottom emitter) апертюра пикселя составляет 35%, что обеспечивает ощутимое поглощение внешнего света и значительно повышает внешний контраст. Однако в настоящее время процесс формирования черной решетки поверх транзисторной матрицы не техноло-

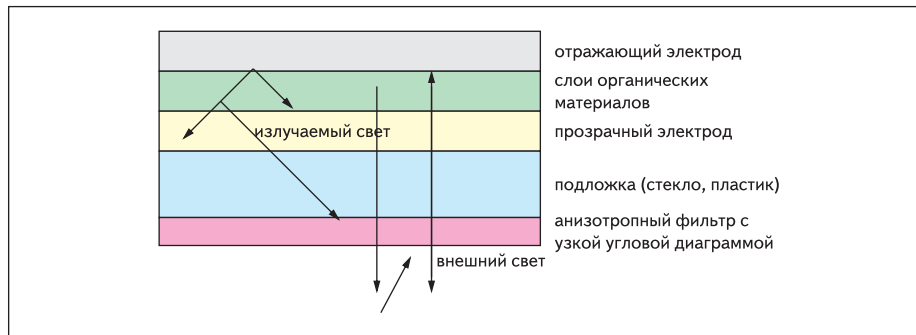


Рис. 8. Фильтрация внешнего света Privacy Screen

Таблица 1. Эффективность использования различных технологий для фильтрации фоновой внешней засветки

Метод фильтрации внешнего светового потока	Коэффициент отражения внешнего света, %
Антибликовый фильтр + поляризатор	1,2%
Антибликовый фильтр + поляризатор + световой рассеиватель	8,4%
Фильтр Privacy Screen	11,9%
Фильтр Privacy Screen + световой рассеиватель	3,2%
Антибликовый фильтр + поляризатор + световой рассеиватель + фильтр Privacy Screen	1,8%
Антибликовый фильтр + фильтр Privacy Screen + световой рассеиватель + цветные фильтры RGB + фильтр black matrix 50%	0,87%
Антибликовый фильтр + поляризатор + световой рассеиватель + фильтр Privacy Screen + цветные фильтры RGB + фильтр black matrix 50%	0,72%

Таблица 2. Значения внешнего контраста, измеренные для типовых уровней освещенности в помещениях и на солнечном свете при использовании различных методов фильтрации

Метод фильтрации	Внешний контраст в помещении	Внешний контраст на солнечном свете
Антибликовый фильтр + поляризатор	1048	27,2
Антибликовый фильтр + поляризатор + световой рассеиватель	151	4,7
Фильтр Privacy Screen	107	3,6
Фильтр Privacy Screen + световой рассеиватель	394	10,8
Антибликовый фильтр + поляризатор + световой рассеиватель + фильтр Privacy Screen	699	18,5
Антибликовый фильтр + фильтр Privacy Screen + световой рассеиватель + цветные фильтры RGB + фильтр black matrix 50%	1452	37
Антибликовый фильтр + поляризатор + световой рассеиватель + фильтр Privacy Screen + цветные фильтры RGB + фильтр black matrix 50%	1755	45

гичен, а если делать решетку под транзисторами, то уменьшается эффективность фильтрации.

Тем не менее, для структуры с обратным эмиттером, имеющей апертуру пикселя 50% и коэффициент пропускания цветных фильтров 33%, получаем ослабление до 17% внешнего света, что существенно улучшает внешний контраст. Такая величина ослабления внешнего света достаточна для обеспечения приемлемого уровня внешнего контраста для условий применения внутри помещений, однако для наружного использования дисплея на ярком солнечном свете этот показатель неудовлетворительный.

Используется и другой метод для селективной фильтрации внешнего света, основанный на применении внешнего черного накладного апертурного фильтра (рис. 7).

Privacy Screen

Еще один метод нейтрализации внешней подсветки с целью повышения значения внешнего контраста базируется на уменьшении рабочего угла обзора дисплея (рис. 8).

Технология Privacy Screen основана на использовании анизотропного оптического

фильтра, который имеет ограниченный угол пропускания светового потока. Через фильтр проходят только те световые лучи, направления которых почти перпендикулярны плоскости фильтра. Фильтр действует симметрично по отношению как к излучаемому свету внутри структуры, так и к внешнему световому потоку. Применяется для ограничения угла обзора экранов мониторов и ноутбуков. Обеспечивает конфиденциальность работы с дисплейным экраном в публичных местах (аэропорты, самолеты, транспортные средства). Сидящий рядом человек не сможет видеть изображение на экране мобильного устройства или ноутбука.

