УДК 532.738

## УЛУЧШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВКЛЮЧЕНИЯ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФАЗОВОГО МОДУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УПРАВЛЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

## В.К. АБРАМЯН, Н.Г. АКОПЯН, В.М. АРУТЮНЯН, А.Л. МАРГАРЯН, Д.Л. ОГАНЕСЯН

#### Ереванский государственный университет, Армения

#### (Поступила в редакцию 16 июля 2010 г.)

Теоретически и экспериментально исследован процесс управления временем включения фазового модулятора на основе нематического жидкого кристалла (НЖК) с помощью дополнительного управляющего напряжения. Создана теоретическая модель процесса переориентации молекул НЖК в скрещенных электрических полях (традиционное поперечное поле и дополнительное продольное поле). Рассмотрена динамика переориентации молекулы НЖК в зависимости от соотношения амплитуд управляющих напряжений. Показана возможность сокращения времени включения при управлении фазовым модулятором на основе НЖК с помощью двух управляющих напряжений.

#### 1. Введение

Электрооптические свойства нематических жидких кристаллов (НЖК) хорошо изучены и отражены в многочисленных публикациях и монографиях [1-4]. Сегодня НЖК нашли широкое применение в области отображения информации. Основой такого использования служит явление переориентации директора НЖК под действием поперечного электрического поля электрооптический эффект Фредерикса [1]. Одной из основной характеристик приборов на основе жидких кристаллов (ЖК) является быстродействие, определяемое временами включения и выключения ЖК ячейки. Время включения определяется как время изменения электрооптического отклика от уровня 0.1 до уровня 0.9 его максимального значения, а время выключения – это время изменения электрооптического отклика от максимального значения до уровня 0.1 от максимума. Характерные времена электрооптического включения для НЖК обычно находятся в миллисекундном диапазоне [5]. Существуют определенные способы улучшения времен переключения НЖК ячеек. В основном они заключаются в повышении амплитуды управляющего напряжения или уменьшении толщины слоя ЖК [6]. В последнее время, кроме известных способов, используют физические принципы, связанные с введением

в жидкий кристалл фоточувствительных компонентов, например, красителей [7], что способствует увеличению поглощения сложной композитной системы. Как следствие, в данных структурах наблюдается фоторефрактивный эффект, что приводит к эффективной модуляции излучения, проходящего через жидкий кристалл, сенсибилизированный красителем.

Ранее нами рассмотрено влияние дополнительного продольного поля, приложенного вдоль одной из подложек НЖК ячейки, на модуляционные характеристики ЖК фазового модулятора [8,9]. В частности, показано, что путем изменения амплитуды дополнительного электрического поля можно осуществить плавное управление электрооптически наведенной фазовой задержкой проходящего через НЖК излучения. Там же приведена зависимость фазовой задержки от амплитуды управляющего напряжения.

Целью настоящей работы было изучение возможности управления временем включения НЖК ячейки с помощью дополнительного продольного электрического поля. В работе приводятся результаты теоретического исследования зависимости времени включения НЖК OT амплитуды продольного электрического поля. Рассмотрена динамика переориентации молекулы НЖК в зависимости от соотношения амплитуд поперечного и продольного полей. Путем теоретического исследования и численных расчетов получена зависимость времени включения НЖК ячейки от амплитуды продольного электрического поля при фиксированной амплитуде поперечного поля. Приводятся результаты эксперимента по управлению временем включения ЖК фазового модулятора с помощью дополнительного управляющего напряжения.

# **2.** Моделирование процесса переориентации директора нематического жидкого кристалла в скрещенных электрических полях

В данном разделе приводятся результаты численного эксперимента по исследованию возможности управления временем включения фазового модулятора на основе НЖК ячейки с помощью дополнительного продольного электрического поля. Теоретически данная проблема сводится к рассмотрению процесса переориентации молекул НЖК в скрещенных электрических полях (традиционное поперечное поле и дополнительное продольное поле). Рассмотрим динамику переориентации директора НЖК в скрещенных электрических полях. Ориентация НЖК ячейки – планарная, длинные оси молекул направлены вдоль оси у (рис.1).

