

УДК 535.361; 610.849.19; 618.723

PACS: 42.79.Kr

EDN: ABESVR



Влияние типа источника подсветки жидкокристаллического модулятора света на основе π -ячейки на его полное время срабатывания

Г. В. Симоненко

Представлено исследование зависимости динамики оптического отклика быстродействующего жидкокристаллического модулятора света на основе π -ячейки от длины волны модулируемого излучения. Для решения этой задачи применялся метод компьютерного моделирования электрооптических характеристик жидкокристаллических модуляторов. Установлено, что полные времена срабатывания модулятора при одинаковых абсолютных значениях управляющего напряжения имеют отличающиеся значения для различных областей модулируемого излучения. Показано, что значение напряжения оптического порога, в отличие от напряжения деформационного порога, зависит от длины волны модулируемого излучения. Установлено, что значение полного времени срабатывания такого устройства зависит от спектра источника модулируемого излучения. Показано, что для монохромных жидкокристаллических модуляторов для достижения минимальных значений полных времен срабатывания при выборе величин управляющих напряжений необходимо учитывать спектральный состав модулируемого излучения.

Ключевые слова: жидкие кристаллы, модуляторы, компьютерное моделирование.

DOI: 10.51368/1996-0948-2023-3-5-9

Введение

Современные устройства обработки и отображения информации невозможно представить без жидкокристаллических (ЖК) устройств [1, 2]. Отдельный большой класс подобных ЖК устройств состоит из быстродействующих модуляторов оптического излучения [3], которые в большинстве случаев выполнены на основе π -ячеек различной конструкции [4, 5]. Одной из определяющих электрооптических характеристик ЖК

устройств обработки информации является его полное время срабатывания [6]. Электрооптические и оптические характеристики таких устройств изучены достаточно подробно [6], однако в литературе отсутствуют данные о влиянии спектра модулируемого оптического излучения на динамические характеристики этих устройств. Поэтому данная работа посвящена ответу на вопрос: зависит ли полное время срабатывания быстродействующего ЖК модулятора на основе π -ячейки от спектра модулируемого излучения?

Симоненко Георгий Валентинович, профессор,
д.ф.-м.н.
E-mail: simonenkogv@sgu.ru
Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского.
Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83.

Статья поступила в редакцию 14.02.2023
Принята к публикации 15.03.2023

© Симоненко Г. В., 2023

Характеристики ЖК модулятора и метод их исследования

Характеристики ЖК устройства преобразования информации делятся на оптические и электрооптические, каждая из которых в свою очередь подразделяются на дифференциальные и интегральные [6, 7]. К основным

интегральным характеристикам, позволяющим достаточно полно описывать поведение ЖК модулятора, относятся полное время срабатывания устройства, среднее по видимому спектру пропускание устройства в открытом состоянии и среднее по видимому спектру контрастное отношение. Последние две характеристики являются оптическими, а первая – электрооптической. Под полным временем срабатывания ЖК устройства понимается сумма времен реакции и релаксации модулятора. В настоящее время основным инструментом исследования каких-либо факторов на характеристики ЖК устройства преобразования информации является компьютерный эксперимент [6, 8]. В силу этого для выяснения влияния спектра источника модулируемого излучения на полное время срабатывания ЖК модулятора использовался пакет программ MOUSE-LCD, который позволяет производить моделирование характеристик различных ЖК устройств с точностью в пределах 10 % [6, 9].

