

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ и РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

**УСТРОЙСТВО ВВОДА ИНФОРМАЦИИ В ОПТИЧЕСКУЮ
СИСТЕМУ**

Методические указания к лабораторной работе для студентов
специальности 210401 - Физика и техника оптической связи

2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. СВЧиКР

_____ С.Н.Шарангович
«_____» _____ 2011.

Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

**УСТРОЙСТВО ВВОДА ИНФОРМАЦИИ В ОПТИЧЕСКУЮ
СИСТЕМУ**

Методические указания к лабораторной работе для студентов
специальности 210401 - Физика и техника оптической связи

Разработчик:

Доц. Каф. СВЧиКР

_____ Г.Г.Куш

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
2. ВВЕДЕНИЕ.....	4
3. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ	5
3.1. Устройство акустооптического модулятора	8
3.2. Дифракция света на ультразвуковых волнах	8
3.3. Основные характеристики и параметры АОМ	10
4. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	13
5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ	17
6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	19
7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	19
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	20
ПРИЛОЖЕНИЕ А	20

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление студентов с принципом действия и важнейшими характеристиками акустооптического модулятора света (АОМ), используемого в качестве устройства ввода в оптическую систему обработки информации.

2. ВВЕДЕНИЕ

Оптические методы обработки информации нашли в настоящее время широкое применение. Основная сущность этих методов заключается в том, что подлежащая обработке информация записывается на оптический транспарант в виде функции пропускания или изменения показателя преломления, а затем зондируется когерентным или некогерентным пучком света. Анализ светового изображения, полученного после транспаранта и преобразованного оптической системой, дает параметры исследуемого соотношения.

Основными достоинствами оптических систем является:

1) Большая информационная ёмкость.

Оптическое изображение содержит две или три независимых переменных, (координаты) в то время, как электрический сигнал имеет только одну независимую переменную – время. Поэтому информационная ёмкость оптического сигнала в виде некоторого изображения, передаваемого за время Δt значительно больше объёма информации, передаваемого за то же время электрическим сигналом.

Пример: информация о телевизионном кадре передаётся за 40 мсек. Если смена кадра производится за 1 мкс., то выигрыш в количестве передаваемой информации составит 4×10^4 .

2) Многоканальность.

Поскольку оптическое изображение зависит от нескольких переменных, то одна из них служит в качестве независимой переменной (информативной), а вторая – в качестве параметра, определяющего номер канала. В этом случае обработка информации ведётся параллельно по многим каналам.

Пример: если размер фотографического кадра составляет 36 мм, а ширина дорожки одного канала составляет 100 мкм, то число параллельных каналов составит 360.

3) Высокое быстродействие.

Быстродействие РЛС с оптической обработкой информации $-10^{12}-10^{14}$ Бт/с, с электронной – 10^6-10^8 . Оптические системы обладают высоким быстродействием, поскольку в принципе скорость обработки информации определяется скоростью света. Так операция двумерного преобразования Фурье, осуществляемая обычной сферической линзой, выполняется за

время распространения света в системе. При длине оптической системы 30 см время обработки = 1 нс.

На практике скорость обработки ограничивается скоростью ввода и вывода информации в оптическую систему. Тем не менее, оптические вычислительные системы оказываются более производительными по сравнению с лучшими ЭВМ в 10^3 - 10^4 раз.

С помощью оптических систем достаточно просто выполняются операции умножения, интегрирования, преобразования Фурье, Френеля, Гильберта, вычисление функций корреляции, свёртки и т.д. Оптические устройства делятся на когерентные и некогерентные. В некогерентных системах используются некогерентные источники света. В когерентных системах, на которых мы остановимся, используются когерентные источники – квантовые генераторы

3. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Структурная схема систем оптической обработки сигналов приведена на рис. 3.1.

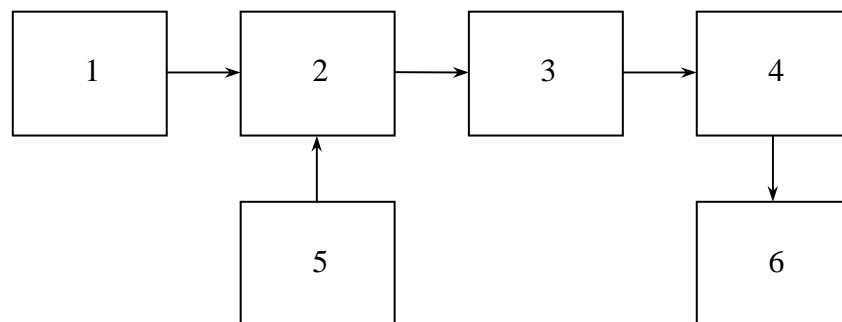


Рис. 3.1 – источник света; 2 – преобразователь входных сигналов в оптический аналог; 3 – оптическое вычислительное устройство; 4 – преобразователь выходного сигнала; 5 – источник информации; 6 – получатель информации.

Для выполнения заданного алгоритма обработки на аналоговое оптическое вычислительное устройство поступают оптические сигналы, в которых закодирована информация, выдаваемая источником информации (рис. 3.2). Преобразование электрических сигналов в оптические выполняется преобразователем входных сигналов в оптический аналог. После выполнения заданного алгоритма обработки аналоговое оптическое вычислительно устройство формирует на выходе системы распределения комплексных амплитуд и фаз света, в которых содержатся результаты обработки сигналов, поступающих от источника информации.

