

Исследование диаграммы направленности полупроводниковых источников излучения.

1.Цель работы.

Целью работы является изучение принципа действия и конструкции светоизлучающего диода (СИД) и лазерного диода (ЛД), исследование диаграмм направленности СИД и ЛД.

2.Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы должны быть изучены принцип действия, конструкция и основные характеристики полупроводниковых источников излучения [1,с.125-127, 2,с.184-200].

В процессе выполнения работы производится:

- измерение диаграммы направленности СИД и ЛД;
- определение полуширины и сравнение диаграмм направленности излучения СИД различных конструкций и ЛД.

3.Описание лабораторной установки.

Схема лабораторной установки изображена на рис.1. Исследуемые СИД (1) и (2) и ЛД (3) укреплены в патроне (4) на микропозиционере (МП) (5). С помощью тумблера (6) осуществляется подача постоянного напряжения с блока питания (7) на исследуемый источник излучения (ИИ). Установка исследуемого ИИ в центр лимба (8) производится микропозиционером (5). Точное положение ИИ в центре окружности (8) соответствует совмещению указателей (9) на подвижной и неподвижной частях МП (5). При исследовании диаграммы направленности ЛД (3) в двух плоскостях патрон (4) необходимо повернуть на 90° вокруг своей оси.

Интенсивность излучения источника измеряется с помощью фотодиода (10), работающего в фотогальваническом режиме. Сигнал с фотодиода измеряется микроамперметром (12). Фотодиод может перемещаться по окружности с центром в точке размещения ИИ. Угол поворота отсчитывается по лимбу (8).

4.Методические указания к выполнению работы.

4.1.В лабораторной работе исследуются инжекционные поверхностные GaAs диоды ИК – диапазона и лазер на двойной гетероструктуре GaAlAs.

Следует помнить, что у диодов распределение спонтанного излучения из активной области носит изотропный характер. Поэтому распределение внешнего излучения после того, как оно преобразуется под действием рефракции при переходе из среды с большим показателем преломления в среду с малым показателем преломления, на передней поверхности будет приближенно ламбертовским, т.е.

$$I = I_0 \cos \theta,$$

Угол θ отсчитывается от нормали излучающей поверхности. Диаграмма направленности такого СИД показана на рис.2 (кривая 1).

Увеличения направленности излучения добиваются посредством встроенных в корпус СИД линз. Пример диаграммы направленности излучения такого СИД показана на рис.2 (кривая 2). Степень направленности излучения определяется по ширине диаграммы направленности на заднем уровне интенсивности относительно максимального (например, на уровне $I = 0,5I_0$).

В лазере с двойной гетероструктурой профилем усиления или профилем показателя преломления формируется полосковый световод в активном слое. Обычно толщина активного слоя $d_x \leq 1$ мкм, а ширина усиливающего слоя (полоскового волновода) $d_y \approx 5 \div 10$ мкм. В полупроводниковом лазере зеркалами резонатора служат плоские торцы кристалла и расходимость излучения определяется дифракционными эффектами. Так как

$d_x \neq d_y$, то и диаграмма направленности излучения такого источника асимметрична (рис.2, кривые 3 и 4).

4.2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.

4.3. Измерить диаграммы направленности полупроводниковых источников излучения. Для этого, с разрешения преподавателя, включить вольтметр (10) и нажать клавишу I = (род работ) и клавишу АВП (пределы).

Переключить тумблер (6) в положение "0". Ручку (11) плавной регулировки выходного напряжения на лицевой панели блока питания (7) повернуть влево до упора. Включить блок питания (7).

Измерить диаграмму направленности СИД –1. Для этого переключить тумблер (6) в положение "1". Ручку (11) блока питания (7) повернуть вправо до упора. Микропозиционером (5) установить СИД в центре лимба. Переместить фотодиод (10) в одно из крайних положений. Перемещая фотодиод по окружности измерить диаграмму направленности светодиода. Шаг измерения 10° . Для определения углового положения фотодиода следует использовать риску под блендой фотоприемника. После окончания измерений повернуть ручку (11) блока питания влево до упора.

Тумблер (6) переключить в положение "2". Ручку (11) блока питания повернуть вправо до упора. Переместить СИД – 2 в центр лимба и измерить его диаграмму направленности с шагом 5° . По окончании измерений ручку (11) блока питания повернуть влево до упора.

Повторить измерения для лазерного диода (источник излучения 3). Диаграмма направленности ЛД измеряется в двух плоскостях. Шаг измерения 5° . По окончании измерений повернуть ручку (11) блока питания влево до упора и перевести тумблер (6) в положение "0".

4.4. По результатам измерения углового распределения интенсивности излучения построить нормированные ($I/I_0 = f(\theta)$) диаграммы направленности исследуемых полупроводниковых источников излучения и определить их полуширину по уровню 0,5.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему лабораторной установки.
2. Таблицу результатов измерений.
3. Построенные диаграмму направленности излучения.
4. Выводы по лабораторной работе и анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы.

1. Какое физическое явление является основой работы полупроводниковых источников излучения?
2. Какое пространственное распределение имеет спонтанное излучение из активной области?
3. Какими факторами определяется диаграмма направленности излучения полупроводникового лазера?
4. Какими путями можно увеличить эффективность ввода излучения светодиода в волоконный световод?

Литература.

1. Штернов А.А.- Физические основы конструирования, технология РЭА и микроэлектроники. – М., Радио и связь, 1981.
2. Волоконная оптика и приборостроение. – Под ред. Бутусова М.М., Л., Машиностроение, 1987.

Исследование временной когерентности полупроводникового лазерного диода

1. Цель работы

Цель работы – провести исследование временной когерентности излучения полупроводникового излучателя, работающего в лазерном и светодиодном режимах.

2. Задание на работу

Перед выполнением работы необходимо изучить теоретически основные принципы работы лазерного диода и светоизлучающего диода, основные параметры полупроводниковых излучателей (ватт – амперные характеристики, спектральные характеристики), понятие временной когерентности и пространственной когерентности, а также принцип измерения временной когерентности с использованием интерферометра Майкельсона. Особое внимание необходимо уделить зависимости функции временной когерентности от спектральных характеристик излучения.

3. Описание лабораторной установки

Блок – схема лабораторной установки приведена на рис. 1.

В процессе выполнения лабораторной работы производятся:

1. Исследование основных принципов измерения временной когерентности интерферометрическими методами.
2. Исследование конструкции и принципа работы интерферометра Майкельсона.
3. Экспериментальное измерение функции временной когерентности излучения полупроводникового лазера, работающего в лазерном и светодиодном режимах.
4. Вычисление длины когерентности, времени когерентности и ширины спектра излучения для обоих режимов работы излучателя.
5. Вычисление длины резонатора и межмодового интервала для оптического резонатора полупроводникового лазера.
6. Построение теоретической зависимости для функции временной когерентности излучения полупроводникового лазера.

Лабораторная установка состоит из следующих узлов:

Источник питания полупроводникового лазера 1, полупроводниковый лазерный диод 2 с волоконным световодом 4, линзовый коллиматор пучка света 3, светоделительный кубик 5, зеркало 6, смонтированное на пьезокерамическом микропозиционере 7, звуковой генератор 8, зеркало 9, смонтированное на микропозиционере 10, фотоприемник 11, осциллограф 12, аналоговый коммутатор 13.

Оптическое излучение (пунктирная линия на рис.1) от полупроводникового излучателя 2, пройдя через волоконный световод 4, преобразуется в квазипараллельный пучок света коллиматором 3, вводится в светоделительный кубик 5, который расщепляет пучок на два пучка приблизительно равной интенсивности .

Оба расщепленных пучка отражаются от зеркал 6 и 9 и объединяются на фотоприемнике 11, при этом в плоскости фотоприемника возможно наблюдать интерференционную картину – результат интерференции между обоими

пучками света. Зеркало 9 смонтировано на микропозиционере 10, позволяющем изменять разность хода между обеими пучками. Цена деления шкалы микропозиционера 10 мкм. Смещение зеркала 9 на величину Δl соответствует изменению разности хода между интерферирующими пучками на величину $\Delta L=2 \Delta l$.

Зеркало 6 смонтировано на пьезокерамическом микропозиционере 7. Под действием синусоидального напряжения от генератора 8 зеркало 6 совершает синусоидальные колебания, что приводит к перемещению интерференционных полос поперек входной апертуры фотоприемника. В результате этого выходной сигнал фотоприемника изменяется от максимума до минимума, когда разность хода между интерферирующими лучами изменяется на $\lambda/2$.

Сигнал с выхода фотоприемника 11 проходит через аналоговый коммутатор 13, который периодически замыкает вход осциллографа на землю. Это позволяет наблюдать и измерять на осциллографе одновременно максимальное и минимальное значения интенсивности интерференционной картины I_{MIN} and I_{MAX} (рис.2).

Последовательность выполнения работы.

1. Прочитать описание к работе. Определить местонахождение всех оптических и механических элементов установки, регулировочных винтов и ручек настройки, электронных узлов и их органов управления.

Внимание! Перед включением установки уменьшите ток накачки излучателя до минимума (для этого поверните ручку регулировки тока накачки против часовой стрелки до упора).

2. Измерьте экспериментальную зависимость модуля функции временной когерентности от разности хода интерферирующих лучей для лазерного и светодиодного режимов работы полупроводникового излучателя. Измерьте расстояние между максимумами огибающей измеренной зависимости. Для этого необходимо:

Включить источник питания, осциллограф и все другое оборудование. Установить лазерный режим работы полупроводникового излучателя. Для этого необходимо установить максимальный ток накачки лазера – повернуть ручку регулировки тока накачки по часовой стрелке до упора. Установить нулевую разность хода интерферирующих лучей в интерферометре $\Delta L=0$. При этом сигнал интерференции будет максимальным.