Накладные фильтры Privacy Filter выпускает известная фирма 3M. Данная технология кроме обеспечения приватного просмотра экрана дисплея позволяет повысить внешний контраст, ограничивая проникновение внешнего света в структуру OLED-дисплея.

В таблице 1 приведены сравнительная оценка эффективности применения различных комбинаций фильтров и технологий для увеличения внешнего контраста.

Например, 0,72% означает, что из 100% внешнего света, падающего на поверхность

OLED-экрана, отразится и попадет в суммарный излучаемый светодиодами дисплея только 0,72%.

Из таблицы 1 можно видеть, что даже при использовании самого простого и дешевого варианта фильтрации (антибликовый фильтр + поляризатор) можно получить очень хорошие параметры оптической структуры OLED.

Для чтения текстовой информации с экрана достаточно контраста 2, а для наблюдения цветного изображения необходим минимальный контраст 10. Поэтому применение только одного фильтра типа Privacy Screen недостаточно, чтобы на ярком солнечном свете комфортно воспринимать цветные изображения на экране OLED-дисплея.

А какие факторы определяют внешний контраст для других типов дисплеев?

Внешний контраст ЭЛТ

Для ЭЛТ при действии внешнего фоновго излучения контраст понижается за счет отражения падающего света от внешней поверхности стеклянной колбы. Для увеличения внешнего контраста в современных ЭЛТ-мониторах обязательно используется композитный антибликовый фильтр и нейтральный фильтр. В противном случае в условиях внешней засветки не удастся получить глубокий уровень черного.

Контраст плазменных панелей

Контраст, так же как и яркость, относится к важным потребительским параметрам плазменных панелей. Есть два источника засветки панели, которые снижают контраст. Первый источник — это свет, испускаемый панелью, который не связан с изображением, например, паразитная подсветка PDP светом из вспомогательных ячеек. Второй источник засветки — отраженный люминофорами и другими структурами панели свет.

Для повышения внешнего контраста плазменных панелей применяются следующие методы:

- Уменьшение коэффициентов отражения внешнего света люминофорами и другими внутренними структурами панели. Однако такое уменьшение приводит к потерям светового потока, генерируемого в ячейке. Другим вариантом является пигментация люминофоров за счет добавки неорганических красителей, поглощающих все части видимого спектра, кроме той части, которая генерируется данным люминофором.
- Использование нейтральных светофильтров, основанное на том факте, что при коэффициенте пропускания такого фильтра K , свет, излучаемый панелью, будет ослаблен в K раз, а внешний свет, пройдя через светофильтр туда и обратно, — уже в K^2 раз.
- Применение спектральных светофильтров. Для каждой ячейки PDP использует-

Динамический диапазон дисплея и зрительная система

Зрительная система человека обладает очень важным свойством — адаптацией к различным режимам работы. Благодаря ему зрение человека работает в широком диапазоне яркостей: 10^{-6} – 10^9 кд/м² (11 порядков). При изменении уровня яркости поля зрения автоматически включается целый ряд механизмов, что и обеспечивает адаптационную перестройку зрения. Адаптация — процесс перехода от одного уровня яркости к другому во времени.

Таблица. Уровень яркости объектов, наблюдаемых человеком

Объект	Яркость объекта, кд
Ночное небо (без луны)	0,00003
Ночное небо (луна)	0,003
Небо (ясный день)	3000
Небо (яркое солнце)	30 000

Однако стоит отметить, что данный диапазон не может быть реализован одновременно. Существует оперативный (рабочий) диапазон восприятия яркости — как правило, не более 3 порядков яркости. Положение оперативного диапазона внутри допустимого определяется по среднему уровню яркости объектов, находящихся в поле зрения. За счет механизмов адаптации оперативный диапазон плавно перемещается вверх и вниз относительно всего доступного для восприятия зрительной системой диапазона. Наиболее комфортно воспринимаются объекты, имеющие умеренный контраст — не более 200:1–300:1. Чем меньше угловые размеры деталей, тем меньше требуется контраст. Например, газетный текст имеет контраст всего 10:1, тем не менее, при считывании довольно мелкого шрифта обеспечиваются комфортные условия. Разумеется, речь не идет о снижении контраста до предельно низких значений. При наблюдении объектов с малыми угловыми размерами более важным, чем контраст, параметром для комфортного восприятия становится яркость. Наличие в изображении на экране в поле одного кадра деталей, имеющих контраст более 300:1, не имеет

ся светофильтр с полосой пропускания, соответствующей цвету данной ячейки. Кроме повышения контраста использование спектральных светофильтров повышает чистоту цветов PDP.