Преобразователь входных сигналов является устройством ввода информации (транспорант) в оптическую обрабатывающую систему, поэтому требования к нему во многом зависят от тех требований, которые предъявляются к системе обработки информации. Например, при

разработке оптической системы, предназначенной для обработки сигналов, поступающих на антенную решетку, требования к устройствам ввода будут определяться характеристиками РЛС: дальностью обнаружения, разрешающей способностью по направлению, полосой пропускания, динамическим диапазоном (ДД) обрабатываемых сигналов, быстродействием. Таким образом, устройство ввода должно быть многоканальным (50 – 100 канал), иметь высокую чувствительность, широкую полосу пропускания (десятки МГц), идентичные характеристики отдельных каналов, низкий уровень собственных шумов, большой ДД обрабатываемых сигналов (не менее 40дБ). В качестве устройств ввода применяются различные типы пространственно-временных модуляторов света, принцип работы которых основан на взаимодействии света с динамическими неоднородностями, реализуемыми различными физическими эффектами в твердых и жидких веществах. Для модуляции света используются электро и магнитооптические эффекты, явления фотоупругости и фоторефракции, рассеяния света и др. На основе явления фотоупругости созданы АОМ света, которые находят широкое применение в оптических системах.

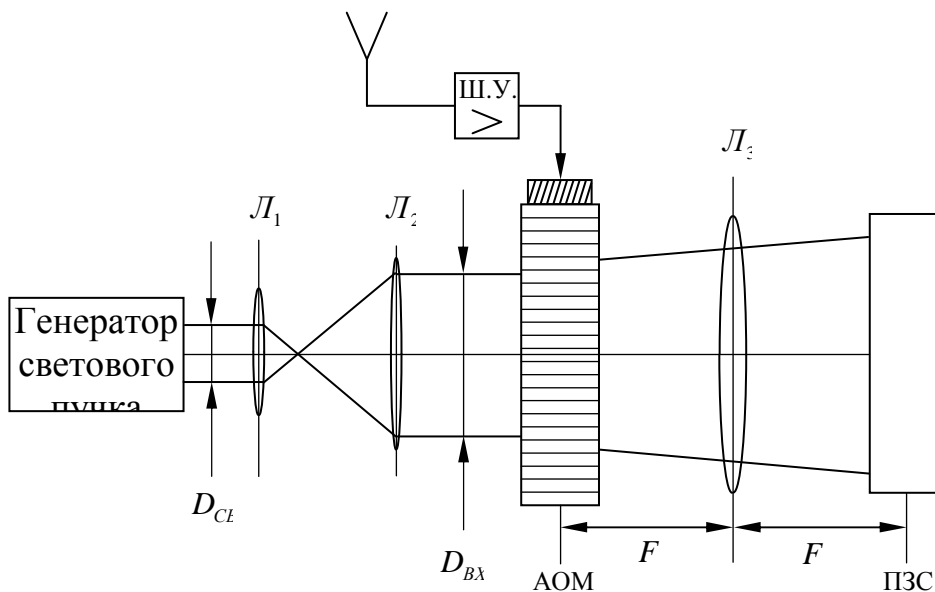
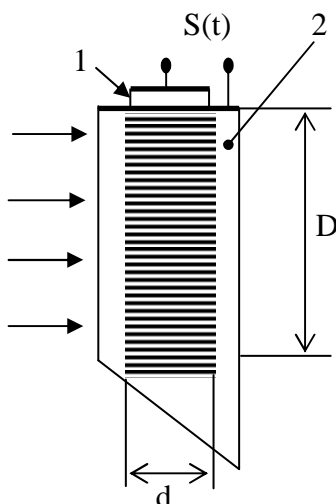


Рисунок 3.2. Функциональная схема АОАС



3.1. Устройство акустооптического модулятора

Для работы в реальном масштабе времени в качестве транспарантов используют различные быстродействующие пространственные модуляторы света (рис.3.3). Наибольшее распространение в настоящее время получили акустооптические модуляторы, принцип действия которых основан на явлении дифракции

света на ультразвуковых колебаниях. Модулятор света работает следующим образом. Входной сигнал $S(t)$, с помощью пьезоэлектрического преобразователя 1, возбуждает в прозрачном для света образце 2 (светозвукопровод), упругие колебания распространяющиеся в нём со скоростью v . В силу конечности v колебания, возникшие у поверхности, на которой расположен преобразователь, ($x = 0$) в момент времени t достигнут точки с координатой x внутри образца с некоторым запаздыванием, равным $t_0 = \frac{x}{v}$.

Поэтому величина колебаний в различных точках

Рисунок 3.3. Устройство АОМ

образца для фиксированного момента времени будет пропорциональна

$$S\left(t - \frac{x}{v}\right).$$

Таким образом, зависимость величины колебаний от координаты x будет повторять временную зависимость входного сигнала $S(t)$. Возникновение упругих колебаний в образце приводит к изменению его показателя преломления. Для изотропной среды:

$$n = n_0 + \Delta n = n_0 + \frac{n_0^3 P U}{2},$$

где P - эффективный фотоупругий коэффициент, U - величина деформации среды.

Так как величина деформации изменяется от точки к точке, то показатель преломления образца также будет промодулирован по закону изменения входного сигнала.

