

УДК 004.932.72'1

Студенцов С.А.<sup>\*</sup>, Брежнев В.А.<sup>\*\*</sup>, Ежов В.А.<sup>\*\*\*</sup><sup>\*</sup>ООО «НПП «Фотон», г. Саратов,<sup>\*\*</sup>ООО «Волга-Модулятор», г. Саратов,<sup>\*\*\*</sup>ООО «АСФ», г. Москва

## АРТЕФАКТЫ В БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ЖК-ЗАТВОРАХ НА STN-ЭФФЕКТЕ ДЛЯ АКТИВНЫХ 3D-ОЧКОВ И ИХ УСТРАНЕНИЕ КОРРЕКЦИЕЙ РЕЖИМА УПРАВЛЕНИЯ

*Аннотация.* Рассмотрены артефакты, возникающие в жидкокристаллических затворах для активных 3D-очков. Описаны факторы, влияющие на их форму и расположение. Предложены способы устранения данного дефекта.

*Ключевые слова:* быстродействующие ЖК-затворы, активные 3D-очки, артефакты.

S. Studentsov<sup>\*</sup> V. Brezhnev<sup>\*\*</sup> V. Ezhov<sup>\*\*\*</sup><sup>\*</sup>Photon, ltd, Saratov<sup>\*\*</sup>Volga-Modulator, ltd, Saratov<sup>\*\*\*</sup>ASF, ltd, Moscow

## ARTIFACTS IN FAST-SWITCHING, SUPERTWISTED NEUMATIC LIQUID-CRYSTAL SHUTTERS FOR ACTIVE 3D-GLASSES AND THEIR ELIMINATION BY DRIVING MODE

*Abstract.* We consider the artifacts arising in fast-switching, supertwisted neumatic (STN) liquid-crystal (LC) shutters for active 3D-glasses. The factors, influencing their shape and location, are reviewed. The methods for elimination of this defect are suggested.

*Keywords:* fast-switching LC-shutters, active 3D-glasses, artifacts.

В настоящее время наиболее распространенным средством получения 3D-изображения на плоском экране являются устройства с активными очками на быстродействующих ЖК-затворах. По оценкам экспертов, это положение сохранится еще на многие годы [1].

Стереоизображение в таких очках формируется черезкадровым закрытием правого и левого оптических каналов активных очков и синхронным с этим формированием на экране изображения для каждого глаза. Для закрытия затвора в течение времени кадра обычно подается

управляющее напряжение с несущей частотой 1 (или 2 кГц) [2]. Энергопотребление в этом случае достаточно велико, поэтому гораздо предпочтительнее вариант управления с минимальной кадровой частотой со скважностью 2. В этом случае во время одного кадра изображения на ЖК-затвор подается постоянное рабочее напряжение одной полярности, а через кадр – другой [2]. При этом энергопотребление будет в 8 (или 16) раз меньше.

Проблемой такого управления является возникновение при работе в 3D-режиме темных областей (полос или пятен), которые ухудшают качество стереоизображения. Причем дефекты неравномерности пропускания отсутствуют в первые 1–2 минуты (рис. 1а) включения 3D-режима (здесь и далее, если не оговорено иное, – напряжение амплитудой 12 В со скважностью 2, при обычной для современных 3D-устройств кадровой частоте 120 Гц), но уже через 10–15 минут отсекают 20–30 % площади электрода (рис. 1б). Еще через 30–60 минут дефект уменьшается в размерах до вытянутого пятна размером 2...6 мм (рис. 1в) и далее практически не изменяется. На всех стадиях развития дефект находится в поле зрения или требует закрытия до 30 % площади затвора, что недопустимо.

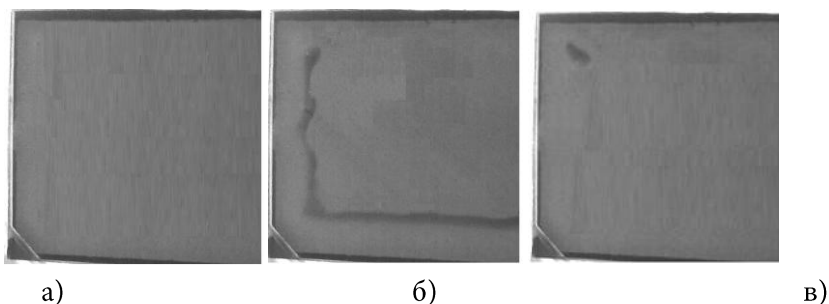


Рис. 1. Динамика изменения затемнения быстродействующего ЖК-затвора на STN-эффекте: а) в течение первой минуты после включения в 3D-режиме; б) через 10 минут после включения 3D-режима; в) через 60 минут после включения 3D-режима

Различие в пропускании отдельных участков достигает 50 %. Установлено, что визуализация локального изменения пропускания является следствием увеличения времени релаксации в этих зонах на 1,5–2,5 мс

относительно остальных участков (рис. 2). Это означает, что в области артефакта в каждом глазу происходит наложение световых потоков обоих каналов и наблюдатель видит двоение изображения без стереоэффекта.