Используя лист бумаги, закрывать последовательно каждое из зеркал интерферометра 6 и 9 и измерять интенсивность света в каждом из интерферирующих пучков I_1 и I_2 .

- a. Отметить положение лимба отсчета микропозиционера и использовать его как нулевое деление шкалы. Смещать зеркало 9 от этого начального положения с шагом 5 микрометров (половина наименьшего деления микрометрического винта).

Измерить значения I_{MIN} и I_{MAX} соответствующие каждому положению зеркала 9 в пределах 200 – микронного интервала от нулевого положения зеркала. Значения I_{MIN} и I_{MAX} измеряются по экрану осциллографа. После окончания измерений вновь установить нулевую разность хода между интерферирующими пучками $\Delta L=0$.

- b. Передвигая зеркало 9 от нулевого положения, найти второй максимум интерференционной картины, используя экран осциллографа (второй

максимум существенно меньше первого , поэтому вращать микрометрический винт медленно , внимательно наблюдая за интерференционной картиной) . Используя шкалу на лимбе микрометрического винта , измерить расстояние между первым и вторым максимумами ΔL_K .

- c. Установить светодиодный режим работы излучателя . Для этого необходимо уменьшить ток накачки излучателя , повернув ручку регулировки тока в первое отмеченное положение .
 - d. Проверить отсутствие интерференции за пределами области главного максимума кривой видности интерференционной картины .
 - e. Повторить измерения зависимости I_{MIN} и I_{MAX} от разности хода ΔL между интерферирующими пучками для светодиодного режима работы излучателя
3. Используя измеренные значения , построить нормированную зависимость модуля функции когерентности $|\mu_T(\Delta L)|$ для обоих режимов работы излучателя , в соответствии с формулой :

$$|\mu_T(\Delta L)| = \frac{\{I_{MAX}(\Delta L) - I_{MIN}(\Delta L)\} \{I_{MAX}(\Delta L=0) + I_{MIN}(\Delta L=0)\}}{\{I_{MAX}(\Delta L) + I_{MIN}(\Delta L)\} \{I_{MAX}(\Delta L=0) - I_{MIN}(\Delta L=0)\}} \quad (1)$$

4. Используя построенную зависимость , определить длину когерентности ΔL_K как разность хода между интерферирующими пучками ΔL , для которой значение $|\mu_T(\Delta L_K)|=0.707$ для обоих режимов работы излучателя .
5. Рассчитать время когерентности τ для обоих режимов работы излучателя:

$$\tau = \Delta L_K / C \quad (2)$$

где C скорость света ..

6. Рассчитать ширину спектра излучения полупроводникового излучателя для обоих режимов работы излучателя , используя формулы 3 и 4 :

$$\Delta f = 0,11 C / \Delta L_K \quad (3)$$

$$\Delta \lambda = 0,11 \lambda^2 / \Delta L_K \quad (4)$$

где $\lambda = 0,85 \mu m$, длина волны излучения .

Построить теоретическую зависимость модуля функции временной когерентности от разности хода интерферирующих пучков ΔL для лазерного режима работы излучателя , используя формулу

$$|\mu_{T THEOR}(\Delta L)| = \exp \{-0.11 \pi |\Delta L| / \Delta L_K\} \quad (5)$$

7. Используя экспериментальные данные для лазерного режима , определить продольный размер резонатора полупроводникового лазера , образованного сколотыми гранями полупроводникового кристалла :

$$L_{CAV} = \Delta l_K / n_{GR} \quad (6)$$

где Δl_K - расстояние между первым и вторым максимумами интерференционной картины, $n_{GR} = 4$ – групповой показатель преломления для GaAlAs – планарного волновода лазера .

- 8 . Вычислить межмодовый интервал для резонатора лазера , используя формулу :

$$\Delta f_M = C / 2 n_{GR} L_{CAV} \quad (7)$$

$$\Delta \lambda_M = \lambda^2 / 2 n_{GR} L_{CAV} \quad (8)$$

- 9 . Определить полное число продольных мод в спектре излучения лазера по формуле :

$$M = \Delta \lambda / \Delta \lambda_M \quad (9)$$

Содержание отчета о работе:

1. Блок – схема лабораторной установки .
2. Результаты измерений в виде таблиц .
3. Результаты расчетов по формулам 1 – 9 .
4. Графики экспериментальных зависимостей $|\mu_T(\Delta L)|$ для лазерного и светодиодного режимов и $|\mu_{T\text{THEOR}}(\Delta L)|$ для лазерного режима .
5. Анализ результатов и выводы по работе .

Контрольные вопросы:

1. Объясните понятие “ время когерентности “.
2. Объясните зависимость между временем когерентности и шириной спектра излучения .
3. Объясните зависимость между временем когерентности и длиной когерентности .
4. Чем определяется пространственный период между интерференционными полосами на выходе интерферометра ?
5. Объясните зависимость между видностью интерференционной картины и коэффициентом деления светоделительного кубика .
6. Объясните зависимость между видностью интерференционной картины и углом между направлениями поляризации обоих интерферирующих пучков .
7. Объясните зависимость между видностью интерференционной картины и углом между направлениями распространения обоих интерферирующих пучков .
8. Какими факторами определяется время когерентности излучения одномодового лазера ?
9. Какими факторами определяется время когерентности излучения многомодового лазера ?
10. Объясните изменение времени когерентности и эволюцию спектра полупроводникового излучателя при переходе из светодиодного в суперлюминесцентный и далее в лазерный режим работы .

Рекомендуемая литература:

1. М.М.Бутусов , С.Л.Галкин, В.Н. Гомзин, С.М.Верник “Волоконно-оптические системы передачи “, М., Радио и связь,1992г.
- 2 . М.М.Бутусов , С.Л.Галкин,С.П.Оробинский,Б.Пал “ Волоконная оптика и приборостроение “, Л.,Машиностроение , Лен. отд. ,1987 г.
3. Волноводная оптоэлектроника , под ред.Т.Тамира, М.,Мир, 1991 г.
4. А.Козанне,Ж.Флере, Г.Мэтр,М.Руссо “ Оптика и связь “ , М., Мир, 1984 г.
5. Дж. Гауэр “ Оптические системы связи “,М.,Радио и связь,1989 г.
6. Суэмацу Я. “ Основы оптоэлектроники “,М.,Мир, 1988 г.
7. А.Ярив “ Введение в оптическую электронику “, М., Высшая школа , 1983 г.
8. А.Ярив “ Квантовая электроника “, М., Сов. Радио , 1980 г.
9. Н.В.Карлов “ Лекции по квантовой электронике “ ,М.,Наука, ГРФМЛ, 1988 г.
10. К.И.Крылов,В.Т.Прокопенко, В.А.Тарлыков “Основы лазерной техники“ Л.,Машиностроение , Лен. отд. ,1990 г.
11. О.Звелто “ Принципы лазеров “,М.,Мир, 1990 г.
- 12.” Полупроводниковые инжекционные лазеры “,под. ред . У.Тсанга , М.,Радио и связь,1990
13. В.П.Грибковский “ Полупроводниковые лазеры “ , Минск , Университетское изд .,1988 г.
14. М.Борн,Э.Вольф “ Основы оптики “ , М.,Наука, ГРФМЛ, 1970 г.
15. О.М.Марченко “ Когерентность и статистические свойства света