Поскольку скорость звуковой волны $v = (3 - 10)10^3$ м\с много меньше (на 5 пор.) скорости света в среде, то можно считать, что в каждый момент времени свет будет взаимодействовать с неподвижной средой, у которой коэффициент преломления меняется от точки к точке. Оптические лучи, проходящие через различные участки модулятора, испытывают различные фазовые сдвиги

$$\Psi(x) = \frac{2\pi}{\lambda} n(x)d \quad (3.1)$$

Таким образом, световая волна, выходящая из модулятора, представляет собой пространственно-модулированную по фазе волну, отображающую форму входного сигнала. Амплитудную характеристику или пропускание модулятора тогда можно записать следующим образом:

$$T_E(x) = P_D(x)e^{-i\Psi(x)}$$

3.2. Дифракция света на ультразвуковых волнах.

Дифракция света на ультразвуковых волнах (УЗВ) была впервые предсказана Бриллюэном и независимо от него Мандельштамом, а экспериментально обнаружена спустя несколько лет Дебаем и Сирсом, Люка и Бикаром.

Различают два вида (режима) дифракции, которые отличаются разными дифракционными спектрами: Рамана – Ната и Брэгга.

Дифракция Рамана – Ната наблюдается на низких частотах при небольшой длине взаимодействия (глубине акустического поля). При нормальном падении света, т.е. параллельно волновому фронту звуковой волны. Дифракционный спектр Рамана – Ната (Р – Н) представляет собой расположенные симметрично по обе стороны от прошедшего пучка равностоящие друг от друга дифракционные максимумы. При наклонном падении света интенсивность *max* уменьшается, но их угловые направления остаются неизменными (см. рис. 3.4).

Направления дифракционных максимумов можно найти из соотношения [1]:

$$\sin \Theta_m = m \cdot \lambda_o / \Lambda_o,$$

где $m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$ - номер дифракционного *max*;

λ_o – длина световой волны в веществе;

Λ_o – длина звуковой волны;

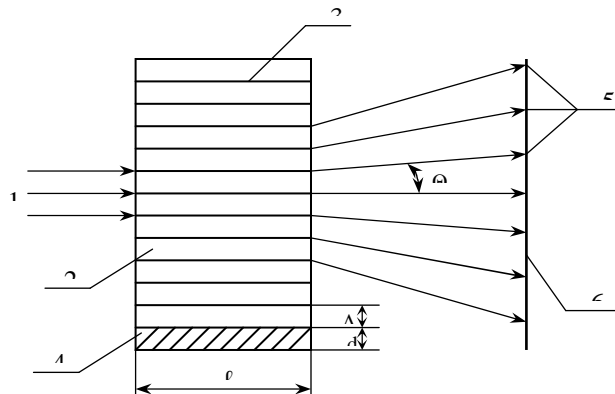


Рисунок 3.4. Ход лучей при дифракции Рамана – Ната

1 – падающий свет; 2 – звуковод; 3- звуковая волна; 4 – пьезопреобразователь; 5 – дифракционный *max* m – го порядка; 6 – экран; l – длина взаимодействия (апертура акустической волны); Λ_o – длина звуковой волны; d – толщина пьезопреобразователя; Θ_m – угол отклонения дифрагированного луча.

Интенсивность света в m – том дифракционном максимуме определяется по формуле:

$$J_m = J_o \cdot I_m^2 \cdot (\Delta\Phi),$$

где J_o – интенсивность света падающего луча;

I_m – функция Бесселя m – го порядка;

$\Delta\Phi$ – аргумент функции Бесселя.

Частота света в m – ом максимуме, сдвинута относительно частоты падающего света ω на величину, пропорциональную акустической частоте f_o , и равна $\omega + mf_o$.

О дифракции Брэгга говорят в том случае, когда дифракционный спектр состоит из 2 максимумов, соответствующих значениям $m = 0$; $m = 1$ (рис. 3.5). Дифракционные *max* – 1 и высших порядков отсутствуют.

Интенсивность первого максимума будет наибольшей, если свет падает под углом к волновому фронту акустической волны, удовлетворяющим условию Брэгга:

$$\sin\Theta_B = \lambda_0 / 2\Lambda_0 n,$$

где Θ_B – угол Брэгга; n – показатель преломления среды.

Дифракция Брэгга имеет место на высоких частотах при большой длине взаимодействия света с акустической волной.

Физическая интерпретация этих 2 – х различных типов дифракций состоит в следующем [2]: при $\lambda_0 = \text{const}$ на низких звуковых частотах (при малой длине взаимодействия ℓ) направление распространения падающего света внутри области взаимодействия остается прямолинейным и оптическая неоднородность среды, связанная с изменением показателя преломления n влияет только на фазу света, прошедшего через акустический столб. Для света роль акустической волны в этом случае сводится к созданию, движущейся со скоростью акустической волны, фазовой решетки с периодом, равным периоду звуковой волны. Такая ситуация соответствует дифракции Рамана – Ната.

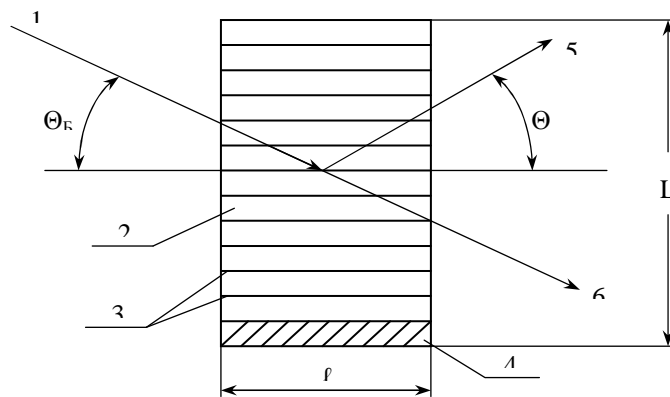


Рисунок 3.5. Ход лучей при дифракции Брэгга

1 – падающий свет; 2 – звукопровод; 3 – звуковая волна; 4 – пьезопреобразователь; 5 – дифрагированный свет; 6 – прошедший свет; L – толщина звукопровода (значение базы АОЯ).

