

## Методические указания к практическим занятиям по дисциплине **СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Предлагаемые при изучении дисциплины практические занятия направлены на решение задач, связанных с описанием принципов работы оптических элементов и устройств, используемых для обработки, передачи и отображения информации; волоконно-оптических световодов, плоских оптических волноводов, оптических модуляторов света и дефлекторов различных типов.

Принципы работы указанных элементов и устройств основаны на использовании разнообразных физических эффектов таких, как волноводное распространение света в волоконно-оптических световодах и плоских волноводах, модуляция света с помощью электрооптического и акустооптического эффектов в оптических модуляторах, пространственном отклонении световых пучков в оптических дефлекторах, поэтому при решении практических задач студенты должны изучить физические основы функционирования этих устройств и определить их параметры в соответствии с условиями предлагаемой практической работы.

Студенты выполняют практическую работу, состоящую из 4-х задач. Задача 1 не предполагает различных вариантов. Остальные задачи решаются по одному из приведенных вариантов, определяемых двумя последними цифрами номера зачетной книжки. В ходе решения задач необходимо изучить соответствующие разделы дисциплины по рекомендованной учебной литературе и ознакомиться с изложенными ниже методическими указаниями к решению задач.

При оформлении материалов расчета следует кратко изложить условие задачи, привести необходимые расчетные формулы, произвести подстановку в них числовых значений величин и указать результаты вычислений. При решении необходимо следить за размерностями и единицами измерений. Решение должно быть изложено подробно и аккуратно, все величины должны быть приведены с размерностью.

Выполненная практическая работа сдается преподавателю на проверку до начала сессии. Студент допускается к экзамену только при условии удовлетворительного выполнения практической работы.

### **Задача 1. Изучить работу электрооптического модулятора на основе линейного электрооптического эффекта Поккельса.**

Дать описание работы ЭОМ в случае скрещенных поляризатора и анализатора соответственно на входе и выходе модулятора. Изобразить состояние поляризации световой волны на выходе из электрооптического кристалла при следующих управляющих напряжениях;  $U = 0$ ,  $U = 0.5 \cdot U_{\lambda/2}$ ,  $U = U_{\lambda/2}$ ,  $U = 1.5 \cdot U_{\lambda/2}$ , где  $U_{\lambda/2}$  – полуволновое напряжение.

Для вышеуказанных случаев определить долю интенсивности света на выходе модулятора  $I_{out}$  от интенсивности света на входе модулятора  $I_{in}$ .

Как изменится интенсивность  $I_{out}$ , если повернуть поляризатор, установ-

ленный перед электрооптическим кристаллом на угол  $45^0$  ( $\pi/4$ ).

### Методические указания к решению задачи 1

Перед решением задачи необходимо изучить основы линейного электрооптического эффекта в кристаллах по рекомендованной литературе.

Схема электрооптического модулятора на эффекте Поккельса изображена на рис. 1, где введены обозначения; П- поляризатор, ПЭ - прозрачные электроды, к которым прикладывается управляющее напряжение  $U$ , ЭОК - электро-оптический кристалл,  $L$  -длина ЭОК, А - анализатор.

