

Лабораторная работа № 1

Исследование волоконно-оптического датчика с колеблющимся зеркалом

1. Цель работы.

Целью работы является исследование волоконно-оптического датчика с колеблющимся зеркалом и измерение его характеристик.

2. Задание на лабораторную работу.

В процессе выполнения лабораторной работы производится:

- Знакомство с основными принципами работы амплитудных ВОД;
- изучение лабораторного оборудования;
- изучение конструкции макета волоконно-оптического датчика с колеблющимся зеркалом;
- измерение амплитудных характеристик исследуемого макета (зависимость выходного сигнала датчика от амплитуды колебаний зеркала);
- экспериментальное определение чувствительности датчика с колеблющимся зеркалом и расчет чувствительности

3. Описание лабораторной установки.

Схема лабораторной установки для исследования принципов работы ВОД с колеблющимся зеркалом приведена на рис. 1.

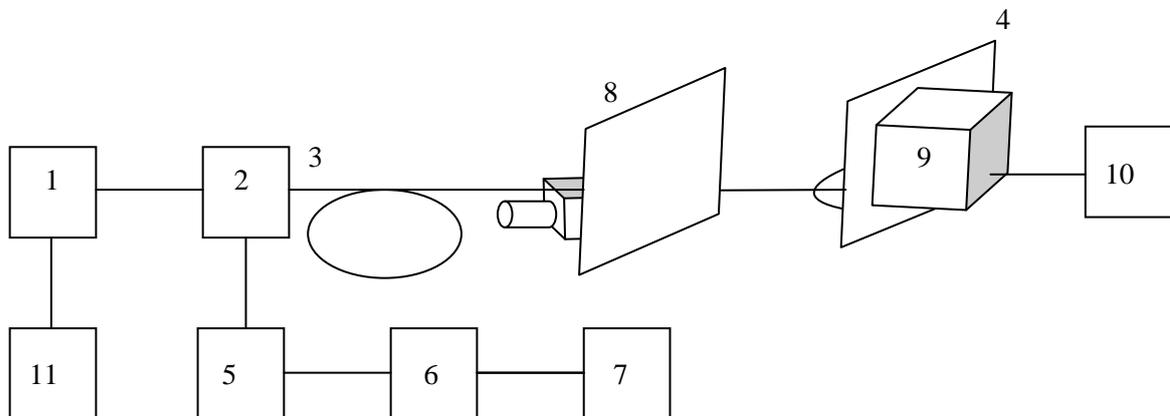


Рис.1

Излучение светоизлучающего диода (СИД) (1) вводится в одно из плеч направленного волоконного разветвителя (2), излучается из волоконного световода (3) и отражается от колеблющегося зеркала (4). Часть отраженного от зеркала излучения возвращается в тот же волоконный световод (3), и через второе плечо волоконно-оптического разветвителя поступает на фотоприемник (5). Далее сигнал подается на селективный усилитель (6), после чего наблюдается и измеряется при помощи осциллографа (7).

В рассмотренном макете датчика выходной торец волоконного световода (3) закреплен в подвижке (8) с микрометрическим шагом, что позволяет менять

расстояние от выходного торца до поверхности зеркала (Z). Цена одного деления шкалы – 10 мкм.

Отражающее зеркало закреплено на пьезокорректоре (9), амплитуда колебаний которого пропорциональна подаваемому на него с генератора (10) напряжению. Напряжение определяется по шкале вольтметра генератора. Амплитуда колебаний зеркала при приложении напряжения в 1В составляет 1мкм ($\partial Z / \partial U$). Колебания зеркала приводят к модуляции отраженного излучения, вводимого в световод (3).

4.Методические указания к выполнению работы.

4.1.Изучить теоретические сведения по данной работе, изложенные в [1, стр.86-89]. При изучении принципа действия ВОД с колеблющимся зеркалом следует помнить, что это устройство представляет собой амплитудный датчик отражательного типа. При рассмотрении можно допустить, что выходящие из волоконного световода излучение равномерно распределено в конусе с углом при вершине $2\theta_a$, где

$$\sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = NA \approx \text{tg } \theta_a \quad (1)$$

Отраженный от зеркала световой поток частично возвращается в волоконный световод, причем отношение величины оптической мощности, возвращаемой в световод, к мощности, излучаемой из него, равно отношению площади сердцевины πa^2 к площади отраженного светового потока в плоскости сердцевины $\pi (a + 2 Z \text{tg } \theta_a)^2$. Это отношение представляет собой коэффициент отражения чувствительного элемента датчика по мощности и равно, с учетом формулы (1), коэффициенту пропускания чувствительного элемента.

$$R_s(Z_0) = \frac{a^2}{[a + 2Z_0(NA)]^2} \quad (2)$$

Чувствительность датчика с колеблющимся зеркалом определяется как

$$S = \frac{dR_s(Z_0)}{d(Z)} \left(\frac{\partial Z}{\partial U} \right),$$

$$\frac{dR_s(Z_0)}{dx} = \frac{4NA \cdot a^2}{(a + 2Z_0NA)^3} \quad (3)$$

$$NA=0,2 \quad a=25\text{mkm}$$

Т.о. выходной сигнал датчика

$$U_{\text{сигн.}} = K S_{\phi} R_n P T \frac{4NA \cdot a^2}{(a + 2Z_0 \cdot NA)^3} \left(\frac{\partial Z}{\partial U} \right) \cdot U,$$

где S_{ϕ} - ампер-ваттная чувствительность фотоприемника;

P - выходная оптическая мощность;

$R_n \sqrt{\quad}$ -сопротивление нагрузки фотоприемника;

T - коэффициент передачи усиления тракта;

U - амплитуда напряжения, подаваемого на пьезокорректор.