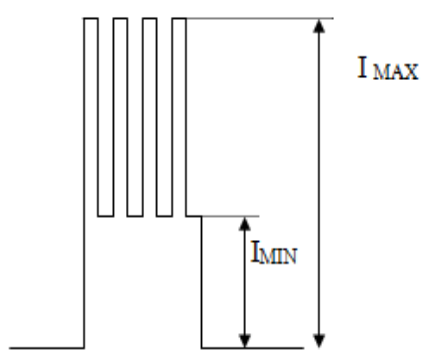
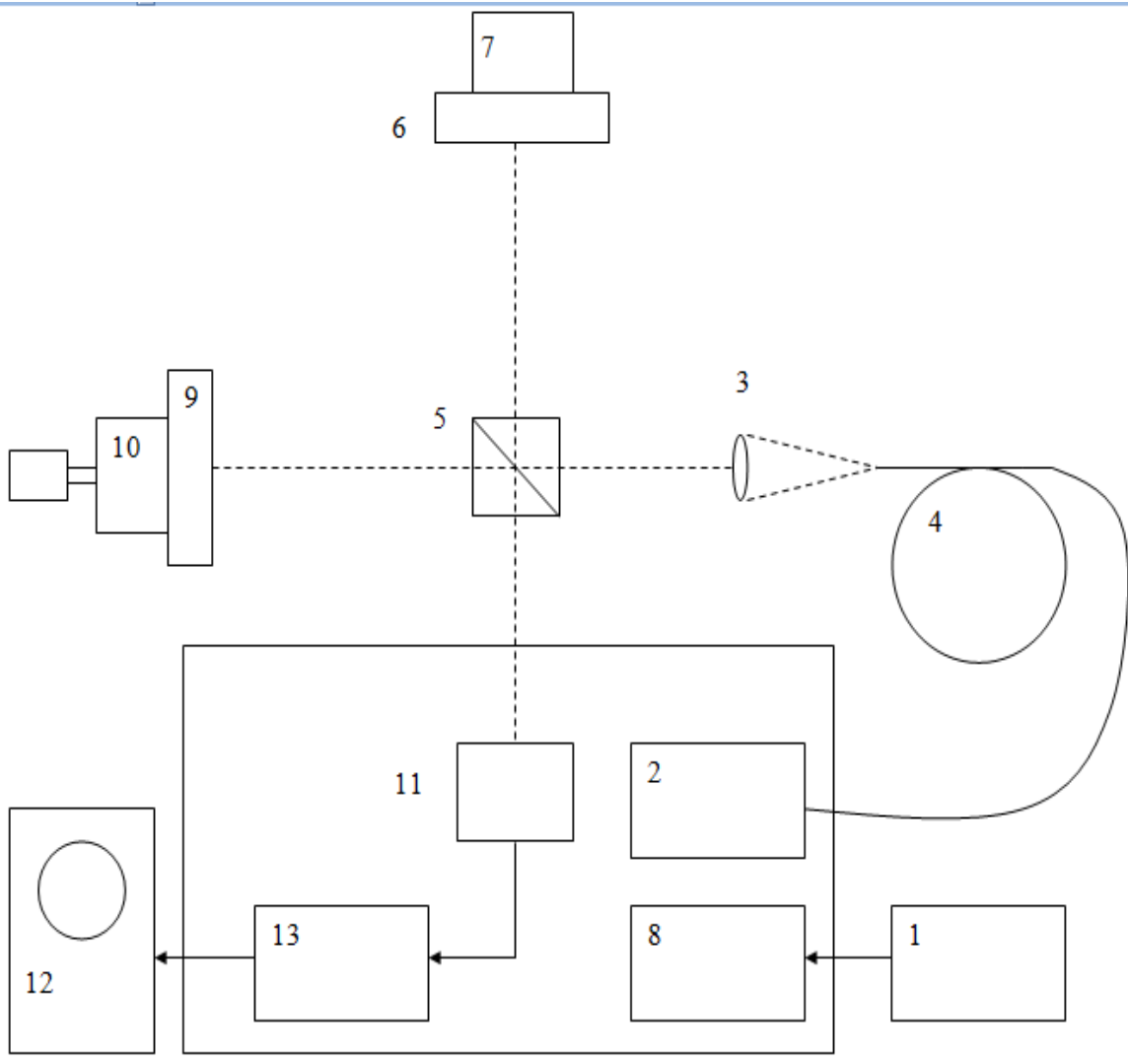


Рис.2

Рис.1

Исследование акустооптического модулятора светового потока.

1. Цель работы.

Целью работы является исследование характеристик акустооптического модулятора (АОМ), осуществляющего пространственную и временную модуляцию светового потока в соответствии с управляющим ВЧ – сигналом.

2. Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы должны быть изучены основные принципы модуляции света акустическими волнами и особенности дифракции света на объемных фазовых решетках [1, с.200-214; 2, с.5-13].

Перед включением аппаратуры необходимо изучить описание лабораторной установки. **Включение аппаратуры под напряжение производится с разрешения преподавателя.**

Лабораторная работа состоит из двух этапов:

1. Исследование процессов дифракции света на ультразвуке в режиме Рамана-Ната.
2. Исследование процессов дифракции света на ультразвуке в режиме Брэгга.

В процессе выполнения работы производится:

- изучение принципов работы АОМ светового потока;
- изучение состава лабораторного оборудования;
- измерение углов дифракции света в режиме Рамана-Ната;
- исследование зависимости эффективности дифракции от мощности акустического сигнала в режиме Рамана-Ната;
- исследование зависимости эффективности дифракции от угла падения световой волны на звукопровод модулятора в режиме Рамана-Ната;
- определение оптимального угла падения света на звукопровод модулятора в режиме Брэгга;
- исследование зависимости дифракционной эффективности от мощности акустического сигнала в режиме Брэгга при оптимальном угле падения света;
- исследование зависимости эффективности дифракции от угла падения света на звукопровод в режиме Брэгга.

3. Описание лабораторной установки.

Структурная схема лабораторной установки изображена на рис.1. Источником монохроматического света служит газовый гелий-неоновый лазер ЛГН-208Б с длиной волны излучения $\lambda = 0,6328$ мкм (1). Лазерный луч, отраженный поворотным зеркалом (2), падает на прозрачный звукопровод акустооптического модулятора (3), закрепленного на поворотном столике (4) таким образом, что можно изменять угол падения света на звукопровод модулятора вращением юстировочного винта. Пройдя через звукопровод АОМ и отразившись от поворотного зеркала (5), продифрагированный луч направляется на фотоприемник (6), закрепленный на подвижном столике (7). Высокочастотный электрический сигнал подается на АОМ от генератора ВЧ-колебаний Г4-143 (8). Пьезопреобразователь АОМ возбуждает в звукопроводе бегущую акустическую волну, на которой и происходит дифракция световой волны, падающей на звукопровод. Картина дифракции света на ультразвуковой волне наблюдается на экране, размещенном на лицевой поверхности измерительной головки фотоприемника.

Интенсивность света, прошедшего через АОМ, регистрируется с помощью фотоприемника и цифрового вольтметра (9), которым измеряется напряжение на выходе фотодиода, включенного в фотогальваническом режиме.

4. Методические указания к выполнению работы.

1. Изучить теоретические сведения по данной работе, изложенные в [1, с.200-214; 2, с.5-13].

При изучении явления дифракции света на акустических волнах следует обратить внимание на отличительные особенности дифракции света на фазовых решетках в режимах Рамана-Ната и Брэгга. Акустическая волна, распространяющаяся в прозрачном звукопроводе АОМ, вызывает периодическую модуляцию показателя преломления материала звукопровода. При этом в звукопроводе формируется фазовая дифракционная решетка, период которой равен длине акустической волны в материале звукопровода. При нормальном падении световой волны на АОМ и сравнительно невысокой частоте звуковой волны наблюдается симметричная картина дифракции Рамана-Ната. При наклонном падении световой волны и более высокой частоте звуковой волны симметрия дифракционных порядков нарушается, и при выполнении условия Брэгга

$$2 \sin \varphi_{\text{в}} = \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{в}}$ - угол падения света на звукопровод, интенсивность света в первом порядке дифракции может превысить интенсивность света во всех остальных дифракционных порядках. Картина дифракции становится резко несимметричной, и при достаточно высокой частоте акустической волны f т.е. при малых значениях Λ , дифракционная картина содержит только два порядка: нулевой, т.е. свет, прошедший звукопровод без отклонения, и первый порядок – дифрагировавшую волну.

2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки, расположением оптических элементов и юстировочных винтов.

3. Исследовать зависимость углов дифракции от частоты акустического сигнала в режиме Рамана-Ната. Для этого включить источник питания лазера, генератор ВЧ - сигнала и вольтметр. Установить АОМ так, чтобы луч лазера падал на звукопровод перпендикулярно к нему. Для этого необходимо, вращая винт поворотного столика (4), совместить отраженный от звукопровода луч с падающим лучом, контролируя совмещение лучей по положению пятна отраженного луча на миллиметровой сетке измерительной шкалы, размещенной на торцевой поверхности излучателя лазера.

Измерить интенсивность света $I_{\text{вх}}$, прошедшего через АОМ, в отсутствии на АОМ высокочастотного сигнала. Для этого с помощью винта подвижного столика (7) совместить риску на подвижной платформе столика с нулевым делением шкалы на столике. При этом луч света, прошедший через АОМ, должен точно попадать в центр апертуры фотоприемника. Произвести измерение напряжения на выходе фотоприемника с помощью милливольтметра. Записать измеренное значение интенсивности $I_{\text{вх}}$. Подать на АОМ высокочастотный сигнал от генератора (8). Для этого установить на генераторе частоту 50 МГц, включить клавишу «Выход 50» и вращением ручек «Уровень» установить максимальный уровень выходного сигнала, контролируя его по измерителю уровня. При этом на измерительном экране, размещенном на лицевой поверхности измерительной головки фотоприемника, будет наблюдаться картина дифракции света на ультразвуковой волне в режиме Рамана-Ната (рис.2).

Картина имеет вид яркого центрального пятна – нулевого порядка дифракции I_0 и расположенных симметрично относительно него менее ярких первого $I_{\pm 1}$ и минус первого I_{-1} , а также второго и минус второго $I_{\pm 2}$ порядков дифракции. Измерив по миллиметровой шкале расстояния a_1, a_{-1}, a_2, a_{-2} между центрами пятен нулевого порядка и соответствующими высшими порядками дифракции (рис.2), вычислить углы дифракции θ_m по формуле

$$\theta_m = \arctg \frac{a}{R} \quad m \quad (2)$$

где $m = \pm 1, \pm 2$; $R = 40$ см, расстояние от АОМ до экрана.

Рассчитать соответствующие теоретические значения углов дифракции по формуле

$$\theta_m = \arcsin \left(m \frac{\lambda}{\Lambda} \right) \quad (3)$$

где $\lambda = 0,6328$ мкм – длина волны света.

Λ - длина звуковой волны в звукопроводе АОМ, определяемая для данной частоты акустического сигнала по формуле

$$\Lambda = \frac{V}{f} \quad (4)$$

где V - скорость звуковой волны в материале звукопровода, для стекла ТФ-7 $V = 3,63 \cdot 10^5$ см / сек.

Сравнить величины углов дифракции, измеренные на опыте (формула 2) и вычисленные теоретически (формула 3).