Поперечное электрическое поле приложено вдоль оси *z*, а продольное электрическое поле – вдоль оси *y* (вдоль проводящей подложки НЖК ячейки). В качестве подложек рассматривается стекло с прозрачным проводящим покрытием. Рассмотрим случай, когда имеется жесткая связь молекул НЖК с поверхностями подложек ячейки и отсутствуют потоки жидкости, приводящие к переориентации директора.

Геометрия взаимодействия в декартовой системе координат  $\mathbf{r} = (x, y, z)$  показана на рис.1. Введем следующие обозначения:  $\mathbf{E} = \mathbf{E}(t, r)$  – вещественный вектор электрического поля в кристалле,  $\mathbf{n} = \mathbf{n}(t, r)$  – единичный вектор (директор),  $\theta$  и  $\phi$  – соответственно, полярный и азимутальный углы, связанные с **n** соотношением

$$\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z) = (\sin(\theta)\cos(\phi), \sin(\theta)\sin(\phi), \cos\theta).$$
(1)



Рис.1. Геометрия взаимодействия директора НЖК с взаимно перпендикулярно направленными электрическими полями.

Для дальнейшего изложения введем дополнительные единичные векторы **m** и **p**, ортогональные к **n**:

$$\mathbf{m} = (mx, my, mz) = \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial \theta} = (\cos(\theta)\cos(\phi), \cos(\theta)\sin(\phi), -\sin\theta), \quad (2)$$

$$\mathbf{p} = (px, py, pz) = \frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial \phi} = (-\sin\phi, \cos\phi, 0), \tag{3}$$

$$(\mathbf{nm}) = 0, \quad (\mathbf{np}) = 0, \quad (\mathbf{mp}) = 0.$$
 (4)

Плотность свободной энергии F для НЖК можно представить в виде

$$F = \frac{1}{2} \left[ K_1 \left( \operatorname{div}(\mathbf{n}) \right)^2 + K_2 \left( \operatorname{nrot}(\mathbf{n}) \right)^2 + K_3 \left( \mathbf{n} \times \operatorname{rot}(\mathbf{n}) \right)^2 \right] - \frac{\varepsilon_a}{8\pi} \left( \mathbf{n} \mathbf{E} \right)^2.$$
(5)

В функционале (5)  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  – упругие константы Франка,  $\varepsilon_a = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$ ,  $\varepsilon_{\parallel}$ и  $\varepsilon_{\perp}$  – параметры тензора диэлектрической проницаемости, которые определяются следующим образом:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{\perp} \delta_{ij} + \varepsilon_a n_i n_j, \quad i, j = x, y, z,$$
(6)

где  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера.

Предполагается, что в рассматриваемой области изменения частот электрического поля E значения материальных параметров  $K_i$ ,  $\varepsilon_{II}$  и  $\varepsilon_{\perp}$ 

являются постоянными. Для одномерного случая, когда все искомые величины зависят только от одной координаты z и от времени t, выражение (5) принимает следующий вид:

$$F = \frac{1}{2} \left[ f\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2 + g\left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 - \frac{\varepsilon_a}{4\pi} (\mathbf{n}\mathbf{E})^2 \right],$$
  
$$f = f(\theta) = K_1 \sin^2(\theta) + K_3 \cos^2(\theta), \quad g = g(\theta) = \sin^2(\theta) \left(K_2 \sin^2(\theta) + K_3 \cos^2(\theta)\right).$$
(7)