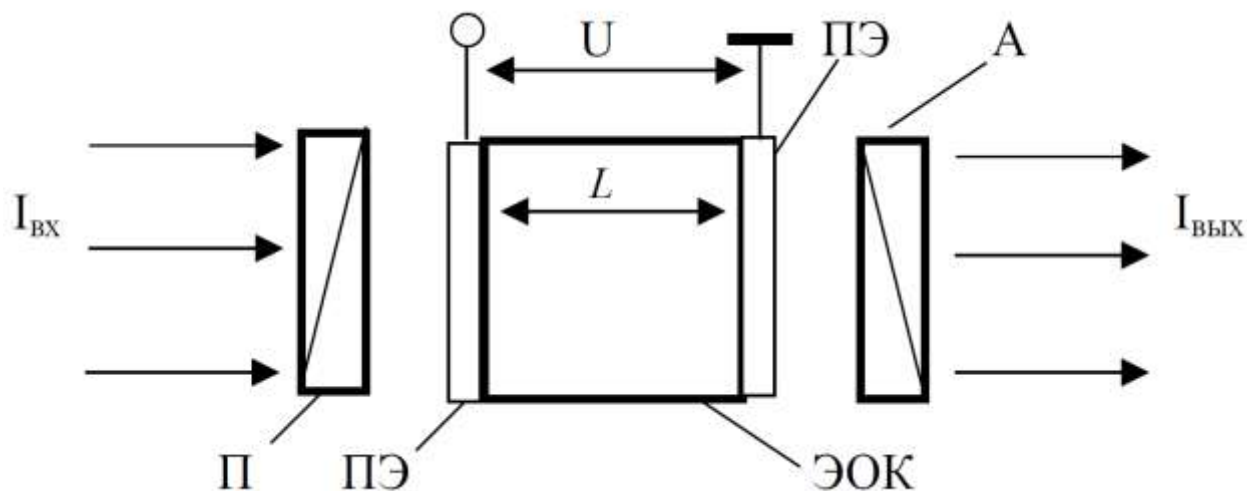


Рис. 1. Схема электрооптического модулятора

В электрооптическом модуляторе входной поляризатор П установлен таким образом, чтобы падающий на ЭОК свет после прохождения поляризатора П был поляризован по биссектрисе угла, образованного плоскостями поляризации обыкновенного и необыкновенного лучей. При такой конструкции модулятора световая волна расщепляется в кристалле на две компоненты (обыкновенный и необыкновенный лучи), поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющие равные амплитуды вектора напряженности поля электромагнитной волны.

Если световая волна падает на кристалл перпендикулярно его поверхности, т.е. осуществляется "нормальное" падение света, то эти две компоненты распространяются в кристалле в одном направлении с различными фазовыми скоростями, которые определяются различными показателями преломления  $n_o$  для обыкновенного и  $n_e$  необыкновенного лучей.

При прохождении через ЭОК длиной  $L$  каждая из компонент на выходе из кристалла имеет соответственно фазу  $\varphi_o = 2\pi n_o L/\lambda$  и  $\varphi_e = 2\pi n_e L/\lambda$ , а сдвиг фаз между компонентами составит

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot \Delta n L/\lambda,$$

где  $\Delta n = n_e - n_o$  – изменение показателя преломления,  $\lambda$  – длина волны света.

В кристаллах, обладающих эффектом Поккельса, величина  $\Delta\varphi$  пропорциональна величине управляющего напряжения  $U$ , приложенного в направлении распространения света:

$$\Delta\varphi = \pi \cdot U / U_{\lambda/2},$$

где  $U_{\lambda/2}$  – полуволновое напряжение, равное напряжению  $U$ , при котором сдвиг фаз  $\Delta\varphi = \pi$ .

Сдвиг фаз  $\Delta\varphi$  между двумя световыми компонентами приводит к изменению поляризации света на выходе ЭОК и, следовательно, к изменению интенсивности света, прошедшего через анализатор А, установленный после кристалла (см, рис.1), Величина  $I_{out}$  рассчитывается по формуле

$$I_{out} = I_{in} \sin^2(\Delta\varphi/2).$$

## Задача 2. Изучить работу акустооптического дефлектора.

Рассчитать угол отклонения светового пучка  $\theta_0$  акустооптическим дефлектором (АОД), работающим на длине волны  $\lambda = 0.63$  мкм, а также соответствующую координату фокусировки света  $\xi_0$  в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием  $F = 100$  мм, АОД работает в режиме дифракции Брэгга, при котором световой пучок, падающий на акустооптический кристалл (АОК) дефлектора, отклоняется в первый порядок дифракции при заданной рабочей частоте  $f_0$  управляющего электрического сигнала, поступающего на пьезопреобразователь АОК.