4. Измерить зависимость эффективности дифракции в первом порядке дифракционной картины от мощности акустического сигнала. Для этого с помощью винта подвижного столика (7) переместить измерительную головку фотоприемника в область нахождения первого дифракционного порядка, совместив пятно первого порядка с центром апертуры фотоприемника. Точность попадания в фотоприемник контролировать по максимуму показаний измерителя фототока. Произвести калибровку шкалы индикатора уровня ВЧ - сигнала, для чего установить ручкой калибровки показания индикатора, равные 100 при крайнем правом положении ручек регулировки уровня. Используя ручку точной регулировки уровня, снять зависимость интенсивности света в первом порядке I_1 , от уровня мощности ВЧ – сигнала $P_{\text{вых}}$. Измерение $P_{\text{вых}}$ производится в делениях шкалы индикатора в относительных единицах (100 делений шкалы соответствует 1 Вт акустической мощности).

По результатам измерений построить график зависимости дифракционной эффективности $\eta = I_1 / I_{\text{вх}}$ от $P_{\text{вых}}$. (величина $I_{\text{вх}}$ измерена ранее и представляет собой интенсивность света, прошедшего через АОМ в отсутствие акустического сигнала).

5. Исследовать зависимость эффективности дифракции в первом порядке от угла падения света на звукопровод АОМ. Для этого, вращая юстировочный винт поворотного столика (4), изменять угол падения света на звукопровод АОМ в обе стороны от первоначального положения, при котором звукопровод перпендикулярен световому лучу, одновременно измеряя интенсивность света I_1 в первом дифракционном порядке.

Для определения угла падения света на звукопровод необходимо измерить отклонение а отраженного луча от падающего луча по миллиметровой сетке измерительной шкалы, расположенной на торце излучателя лазера (рис.3). Угол падения луча света на звукопровод АОМ при этом вычисляется по формуле:

$$\varphi_{\text{пад}} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{a}{b} \quad (5)$$

где b - расстояние между торцом излучателя и АОМ, $b = 33$ см.

Построить график зависимости дифракционной эффективности $\eta = I_1 / I_{\text{вх}}$ от угла φ падения в режиме Рамана-Нага.

6. Произвести определение оптимального угла падения света на звукопровод АОМ в режиме Брэгга. Для этого необходимо установить частоту ВЧ – сигнала 80 МГц, переместить измерительную головку фотоприемника в область первого дифракционного максимума I_1 , введя дифракционное пятно в апертуру фотоприемника. Затем, изменяя угол падения света на звукопровод АОМ винтом поворотного столика, добиться максимальной величины I_1 .

Измерить угол падения $\varphi_{\text{опт}}$, соответствующий максимальной эффективности дифракции I_1 .

Для оптимального угла падения измерить по шкале на измерительной головке фотоприемника расстояние между центрами пятен нулевого и первого порядков дифракции a_1 . Рассчитать угол дифракции θ_1 первого порядка по формуле:

$$\theta_1 = \arctg(a_1/R) - \varphi_{\text{опт}}$$

Рассчитать период фазовой решетки Λ , образованной акустической волной в звукопроводе по формуле (4). Рассчитать угол Брэгга $\varphi_{\text{в}}$ для решетки с периодом Λ по формуле (1). Сравнить рассчитанные значения $\varphi_{\text{в}}$ с измеренными значениями $\varphi_{\text{опт}}$.

7. Исследовать зависимость эффективности дифракции в первом порядке от мощности акустической волны в режиме Брэгга при оптимальном угле падения света на звукопровод. Построить график зависимости $\eta = I_1 / I_{\text{вх}}$ от $P_{\text{вых}}$ при $\varphi_{\text{пад}} = \varphi_{\text{опт}}$.

8. Исследовать зависимость эффективности дифракции в первом порядке в режиме Брэгга от угла падения света на звукопровод. Для этого, установив оптимальный угол падения и измерив соответствующую ему интенсивность $I_{1\text{max}}$, вращением поворотного столика АОМ изменять угол падения света в обе стороны от оптимального, измеряя при этом углы падения и соответствующие им значения интенсивности дифрагированного света I_1 . Построить зависимость отношения $I_1 / I_{1\text{max}}$ от угла падения света на звукопровод.

9. Повторить измерения углов дифракции и оптимальных углов падения света на звукопровод при частотах акустического сигнала 110 МГц и 240 МГц.

5. Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Функциональную схему лабораторной установки (рис.1).
2. Результаты проведенных измерений в виде таблиц и графиков.
3. Результаты расчетов по формулам 1 – 6.
4. Выводы по работе и анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы.

1. Поясните механизм образования фазовой решетки в звукопроводе модулятора.
2. Назовите отличительные особенности дифракции света на фазовых решетках в режимах Рамана-Ната и Брэгга.
3. Какова максимально достижимая эффективность дифракции АОМ в режимах Рамана-Ната и Брэгга?
4. Может ли используемый в работе АОМ применяться для анализа спектра ВЧ – сигнала?
5. Дайте определение понятия «дифракционная эффективность».
6. Каким образом в АОМ создается режим бегущей волны?
7. Почему в качестве источника излучения при работе с АОМ используется лазер?
8. Как изменится дифракционная эффективность АОМ в режиме Брэгга при увеличении толщины звукового столба?
9. Дайте качественное пояснение картины дифракции при подаче на вход АОМ двух гармонических сигналов близких частот, трех и т.д.
10. Какие параметры оптической волны может модулировать АОМ ?

Литература.

1. Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. – Методы модуляции и сканирования света. – М.: Наука, 1970.
2. Магдич Л.Н., Молчанов В.М. – Акустооптические устройства и их применение.- М.: Сов.Радио, 1978.