Вариация функционала (7) с учетом релаксационных членов дает систему двух нелинейных уравнений для θ и φ вида

$$\gamma_{b} \frac{\partial \theta}{\partial t} = f \frac{\partial^{2} \theta}{\partial z^{2}} + \frac{1}{2} \left[ f_{\theta} \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^{2} + g_{\theta} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^{2} \right] + \frac{\varepsilon_{a}}{4\pi} (\mathbf{n} \mathbf{E}) (\mathbf{m} \mathbf{E}),$$

$$\gamma_{r} \sin^{2}(\theta) \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( g \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + \frac{\varepsilon_{a}}{4\pi} \sin(\theta) (\mathbf{n} \mathbf{E}) (\mathbf{m} \mathbf{E}),$$
(8)

где  $f_{\theta} = \partial f / \partial \theta$ ,  $g_{\theta} = \partial g / \partial \theta$ ,  $\gamma_b$  – коэффициент объемной вязкости НЖК,  $\gamma_r$  – коэффициент вращательной вязкости НЖК. При выводе (8) не учитывались флексоэлектрические добавки и пренебрегалось возможностью возникновения гидродинамических потоков. Уравнения (8) необходимо дополнить граничными условиями в точках z = 0, L (L – толщина кристалла). Согласно [4], эти условия выбирались в виде

$$\begin{bmatrix} K \frac{\partial \theta}{\partial z} \pm a_{\theta} \theta \end{bmatrix}_{z=0,L} = b_{\theta},$$

$$\begin{bmatrix} K \frac{\partial \theta}{\partial z} \pm a_{\varphi} \phi \end{bmatrix}_{z=0,L} = b_{\varphi},$$
(9)

где знаки  $\pm$  относятся, соответственно, к z=0 и z=L, K – усредненная константа Франка. Параметры  $a_{\theta}$ ,  $a_{\phi}$ ,  $b_{\theta}$ ,  $b_{\phi}$  в общем случае зависят от плотности поверхностной энергии связи директора с ограничивающими плоскостями, флексоэлектрических коэффициентов и электрических полей.

Для получения замкнутой системы к уравнениям (8) необходимо добавить уравнения Максвелла, определяющие связь электрических полей с ориентацией *n*. Пренебрегая проводимостью среды, для радиочастотного диапазона внутри образца запишем

$$\operatorname{div}(\tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}\mathbf{E}) = 0, \quad \operatorname{rot}\mathbf{E} = 0. \tag{10}$$

Здесь  $\tilde{\epsilon}$  – тензор диэлектрической проницаемости (6). В одномерном случае уравнения (10) с учетом (6) принимают вид

$$\frac{\partial}{\partial z} \Big[ \varepsilon_{\perp} E_{z} + \varepsilon_{a} n_{z} \left( \mathbf{n} \mathbf{E} \right) \Big] = 0, \quad \frac{\partial E_{x}}{\partial z} = \frac{\partial E_{y}}{\partial z} = 0.$$
(11)

Электрические поля внутри кристалла определяются однозначно через значения задаваемых полей путем интегрирования уравнений (11). При добавлении соответствующих начальных условий на углы ориентации  $\theta(0,z) = \theta_0(z)$ ,  $\phi(0,z) = \phi_0(z)$ , система уравнений (8) с граничными условиями (9) и решением, следующим из (11), становится замкнутой для описания взаимодействия НЖК с произвольно направленным переменным электрическим полем в одномерном случае.

Для случая, когда переменное электрическое поле лежит в плоскости у*z*,  $\mathbf{E}(t) = (0, E_y(t), E_z(t))$ , имеем

$$(\mathbf{nE}(t)) = (0, n_y E_y(t), n_z E_z(t)) = E_y(t) \sin(\theta) \sin(\phi) + E_z(t) \cos \theta,$$
  

$$(\mathbf{mE}(t)) = (0, m_y E_y(t), m_z E_z(t)) = E_y(t) \cos(\theta) \sin(\phi) - E_z(t) \sin \theta,$$
  

$$(\mathbf{pE}(t)) = E_y(t) \cos \phi,$$
  

$$(\mathbf{nE}(t))(\mathbf{mE}(t)) = \frac{1}{2} \sin(2\theta) \Big[ E_y^2(t) \sin^2 \phi - E_z^2(t) \Big] + E_y(t) E_z(t) \cos(2\theta) \sin \phi,$$
  