При увеличении акустической частоты f_0 (либо длины взаимодействия ℓ) направление распространения падающего света нельзя считать прямолинейным, а возникшую фазовую структуру – только фазовой решеткой. Свет испытывает как фазовые, так и амплитудные возмущения и постепенно происходит переход от дифракции на фазовой решетке (дифракция Рамана - Ната) к рассеянию на объемной периодической структуре (дифракция Брэгга). В переходной области между режимами Рамана – Ната и Брэгга при падении света под углом Брэгга помимо первого максимума наблюдаются дифракционные максимумы высших порядков. Максимум интенсивности имеет брэгговский (первый) максимум. На ВЧ акустооптические взаимодействия приобретают целиком объемный характер, и происходит селективное отражение света под углом

Брэгга от движущейся периодической структуры, созданной ультразвуковой волной.

Таким образом, вид дифракции зависит от величины безразмерного параметра

$$\Theta = \frac{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot \lambda_o}{\Lambda_o^2}, \quad (3.2)$$

где ℓ – длина звукового столба.

При $\Theta \ll 1$ – имеет место дифракция Рамана – Ната.

При $\Theta \gg 1$ – дифракция Брэгга. Значение $\Theta \approx 1$ соответствует переходной области. Однако иногда [3] отмечается, что эти условия являются достаточно сильными уже при $\Theta \leq 0,3$ для дифракции Рамана – Ната, и при $\Theta \geq 4\pi$ для дифракции Брэгга (исключение составляют НЧ процессоры). Но иногда для АО устройства условие $\Theta \geq 4\pi$ не выполняется. Тем не менее, часто представляется возможным пренебречь интенсивностью высших дифракционных порядков по сравнению с интенсивностью первого и описывать характеристики этого прибора в предположении брэгговской дифракции.

3.3. Основные характеристики и параметры АОМ

3.3.1. Частотная характеристика АОМ

Под частотной характеристикой АОМ следует понимать зависимость интенсивности дифрагированного максимума (в относительных единицах) от частоты подаваемого на ячейку ВЧ сигнала.

Пусть $E(x)$ профиль амплитуды луча лазера в центре модулятора, x – направление распространения акустической волны. Оптический луч света можно представить в виде суперпозиции плоских волн:

$$E(x) = \int_{-\pi}^{\pi} A_f(\Theta) \exp\left(j \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{\lambda_o} \sin \Theta_x\right) d\Theta,$$

где A_f – угловой спектр;

Θ – угол, под которым распространяется плоская волна.

Допустим, что падающий пучок света имеет гауссово распределение. Тогда:

$$|E(x)|^2 = I_o \exp\left(-2 \cdot x^2 / W_o^2\right),$$

W_o – радиус перетяжки лазерного пучка на уровне $1/e^2$ от максимальной интенсивности.

Тогда интенсивность выходного оптического пучка, соответствующая частоте звукового сигнала, равна:

$$I(f) = \frac{I_o}{2} + I_o \left\{ J_1\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{2}\right) \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot \tau^2}{8}\right) \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot J_{2n+1}\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{2}\right) \cdot \exp\left[-(2 \cdot n \cdot t)^2 \frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot \tau^2}{8}\right] \cdot \cos[(2 \cdot n + 1)2 \cdot \pi \cdot f \cdot t] \right\}, \quad (3.3)$$

где $\tau = \frac{2 \cdot W_o}{v_{зв}}$ - время, за которое акустическая волна пересекает область перетяжки оптического пучка на уровне $\frac{1}{e^2}$;

f – частота модуляции;

α – индекс модуляции;

J_1 – функция Бесселя.

В выражении (3.3) J_1 – полезный модулированный сигнал. Линейность модуляции определяется функцией Бесселя, а модуляционная частотная характеристика – экспоненциальным множителем. Остальные члены определяют гармоники, генерируемые при акустическом взаимодействии.

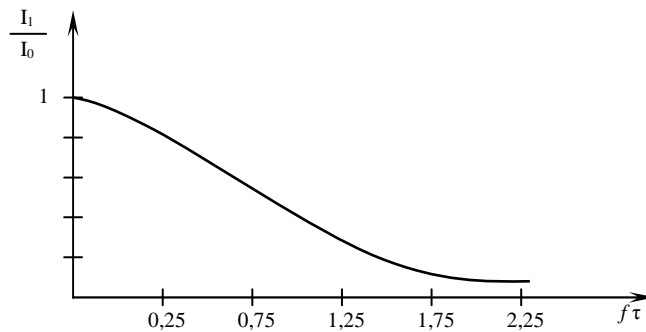


Рисунок 3.6. Частотная модуляционная характеристика при аналоговой акустооптической модуляции

I_1 – интенсивность дифракционного максимума на данной частоте; I_0 – интенсивность недифрагированного света.

