

4. Y.Kohmura, M.Awaji, Y.Suzuki e a // Annual report SPing-8., 1997, P.239
5. V.V.Aristov, V.V.Starkov, L.G.Shabelnikov e.a.// Opt. Commun., 1999, V.161., P.203.
6. B.Cederstrom, R.N.Cahn, M.Danielsson e.a. // SPIE., 1999, V.404., P.951
7. Yu.I.Dudchik, N.N.Kolchvsky // Nucl. Instrum. and Methods., 1999, A421, P. 361
8. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. – М.: Гостехиздат, 1957. – 340 с

## ПОСТРОЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТРОННОЙ СТРУКТУРЫ С ОТКРЫТЫМ ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ

**И.Ю. Развин**

**Научный руководитель – В.Э. Малаховская**  
**Белорусский национальный технический университет**

В настоящее время в информационно-измерительных системах широко используются оптронные структуры с открытым (управляемым) оптическим каналом [1]. В данной работе приведены результаты построения и анализа физической модели оптронной структуры диодного типа с управляемым оптическим каналом (УОК), в которой в качестве модулирующих элементов применяются электрооптические жидкокристаллические (ЖК) слои. В структурах диодного типа в качестве излучающих и фоточувствительных элементов используются соответственно светодиоды и фотодиоды.

1. В рамках выбранной нами физической модели (геометрическое приближение) проведем качественную оценку светопередачи в такой оптронной структуре. Принцип действия оптрона основан на двойном преобразовании сигнала. Входной электрический сигнал, характеризующийся параметрами  $U_{вх}$  и  $I_{вх}$ , преобразуется источником излучения (ИИ) в световой поток  $\Phi_1$ . Световой поток  $\Phi_1$  передается по оптическому каналу (ОК) к фотоприемнику (ФП), который осуществляет обратное преобразование светового сигнала в электрический ( $U_{вых}$ ,  $I_{вых}$ ).

Определяющим параметром диодного оптрона, характеризующим его передаточные свойства, является коэффициент передачи тока [1]:

$$K = \frac{J_{вых}}{J_{вх}} \quad (1)$$

Световой поток  $\Phi$  испускаемый светодиодом, определяется следующей формулой:

$$\Phi_1 = \eta_{ос} \frac{J_{вх}}{q} h\nu \quad (2)$$

где  $\eta_{ос}$  – внешний квантовый выход светодиода,  $q$  – заряд электрона.

Для выбранной модели с учетом геометрических параметров (размеры рабочих поверхностей светодиода ( $d_{сд}$ ), фотодиода ( $d_{фд}$ ) и расстояние между ними ( $l$ ) и коэффициента преломления оптической среды  $n_{ос}$  коэффициент светопропускания оптического канала определяется следующим выражением:

$$\theta_{ок} = \theta_r + \theta_{ос} \quad (3)$$

где

$$\theta_{ос} = f(n_{ос}) \text{ и } \theta_r \approx f(d_{сд}, d_{фд}, l)$$

Следовательно, на ФП попадает световой поток  $\Phi_1 = \Phi_1 \theta_{ок}$ , и на выходе оптрона формируется выходной сигнал  $J_{вых}$ :

$$J_{вых} = q \eta_{фд} \frac{\Phi_1}{h\nu} \quad (4)$$

где  $\eta_{фд}$  – квантовый выход фотоприёмника.

Тогда коэффициент передачи:

$$K = \eta_{ос} \eta_{фд} \theta_{ок} \quad (5)$$

Проанализируем полученное выражение (5). Во-первых, можно считать, что каждый фотон, достигнувший фотоприёмника, генерирует носитель фототока (это хорошо выполняется для ряда фотодиодов). Тогда полагаем  $\eta_{фд} = 1$ . Во-вторых, коэффициент светопередачи оптического канала  $\theta_{ок}$  имеет две составляющие. В общем случае  $\theta_{ок} < 1$ . Но при малых значениях  $l/d_{фд}$  и  $n_{ос} > 3$

