

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР, КОМБИНИРУЕМЫЙ С УСТРОЙСТВАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

А.Л. МАРГАРЯН, П.К. ГАСПАРЯН, В.К. АБРААМЯН, Н.Г. АКОПЯН*,
А.С. ЧИЛИНГАРЯН, Д.К. ПОХСРАРЯН, Г.М. СТЕПАНЯН

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

*e-mail: nune.hakobyan@ysu.am

(Поступила в редакцию 12 декабря 2022 г.)

Описан жидкокристаллический управляемый оптический фильтр для видимой и ближней инфракрасной областей спектра, комбинируемый с устройствами видеонаблюдения, работающий в широком интервале температур. Рассмотрены конфигурации фильтра с использованием жидкокристаллических ячеек с твист, гомеотропной и планарной ориентациями. Показано, что характерное для нейтрального фильтра изменение пропускания в зависимости от приложенного управляющего напряжения демонстрирует твист-ячейка. Оценено влияние фильтра на угловое разрешение видеокамеры.

1. Введение

Качественная регистрация изображения при высоких уровнях фонового излучения в видимой и ближней инфракрасной областях спектра является серьезной проблемой. Повышение уровня фона, обусловленное солнечным излучением или искусственным источником, приводит к насыщению приемника, и четкое разделение изображений существенно усложняется. В таких случаях для обеспечения резкости изображения обычно используются механические диафрагмы, нейтральные фильтры, или уменьшается время интегрирования приемной ПЗС (прибор с зарядовой связью) матрицы. Однако эти методы не всегда обеспечивают желаемый результат. Например, диафрагмы при низких температурах (менее -10°C) часто демонстрируют непредсказуемое поведение, обусловленное сложной микромеханикой и смазочными материалами. С другой стороны, использование более одного оптического дискретного фильтра (для различных областей спектра) приводит к более жестким требованиям, предъявляемым к механике.

Сегодня, в связи с перспективами использования в различных областях, от биомедицинской визуализации и микроскопии [1,2] до обнаружения и определения дальности с помощью света (ЛИДАР) [3], особый интерес приобретают быстро перестраиваемые оптические фильтры. Наиболее перспективными

являются акустооптические (АОПФ) [4] и жидкокристаллические (ЖКПФ) [5] перестраиваемые фильтры, имеющие свои преимущества и недостатки в зависимости от применения. Несмотря на то, что АОПФ более быстродействующий, его апертура и качество изображения ниже, чем у фильтров на основе ЖК. Кроме того, АОПФ сложнее в эксплуатации и дороже в производстве. С другой стороны, температурный диапазон функционирования ЖКПФ ограничен необходимостью обеспечения нематической фазы ЖК.

В данной работе представлен комбинируемый с устройствами видеонаблюдения жидкокристаллический управляемый оптический фильтр для видимой и ближней инфракрасной областей спектра, функционирующий в широком температурном диапазоне.

2. Описание фильтра

В устройствах видеонаблюдения в зависимости от фонового излучения и погодных условий используются нейтральные фильтры с фиксированной оптической плотностью (ОП) или спектрально-селективные фильтры с фиксированной шириной пропускания. Однако, совокупность таких фильтров не всегда дает желаемый результат и часто возникает необходимость плавного варьирования значением оптической плотности и спектром пропускания.

В данной работе описан работающий в широком интервале температур (-25 — 40°C) электроуправляемый оптический фильтр, разработанный с учетом вышеперечисленных недостатков, который не содержит механических узлов и обеспечивает широкий динамический диапазон аттенюации.

Фильтр состоит из трех основных частей: жидкокристаллической ячейки, электронного блока управления и автономного блока питания. ЖК ячейка (рис.1) представляет собой помещенный между двумя стеклянными подложками, покрытыми прозрачным проводящим покрытием (ITO, Indium Tin Oxide), тонкий слой жидкокристаллического материала. Ячейка расположена между скрещенными поляризаторами, а интенсивность проходящего через систему света управляется внешним электрическим полем.