Имея частотную характеристику, можем определить:

- 1) эффективность дифракции – η
- 2) спад частотной характеристики

$$\beta = 10 \lg \left[\exp \left(- \frac{\pi^2 \cdot f_o^2 \cdot \tau^2}{8} \right) \right] \quad (3.4)$$

- 3) ширину полосы модуляции

$$\delta f = \frac{c}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{\beta}}{\tau}, \quad (3.5)$$

где $c \approx 1,4$ – const

- 3) радиус перетяжки оптического пучка

$$W_o = \frac{c \cdot v_{зв} \cdot \sqrt{\beta}}{2 \cdot \pi \cdot \delta f}, \quad (3.6)$$

- 4) время, за которое акустическая волна пересекает световой пучок

$$\tau = \frac{D}{v_{зв}}, \quad (3/7)$$

где D – диаметр входного пучка

- 5) параметр, связывающий ширину полосы модуляции с частотой модуляции

$$R = \frac{1,4 \cdot \eta \cdot \sqrt{\beta \cdot v_{3B}}}{4 \cdot \delta f \cdot \lambda_0} \cdot \frac{1}{f_{3B} \cdot \ell}, \quad (3.8)$$

где η – эффективность дифракции

б) параметр взаимодействия акустической и световой волн

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_0}{\eta \cdot v_{3B}^2} \cdot \ell \cdot f_{3B}$$

3.3.2. Эффективность дифракции

Одним из основных параметров АОМ является количество света, дифрагирующего в первый дифракционный максимум. Характеристикой этого параметра является эффективность дифракции η , под которой обычно понимают отношение интенсивности дифрагированного света I_d к интенсивности падающего I_0 в невозмущенной среде. Тогда выражение для эффективности дифракции удобно представить в виде

$$\eta = \eta_m \frac{\sin^2 \left[\frac{\pi \lambda_{св}}{2v_{ак}^2 n} (f_0 + \Delta f) \Delta f \right]}{\left[\frac{\pi \lambda_{св}}{2v_{ак}^2} (f_0 + \Delta f) \Delta f \right]^2}, \quad (3.9)$$

где $\eta_m = \frac{1}{54} \left(\frac{\lambda_{св}}{\lambda_{ак}} \right)^2 M_2 P_a \frac{l}{h}$ – максимальная эффективность дифракции

(при выполнении условия Брэгга);

P_a – акустическая мощность в Вт, λ – в мкм;

h – высота преобразователя;

$M_2 = \frac{n_o^6 \cdot p^2}{c \cdot X_{ак}^3}$ – коэффициент добротности материала;

n_o – показатель преломления среды;

p – упругооптический коэффициент;

ρ – плотность материала;

$v_{ак}$ – скорость звука в среде

P_a – требуемая акустическая мощность исходя из заданных геометрических размеров и типа звукопровода

$$P_{ак} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda_0^2 \cdot h}{M_2 \cdot l} \quad (3.10)$$

Зная акустическую мощность можно определить электрическую входную мощность-с помощью следующего выражения

$$P_{ак} = k^2 P_{эл.вх} \quad (3.11)$$

где k – коэффициент электромеханической связи материала пьезослоя.

3.3.3. Быстродействие АОМ

Быстродействие устройства ввода определяется либо максимальным числом *бит*, вводимых в систему обработки информации за 1 с, либо

минимальным временем ввода аналогового сигнала в устройство обработки τ :

$$\tau = \frac{D}{v_{зв}}, \quad (3.12)$$

где D – апертура входного светового пучка;

$v_{зв}$ – скорость звука, с которой распространяется акустическая волна в среде. Эту величину можно определить как:

$$v_{зв} = \frac{n \cdot F \cdot \lambda_0 \cdot f_{зв}}{d_n}, \quad (3.13)$$

где λ_0 – длина волны светового пучка;

n – порядковый номер дифракционного максимума;

F – фокусное расстояние линзы;

$f_{зв}$ – частота акустической волны, на которой наблюдается дифракция;

d_n – расстояние между основным (не дифрагированным) и дифрагированным пучком света.

Быстродействие АОМ можно охарактеризовать и как время нарастания импульса t_r с 10% до 90% от максимального:

$$t_r = \tau / 1,5 \quad (3.14)$$

4. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

4.1. Рассчитать геометрические и электрические параметры АОМ

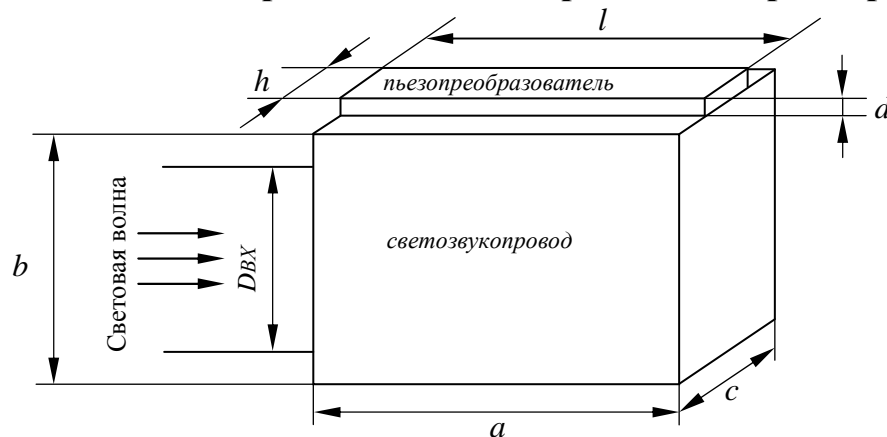


Рисунок.4.1 . Геометрия АОМ

-----Расчёт геометрических размеров пьезопреобразователя

Основной функцией, выполняемой пьезопреобразователем, является возбуждение ультразвуковой волны в материале звукопровода. При этом возникают вопросы эффективной трансформации электрической энергии в ультразвуковую и обратно. Электрического и акустического согласования преобразователей и влияния различных конструктивных элементов (электродов, клеев, промежуточных слоев, тыльных нагрузок), которое необходимо учитывать при разработке АОМ.