(эти условия соответствуют эксперименту) значение  $\theta_e \rightarrow 1$ . Коэффициент  $\theta_{oc}$  определяет выигрыш в светопередаче ОК со средой с  $n_{oc}$  по сравнению со случаем воздушного промежутка между СД и ФП. В диапазоне значений  $n_{oc}$ :  $1 < n_{oc} < 2$ , величина  $\theta_{oc} \rightarrow n_{oc}^2$ . Учитывая сделанные приближения, соотношение (5) можно записать в виде

$$K_{свч} \approx \eta_{oc} n_{oc}^2 (1 + 1/n_{oc}^2) \quad (6)$$

2. Управление параметрами оптического канала в нашем случае осуществляется составным ЖК-модулятором, в котором имеется два ЖК-слоя, расположенных последовательно по ходу светового луча. Данные ЖК-слои работают в противофазном режиме. При подаче на электроды модулятора управляющего напряжения происходит изменение угла ориентации ЖК-молекул  $\varphi$  (направление директора ЖК), т.е.  $\varphi = f(U)$ , возникает переориентация ЖК-слоя в электрическом поле. С этим процессом связано изменение оптических характеристик ЖК-слоя: коэффициента преломления  $n$  и оптической анизотропии  $\Delta n = n_o - n_e$  [2]. Расчет зависимостей  $n$  и  $\Delta n$  от величины управляющего напряжения  $U$  дает следующие решения:

$$n(U) = n_o n_e \{ [n_o \sin^2 \varphi(U)]^2 + [n_e \cos^2 \varphi(U)]^2 \}^{1/2} \quad (7)$$

$$\Delta n(U) = n_o \{ [\sin^2 \varphi(U) + (n_o^2/n_e^2) \cos^2 \varphi(U)]^{1/2} - 1 \} \quad (8)$$

Световой поток при прохождении через ЖК-слой приобретает разность фаз:

$$\delta = (2\pi/\lambda) \int (n_o - n_e) dz = (2\pi/\lambda) \int \Delta n(U) dz \quad (9)$$

Таким образом, световой поток  $\Phi^*$ , прошедший через модулятор, будет равен:

$$\Phi^* = \Phi_0 (\sin^2 2\beta)^2 \sin^2(\delta/2) \sin^2(\delta_2/2) \quad (10)$$

С учетом модуляционных характеристик ЖК-слоев коэффициент передачи исследуемой структуры определяется следующим выражением:

$$K = \eta_{oc} n_{oc}^2 (\sin^2 \beta)^2 (1 + 1/n_{oc}^2) [\cos(\delta_1/2 - \delta_2/2) - \cos(\delta_1/2 + \delta_2/2)]^2 \quad (11)$$

При выборе оптического материала для УОК необходимо учитывать следующие требования. Во-первых, изменение оптических параметров материала должно происходить при малых величинах управляющих сигналов (согласование по электрической изоляции). Во-вторых, необходимо, чтобы коэффициент корреляции спектральных характеристик излучателя, фотоприёмника и УОК был близок к единице, а управляемая оптическая среда сохраняла заданные условия светопередачи в оптронной структуре.

3. В выполненных экспериментах использовались нематические ЖК. Исследования проводились на экспериментальных ЖК-ячейках "сэндвич"-геометрии, изготовление которых осуществлялось по обычной методике [2]. Толщина ЖК-слоев составляла 5-50 мкм. Начальная ориентация этих слоев формировалась методом натирания рабочих поверхностей ячеек. В качестве электродов использовались прозрачные тонкие пленки ИТО. На базе этих ячеек изготовлялся ЖК-модулятор. Для формирования импульсов управления, подаваемых на электроды модулятора, применялись стандартные источники постоянного и переменного напряжения (Б5-47, Г5-54, Г3-18).

Характерной особенностью исследуемой структуры является бистабильный режим и существенное сокращение импульсов переключения. Временные характеристики зависят как от параметров ЖК-материала, так и от взаимной ориентации ЖК-слоев относительно друг друга. Экспериментально установлена зависимость бистабильного режима переключения от частоты импульсов управления.

#### Литература.

1. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. -М: Радио и связь, 1989.-280 с.; Верещагин И.К., Косяченко Л.А., Кокин С.М. Введение в оптоэлектронику. -М: Высшая школа, 1991.-191 с.
2. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. -М: Наука, 1978. -384 с.; Индикаторные устройства на жидких кристаллах. Под ред. Готры 3 Ю. -М: Сов. Радио, 1980.-240 с.