Для обеспечения нематической фазы жидкокристаллического материала в случае работы фильтра при низких температурах окружающей среды ячейка помещена в термоизолированный корпус со вмонтированным нагревательным элементом и термодатчиками для регистрации температуры вне и внутри корпуса. Стабилизация температуры осуществляется с помощью ПИД регулятора. Нагрев фильтра предотвращает также образование водных конденсатов при низких температурах окружающей среды.

После достижения заданной температуры необходимая прозрачность фильтра устанавливается приложением переменного напряжения килогерцовой частоты. Сигнал формируется с помощью специальной программы, созданной на платформе LabVIEW, и через драйвер подается на ЖК ячейку. Для обеспечения работы прибора в автономном режиме в качестве источника питания

используются перезаряжаемые литий-ионные аккумуляторы. Необходимые напряжения задаются с помощью конверторов и подаются на соответствующие драйверы.

Корпус фильтра разработан с учетом совместимости с объективами, выполненными по стандарту C-mount. Узел видеонаблюдения состоит из камеры на основе КМОП (CMOS) сенсора с разрешением 2.3 МП (производства фирмы BASLER) и объектива с фокальным расстоянием 100 мм и апертурным числом $f/2.8 - f/22$ (Edmund Optics).

3. Экспериментальная часть

В основе функционирования фильтра лежит явление переориентации молекул ЖК под воздействием электрического поля. В зависимости от типа первоначальной ориентации ЖК ячейки (планарная, гомеотропная или твист) спектр пропускания фильтра изменяется по-разному [6–9]. В связи с этим исследованы три различные конфигурации фильтра: твист ячейка между скрещенными поляризаторами, когда ориентация каждой подложки параллельна оптической оси поляризатора; гомеотропная ячейка между скрещенными поляризаторами, когда директор ЖК направлен под углом 90° к плоскости поляризатора; планарная ячейка между скрещенными поляризаторами, когда директор ЖК направлен под углом 45° к оптической оси поляризатора.

Для каждой конфигурации получены спектральные зависимости прошедшего через фильтр света при различных значениях внешнего управляющего напряжения (рис.2).

Ячейка с твист ориентацией при приложении напряжения ниже пороговых значений полностью прозрачна (рис.2а), с увеличением напряжения форма спектра не меняется, но интенсивность прошедшего света уменьшается, достигая минимального значения при $U \geq 5\text{В}$, т.е. твист-ячейка функционирует как нейтральный фильтр. Гомеотропная ячейка в отсутствие напряжения находится в закрытом состоянии (не пропускает свет), а при напряжениях больше порогового наблюдается увеличение пропускания до максимального (рис.2б). В этом случае также форма спектра не меняется.

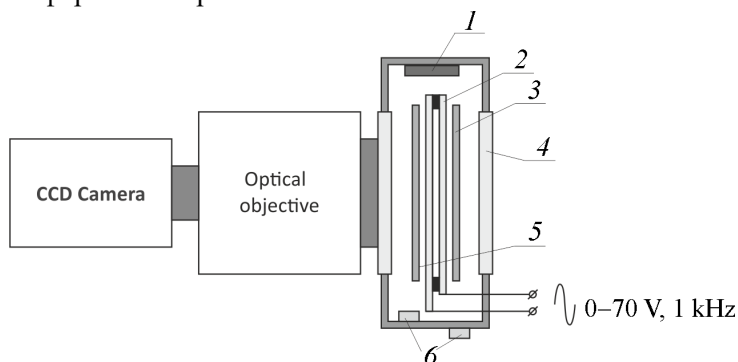


Рис.1. Схема ЖК ячейки: 1 – нагреватель, 2 – ЖК ячейка, 3 – поляризатор, 4 – оптическое окно, 5 – анализатор, 6 – термодатчики.