$$(\mathbf{nE}(t))(\mathbf{pE}(t)) = \frac{1}{2} E_y^2(t) \sin(\theta) \sin(2\phi) + E_z(t) E_y(t) \cos(\theta) \cos \phi.$$
  

$$(\mathbf{nE}(t))(\mathbf{pE}(t)) = \frac{1}{2} E_y^2(t) \sin(\theta) \sin(2\phi) + E_z(t) E_y(t) \cos(\theta) \cos \phi.$$

В рассматриваемой модели к НЖК ячейке одновременно прикладываются поперечное  $E_z(t)$  и продольное  $E_y(t)$  электрические поля. С учетом (12) система (8), состоящая из двух нелинейных уравнений, записанных для  $\theta$  и  $\phi$ , принимает следующий вид:

$$\gamma_{b} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \left[ K_{1} \sin^{2}(\theta) + K_{3} \cos^{2}(\theta) \right] \frac{\partial^{2} \theta}{\partial z^{2}} + \frac{1}{2} (K_{1} - K_{3}) \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^{2} + \left[ K_{2} \sin^{2}(\theta) \sin(2\theta) + \frac{1}{4} K_{3} \sin(4\theta) \right] \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^{2} + \frac{\varepsilon_{a}}{8\pi} E_{y}^{2}(t) \sin^{2}(\varphi) \sin(2\theta) + \frac{\varepsilon_{a}}{4\pi} E_{y}(t) E_{z}(t) \sin(\varphi) \cos(2\theta) - \frac{\varepsilon_{a}}{8\pi} E_{z}^{2}(t) \sin(2\theta),$$

$$\gamma_{r} \sin^{2}(2\theta) \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \left[ 2K_{2} \sin^{2}(\theta) \sin(2\theta) + \frac{1}{2} K_{3} \sin(4\theta) \right] \frac{\partial \theta}{\partial z} \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \left[ K_{2} \sin^{4}(\theta) + \frac{1}{4} K_{3} \sin^{2}(2\theta) \right] \frac{\partial^{2} \varphi}{\partial z^{2}} + \frac{\varepsilon_{a}}{4\pi} \sin(\theta) \left[ \frac{1}{2} E_{y}^{2}(t) \sin(\theta) \sin(2\phi) + E_{z}(t) E_{y}(t) \cos(\theta) \cos(\phi) \right].$$
(13)

Система уравнений (11) в рассматриваемом случае принимает следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[ E_z(t) \left( \varepsilon_{\perp} + \varepsilon_a \cos^2(\theta) \right) + \frac{1}{2} \varepsilon_a E_y(t) \sin(2\theta) \sin(\phi) \right] = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial E_y(t)} = 0.$$
(14)

Для обеспечения корректности численного решения системы уравнений (13) методом конечных разностей начальные условия на границах выбраны с учетом незначительного отклонения длинной оси молекулы от направления оси у:

$$\theta(0,z) = \theta_0(z) = \pi/2, \quad \phi(0,z) = \phi_0(z) = \pi/2 - \pi/100.$$
(15)

Рассматривается случай, когда компоненты переменного электрического поля  $E_z(t)$  и  $E_y(t)$  представляют периодическую последовательность прямоугольных импульсов с частотой следования 1 кГц и с разными значениями амплитуды.

Решить системы уравнений (13), (14) аналитически не представляется возможным. В данной работе приводятся результаты численного решения данных уравнений при начальных условиях (15), полученные методом конечных разностей. Численный эксперимент проведен для ячейки, заполненной НЖК типа 6СНВТ с толщиной L = 5.1 мкм и со следующими значениями параметров:  $\varepsilon_{11} = 12.0$ ,  $\varepsilon_{\perp} = 4.0$ ,  $K_{11} = 8.57$  пH,  $K_{22} = 3.70$  пH,  $K_{33} = 9.51$  пH,  $\gamma_b = 13.3$  мПа· см,  $\gamma_r = 83.0$  мПа· см,  $V_{th} = 1.63$  B.