4.2.Включить генератор (7), селективный усилитель (9), осциллограф (10), блок питания СИД (11). **Ток через СИД не должен превышать 100мА.** Установить выходной торец волоконного световода на расстояние $Z_0 = 50\text{мкм}$ от отражающего зеркала. Начальное положение отмечено риску на шкале подвижки. Подавая напряжение на пьезокорректор от 0 до 25В снять зависимость выходного сигнала от амплитуды колебаний зеркала $U_{\text{сигн.}} = f_{(z)} Z_0 = 50\text{мкм}$.

$$Z = \left(\frac{\partial Z}{\partial U} \right) \cdot U, \quad \frac{\partial Z}{\partial U} = 1\text{mkm/V} \quad (5)$$

Повторить измерения для нескольких расстояний от выходного торца до зеркала (Z_0),

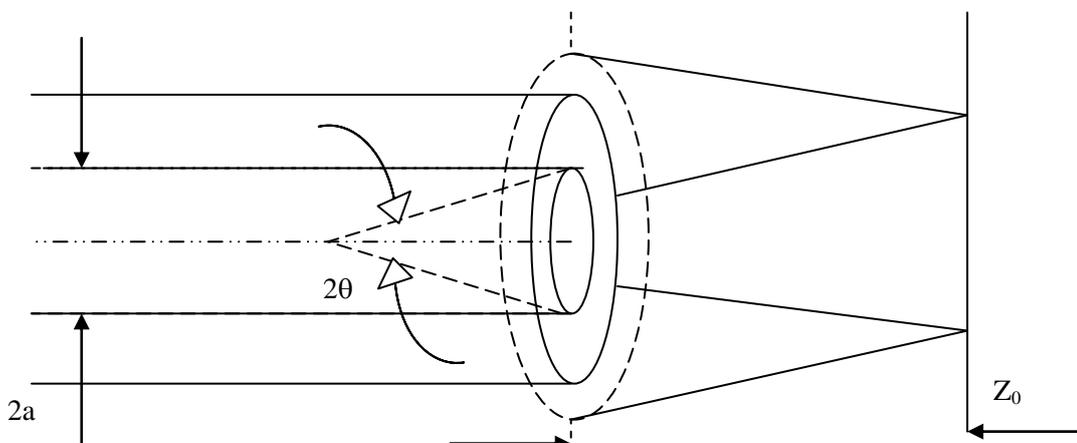


Рис.2

отличающихся друг от друга на 50мкм. Построить графики зависимостей $U_{\text{сигн.}} = f(Z)$ для различных (Z_0).

4.3. Из графиков определить чувствительность ВОД с колеблющимся зеркалом при различных расстояниях до отражающего зеркала (Z_0).

По формулам (3) и (4) рассчитать нормированную зависимость датчика от расстояния

$$\text{до зеркала } f(Z_0) = \frac{U(Z_0)}{U_c(Z_{0\min})}$$

Сравнить с экспериментальной. Построить график.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему лабораторной установки.
2. Результаты проведенных измерений и расчетов.
3. Выводы по лабораторной работе и анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы.

1. Назовите принципы построения амплитудных ВОД.
2. Чем определяется чувствительность датчика с колеблющимся зеркалом?
3. Назовите область применения датчика с колеблющимся зеркалом.

Литература.

1. Бутусов М.М. и др., - Волоконная оптика и приборостроение- Л., Машиностроение, 1987.

Лабораторная работа № 2

Исследование волоконно-оптического гироскопа

1. Цель работы.

Целью работы является исследование принципа действия волоконно-оптического гироскопа.

2.Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы следует ознакомиться с эффектом Саньяка, изучить принцип действия кольцевого интерферометра [1,2].

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

В процессе выполнения лабораторной работы производится:

- изучение принципа измерения скорости вращения с помощью кольцевого интерферометра Саньяка;
- изучение состава лабораторного оборудования;
- экспериментальное исследование рабочей характеристики ВОГ;
- определение чувствительности ВОГ;
- теоретический расчет масштабного коэффициента и построение теоретической зависимости выходного сигнала ВОГ от скорости вращения.

3.Описание лабораторной установки.

Лабораторный макет установки для исследования ВОГ предназначен для экспериментальных исследований датчика вращения: определения его пороговой чувствительности, рабочей характеристики (зависимость выходного сигнала от скорости вращения).