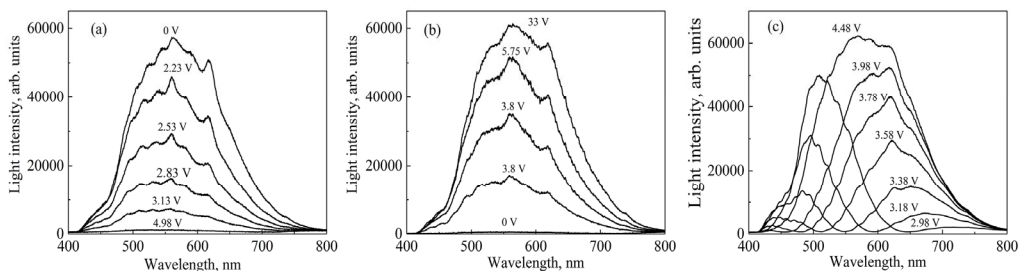


Рис.2. Спектральные зависимости прошедшего через фильтр света при различных значениях внешнего управляющего напряжения для различных конфигураций фильтра: (а) – твист ячейка между скрещенными поляризаторами; (б) – гомеотропная ячейка между скрещенными поляризаторами; (с) – планарная ячейка между скрещенными поляризаторами.

Ячейка же с планарной ориентацией имеет другое поведение (рис.2с). В этом случае можно контролировать спектральное распределение прошедшего излучения. Образование пиков на спектрах означает, что ячейка работает как полуволновая пластина на данной длине волны. При изменении напряжения изменяется набег фаз и, соответственно, изменяется длина волны характерных пиков на спектре.

Таким образом, из вышеописанного сравнительного анализа трех типов ЖК ячеек следует, что характерное для нейтрального фильтра изменение пропускания в зависимости от приложенного управляющего напряжения демонстрирует твист-ячейка.

4. Тестирование фильтра

Для оценки оптического пропускания (ОП) фильтра собран измерительный стенд, принципиальная схема которого проведена на рис.3.

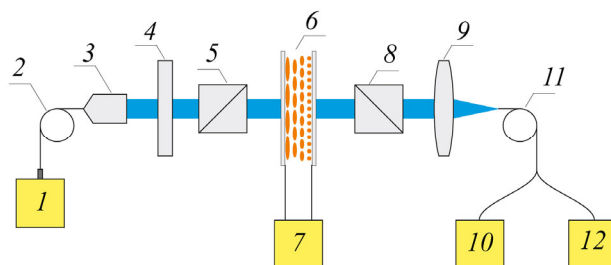


Рис.3. Схема стенда для оценки ОП фильтра: 1 – вольфрамовая галогенная лампа, 2 – световод, 3 – коллиматор, 4 – спектральный фильтр, 5,8 – поляризаторы Глана, 6 – ЖК ячейка, 7 – блок управления, 9 – собирающая линза, 10 – оптоволоконный разветвитель, 11 – измеритель мощности, 12 – спектрометр.

Световой пучок лампы (1), проходя через световод (2) с внутренним диаметром 200 мкм и коллиматор (3), направляется на спектральный фильтр (4), пропускающий область 450–750 нм из всего спектра лампы. ЖК ячейка (6)

расположена между скрещенными поляризаторами Глана (5 и 8). Блок управления (7) позволяет формировать управляющие сигналы с различной амплитудой. Каждому значению управляющего напряжения соответствует определенный фазовый набег, приводящий к изменению интенсивности света, прошедшего через поляризатор (8). Прошедший свет с помощью собирающей линзы (9) направляется на оптоволоконный разветвитель (50:50) диаметром 400 нм (10). На одной ветви световода регистрируется мощность светового пучка с помощью измерителя мощности (11), а на другой ветви осуществляются спектральные измерения с помощью спектрометра (12). Максимальное пропускание (1.3 мкВт) наблюдается при $U = 1.5$ В, а минимальное (25 пкВт) при $U = 10$ В. При этом ОП = $\lg I/T = 4.7$. Таким образом, нематическая твист ячейка в качестве нейтрального фильтра в диапазоне 450–700 нм обеспечивает ОП от 0 до 4.7.

Оценено также влияние фильтра на угловое разрешение видеокамеры согласно методике, описанной в формуляре ОСК-2ЦЛ. Была использована мира №5. Искажения, вводимые фильтром, позволили различить штрихи первой группы элементов, т.е. угловое разрешение составляет 41.3 угл.сек. (рис.4).