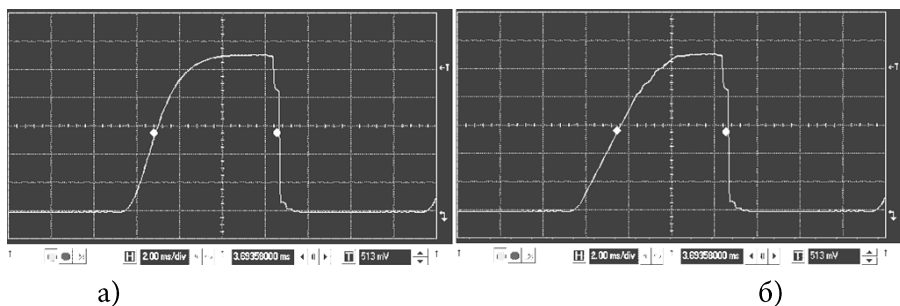


Рис. 2. Оптический отклик быстродействующего ЖК-затвора на STN-эффекте в стандартной области (а) и в зоне затенения (б).

Эффект наблюдается как на ЖК-затворах на пи-ячейках [3], так и в закрученных на  $270^\circ$  структурах [4].

Эксперименты показали, что возникновение этих артефактов связано именно с 3D-режимом. Ни при длительном воздействии переменного напряжения, ни при многочасовой подаче постоянного напряжения их нет.

При частоте управляющего сигнала 120 Гц артефакт появляется при напряжениях выше 6–7 В и исчезает при напряжениях выше 18 В. Максимальные размеры дефектов наблюдаются при напряжениях 8–11В.

При стандартной для 3D-устройств амплитуде управляющего напряжения 12 В дефект отсутствует при кадровой частоте ниже 50 Гц и выше 600 Гц.

Особенностью эффекта является зависимость расстояния от края дисплея до внешней границы затененного пятна от напряжения. При низких напряжениях затемнение начинается на расстоянии 6–8 мм от торца, при высоких оно смещается к краю и при 15–16 В уменьшается до 2–3 мм.

Очевидно, что режимы, в которых артефакт отсутствует, неприемлемы или из-за большого времени реакции, или энергопотребления, или мерцания.

Впервые это явление под названием "ion shadow defect" описано в [5]. Авторы [5] для минимизации артефактов в пи-ячейках использовали

напряжение представленной на рис. 3 формы. Однако наши расчеты показывают, что при таком управлении энергопотребление по сравнению с режимом несущей 1–2 кГц снижается только на 30–33 %, а рост относительно идеального варианта с подачей меандра кадровой частотой со скважностью 2 – семикратный.

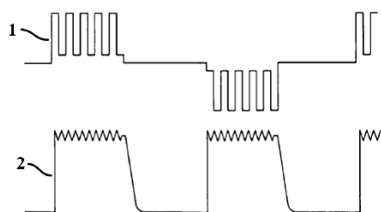


Рис. 3. Форма управляющего сигнала для уменьшения эффекта ионной тени [5]:  
кривая 1 – форма напряжения, подаваемого на ЖК-затвор;  
кривая 2 – соответствующий оптический отклик.

Вопрос распределения электромагнитных волн при их распространении в различных средах рассматривался в статьях [6; 7]. В этих работах показано, что при распространении и отражении электрического тока вблизи границы проводника наблюдаются различного рода неоднородности поля.

Мы исходим из предположения, что причиной образования затенения является концентрация встречного заряда в ЖК-слое в краевых областях дисплея. На основании этой модели нами предложен иной способ управления, минимизирующий эффект затенения.

Согласно этому способу, время кадра  $T$ , в течение которого затвор находится под напряжением, делится на две части:  $T_1$ , когда на ячейку подается напряжение одной полярности, и  $\tau_p$ , в течение которого на затвор подается напряжение противоположной полярности (рис. 4). Время  $\tau_p$  – это время реакции ЖК-слоя, оно много меньше  $T_1$ . За время  $\tau_p$  действием напряжения одной полярности ликвидируется встречный заряд в ЖК-структуре, образованный в данном кадре действием напряжения другой

полярности, причем периода  $\tau_p$  недостаточно для образования в том же цикле нового встречного заряда.