Определить также пределы углового  $\Delta\theta$  и пространственного отклонения  $\Delta\xi$  светового пучка, если полоса частот управляющего сигнала составляет  $\Delta f = f_{up} - f_{low}$ , где  $f_{up}$  и  $f_{low}$  - верхняя и нижняя частоты соответственно.

Акустооптические материалы для кристаллов АОД, значения  $f_0$ ,  $\Delta f$ , а также скорости акустической волны  $V$  в этих материалах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Последняя цифра номера зачетной книжки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Материал АОК	Ниобат лития, LiNbOs	Молибдат свинца, РЬМоО <sub>4</sub>	Парателлурит, ТеО <sub>2</sub>	Стекло ИКС-23	KRS-5	Ниобат лития, LiNbO3	Молибдат свинца, РЬМоО <sub>4</sub>	Парателлурит, ТеО <sub>2</sub>	Стекло ТФ-7	KRS-5
$v \cdot 10^{-5}$ , см/с	6,57	4,2	0,616	2,58	2,08	6,57	4,2	0,616	3,63	2,08
Предпоследняя цифра номера зачетной книжки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
f, МГц	1000	500	100	80	300	1500	300	80	50	200
$\Delta f$ , МГц	800	300	70	50	100	1000	200	60	30	150

### Методические указания к решению задачи 2

Для решения задачи необходимо изучить принцип работы акустооптических дефлекторов по рекомендованной литературе.

Схема АОД изображена на рис. 2, где введены обозначения Л1 и Л2 - соответственно коллимирующая и фокусирующая линзы,  $\varphi_B$  - угол засветки

АОК световым пучком; АОЯ - акустооптическая ячейка, состоящая из АОК и состыкованного с ним пьезопреобразователя П;  $\xi$  - координата, вдоль которой при изменении угла отклонения  $\theta$  перемещается сфокусированное световое пятно.