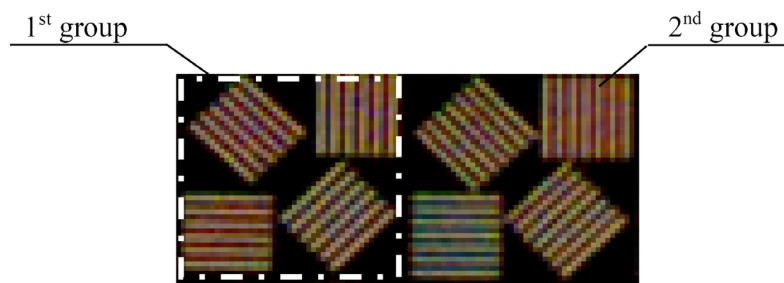


Рис.4. Изображение, зарегистрированное камерой через ЖК фильтр.

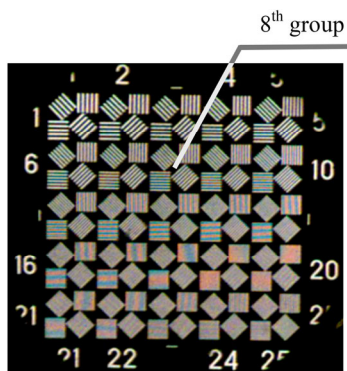


Рис.5. Изображение миры № 5 через ЖК фильтр без поляризаторов.

Низкое значение углового разрешения описанного фильтра обусловлено использованием пластиковых поляризаторов, для оценки вклада которых измерено угловое разрешение фильтра без поляризаторов (рис.5). Как видно из рисунка, различимы штрихи восьмой группы элементов. Угловое разрешение в этом случае составляет 27.4, что говорит о значительном влиянии пластиковых поляризаторов на искажение волнового фронта.

5. Заключение

В работе описан электрически управляемый нейтральный оптический фильтр на основе ЖК ячейки с твист-ориентацией. Показано, что в спектральном диапазоне 450–700 нм можно плавно изменять оптическую плотность фильтра в пределах значений от 0 до 4. Вмонтированный в корпус фильтра нагревательный элемент обеспечивает работу в температурном диапазоне от -25°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Показано, что использование пластиковых поляризаторов приводит к искажению изображения. Во избежание этого недостатка необходимо использовать поляризаторы с искажением волнового фронта, меньшим 1λ .

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке Республики Армения в рамках проекта 20DP-2H02.

ЛИТЕРАТУРА

1. **M.J. Booth.** Light: Science & Applications, **3**, 165 (2014).
2. **C. Balas.** Measurement Science and Technology, **20**, 104020 (2009).
3. **G. Yang, R.I. Billmers, P.R. Herczfeld, V.M. Contarino.** Optics Letters, **22**, 414 (1997).
4. **S.E. Harris, R.W. Wallace.** Journal of the Optical Society of America, **59**, 744, (1969).
5. **S.-T. Wu.** Applied Optics, **28**, 48 (1989).
6. **V.K. Abrahamyan, N.H. Hakobyan, V.M. Aroutiounian, V.G. Babajanyan, H.L. Margaryan, D.L. Hovhannisyan, A.T. Poghosyan, D.K. Pokhsraryan.** J. Contemp. Phys., **44**, 84 (2009).
7. **C. Sun, J. Lu.** Polymers, **14**, 4898 (2022).
8. **Н.Г. Акопян, В.М. Арутюнян, А.Л. Маргарян, Д.Л. Оганесян.** Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, **N12**, 98 (2010).
9. **A. Solomatin, V. Mashchenko, V. Belyaev, A. Margaryan, N. Hakobyan.** Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics, **3**, 76 (2017).

CONTROLLED LIQUID CRYSTAL OPTICAL FILTER COMBINED WITH VIDEO SURVEILLANCE DEVICES

**H.L. MARGARYAN, P.K. GASPARYAN, V.K. ABRAHAMYAN, N.H. HAKOBYAN,
H.S. CHILINGARYAN, D.K. POKHSRARYAN, G.M. STEPANYAN**

Operating in a wide temperature interval controlled liquid crystal optical filter for the visible and near infrared spectral ranges, combining with video surveillance devices, is described. The configurations of the filter using liquid crystal cells with a twist, homeotropic and planar orientations are considered. It is shown that the change in the transmission depending on the attached control voltage, typical for a neutral filter, is shown by the twist cell. The effect of the filter on the angular resolution of the video camera is evaluated.