Для обеспечения колебаний заданной частоты и для нормальной работы АОМ, в целом, необходимо произвести выбор материала для изготовления пьезопреобразователя АОМ и рассчитать его геометрические размеры. Необходимые данные для расчета представлены в таблице 4.1.

ТАБЛИЦА № 4.1 .ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

Наименования параметра	Буквенное обозначения	Значения параметра				
Ширина светового пучка	D_{CB}	2 мм				
Средняя частота ультразвуковых колебаний	f_{ako}	13 МГц	28МГц			
Скорость звука в воде Скорость звука в ниобат-лития	v_{ako}	1497 м/с	6570 м/с			

4.1.1. Согласно методике расчета, изложенной в [1], длину волны ультразвука Λ_0 в звукопроводе на частоте ВЧ-сигнала f_{ako} можно определить по формуле

$$\Lambda_0 = \frac{v_{ak0}}{f_{ak0}} \quad (4.1.)$$

4.1.2. По условию дифракции Брэгга длина пути l , на котором происходит взаимодействие светового пучка с ультразвуком, должна выбираться исходя из неравенств [1].

$$l \gg \frac{\Lambda_0^2}{\lambda_{ce}} \quad , \quad l = \frac{\theta \cdot n \cdot v_{ak}}{\pi \lambda_{ce} \cdot f_B} \quad , \quad (4.2)$$

где θ – параметр, характеризующий режим дифракции; n – коэффициент преломления света в звукопроводе.

Длина пластинки пьезопреобразователя, независимо от того из какого материала она изготовлена, должна выбираться из условий (4.1.2).

4.1.3. Для определения длины волны ультразвука, распространяющегося в пьезопреобразователе, можно использовать формулу (4.1).

4.1.4. Толщину пластинки пьезопреобразователя определим по формуле

$$d = \frac{\Lambda_{np}}{2} \quad , \quad (4.3)$$

где Λ_{np} - скорость звука в материале, из которого изготовлен преобразователь.

4.1.5. Ширина пластинки пьезопреобразователя (ширина акустического взаимодействия), независимо от материала, из которого она изготовлена, для акустооптических модуляторов выбирается из соотношения

$$h = \frac{\sqrt{d \cdot \Lambda_{np}}}{2} \quad (4.4.)$$

Оптимальное значение h - определяется из условия, что из-за расходимости ультразвукового пучка на всей длине апертуры мощность уменьшается в 2 раза, т.е.

$$h = \sqrt{4v_{ак}^2 \tau / (f_{ак} - \Delta f_{ак})},$$

где $\tau = \frac{D}{v_{ак}}$ – время, за которое звук проходит апертуру света.

Δf -полуширина полосы рабочих час

Данные расчета размеров пьезопреобразователей сведем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2. Геометрические размеры пьезопреобразователей.

Материал пьезопреобразователя.	Длина пьезопреобразователя. l (мм)	Ширина пластинки пьезопреобразователя. h (мм)	Толщина пластинки пьезопреобразователя. d (мкм)
LiNbO ₃			
BaTiO ₃			
Кварц			

4.2. Расчет параметров акустооптических модуляторов

Произведем расчет геометрических размеров светозвукопровода АОМ и основных его параметров. Активная среда ячейки (светозвукопровод)- определяет эффективность АОМ, разрешающую добротность.

4.2.1. Ширина полоски возбуждителя h и база звукопровода b связаны между собой соотношением [2]

$$h = \sqrt{\Lambda_0 b} / 2$$

Отсюда можно найти базу звукопровода b .

4.2.2. Разрешающая способность ячейки оценивается числом элементов разрешения (линейной апертурой светового пучка), укладываемых в пределах угла отклонения.

- Естественная расходимость пучка

$$\Delta\phi = \frac{\lambda_0}{D}$$

- Общий диапазон углового сканирования

$$\theta = \lambda_0 \frac{\Delta f_{ак}}{v_{ак}}$$

- Число элементов разрешения в функции ширины полосы ультразвука $\Delta f_{ак}$ определяется

$$N = \frac{\theta}{\Delta\phi} = \frac{\theta \cdot D}{\lambda_0} = \Delta f_a \frac{D}{v_{ак}} = \Delta f_a \cdot \Delta T$$

Апертура входного оптического пучка D АОМ ориентировочно определяется из (16б), если задана разрешающая способность по частоте \mathcal{F} .