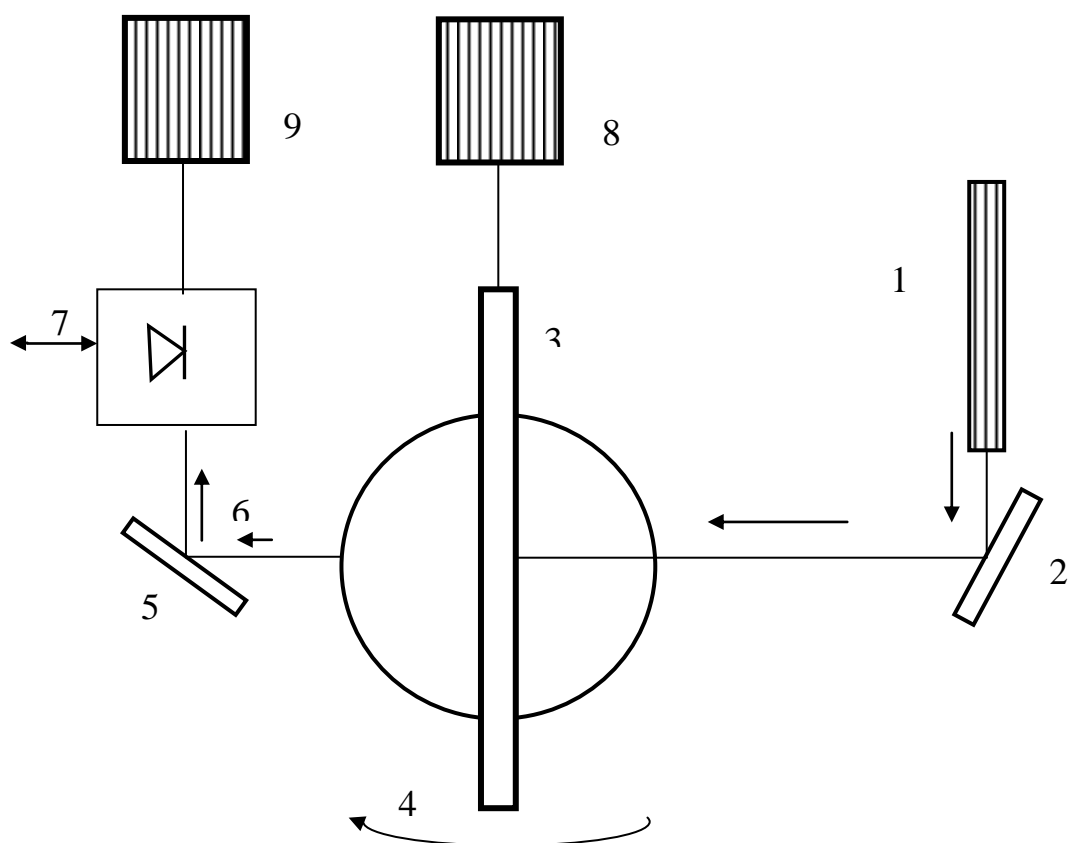


Рис.1

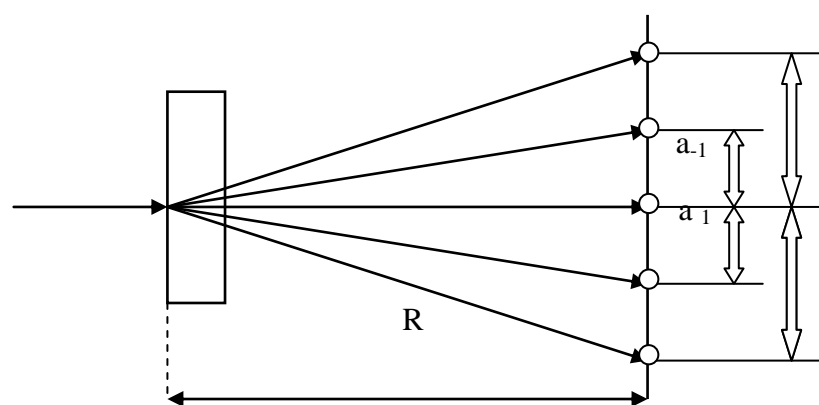


Рис.2

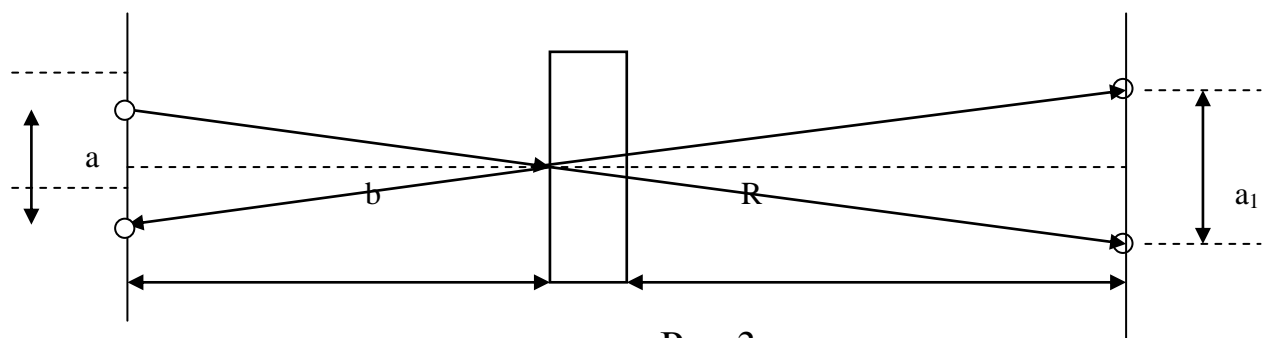


Рис.3

Исследование характеристик электрооптического модулятора света.

1.Цель работы.

Целью работы является исследование модуляционных характеристик электрооптического модулятора света (ЭОМ) – т.е. зависимости интенсивности света на выходе модулятора от напряжения, приложенного к модулятору, при различной конфигурации оптической схемы модулятора .

2.Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы должны быть изучены свойства поляризованного света в двулучепреломляющих кристаллах, закономерности электрооптического эффекта и основные схемы построения электрооптических амплитудных и фазовых модуляторов света [3,с.352-357;4,с.231-154].

Перед включением аппаратуры необходимо изучить описание лабораторной установки. **Включение приборов производится с разрешения преподавателя.**

В процессе выполнения лабораторной работы производится:

- изучение состава лабораторного оборудования ;
- измерение модуляционных характеристик электрооптического модулятора света для различных состояний поляризации входного светового пучка (5 зависимостей) ;
- расчет теоретической зависимости интенсивности света на выходе модулятора от приложенного к электрооптическому кристаллу напряжения.

3.Описание лабораторной установки для исследования характеристик электрооптического модулятора.

Схема экспериментальной установки показана на рис.1.

В качестве источника света используется гелий-неоновый лазер (1), работающий в непрерывном режиме на длине волны 0,6328 мкм. Выходное излучение лазера линейно поляризовано, причем направление поляризации (направление вектора E световой волны) составляет угол 45^0 с главными диэлектрическими осями X и Y электрооптического кристалла модулятора (направление P на рис.2). Световой пучок лазера поступает на входную апертуру электрооптического кристалла (2), на противоположные боковые поверхности которого нанесены электроды (3). Из выходной апертуры модулятора световой пучок направляется на анализатор (4), ось пропускания которого повернута на 90^0 относительно исходного направления поляризации излучения лазера. Свет, прошедший через анализатор (4), поступает на фотоприемник (5), работающий в фотогальваническом режиме. Фототок, генерируемый фотодиодом, пропорционален интенсивности световой волны, падающей на светочувствительную площадку фотодиода. Величина фототока измеряется прибором В7-40 (6), работающим в режиме измерения постоянных токов. На электроды (3) электрооптического кристалла подается постоянное напряжение от регулируемого источника (7). Величина постоянного напряжения может изменяться от 0 до 299 вольт.

Между лазером (1) и электрооптическим модулятором (2) располагается четвертьволновая фазовая пластинка (8), размещенная в гнезде (9) и входной поляризатор (10), смонтированный на подвижке (11). Поляризатор (10) закреплен во вращающейся оправке таким образом, что направление оси пропускания его может поворачиваться относительно главных диэлектрических осей электрооптического кристалла. Направление оси пропускания поляризатора показано меткой на вращающейся обойме поляризатора. Направление плоскости поляризации входного излучения лазера (P) оси Y кристалла и оси пропускания поляризатора (A) обозначены метками на неподвижной части оправки поляризатора. Четвертьволновая пластина (8) и поляризатор (10) в процессе выполнения лабораторной работы могут выводиться из траектории луча. Когда четвертьволновая пластинка введена в оптический тракт установки, линейно поляризованный свет лазера,

проходя через фазовую пластинку, становится циркулярно поляризованным. Циркулярно поляризованный свет, проходя через поляризатор, превращается в линейно поляризованный свет, направление плоскости поляризации которого соответствует направлению оси пропускания поляризатора и может изменяться путем вращения поляризатора.

Поперечное сечение эллипсоида показателя преломления электрооптического кристалла до и после приложения внешнего электрического поля E в направлении оси Y показано на рис.2 соответственно сплошной и пунктирной линиями. На этом же рисунке показаны направления плоскости поляризации исходного лазерного излучения P и оси пропускания анализатора A .

4.Методические указания к выполнению работы.

В работе исследуются модуляционные характеристики электрооптического модулятора, изготовленного на кристалле метаниобата лития. Электрическое поле, приложенное к кристаллу, изменяет размеры полуосей и положение в пространстве эллипсоида показателя преломления. В данном случае, если поле приложено к кристаллу параллельно оси Y , y - полуось эллипсоида уменьшается на величину Δn , а x - полуось увеличивается на эту же величину, так что показатели преломления для соответствующих компонент вектора напряженности электрического поля оптической волны составят $n_x = n_o + \Delta n$, $n_y = n_o - \Delta n$

И для случая линейного электрооптического эффекта, т.е. эффекта Поккельса, изменение показателя преломления прямо пропорционально напряженности внешнего модулирующего поля E .

$$\Delta n = \frac{n_o^3}{2} r_{22} E, \quad (1)$$

где $n_o = 2,286$ – показатель преломления обыкновенного луча; $r_{22} = 6,8 \cdot 10^{-12}$ м/В – электрооптический коэффициент ниобата лития для данной ориентации поля.

Изменение показателей преломления n_x и n_y приводит к изменению взаимной разности фаз между компонентами E_x и E_y электромагнитного поля световой волны, распространяющейся в электрооптическом кристалле.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x - n_y) l, \quad (2)$$

где λ - длина волны излучения, l - расстояние, пройденное электромагнитной волной в кристалле. Считая, что поле между электродами однородно, можно записать разность фаз в виде

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi n_o^3 r_{22} U}{\lambda} \frac{l}{d}, \quad (3)$$

где d - расстояние между электродами, l - длина кристалла ($d / l = 0,05$ для данного модулятора), U - напряжение, приложенное к модулятору.

Величина

$$U = \frac{\lambda}{2n_o^3 r_{22}} \frac{d}{l} \quad (4)$$

обеспечивает фазовый сдвиг, равный π , и называется полуволновым напряжением.

Для преобразования модуляции поляризации в модуляцию интенсивности света после прохождения электрооптического кристалла световую волну пропускают через выходной поляризатор, называемый анализатором. Оси пропускания входного поляризатора и анализатора обычно скрещены под углом 90° , и в этом случае интенсивность света на выходе анализатора изменяется по закону

$$I = I_{\max} \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad (5)$$

где I_{\max} - максимальная интенсивность света, прошедшего через модулятор. Зависимость $I_{\text{вых}} = f(U_{\text{мод}})$ называется модуляционной характеристикой модулятора по интенсивности.

Порядок выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки, с расположением и назначением органов управления.

4.3. Экспериментально исследовать основную модуляционную характеристику модулятора. Для этого, с разрешения преподавателя, включить блок питания лазера, источник постоянного напряжения, вольтметр.

Удалить из оптического тракта четвертьволновую пластинку (вынуть стойку с пластинкой из гнезда) и входной поляризатор (выдвинуть поляризатор из луча, пользуясь винтом подвижки, на которой закреплена оправка поляризатора). Изменяя напряжение, приложенное к модулятору, с помощью цифрового набирателя на передней панели источника постоянного напряжения, измерять величину фототока фотодиода, соответствующую каждому напряжению. Диапазон изменения напряжения – от 0 до 299

В, шаг – 10 В. Построить график зависимости $f(U_{\text{мод}}) = \frac{I_{\text{фд}}(U_{\text{мод}})}{I_{\text{фд max}}}$

По графику определить величину напряжения, соответствующего максимальному пропусканию модулятора.

4.4. Ввести в оптический тракт установки четвертьволновую пластинку – установить стойку с пластинкой на оптической плите. Повторить измерения модуляционной характеристики в диапазоне от 0 до 299 В при наличии фазовой пластинки в оптическом тракте.

4.5. Ввести в оптический тракт входной поляризатор. Для этого необходимо, вращая ходовой винт подвижки, установить поляризатор таким образом, чтобы луч лазера проходил примерно через центр поляризатора. Поворачивая вращающуюся оправку поляризатора, совместить метку на оправке с меткой Р на обойме. При этом направление плоскости поляризации света, прошедшего через поляризатор, составляет $+45^\circ$ с осью Y кристалла и 90° с осью пропускания анализатора. Измерить модуляционную характеристику модулятора при данном положении входного поляризатора.

Совместить метку на оправке поляризатора с меткой Y на обойме. При этом направление плоскости поляризации света, прошедшего поляризатор, параллельно оси Y кристалла.