Для затвора с 6-микронной толщиной ЖК-слоя длительность импульса противоположной полярности составляла  $\tau_p=0,5$  мс, а для 4-микронной толщины -  $\tau_p = 0,3$  мс.

При работе в указанном режиме дефект или не образуется, или мало заметен даже после 96 часов непрерывной работы. Важным моментом является то, что затворы, управлявшиеся стандартным прямоугольным меандром и имеющие уже сформированный дефект, при переключении на управление в режиме согласно рис. 4 были однородны по пропусканию.

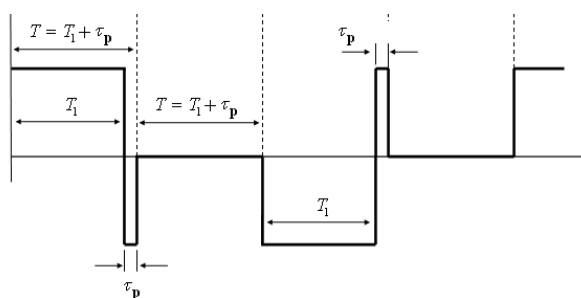


Рис. 4. Форма управляющего сигнала, минимизирующего эффект затенения быстродействующего ЖК-затвора на STN-эффекте.

Очевидно, что в данном режиме энергопотребление относительно варианта управления с несущей частотой 1 кГц снижается в 4,17 раза. Относительно идеального варианта меандра кадровой частоты скважностью 2 в этом случае энергопотребление больше в 2 раза, зато не имеет артефакта затенения.

С изменением напряжения  $U$  время реакции  $\tau_p$  изменяется по формуле:

$$\tau_p = \frac{1}{U^2 - U_0^2}, \quad (1)$$

где  $U_0$  – пороговое напряжение

Поэтому с ростом напряжения длительность  $\tau_p$  кратковременного импульса противоположной полярности уменьшается, а при уменьшении напряжения  $\tau_p$  увеличивается в соответствии с формулой (1). Таким образом, при установленной величине  $\tau_p$  допустимы любые колебания напряжений.

В частности, для 6-микронного затвора при длительности кратковременного импульса противоположной полярности  $\tau_p = 0,5$  мс дефект неравномерности пропускания отсутствует или малозаметен при колебаниях напряжений от 10,5 до 15 В. Для 4-микронного затвора диапазон допустимых колебаний напряжения еще больше.

Поскольку время реакции экспоненциально зависит от температуры, аналогичное поведение наблюдается при нагреве или охлаждении затвора. Правда, при охлаждении уменьшается и подвижность свободных ионов, что в какой-то степени компенсирует увеличение  $\tau_p$ . По этим причинам диапазон температур, при которых режим был эффективен – от 15° до 40°С. Это перекрывает возможные колебания температуры внутри помещения.

Итак, в результате проведенной работы описан дефект ионной тени при работе 270° STN-ячейки в различных режимах активных 3D-очков (меандр амплитудой 5–20 В, скважность 2, кадровая частота 32–250 Гц) и предложен способ управления, при котором указанный артефакт отсутствует или минимизирован.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. DisplaySearch 3D Display Technology and Market Forecast Report, January 2010.
2. Berman A. et al, патент США US 4792850, «Method and system employing a push-pull liquid crystal modulator», опубл. 20.12.88.
3. Berman A., L. Meyer, L. Lipton, патент US 4884876 «Achromatic Liquid Crystal Shutter for stereoscopic and other applications», опубл. 05.12.1989.
4. Lipton L., M.Tilton, патент US5327269 «Fast switching 270° twisted nematic liquid crystal device and eyewear incorporating the device», опубл. 05.07.1994.
5. Dorworth B. et al. Eliminating  $\pi$ -cell artifacts // Proc. SPIE 3957, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VII (May 3, 2000), vol. 3295. P.264-270.
6. А.И. Уткин. Распределение электрического тока в тонком металлическом слое под действием переменного тока // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика, 2014. № 3. С. 38–45.
7. Е.П.Захарченко. Особенности отражения электромагнитных волн от границы раздела диэлектрик–запредельная усиливающая среда с электрической гиротропией // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика, 2010. № 3, С.18–22.