Интенсивность света, прошедшего через НЖК ячейку, помещенную между скрещенными поляризатором и анализатором, когда угол между осью поляризатора и начальной ориентацией молекул на границе составляет 45°, определяется в соответствии с [1] следующим образом

$$I = I_0 \sin^2(G/2).$$
(16)

Здесь  $I_0$  – интенсивность падающего света с учетом пропускания поляроидов, G – разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волной, обусловленная величиной двулучепреломления, которая для монохроматического света с длиной волны  $\lambda$  имеет вид

$$G = \frac{2\pi}{\lambda} \int_{-L/2}^{L/2} \left[ n_{eff} \left( \theta(z') \right) - n_{\perp} \right] dz, \qquad (17)$$

где  $n_{eff}$  – эффективное значение коэффициента преломления НЖК, которое выражается через угол  $\theta(z)$  следующим образом:

$$n_{eff} = \frac{n_{\perp}n}{\sqrt{n_{\perp}^2 \cos^2\theta(z) + n^2 \sin^2\theta(z)}}.$$
(18)

На рис.2 приведена временная зависимость интенсивности прошедшего света (16) при амплитудах скрещенных полей  $V_y = 12.5$  B,  $V_z = 1.25$  B; и  $V_y = 15.5$  B,  $V_z = 1.25$  B, соответственно. На вставке (а) показан временной профиль напряжений  $V_y$  и  $V_z$ , а на вставке (б) показан передний фронт временного профиля интенсивности света, прошедшего через систему «поляризатор–НЖК ячейка–анализатор» при фиксированном значении амплитуды  $V_z = 1.25$  B и при двух разных значениях амплитуды  $V_y$ , равных 12.5 B и 15.5 B. При этом, как видно из рисунка, при увеличении амплитуды  $V_y$  от 12.5 В до 15.5 В время включения (время изменения электрооптического отклика НЖК ячейки от уровня 0.1 до уровня 0.9 его максимального значения) уменьшается от 1.612 мс до 0.849 мс.



Рис.2. Временная зависимость интенсивности света, прошедшего через ячейку, при переориентации директора НЖК в скрещенных электрических полях.

На рис.3 показана зависимость времени включения НЖК ячейки от амплитуды  $V_y$  при фиксированном значении  $V_z = 1.25$  В, полученная в результате численного интегрирования уравнений (13) и (14).



Рис.3. Зависимость времени включения НЖК ячейки от амплитуды  $V_v$  при фиксированном значении  $V_z = 1.25$  В.

Из рисунка видно, что путем увеличения амплитуды переменного продольного электрического поля можно уменьшить время включения НЖК. В частности, при фиксированном  $V_z = 1.25$  В и изменении  $V_y$  от 12.5 В до 15.5 В

время включения уменьшается примерно в 1.9 раз. Аналогичные вопросы рассмотрены в работе [10], где показано, что присутствие продольного электрического поля равносильно уменьшению толщины слоя ЖК, чем и обусловлено сокращение времени включения при увеличении напряжения продольного электрического поля.

Из зависимости, приведенной на рис.3, можно определить, что при  $V_z = 1.25$  В и  $V_y = 15.5$  В время включения равно 849 мкс. Согласно нижеприведенным результатам экспериментального исследования жидкокристаллического модулятора света, при тех же значениях управляющих напряжений и той же толщине НЖК типа 6СНВТ время включения составляет 700 мкс. Расхождение между экспериментом и теорией составляет ~ 17.5%. Таким образом, результаты численного моделирования находятся в хорошем согласии с результатами эксперимента.