Измерить модуляционную характеристику модулятора при данном положении входного поляризатора.

Совместить метку на оправке поляризатора с меткой А на обойме. При этом направление плоскости поляризации света, прошедшего через поляризатор, составляет -45° с осью Y кристалла и параллельно оси пропускания анализатора. Измерить модуляционную характеристику модулятора при данном положении входного поляризатора.

Построить графики экспериментальных зависимостей, измеренных по пп. 4.3, 4.4, 4.5. (Все зависимости нормировать к соответствующему максимальному значению).

4.6. Построить теоретическую зависимость модуляционной характеристики по формулам (3), (5). Рассчитать полуволновое напряжение для данного модулятора по формуле (4). Сравнить теоретически рассчитанное значение полуволнового напряжения с напряжением максимального пропускания модулятора, определенным по графику зависимости, измеренной в п. 4.3.

4.7.Объяснить поведение экспериментальных зависимостей, измеренных в п. 4.5 при различных ориентациях входного поляризатора.

5.Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1.Схему лабораторной установки.
- 2.Результаты проведенных измерений в виде таблицы.
- 3.Графики теоретической зависимости модуляционной характеристики и экспериментально измеренные зависимости по пунктам 4.3, 4.4, 4.5 в нормированном виде (всего 6 зависимостей на одном графике).
- 4.Расчетное значение полуволнового напряжения.
- 5.Выводы по лабораторной работе и анализ полученных данных.

Контрольные вопросы.

- 1.Что такое эллипсоид показателя преломления?
- 2.Как меняется эллипсоид показателя преломления одноосного электрооптического кристалла во внешнем электрическом поле?
- 3.Расскажите о методах регистрации фазовой модуляции.
- 4.Расскажите о методах преобразования фазовой модуляции в модуляцию интенсивности.
- 5.Что такое полуволновое напряжение?
- 6.Какие типы электрооптических модуляторов Вы знаете?
- 7.Преимущества и недостатки схем продольного и поперечного электрооптического модулятора.

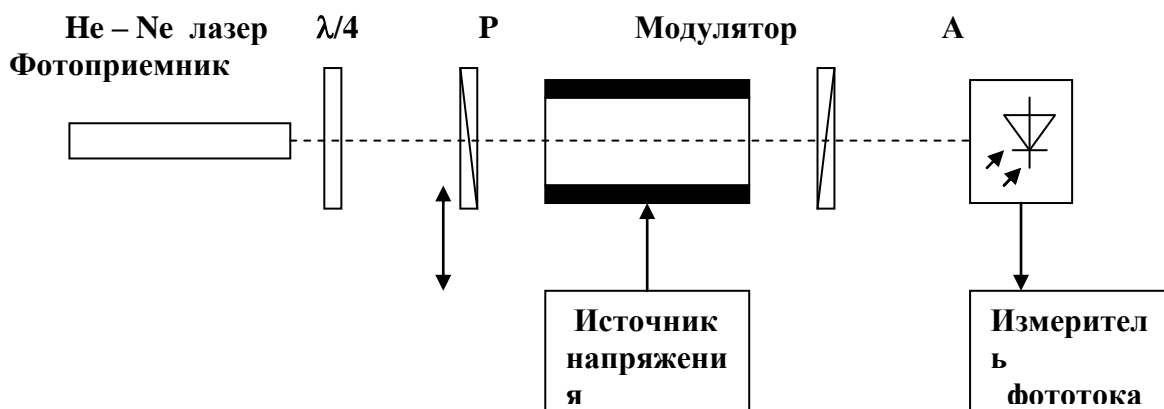


Рис. 1

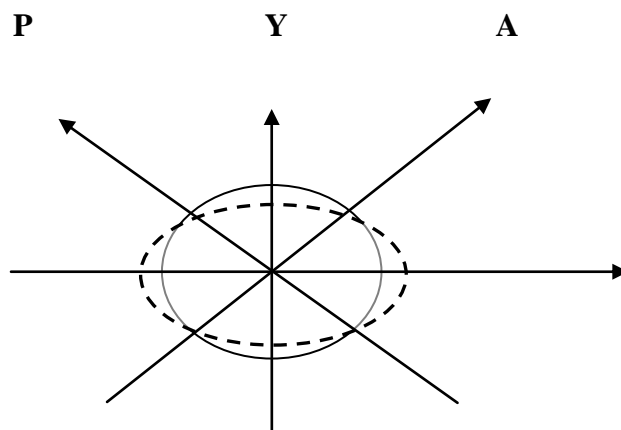


Рис. 2

Исследование оптического метода формирования пространственных спектров изображений и сигналов

1. Предварительные замечания.

Когерентно-оптические системы возникли и получили распространение вскоре после создания в начале 60-х годов источников когерентного излучения – лазеров, и в настоящее время применяются для решения различных задач обработки информации. По сравнению с цифровыми системами оптические системы обладают более высоким потенциальным быстродействием, меньшими габаритами и энергопотреблением.

Наибольшее применение к настоящему времени нашли самые простые однокаскадные оптические процессоры, в основе работы которых лежит свойство линзы выполнять преобразование Фурье. Суть его состоит в следующем. Если известно распределение амплитуды света $E(x, y)$ в передней фокальной плоскости P линзы L (рис.1), то распределение амплитуды света $E_1(x_1, y_1)$ в задней фокальной плоскости линзы P_1 может быть найдено как Фурье-образ распределения $E(x, y)$:

$$E_1(x_1, y_1) \propto \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda F} (x_1 x + y_1 y)\right] dx dy, \quad (1)$$

где x, y - прямоугольные координаты в плоскости P ; x_1, y_1 - координаты в плоскости P_1 ; F - фокусное расстояние линзы; λ - длина волны светового излучения. Необходимым условием выполнения соотношения (1) является отсутствие aberrаций в линзе L , которую называют интегрирующей, в пределах рабочей зоны, т.е. там, где поле $E(x, y) \neq 0$. Вид распределения $E(x, y)$ зависит от прозрачности транспаранта, помещенного в плоскость P , и освещения его когерентным светом.

Теоретические расчеты по формуле (1) можно проводить непосредственным вычислением, однако они упрощаются, если воспользоваться известными свойствами преобразования Фурье (фурье-преобразование от произведения, теорема свертки и др.). Кроме того, в случаях, когда $E(x, y)$ является функцией с разделяющимися переменными, двумерный интеграл (1) превращается в произведение двух одномерных, а выходной сигнал $E_1(x, y)$ - в произведение двух независимых распределений по ортогональным координатам.

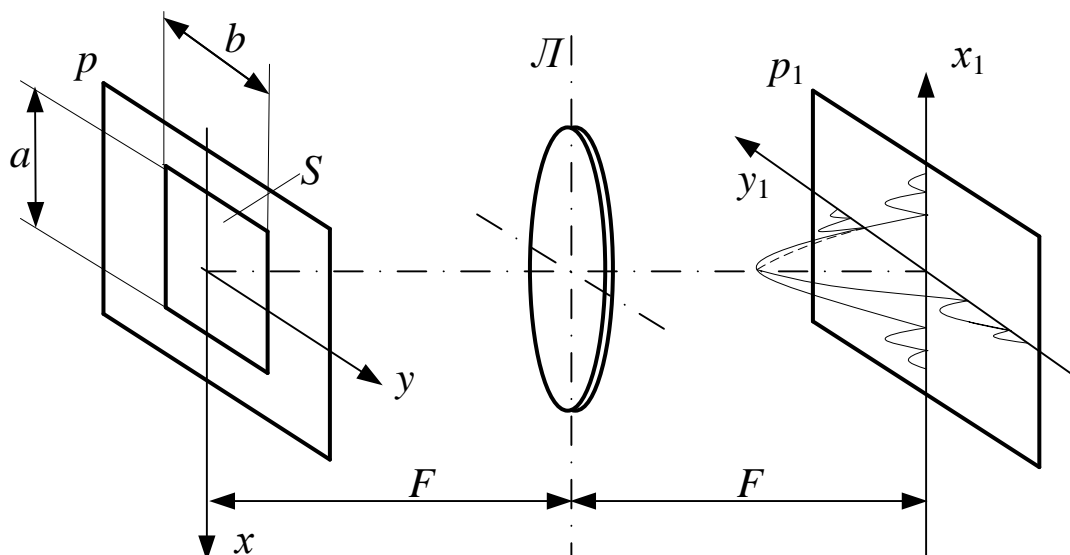


Рис.1. Оптическое преобразование Фурье

Например, если транспарант представляет собой непрозрачный экран с отверстием прямоугольной формы, а освещение транспаранта в пределах отверстия – равномерное, то распределение амплитуды света в фокальной плоскости P_1 будет описываться формулой

$$E_1(x_1, y_1) \propto \frac{\sin(\pi a x_1 / \lambda F)}{x_1} \cdot \frac{\sin(\pi b y_1 / \lambda F)}{y_1}, \quad (2)$$

где a, b - размеры отверстия по координатам x и y соответственно.

Если внутри входной апертуры по координате x прозрачность транспаранта представляет некоторый пространственный сигнал общего вида $s(x)$ (отличный от простого видеоимпульса, как в предыдущем случае), то вместо (2) на выходе получается выражение

$$E_1(x_1, y_1) \propto S(x_1 / \lambda F) \cdot \frac{\sin(\pi b y_1 / \lambda F)}{y_1}, \quad (3)$$

где $S(x_1 / \lambda F)$ - пространственный спектр входного сигнала $s(x)$. Такой подход используется в оптических анализаторах спектра одномерных (электрических) сигналов, которые для обработки преобразуются в пространственную копию и вводятся в оптическую систему с помощью пространственного модулятора света. Вторая координата оптической системы при этом для обработки не используется. Выходное распределение вдоль этой координаты не зависит от сигнала.