Контраст ЖК-дисплеев

Будем рассматривать только цветные TFT ЖК-дисплеи. Наибольшее влияние паразитной подсветки происходит вследствие отражения внешнего света от внешних и внутренних поверхностей стеклянных подложек. На рис. 9 показаны уровни отраженного света от поверхности ЖК-экрана. На рис. 9 не показаны потоки света, которые проходят внутрь структуры дисплейной панели, поскольку доля отраженного света от данных потоков мала по сравнению с указанными.

большого практического смысла. При наблюдении полей изображения, находящихся в угловом диапазоне 40–60°, диапазон восприятия контраста сужается до 100:1 и менее.

Многие отмеченные особенности механизмов зрительной системы человека используются для кодирования и сжатия изображения без видимой потери качества.

Так, в MPEG динамический диапазон яркости снижен, уменьшены также разрешение и цветовая палитра. Правда, качество от этого заметно пострадало, но это вынужденная мера в обмен на возможность сокращения объемов памяти для хранения видео и уменьшения полосы для передачи видеосигналов в формате MPEG2 (5–6 Мбит/с).

В обычной жизни мы наблюдаем в основном отраженный свет, а объекты наблюдения непрерывно находятся в поле нашего зрения в течение длительных интервалов времени. Очень редко приходится переводить взгляд на солнце, звезды или искусственные источники освещения. Человек старается избегать взглядов на объекты, имеющие высокую яркость свечения или отражения, а также имеющие детали высокой контрастности, поскольку это приводит к необходимости напрягать зрение и вызывает дискомфорт.

При работе за монитором мы имеем дело с самосветящимися объектами и дискретным (мерцающим с большой частотой) изображением, что увеличивает нагрузку на глаза. Характерной особенностью труда за компьютером является необходимость выполнения работ в условиях перепада яркости в поле зрения и наличия мерцаний изображения (ЭЛТ). Зрительные объекты находятся на разном расстоянии от глаз пользователя (от 30 до 70 см), и приходится часто переводить взгляд в направлениях экран — клавиатура — документация. Частые процессы адаптации глаза к различным уровням яркости и расстояниям приводят к напряжению зрительной системы и утомлению оператора.

Наличие большого динамического диапазона по яркости (контрасту) в дисплейных системах обеспечивает возможность адекватного отображения реальных объектов, а также оптимальное согласование с диапазоном комфортного восприятия зрительной системой человека.

В настоящее время для всех ЖК-дисплеев используются пленочные антибликовые и антиотражательные фильтры, которые значительно ослабляют влияние внешней подсветки (рис. 10).



Рис. 11. Слева экран TFT-дисплея без дополнительного фильтра, справа с фильтром

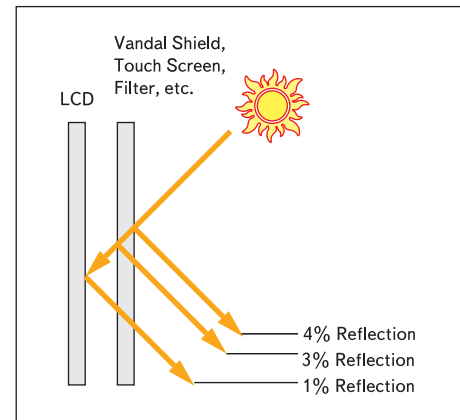


Рис. 9. Уровни отраженного света от поверхности экрана без антибликового фильтра

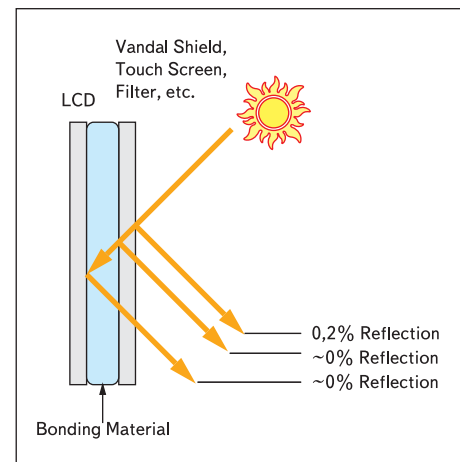


Рис. 10. Уровни отражения от экрана внешнего света при наличии антиотражательного фильтра

На рис. 11 демонстрируется результат применения антибликового фильтра для повышения внешнего контраста ЖК-дисплея. ■

Литература

1. Ronald S. Cok and Andrew D. Arnold. Ambient Contrast for OLED Displays. Digest SID'07. Eastman Kodak Company. Rochester, New York, USA.
2. ГОСТ 25024.5-87. Индикаторы знаков синтезирующие. Методы измерения собственного яркостного контраста и неравномерности собственного яркостного контраста.