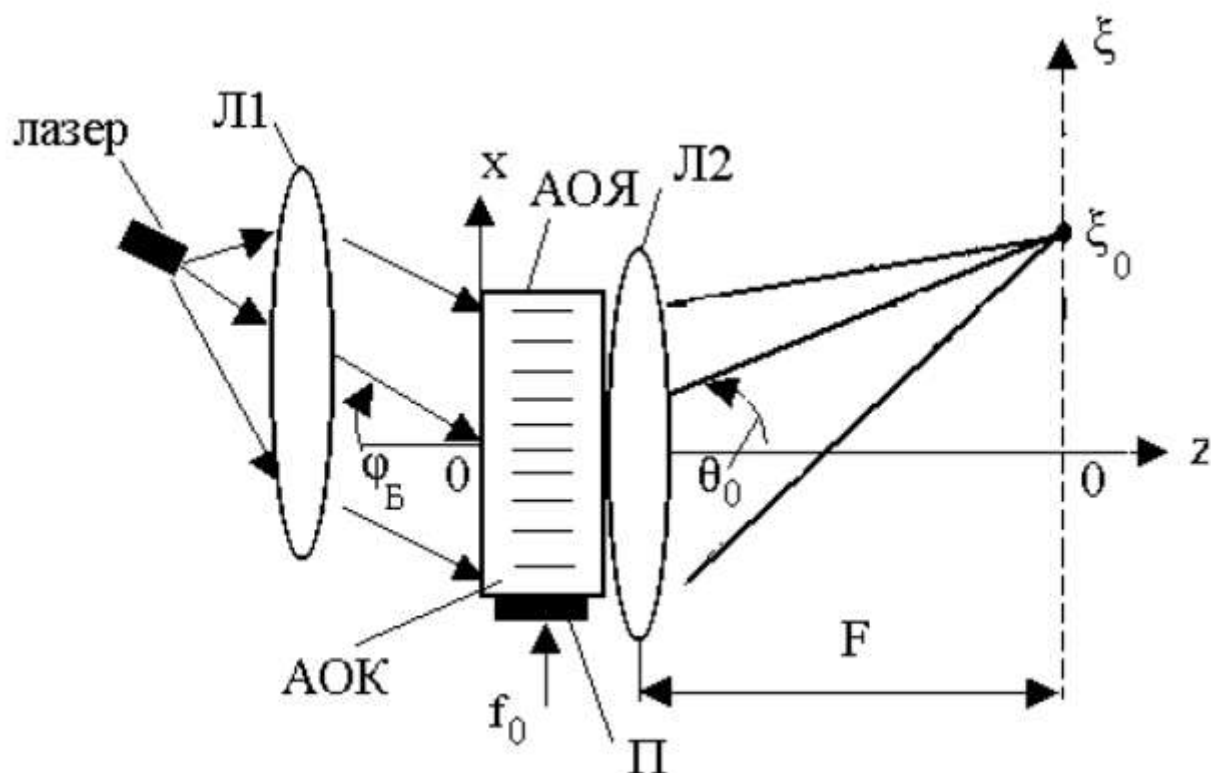


Рис. 2. Акустооптический дефлектор

В АОД основным элементом является АОЯ, состоящая из АОК с нанесенным на его торце пьезопреобразователем, на который поступает управляющий электрический сигнал, возбуждающий в АОК акустическую волну, которая представляет собой фазовую дифракционную решетку, движущуюся в АОК со скоростью  $V$ . Дифракция света на этой решетке приводит к его отклонению в пространстве. В режиме дифракции Брэгга световой пучок отклоняется только в первый порядок дифракции. Угол отклонения  $\theta_0$  определяется из условия Брэгга:

$$2\Lambda \sin \theta_0 = \lambda,$$

где  $\Lambda = V/f_0$  - шаг дифракционной решетки в АОК.

В связи с малостью углов отклонения для определения величины  $\Delta\theta$  следует использовать формулу

$$\Delta\theta = \lambda \cdot \Delta f / V.$$

Фокусирующая линза Л2 (см. рис. 2) с фокусным расстоянием  $F$  осуществляет фокусировку света, отклоненного в АОЯ, в фокальной плоскости. Координата точки фокусировки  $\xi_0$ , отвечающая частоте  $f_0$ , зависит от величины  $F$  и рассчитывается по формуле

$$\xi_0 = \lambda \cdot f_0 F / (2V).$$

При отклонении светового пучка диапазон пространственного сканиро-

вания света в фокальной плоскости линзы Л2 составляет

$$\Delta\xi = \lambda \cdot \Delta f / V.$$

### Задача 3. Рассчитать длительность цветной телепрограммы.

Рассчитать длительность  $\Delta t$  цветной телепрограммы, записанной на лазерном компакт-диске диаметром  $D$ . Количество разрешаемых элементов на телеэкране принять равным  $\delta \times \delta$ , частоту кадров  $f = 24$  кадра/сек., площадь, занимаемую на диске одним битом информации, считать равной  $s$ .

Численные значения указанных параметров для различных вариантов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Последняя цифра номера зачетной книжки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$s, \text{ мкм}^2$	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
$D, \text{ см}$	20	25	15	20	15	20	15	15	10	10
Предпоследняя цифра номера зачетной книжки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\delta$	512	1024	2048	512	1024	1024	512	1024	2048	1024

#### Методические указания к решению задачи 3

С возможностями лазерных дисков, которые используются в качестве постоянной или оперативной оптической памяти с последовательным способом записи, считывания и стирания информации, можно ознакомиться, используя рекомендованную литературу.

Для решения задачи необходимо найти информационную емкость диска  $N$  и информационный поток  $Q$ , необходимый для вещания телевизионной программы, а затем определить длительность программы, составив отношение

$$\Delta t = N/Q.$$

Для расчета емкости диска следует воспользоваться формулой

$$N = S/s,$$

где  $S$  – площадь диска.