## 3. Экспериментальное исследование процесса управления временем включения фазового модулятора на основе нематического жидкого кристалла с помощью двух управляющих напряжений

Для проведения эксперимента была изготовлена планарно-ориентированная ячейка, заполненная НЖК марки 6СНВТ (Польша) толщиной 5.1 мкм. В качестве подложек использованы оптические стекла марки ВК7, покрытые прозрачным проводящим покрытием с удельным сопротивлением 4.5 Ом·см. Ориентирование молекул ЖК на подложках осуществлено с помощью фотоориентируемого полимера марки ROLIC ROP-103/2CP (ROLIC, Швейцария).



Рис.4. Оптическая схема экспериментальной установки.

Эксперимент проводился на установке, схема которой приведена на рис.4. Излучение Не-Ne лазера мощностью 1 мВт на длине волны 0.63 мкм направлялось на образец, установленный между скрещенными поляризаторами перпендикулярно направлению распространения лазерного пучка таким образом, чтобы направление директора ЖК составляло бы 45° с направлением поляризации падающего луча. На выходе системы «поляризатор–НЖК ячейка– анализатор» пучок регистрировался фотодетектором. В качестве фотодетектора использовался фотоприемник марки Newport 818-SL. Электрический сигнал с выхода фотоприемника подавался через карту NI DAQ 6025 на компьютер. Регистрировалось значение интенсивности света, прошедшего через ЖК фазовый модулятор.



Рис.5. Временные зависимости интенсивности света, прошедшего через НЖК ячейку при управлении с помощью одного (а) и двух (б) полей.

Управление ЖК фазовым модулятором производилось с помощью разработанного нами аппаратного и программного обеспечения, позволяющего генерировать двуполярные электрические импульсы с частотой следования 1 кГц. Сформированные с помощью программы импульсы через карту NI DAQ 6025 подавались на усилитель и затем на ЖК фазовый модулятор. С выхода усилителя через первый канал подавалось поперечное электрическое поле – сигнал TNE (Transient Nematic Effect) формы, а через второй – управляющее продольное поле.

На рис.5а приведена временная зависимость интенсивности прошедшего света при управлении с помощью традиционного поперечного поля – управляющий сигнал TNE формы:  $V_z = V_{\perp} = 1.25$  В ( $0 < t \le 16$  мс),  $V_z = V_{\perp} = 2$  В ( $16 < t \le 72$  мс),  $V_z = V_{\perp} = 0$  В ( $72 < t \le 92$  мс),  $V_z = V_{\perp} = 1.25$  В (92 < t). Там же показан временной профиль управляющего напряжения. Согласно рисунку, время включения в отсутствие дополнительного управляющего напряжения составляет 15.17 мс, а время выключения – 11.16 мс.

Временная зависимость интенсивности прошедшего света при управлении с помощью двух управляющих напряжений показана на рис.5б. Значения амплитуд управляющих напряжений составляют:  $V_z = V_{\perp} = 1.25$  В ( $0 < t \le 16$  мс),  $V_z = V_{\perp} = 2$  В ( $16 < t \le 72$  мс),  $V_z = V_{\perp} = 0$  В ( $72 < t \le 92$  мс),  $V_z = V_{\perp} = 1.25$  В (92 < t) и  $V_y = V = 15.5$  В ( $16 < t \le 17$  мс), соответственно. Там же приведены временные профили управляющих напряжений. Как видно из рисунка, время включения при работе в данном режиме составляет 700 мкс, а время выключения – 11.06 мс.

Таким образом, при управлении с помощью двух напряжений время включения ЖК фазового модулятора уменьшается примерно в 20 раз, а полное время переключения – в 2.5 раза.

### 4. Выводы

В результате теоретического исследования и эксперимента показана возможность значительного сокращения времени включения при управлении фазовым модулятором на основе нематического жидкого кристалла с помощью дополнительного электрического поля.