Результаты и обсуждение

Как известно, на все характеристики ЖК модулятора оказывают определяющее влияние как технологические, так и физические параметры устройства [1, 2, 6, 8, 11]. Эти за-

висимости известны достаточно давно [9, 11] и успешно применяются в производстве ЖК устройства преобразования информации. Поэтому в представленных исследованиях использовался только один набор параметров ЖК и модулятора. Далее везде считалось, что ячейка заполнена ЖК смесью со следующими физическими параметрами: $k_{11} = 13,2 \times 10^{-7}$ дин, $k_{22} = 6,5 \times 10^{-7}$ дин, $k_{33} = 13,8 \times 10^{-7}$ дин, $\varepsilon_{\perp} = 3,1$, $\varepsilon_{\parallel} = 8,3$, $\Delta n(\lambda = 436 \text{ нм}) = 0,1048$, $\Delta n(\lambda = 546 \text{ нм}) = 0,099$, $\Delta n(\lambda = 633 \text{ нм}) = 0,096$. В качестве поляризаторов использовалась плёнка *NPF – F 1205 DU*. Технологические параметры (толщины и показатели преломления) стеклянных подложек, электродных и ориентирующих слоев были взяты из работы [10]. Основой модулятора служит π -ячейка с антисимметричными граничными условиями, выполненная на структурах ЖК с различными углами закрутки: 0° , 180° , и 270° [6]. Величина управляющего напряжения для закрытого состояния модулятора составляет от 10 до 15 Вольт. В качестве источников модулируемого излучения использовались следующие типы стандартных источников света: А, В, С, D₆₅.

В таблице 1 представлено полное время срабатывания модулятора света на основе π -ячейки с различными углами закрутки структуры ЖК для различных типов источника модулируемого излучения.

Таблица 1

Полное время срабатывания модулятора на основе π -ячейки с различными углами закрутки структуры ЖК

Тип источника подсветки	А	В	С	D ₆₅
Полное время срабатывания модулятора (угол закрутки структуры ЖК 270°), мкс	14,8	13,3	9,8	9,0
Полное время срабатывания модулятора (угол закрутки структуры ЖК 180°), мкс	9,5	9,5	9,5	10
Полное время срабатывания модулятора (угол закрутки структуры ЖК 0°), мкс	8,5	10	10	9,5

Как видно из таблицы значение этой электрооптической характеристики зависит от спектрального состава источника модулируемого излучения, а величина этого различия сильно зависит от структуры ЖК, которая используется в π -ячейке. Объяснение этого явления состоит в следующем. Известно, что полное

время срабатывания определенной конструкции ЖК модулятора света при использовании одного и того же ЖК зависит только от разницы квадратов значений управляющих напряжений [7, 12]. Величины рабочих напряжений ЖК устройства зависят от величины напряжения оптического порога эффекта [7, 9]. Стоит

отметить, что величина напряжения оптического порога любого электрооптического эффекта в ЖК существенно отличается от значения порога Фредерикса для данного электрооптического эффекта. При этом величина напряжения порога Фредерикса зависит только от физических параметров ЖК вещества и ориентационной структуры ЖК. Величина напряжения оптического порога, в отличие от значения напряжения порога Фредерикса, зависит еще от длины волны модулируемого излучения [13].

Зависимость величины напряжения оптического порога для ЖК модулятора на основе π -ячейки с различными углами закрутки структуры ЖК представлена в табл. 2 и продемонстрирована в качестве примера на рисунке. В силу этого времена полного срабатывания ЖК модулятора на основе π -ячейки с различными углами закрутки структуры ЖК будут зависеть от спектрального состава источника модулируемого излучения и будут разными для различных типов источников подсветки.

Таблица 2

Значения напряжения оптического порога модулятора света на основе π -ячейки для различных длин волн

Длина волны света λ , нм	450	550	650
Значение напряжения оптического порога модулятора (угол закрутки структуры ЖК 270°), В	3,5	3,5	3,4
Значение напряжения оптического порога модулятора (угол закрутки структуры ЖК 180°), В	3,3	3,3	3
Значение напряжения оптического порога модулятора (угол закрутки структуры ЖК 0°), В	3	2,8	2,8