При определении  $Q$  необходимо учесть параметры изображения по количеству разрешаемых элементов на экране и по частоте кадров, а также принять во внимание, что для формирования цветной гаммы телевизионной передачи используются три основных цвета: синий, зеленый, красный.

### Задача 4. Рассчитать минимальную критическую толщину плоского оптического волновода.

Рассчитать минимальную критическую толщину плоского оптического волновода (ПОВ)  $h_{\text{кр}}$ , при которой в волноводе распространяется только одна основная волноводная мода (одномодовый режим работы волновода), если заданы; длина волны света  $\lambda$ , показатель преломления волновода  $n_w$  и разли-

ца показателей преломления волновода  $n_w$  и подложки  $n_s$ :  $\Delta n = n_w - n_s$ .

Определить критические углы ввода света в волновод  $\theta_{cr}$ , при которых световые пучки, падающие на торец ПОВ, канализируются внутри волновода.

Параметры для соответствующих расчетов по условию задачи приведены в табл. 3.

Таблица 3

Последняя цифра номера зачетной книжки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$n_w$	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
$\Delta n$	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Предпоследняя цифра номера зачетной книжки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\lambda$ , мкм	0.9	1.0	1.1	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6

#### Методические указания к решению задачи 4

Перед решением задачи необходимо изучить принцип работы ПОВ и методы расчета основных параметров по рекомендованной литературе.

Структура ПОВ и схема распространения света в нем изображены на рис. 3.

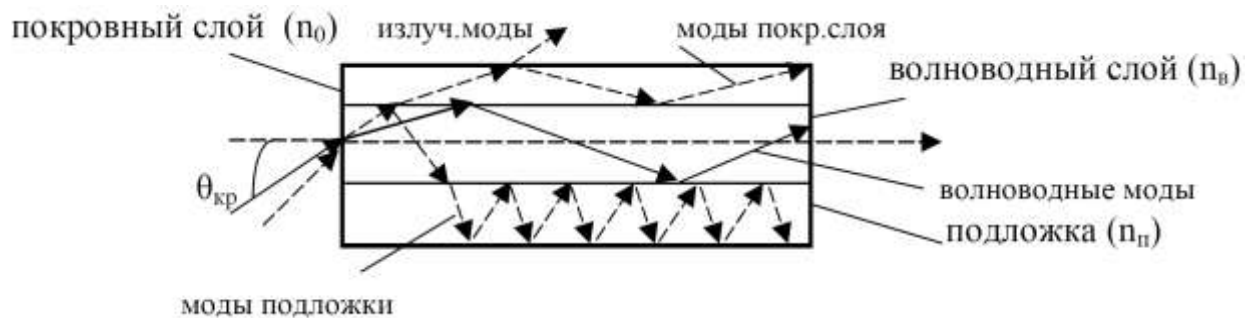


Рис. 3. Плоский оптический волновод

Для распространения света в волноводе необходимо выполнение условия полного внутреннего отражения света от покровного слоя и подложки, а также условия согласования фаз, при котором фазовые сдвиги, накапливающиеся после двух последовательных отражений от границ волноводного слоя должны быть кратными  $2\pi$ .

Это означает, что в волноводном слое энергия переносится световыми модами, каждой из которых соответствует свой угол падения на поверхность волновода и своя фазовая скорость распространения.

Особенность работы плоского оптического волновода состоит в том, что для данной  $\lambda$  существует минимальная критическая толщина волновода  $h_{cr}$ , при которой в волноводе возможно распространение одной основной моды:

$$h_{cr} = (\lambda/4) \sqrt{n_w^2 - n_s^2}.$$

Конструкция волновода такова, что в нем выполняется условие

$$\Delta n = n_w - n_s \ll n_w,$$

которое необходимо учесть в процессе проводимых расчетов.