4.2.3. Требуемая минимальная разрешающая способность по частоте (при выбранном приемнике) определяется

$$\mathcal{F}_{\min} = v_{ак} / D \quad (4.5)$$

4.2.4.. Длина звукопровода ячейки l , необходимая для обеспечения расчетной полосы частот определяется из формул [2].

$$\Delta f_n = \frac{1,8n v_{ак}^2}{l \lambda_0 f_0} \quad \text{для изотропной дифракции.} \quad (4.6)$$

4.2.5. В режиме дифракции Брэгга, угол падения светового луча на поверхность ультразвуковых волн должен иметь величину, определяемую выражением [1].

$$\sin \theta_B = \frac{\lambda_0}{2\Lambda_0 n} \quad \text{для изотропной дифракции}$$

Интервал допустимых углов падения оптического луча относительно брэгговского $\Delta\theta_B$ определяется исходя из того, что точки, соответствующие уровню половинной мощности звуковой волны, при которых свет ослабляется в $4/\pi^4$ раз (на 4дБ), располагаются под углами:

$$\Delta\theta_B = \pm 0,45 \frac{\Lambda_0}{l}$$

5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

Экспериментальному исследованию предлагается жидкостный АОМ на дистиллированной воде.

5.1. Порядок выполнения работы

5.1.1. Внимательно ознакомиться с теорией, описанной в разделах 1, 2, 3.

5.1.2. Исследовать частотную характеристику акустооптического модулятора. Для этого собрать экспериментальную установку рис. 5.1.

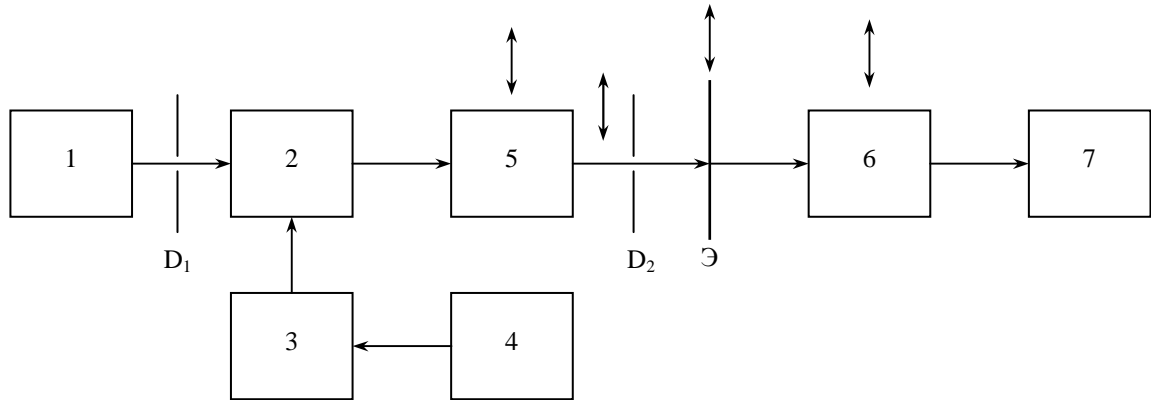


Рисунок 5.1. Структурная схема экспериментальной установки
 1 – He-Ne лазер; 2 – АОМ; 3 – усилитель; 4 – генератор высокой частоты; 5 – прерыватель (диск с отверстиями); 6 – фотодиод; 7 – приемник (осциллограф С – 75); D_1 – диафрагма, ограничивающая апертуру входного светового луча; D_2 – диафрагма для выделения дифрагированного максимума.

5.1.3. Настроить исследуемую ячейку на режим дифракции (Рамана – Ната, либо режим Брэгга). При этом:

- 1) включить лазер;
- 2) включить генератор ВЧ. Настроить его на соответствующую центральную частоту.

Примечание. Центральную частоту звукового генератора f_0 , для снятия частотной характеристики жидкостной АОЯ можно выбирать в пределах от $f_0 = 14$ МГц до 28 МГц (по выбору преподавателя).

3) перемещая столик, на котором расположен АОМ, перпендикулярно падающему световому лучу, получить дифрагированный луч. (Для визуального наблюдения дифракции, перед прерывателем поставить экран);

4) подавая дифрагированный луч через прерыватель на фотодиод, снять частотную характеристику исследуемого АОМ. Результаты эксперимента занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1. Результаты эксперимента

$f_{зв}$						
$\alpha_{дел} - \alpha_{ш} = \alpha_n$						

5) по результатам эксперимента построить график $I = F(f_{зв})$.

5.1.4. Используя полученные выше результаты, определить:

- 1) полосу частот модуляции Δf по уровню 3 дБ.

5.1.5. Определить скорость звука акустической волны в исследуемом АОМ на экспериментальной установке, структурная схема которой представлена на рис. 5.2.

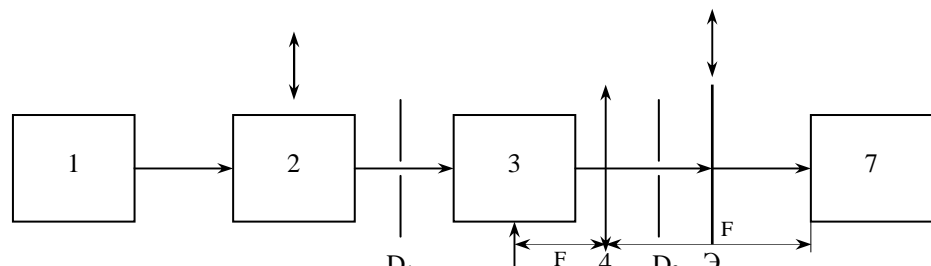


Рис. 5.2. Структурная схема

1 – лазер ЛГ; 2 – коллиматор; $D_{1,2}$ – диафрагмы; 3 – АОМ; 4 – линза; Э – экран; 5 – усилитель ВЧ (УЗ – 5); 6 – генератор ВЧ (Г – 102); 7 – микроскоп.