В частности, если транспарант выполнен в виде равномерной дифракционной решетки, ограниченной прямоугольной апертурой, то входная функция представляет собой сумму видеоимпульса и радиоимпульса. Видеоимпульс-подставка обеспечивает ввод двухполярного радиосигнала с помощью чисто поглощающего вещественного транспаранта. Именно такой транспарант (пространственный жидкокристаллический модулятор света с модуляцией по интенсивности, далее – ЖК ПМС) используется в лабораторной работе. Расчеты показывают, что распределение света в плоскости x_1, y_1 в данном случае состоит из трех пятен (порядков дифракции), расположенных эквидистантно вдоль направления, перпендикулярного штрихам. Один из порядков

(нулевой) формируется вблизи оптической оси (спектр видеоимпульса); а +1-ый и -1-ый порядки (спектр радиоимпульса) – на расстоянии d от нулевого, которое определяется формулой $d = F \frac{\lambda}{\Lambda}$, где Λ - шаг штрихов решетки. Если профиль штрихов решетки

отличается от синусоидального, имеются также и пятна более высокого порядка дифракции. Амплитуда света в пятнах определяется преобразованием Фурье от функции профиля штрихов решетки, а форма каждого пятна - преобразованием Фурье от апертуры, ограничивающей дифракционную решетку. Измеряя расстояние между соседними порядками дифракции, можно при известном фокусном расстоянии линзы и длине волны света, найти шаг решетки или ее пространственную частоту, т.е. количество штрихов на единицу длины.

Если вместо простого радиоимпульса на видеоимпульсе подставки в оптическую систему вводится более сложный сигнал, например, ЛЧМ сигнал или фазоманипулированный радиосигнал, широко используемые в радиолокации, то в области первых порядков дифракции будут наблюдаться симметричные положительные и отрицательные составляющие спектров этих сигналов. Спектр вещественного сигнала, как известно, симметричен относительно нуля частотной оси.

Если пространственная частота входного импульса линейно меняется по апертуре (ЛЧМ сигнал), то его пространственный спектр имеет вид, близкий к прямоугольной функции, с протяженностью от минимальной до максимальной частоты, которые присутствуют во входном сигнале.

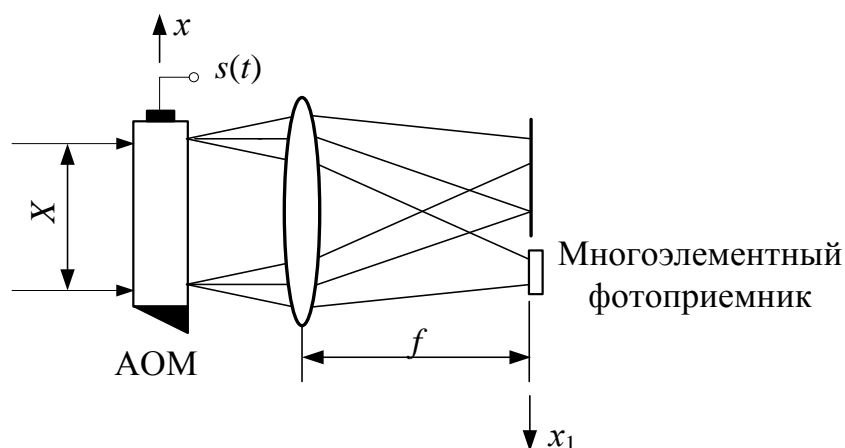


Рис. 2. Акустооптический анализатор спектра радиосигналов

Примером оптического анализатора спектра одномерных сигналов, работающего в реальном масштабе времени, является акустооптический анализатор спектра, рис.2. В этом устройстве ввод сигнала в оптическую систему осуществляется ультразвуковым модулятором, на вход которого подается электрический сигнал. Пространственная копия сигнала, вводимого таким модулятором, движутся во входной апертуре со скоростью ультразвука, но квадрат модуля выходного спектра остается при этом неподвижным, в соответствии с теоремой сдвига преобразования Фурье, и может быть легко зарегистрирован многоэлементным ПЗС-фотоприемником, требующим достаточно большого времени экспозиции.

Одним из применений фурье-процессора является исследование влияния аподизации сигнала на его фурье-спектр. Выбор функции аподизации актуален для апертурных антенн, диаграмма направленности которых и распределение токов по апертуре антенны

также связаны преобразованием Фурье. От функции аподизации зависит ширина диаграммы направленности антенны и уровень ее боковых лепестков.

2. Описание лабораторной установки.

Блок-схема лабораторной установки представлена на рис. 3. Установка включает в себя полупроводниковый лазер 1 с источником питания 2, поляризаторы 3, 5 и 10, нейтральный фильтр 4, коллиматор, состоящий из двух софокусных линз 6 и 7, ЖК ПМС 8, фурье-объектив 9, WEB-камера 11, компьютер 12, блок управления ЖК матрицей 13, монитор 14.

Система работает следующим образом. Свет полупроводникового лазера пропускается через ослабляющие поляризатор и нейтральный фильтр, затем проходит через поляризатор, ось которого совпадает с положением оси поляризации молекул ЖК на входе ПМС. Затем пучок расширяется с помощью телескопической системы линз и модулируется в ПМС по поляризации, после чего осуществляется преобразование Фурье входного пространственного сигнала с помощью интегрирующего объектива, в фокусе которого расположена WEB-камера (со снятым объективом). Перед камерой помещен поляризатор-анализатор, ось которого параллельна оси поляризатора. Это обеспечивает подавление немодулированной компоненты света, прошедшей через ЖК. Входные изображения вводятся в ПМС из памяти компьютера с использованием одного из блоков управления матрицами цветного видеопроектора. Выходные сигналы WEB-камеры вводятся в память компьютера для дальнейшей обработки и для вывода на монитор компьютера. Поляризация лазера и поляризаторы оптической системы настраиваются так, чтобы при подаче максимального сигнала на матрицу на выходе наблюдалась максимальная интенсивность света, а при нулевом сигнале управления интенсивность была минимальной.

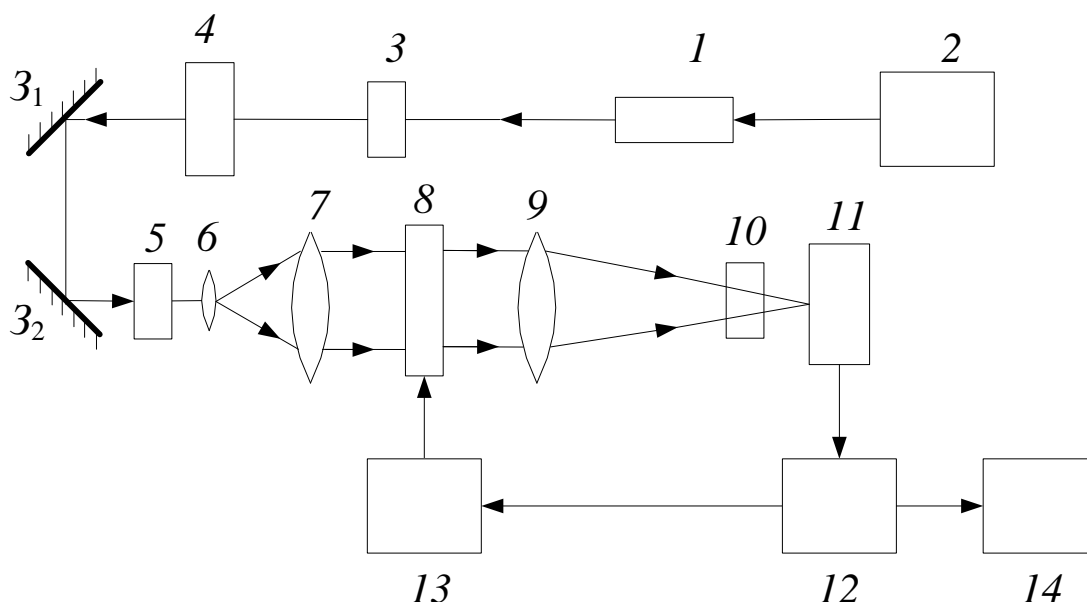


Рис.3. Схема фурье-процессора с жидкокристаллическим устройством ввода информации

Система может работать в двух режимах: в режиме наблюдения фурье-спектра и в режиме коррелятора совместного преобразования. Последний режим используется при выполнении лабораторной работы «Исследование оптического фурье-процессора, часть 2».

Для включения системы необходимо запустить программу «Лабораторная работа» на рабочем столе компьютера, при этом запустится основное окно программы, в котором необходимо выбрать устройство считывания выходных сигналов системы «USB Video Device» и нажать кнопку «Запуск» (в случае изменения устройства преподаватель укажет, какое надо выбрать). После этого на втором мониторе системы появляется второе окно программы, позволяющее выбрать входные сигналы системы.

Выбор пункта лабораторной работы осуществляется во втором окне программы в панели «Выбор пункта». После этого осуществляется выбор входного сигнала системы в панели «Выбор сигнала».

При необходимости настройки поляризаторов потребуется убрать сигнал со входа оптической системы, для этого во втором окне нажать кнопку «Убрать сигнал».