В качестве одного из основных параметров плоских волноводов является критический угол ввода света в волновод  $\theta_{cr}$ . Если свет, сфокусированный на торец волновода, падает под углом  $\theta > \theta_{cr}$  к оптической оси волновода, то это приводит к нарушению условия полного внутреннего отражения волноводных мод от поверхностей покровного слоя и подложки, что вызывает появление нежелательных мод покровного слоя, подложки и излучательных мод. Максимальное угловое отклонение пучка  $\theta = \theta_{cr}$ , при котором излучение в виде направляемых волноводных мод распространяется в волноводном слое, определяется соотношением

$$\sin \theta_{cr} = \sqrt{n_w^2 - n_s^2}.$$

### Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип работы плоского оптического волновода (ПОВ), охарактеризуйте его модовый состав, приведите основные параметры.
2. Поясните смысл критической толщины ПОВ и охарактеризуйте эффект Гуса-Хенкена.
3. Назовите основные методы ввода света в ПОВ и проведите их сравнение.
4. Дайте классификацию динамических оптических модуляторов (ОМ) света, объясните принципы работы электрооптического модулятора (ЭОМ) на основе квадратичного электрооптического эффекта Керра, назовите основные электрооптические кристаллы для ЭОМ.
5. Объясните принцип работы ЭОМ на основе линейного электрооптического эффекта Погкельса, приведите основные параметры ЭОМ.
6. Объясните работу акустооптического модулятора света (АОМ), работающего в режиме дифракции Брэгга, укажите основные акустооптические материалы и параметры АОМ.
7. Приведите классификацию оптических дефлекторов (ОД), объясните принцип работы электрооптических дефлекторов (ЭОД) с емкостью переключения 1x2 и 1x4, укажите основные оптические и электрические параметры ЭОД.
8. Объясните работу дискретных акустооптических дефлекторов (АОД) и акустооптических сканеров, приведите основные параметры АОД.
9. Приведите классификацию оптических транспарантов (ОТ), объясните работу электрически управляемых и оптически управляемых ОТ.
10. На основе каких оптических элементов создаются запоминающие устройства с не-реверсивной и реверсивной оптической памятью? Укажите их основные характеристики.
11. Объясните работу оптических Фурье-процессоров на основе прямого и обратного пространственного преобразования Фурье, назовите их области использования.
12. Укажите основное отличие оптической голограммы от фотографии и назовите основные эффекты, на основе которых осуществляются запись голограмм и восстановление изображений с помощью голограмм.
13. Приведите классификацию голограмм, укажите основные отличия тонкослойных от толстослойных голограмм, назовите основные параметры голограмм.
14. Получите формулу для описания голограммы и покажите, что голограмма содержит одновременно информацию о фазе и амплитуде записываемого объекта.
15. Объясните работу схем записи тонкослойных и толстослойных голограмм, а также схем восстановления изображений.
16. Приведите схемы голографического интерферометра и микроскопа, объясните их

работу.

17. Охарактеризуйте свойства человеческого глаза как оптического прибора, приведите его спектральную характеристику и назовите основные параметры.

18. Проведите классификацию оптических индикаторов по основным признакам, объясните работу вакуумных люминесцентных и газоразрядных индикаторов и укажите их характеристики.

19. Объясните принцип работы светоизлучающего диода (СИД), приведите основные параметры СИД и материалы, используемые для их создания.

20. Объясните принцип работы тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов, приведите вольт-яркостную характеристику и укажите основные характеристики таких индикаторов.

21. На каком эффекте работают жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ)? Объясните принцип их работы, основные характеристики, преимущества и недостатки.

22. Объясните работу электрохромных индикаторов и приведите их основные характеристики.

23. Укажите основные эргономические требования к экранам и приведите классификацию экранов.

24. Назовите способы управления индикаторами и объясните, каким образом осуществляется статическая и мультиплексная адресации при управлении индикаторами.

25. Приведите структурную схему управления полупроводниковым матричным экраном и укажите назначение элементов схемы,