Порядок выполнения:

- 1) с помощью коллиматора получить параллельный световой пучок;
- 2) диафрагмой D_1 вырезать нужный размер апертуры (по заданию преподавателя);
- 3) на АОМ подать модулирующий сигнал на соответствующей частоте (по указанию преподавателя);
- 4) на экране, поставленном после АОМ пронаблюдать дифракцию;
- 5) поставить собирающую линзу;
- 6) в фокусе линзы поставить микроскоп и произвести измерение d_n (расстояние от основного луча, прошедшего прямо до дифрагированного, $n = 1, 2, 3, \dots$ - порядок дифракционного максимума);
- 7) измерения по п. 5.1.5. проделать на 8 – 10 частотах;
- 8) определить скорость звука по формуле (3.13);
- 9) определить быстродействие исследуемого АОМ по формуле (3.14);
- 10) определить разрешающую способность исследуемого АОМ.
- 11) эффективность дифракции исследуемой ячейки η (3.9);
- 12) Расчетные данные внести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2. Расчетные данные

Входная мощность – $P_{Эл.вх.}$,		Эффективно сть дифракции η .	
Число разрешимых элементов N		Акустическую мощность $P_{ак.}$	
Разрешающая способность \mathcal{R}		ПОЛОСА МОДУЛЯЦИ	

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет должны входить:

- 6.1. Краткое описание работы АОМ в соответствующем режиме (Брэгга, Рамана – Ната).
- 6.2. Структурные схемы измерений, по которым выполнялись эксперименты.
- 6.3. Описание порядка выполнения работы.
- 6.4. Результаты измерений по всем пунктам, предусмотренным программой работ в форме таблиц, графиков и необходимых числовых расчетов.
- 6.5. Статистическая обработка результата измерений скорости звука в исследуемом АОМ.
- 6.6. Обсуждение полученных экспериментальных результатов.
- 6.7. Выводы по проделанной работе.
- 6.8. Список учебников, учебных пособий и другой литературы, использованной студентом при подготовке к работе в процессе ее оформления.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Какая цель преследуется в данной работе?
- 7.2. Поясните режим дифракции Брэгга.
- 7.3. Чем отличается Брэгговский режим дифракции от режима Рамана – Ната?
- 7.4. Какую роль выполняет устройство ввода?
- 7.5. Какие параметры являются основными в устройствах ввода и от чего они зависят?
- 7.6. Как снять частотную характеристику АОМ?
- 7.7. От чего зависит быстродействие АОМ?
- 7.8. Что такое разрешающая способность АОМ и как ее определить?
- 7.9. От чего зависит полоса модуляции в АОМ? Как ее можно определить?
- 7.10. Как измерить скорость звука в среде?
- 7.11. Каким образом экспериментально можно определить интенсивность дифрагированного луча?
- 7.12. Как измерить расстояние между дифракционными максимумами?
- 7.13. Основные достоинства оптических методов обработки информации.
- 7.14. На чем основан принцип действия АОМ ?

7.15. Из каких соотношений можно найти направления дифракционных максимумов при дифракции Рамана-Ната ?

7.16. На какую величину сдвинута частота света в m -ом максимуме относительно частоты ω падающего света при дифракции Рамана-Ната?

7.17. При каком режиме дифракции направление распространения падающего света остается прямолинейным и на что, при этом, влияет оптическая неоднородность среды?

7.18. Используя выражение, определяющее безразмерную величину

$$\theta = \frac{2\pi L \lambda_0}{\lambda_0^2}, \text{ укажите вид дифракции.}$$

8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ребрин Ю. К. Управление оптическим лучом. – М.: Советское радио, 1977. – 366 с.
2. Магдич Л. Н., Молчанов Л. Н. Акустооптические устройства и их применения. – М.: Советское радио, 1978. – 112 с.
3. Кулаков С. В. Акустооптические методы и техника обработки информации. Межвузовский сборник. – Ленинград: Ленинградский электротехнический институт, 1980. – 145 с.
4. Зюбрик А. И., Бурак Я. В., Савицкий В. К. Акустоэлектроника. – Львов: Изд-во Львов. гос. ун-та, 1980. – 100 с.
5. Ушаков В.Н и др. Оптические устройства в радиотехнике: Учеб. пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2005. -240 с. **(70 экз.) - базовый учебник**
6. Наумов К.П., Ушаков В.Н. Акустооптические сигнальные процессоры: Учеб. пособие для вузов. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002. -80 с. **(20).**

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АОМ НА ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЕ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА.

$\lambda_0 = 0,63$ мкм - длина волны He-Ne лазера

$f_0 =$ МГц – резонансная частота акустической волны, подаваемой на ячейку (по заданию преподавателя).

$n_0 = 1,33$ – показатель преломления среды (вода)

$v_{зв} = 1500$ м/с – скорость, с которой акустическая волна распространяется в воде (справочные данные)

$F = 1000$ мм – фокусное расстояние линзы

$M_2 = 160 \cdot 10^{-15}$ с³/кг – коэффициент добротности материала (воды)

$h =$ – высота преобразователя (ширина полоска, к которому подводится сигнал).

$l =$ м - длина взаимодействия акустической и оптической волн в воде

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность материала

$P = 0,312$ – упругооптический коэффициент