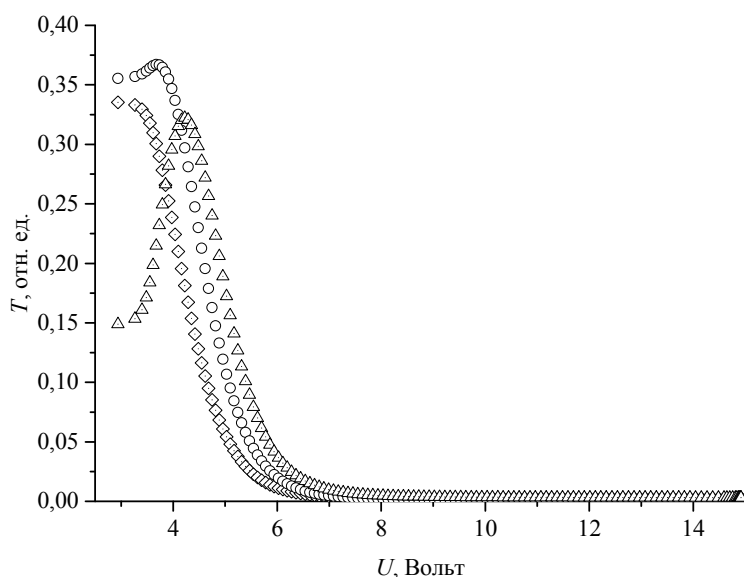


Рис. Зависимость пропускания T модулятора на основе π -ячейки (угол закрутки структуры 180°) от управляющего напряжения U для различных длин волн λ : $\diamond - \lambda = 650$ нм; $o - \lambda = 550$ нм; $\Delta - \lambda = 450$ нм

Исходя из выше написанного, следует сделать следующие практические замечания. Если ЖК модулятор используется для модуляции монохроматического излучения, то для достижения оптимальных значений его интегральных характеристик (как оптических, так и электрооптических) необходимо осуществлять выбор значений управляющих напряжений только из зависимости дифференциальных характеристик от управляющего напряжения.

Если ЖК модулятор используется для модуляции всего видимого диапазона электромагнитного излучения, то выбор значений управляющих напряжений для достижения оптимальных значений его интегральных характеристик должен осуществляться с учетом спектрального состава источника излучения.

Все сделанные выше замечания относятся к полному времени срабатывания ЖК модулятора, которое определяется по временной

зависимости оптического отклика устройства. Если полное время срабатывания ЖК устройства определяется другим образом, например, по временной зависимости емкости ЖК ячейки, то эти выводы могут быть другими. Это объясняется тем, что оптический отклик ЖК на какое-либо внешнее воздействие всегда отстает от деформационного отклика. Так величина напряжения оптического порога любого электрооптического эффекта всегда больше, чем значение напряжения соответствующего эффекта Фредерикса [12]. Поэтому времена деформационного отклика должны отличаться от времен оптического отклика.

Заключение

В работе методом компьютерного моделирования выявлено влияние спектра источника излучения на полное время срабатывания ЖК модулятора на основе π -ячейки различной конструкции. Показано, что значение напряжения оптического порога эффекта, который используется в модуляторе, зависит от типа источника модулируемого излучения. Это в конечном итоге объясняет отличие значений полного времени срабатывания ЖК модулятора при использовании различных типов источников излучения. Даны рекомендации по способу выбора значений управляющих напряжений для ЖК модуляторов на основе π -ячеек.