В данной лабораторной работе используется основной режим работы системы: наблюдение фурье-спектра. В этом режиме входные сигналы выбираются из списка, при этом они строятся компьютером согласно специальной программе и вводятся в оптическую систему после нажатия кнопки «Ввести сигнал». Имеется возможность изменения параметров сигналов вручную. Выходные двумерные сигналы процессора наблюдаются в основном окне программы. Для получения сечения выходного распределения по горизонтальной координате необходимо в панели «выбор строки сечения» указать номер строки сечения. Справа от панели выходного сигнала имеется контрольная линейка, метка которой указывает положение выбранной строки.

В памяти компьютера записаны следующие входные пространственные сигналы, используемые в лабораторной работе.

Сигналы пункта №1 представляют собой шесть прямоугольных апертур одинаковой высоты, ширина которых меняется. Наблюдая распределения света на выходе системы, соответствующие разным апертурам, можно исследовать зависимость ширины этих распределений от горизонтального размера апертур. (Зависимость спектра видеоимпульса от длительности сигнала).

Сигналы п.№ 2 представляют пары апертур, расстояние между которыми различно. В работе исследуется зависимость распределения света от этого расстояния.

Сигналы п.№ 3 позволяют исследовать влияние аподизации, т.е. распределения амплитуды света по апертуре, на распределение света в фокальной плоскости интегрирующего объектива. Аподизация задается распределением коэффициента пропускания света по апертуре в устройстве ввода.

Сигналы п.№ 4 представляет собой четыре дифракционные решетки с различной пространственной частотой (пространственные радиоимпульсы на подставке из постоянной составляющей). Измерение расстояния между нулевым и первыми порядками дифракции позволяет найти пространственные частоты этих сигналов (количество штрихов на 1 мм).

Сигналы п.№5 представляет собой пространственные ЛЧМ радиоимпульсы с одинаковой длительностью (длиной) и разной скоростью нарастания частоты, а следовательно, и разной шириной пространственного спектра. Эта ширина и база сигнала (произведение длительности сигнала на ширину его спектра) могут быть измерены с помощью фурье-процессора.

Сигнал п.№6 является пространственной копией фазоманипулированного сигнала с 13 элементным кодом Баркера. Спектр такого сигнала имеет характерный вид.

3. Программа работы.

Предварительная подготовка.

1. Изучить описание приборов, используемых в работе, руководство, рекомендованную литературу.
2. Выполнить расчеты дифракционных распределений для транспарантов №2 (по заданию преподавателя).

Работа в лаборатории.

Следующие ниже по порядку номера пунктов лабораторной работы следует указывать в окне «Выбор пункта» на мониторе компьютера.

1. Последовательно вводить в систему сигналы пункта №1. Получить сфокусированное изображение фурье-спектра на мониторе и картину центрального сечения этого распределения. Сохранить изображение сечения с экрана монитора. Измерить зависимость ширины распределения от ширины апертуры. Сравнить характер полученной зависимости с теоретически ожидаемой.
2. Последовательно вводить в систему сигналы п.№2. Сохранить изображения сечений фурье-спектров с экрана монитора. Сравнить с расчетными данными.
3. Последовательно вводить в систему сигналы п.№ 3. Сохранить изображения сечений фурье-спектров с экрана монитора. Измерить ширину основного и первых боковых лепестков и соотношение их уровней энергии. При необходимости для последнего измерения использовать калиброванные светофильтры. Оценить влияние аподизации.
4. Последовательно вводить в систему сигналы п.№ 4. Определить пространственную частоту сигналов (пространственная частота сигнала №1 равна 1,365 лин/мм).
5. Последовательно вводить в систему сигналы п.№ 5. Зарисовать картины сечений с экрана монитора. Определить ширину пространственного спектра и базу сигнала. Масштаб по частотной оси определяется в п.4. Протяженность сигнала определяется по величине части ЖК матрицы, занимаемой входным сигналом (на панели входного сигнала). Вся протяженность матрицы – 10,5 мм.
6. Ввести в систему сигнал №6. Зарегистрировать сечение спектра с экрана монитора. Определить ширину спектра и базу сигнала.

4. Содержание отчета.

1. Формулировка цели работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Распечатки распределений света.
4. Данные экспериментально полученных зависимостей и параметров, сравнение с расчетными данными.
5. Объяснение полученных зависимостей.
6. Выводы по работе.

5. Вопросы для самопроверки.

1. Принцип работы оптического фурье-процессора.
2. Принцип спектрального анализа одномерных сигналов в когерентном оптическом процессоре.
3. Возможность моделирования аподизации в оптическом фурье-процессоре.
4. Принцип работы ЖК ПМС с электронным управлением.

6. Рекомендованная литература.

1. Рогов С. А. Основы оптоинформатики. Оптические методы и устройства обработки информации [Текст] : учебное пособие / С. А. Рогов; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2017. - 62 с.
2. Рогов С.А. Основы оптической обработки сигналов: учебное пособие. СПб.: СПбГПУ, 2013. – 76с.
3. Ч. Кук, М. Бернфельд. Радиолокационные сигналы. М.: Советское радио. 1971.
4. Жидкокристаллический дисплей // ru.wikipedia.org. Википедия – свободная энциклопедия.

7. Указания для выполнения расчетов.

В ходе выполнения лабораторной работы требуется сравнивать экспериментально полученные распределения света в выходной плоскости оптической системы с расчетными данными. Исходной формулой для расчетов является формула (1). При расчете считаем, что освещение транспаранта синфазно и равномерно по амплитуде, т.е. $E(x, y) = const$, если транспарант представляет собой прозрачные отверстия на непрозрачном фоне. Интегрирование производится по всей площади прозрачных участков.

В случае отверстий прямоугольной формы искомое распределение амплитуды поля описывается формулой (2). При сравнении эксперимента с расчетом следует учитывать, что фотоприемник (WEB-камера) регистрирует не на амплитуду, а на интенсивность распределения света. Поэтому результаты расчета по формуле (2) следует возвести в квадрат. В экспериментах по п. 1 Задания меняется ширина отверстий a , а высота отверстий b остается постоянной. Соответственно, меняется размер световых распределений по горизонтали, который, как видно из формулы (2), обратно пропорционален величине a . При данных параметрах системы (фокусное расстояние линзы 250 мм, длина волны света $\lambda = 0.655$ мкм) и значении $a = 3,28$ мм (320 пикселей входной матрицы), размер светового пятна по уровню половины интенсивности составляет величину $\Delta = 0,0499$ мм.

По п.2 Задания исследуются распределения света на выходе оптической системы при использовании транспаранта с двумя одинаковыми отверстиями размером $a \times b$, расположенными вдоль оси x на расстоянии l . В результате интегрирования по площади обоих отверстий получаем следующее выражение для распределения амплитуды света в выходной плоскости

$$E_1(x_1, y_1) \propto \frac{\sin(\pi a x_1 / \lambda F)}{x_1} \cdot \frac{\sin(\pi b y_1 / \lambda F)}{y_1} \cdot \cos \frac{\pi l x_1}{\lambda F}. \quad (4)$$

Распределение интенсивности находится как квадрат правой части равенства (4). При изменении расстояния l между отверстиями, меняется вид распределения: количество экстремумов, ширина распределения. При численном сравнении экспериментальных данных с расчетом исходим из того, что экспериментально получаемое распределение для случая, когда отверстия находятся на расстоянии $l = a$ и сливаются в одно, совпадает с теоретическим. В этом случае формула (4) приводится к формуле (2), а распределение света вырождается в уже известное по п.1 Задания. При данных параметрах схемы ширина светового пятна для указанного случая составляет по уровню половинной мощности величину $\Delta = 0,399$ мм.

При измерениях пространственной частоты дифракционной решетки (см. п.4 задания) учитывается прямая пропорциональность пространственной частоты и

расстояния между дифракционными порядками в фокальной плоскости интегрирующей линзы. В ходе вычислений сравнивается расстояние между порядками для исследуемой решетки с расстоянием между порядками для решетки с минимальной пространственной частотой штрихов, равной 1,365 лин/мм.

8. Указания к выполнению работы.

1. Не следует без согласования с преподавателем трогать оптико-механические детали установки, чтобы не нарушить настройку оптического процессора.
2. Выбор интенсивности освещения транспарантов осуществляется с помощью одного или нескольких нейтральных светофильтров 4 (рис.3) и поляризатора 3, исходя из необходимого уровня сигнала на экране монитора.
3. Порядок включения аппаратуры: «пилот», компьютер, мониторы, блок питания лазера, блок управления матрицей (однократным нажатием кнопки).
4. Порядок выключения аппаратуры: выйти из программы «Лабораторная работа», выключить блок питания лазера, компьютер, мониторы, блок управления матрицей (два раза нажать кнопку), после остановки вентилятора этого блока выключить «пилот».
5. Порядок сохранения оптических распределений с панелей мониторов:
 - нажать кнопку «Выбор папки для сохранения....» соответствующей панели, выбрать или создать папку на съемном носителе;
 - ввести название сохраняемого распределения в текстовом окне (свое для каждой записи);
 - нажать кнопку «Сохранить....».

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО СИГНАЛАМ

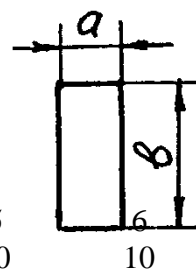
Сигналы пункта № 1.

Высота апертуры $b = 300$ пикс.

Ширина апертуры a (см. таблицу 1).

Табл. 1

№ сигнала	1	2	3	4	5
a пикс.	320	160	80	40	20



Сигналы пункта № 2

Высота апертур $b = 300$ пикс.

Ширина апертур $a = 20$ пикс.

Расстояние между центрами апертур (см. табл. 2)

Табл. 2

№ сигнала	1	2	3	4	5	6
l пикс.	20	40	80	160	320	640