С использованием теоретической модели процесса переориентации молекул НЖК в скрещенных электрических полях (традиционное поперечное поле и дополнительное продольное поле) получена зависимость времени включения ЖК фазового модулятора от амплитуды продольного электрического поля при фиксированной амплитуде поперечного поля. Показано, что динамика переориентации молекулы НЖК зависит от соотношения амплитуд поперечного и продольного полей. Экспериментальное исследование показало, что применение дополнительного управляющего напряжения позволяет сократить время включения ЖК фазового модулятора примерно в 20 раз. Расчетная зависимость времени включения от амплитуды

дополнительного управляющего напряжения находится в хорошем согласии с результатами эксперимента.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Л.М.Блинов. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., Наука, 1978.
- 2. Iam-Choon Khoo. Liquid crystals. New York, Wiley, 1995.
- 3. В.В.Беляев. Вязкость нематических жидких кристаллов. М., Физматлит, 2002.
- 4. С.А.Пикин. Структурные превращения в жидких кристаллах. М., Наука, 1981.
- 5. Г.А.Береснев, В.А.Цветков. Микроэлектроника, 11, 181 (1982).
- 6. N.V.Kamanina, N.A.Vasilenko. Opt. Quantum Electron., 29, 1 (1997).
- 7. A.Miniewic, J.Parka, S.Bartkiewic, A.Januszko. Pure Appl. Opt., 7, 179 (1998).
- V.K.Abrahamyan, N.H.Hakobyan, V.M.Aroutiounian, N.V.Kamanina, H.L.Margaryan, D.L.Hovhannisyan, D.K.Pokhsraryan. J. Contemp. Phys. (Armenian Ac. Sci.), 44, 283 (2009).
- 9. H.L.Margaryan, V.M.Aroutiounian, N.H.Hakobyan, D.L.Hovhannisyan, V.K.Abrahamyan. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 525, 78 (2010).
- 10. Р.С.Акопян, Б.Я.Зельдович. ЖЭТФ, 83, 2137 (1982).

## ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՓՈՒԼԱՅԻՆ ՄՈԴՈՒԼՅԱՏՈՐԻ ՄԻԱՅՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ԲԱՐԵԼԱՎՈՒՄԸ ԼՐԱՑՈՒՑԻՉ ԿԱՌԱՎԱՐՈՂ ԼԱՐՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

### Վ.Կ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Ն.Հ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Վ.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Հ.Լ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Դ.Լ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Կատարված է նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի (ՆՀԲ) հիման վրա պատրաստված փուլային մոդուլյատորի միացման ժամանակի լրացուցիչ լարման օգնությամբ կառավարման պրոցեսի տեսական և փորձնական հետազուտությունը։ Մտեղծված է ՆՀԲ-ի մոլեկուլների խաչված էլեկտրական դաշտերում (ավանդական լայնական և լրացուցիչ երկայնական) վերակողմնորոշման պրոցեսի տեսական մոդելը։ Դիտարկված է ՆՀԲ-ի մոլեկուլի վերակողմնորոշման դինամիկան՝ կախված կառավարող լարումների ամպլիտուդների հարաբերությունից։ Ցույց է տրված միացման ժամանակի կրձատման հնարավորությունը, երբ ՆՀԲ-ի հիման վրա պատրաստված փուլային մոդուլյատորի կառավարումը կատարվում է երկու լարումների միջոցով։

# IMPROVEMENT OF TURN-ON TIME OF A LIQUID-CRYSTAL PHASE RETARDER BY USING AN ADDITIONAL CONTROL VOLTAGE

## V.K. ABRAHAMYAN, N.H. HAKOBYAN, V.M. AROUTIOUNIAN, H.L. MARGARYAN, D.L. HOVHANNISYAN

The process of turn-on time control of a phase retarder based on nematic liquid crystal (NLC) by using an additional control voltage has been investigated theoretically and experimentally. A theoretical model of reorientation process of NLC molecules in the crossed electric fields (a traditional transverse field and an additional longitudinal field) is proposed. Dynamics of reorientation of NLC molecule is depending on the ratio of amplitudes of control voltages is considered. The opportunity of reduction of turn-on time of the NLC-based phase retarder is shown when driving is realized by using two control voltages.