ЛИТЕРАТУРА

1. He Ziqian, Gou Fangwang, Chen Ran, Yin Kun, Zhan Tao, Wu Shin-Tson / Crystals. 2019. Vol. 9. № 6. P. 292–300.
2. Wang C. T., Yang C. S., Guo Q. / Crystals. 2019. Vol. 9. № 12. P. 670.
3. Kompanets I. N., Andreev A. L. / Quantum Electronics. 2017. Vol. 47. № 4. P. 294–302.
4. Студенцов С. А., Ежов В. А. Мультистандартные жидкокристаллические очки. Патент на изобретение № 2488150 (РФ). 2011.
5. Lipton L., Tilton M. Fast switching 270° twist nematic liquid crystal device and eyewear incorporating the device. Patent № 5327269 (US). 1994.
6. Симоненко Г. В. Компьютерное моделирование характеристик быстродействующих классических модуляторов на основе жидких кристаллов. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2018.
7. Сухариев А. С. Жидкокристаллические индикаторы. – М.: Радио и связь, 1991.
8. Yakovlev D. A., Chigrinov V. G., Kwok Hoi-Sing Modeling and Optimization of LCD Optical Performance. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2015.
9. Chigrinov V. G., Simonenko G. V., Yakovlev D. A., Podjachev Yu. B. / Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2001. Vol. 351. P. 17–25.
10. Курчаткин С. П. Поверхностные явления и структура термотропных жидких кристаллов в капиллярных объемах: Дисс. д-ра хим. наук. – Саратов: СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 2001.
11. Yang Deng-Ke, Wu Shin-Tson Fundamentals of liquid crystal devices. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2006.
12. Симоненко Г. В. / Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2022. Т. 22. № 1. С. 47–55.
13. Симоненко Г. В. / Оптический журнал. 1995. Т. 62. № 3. С. 53–56.

PACS: 42.79.Kr

Influence of the type of the illumination source of a liquid-crystal light modulator based on a π -cell on its total operation time

G. V. Simonenko

Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky
83 Astakhanskaya st., Saratov, 410012, Russia
E-mail: simonenkogv@sgu.ru

Received 14.02.2023; accepted 15.03.2023

The paper presents a study of the dependence of the dynamics of the optical response of a high-speed liquid crystal light modulator based on a cell on the wavelength of the modulated radiation. To solve this problem, the method of computer simulation of the electro-optical

characteristics of liquid-crystal modulators was used. It has been established that the total response times of the modulator at the same absolute values of the control voltage have different values for different regions of the modulated radiation. It is shown that the value of the optical threshold voltage, in contrast to the deformation threshold voltage, depends on the wavelength of the modulated radiation. As a result, the value of the total response time of such a device depends on the spectrum of the modulated radiation source. Therefore, for monochrome liquid crystal modulators, in order to achieve the minimum values of the total response times, when choosing the values of control voltages, it is necessary to take into account the spectral composition of the modulated radiation.

Keywords: liquid crystals, modulators, computer simulation.

DOI: 10.51368/1996-0948-2023-3-5-9

REFERENCES

1. He Ziqian, Gou Fangwang, Chen Ran, Yin Kun, Zhan Tao and Wu Shin-Tson, *Crystals* **9** (6), 292–300 (2019).
2. Wang C. T., Yang C. S. and Guo Q., *Crystals* **9** (12), 670 (2019).
3. Kompanets I. N. and Andreev A. L., *Quantum Electronics* **47** (4), 294–302 (2017).
4. Studentsov S. A. and Ezhov V. A. Multi-standard liquid crystal glasses. Patent for invention № 2488150 (RF). 2011.
5. Lipton L. and Tilton M. Fast switching 270° twist nematic liquid crystal device and eyewear incorporating the device. Patent for invention № 5327269 (RF). 1994.
6. Simonenko G. V., *Computer simulation of characteristics of high-speed classical modulators based on liquid crystals*, Saratov, Saratov University, 2018 [in Russian].
7. Sukharier A. S., *Liquid crystal indicators*, Moscow, Radio i svyaz, 1991 [in Russian].
8. Yakovlev D. A., Chigrinov V. G. and Kwok Hoi-Sing, *Modeling and Optimization of LCD Optical Performance*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2015.
9. Chigrinov V. G., Simonenko G. V., Yakovlev D. A. and Podjachev Yu. B., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **351**, 17–25 (2001).
10. Kurchatkin S. P., *Surface phenomena and structure of thermotropic liquid crystals in capillary volumes*. Doctor thesis of Chemical Science. Saratov, Saratov State University, 2001 [in Russian].
11. Yang Deng-Ke and Wu Shin-Tson, *Fundamentals of liquid crystal devices*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2006.
12. Simonenko G. V., *Liquid Crystals and their Application* **22** (1), 47–55 (2022) [in Russian].
13. Simonenko G. V., *Optical journal* **62** (3), 53–56 (1995) [in Russian].