Схема лабораторной установки для исследования ВОГ представлена на рис.1.

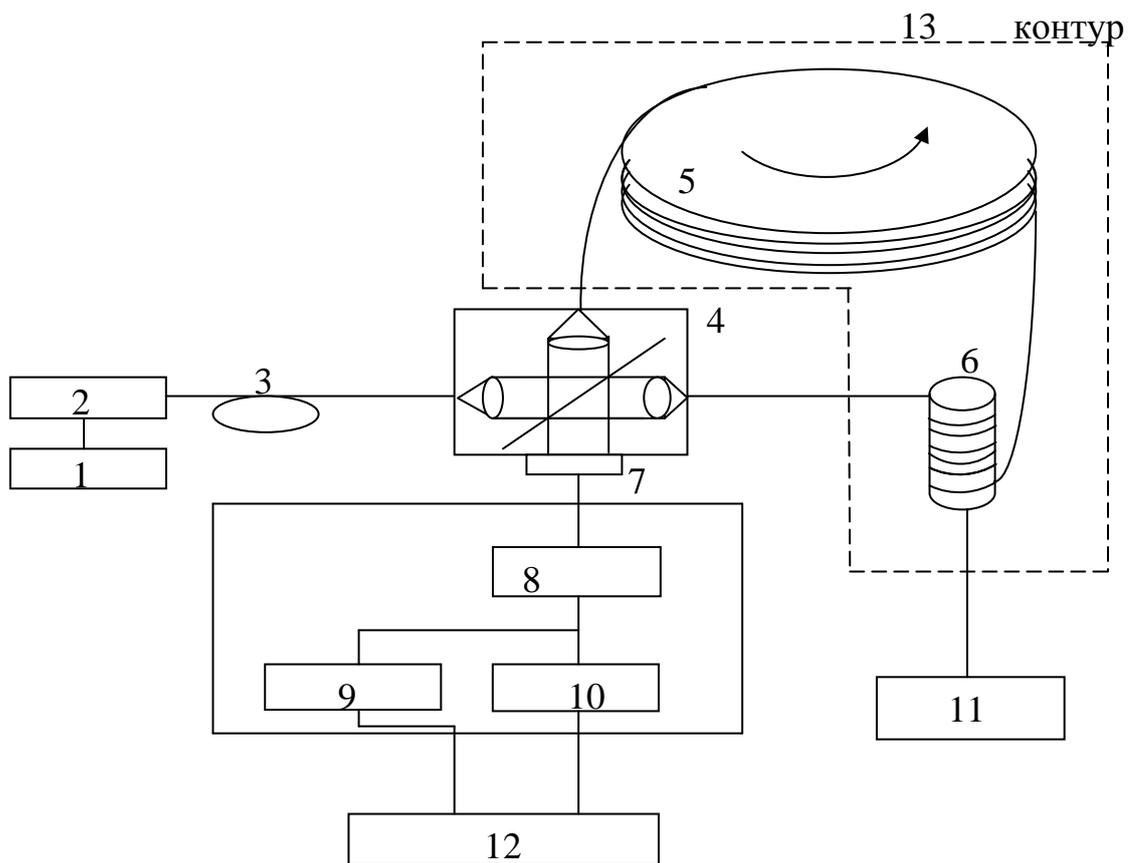


Рис. 1

В качестве источника излучения используется полупроводниковый суперлюминесцентный излучатель ИЛПН-301-1, работающий в непрерывном режиме на длине волны $\lambda=0,85\text{мкм}$. Свет от источника через стандартный разъемный соединитель вводится в подводящий световод (3), по которому поступает в

направленный ответвитель (4). Направленный ответвитель, собранный на микрооптических шариковых линзах, делит свет на два идентичных пучка, которые возбуждают волоконный контур (5) с противоположных сторон. Распространяясь по контуру во встречных направлениях, излучение смешивается в том же делителе (4) и интерференционная картина поступает на фотодиод (7) (ФД-155). Электрический сигнал с фотодиода усиливается на предварительном усилителе (8), а узкополосные, активные селективные фильтры (9) и (10) выделяют сигналы двух частот: 25 и 50 кГц. Конструктивно предварительный усилитель (8) и полосовые фильтры (9) и (10) расположены в одном экранированном корпусе и питаются от источника постоянного напряжения (12). Модуляция разности фаз встречных волн осуществляется с помощью пьезокерамической катушки (6) с намотанным на нее волокном, расположенной вблизи одного из концов волоконного контура (5). На катушку падает электрическое напряжение от генератора (11) частотой 25 кГц (резонансная частота пьезокерамической катушки (6)).

Элементы схемы, обведенные контурной линией, расположены на вращающейся платформе (13). На платформе имеется возможность установить несколько скоростей вращения, как по часовой, так и против часовой стрелки.

Сигналы с датчика, после фильтров (9) и (10) (первая и вторая гармоники модуляции) наблюдаются на двухканальном осциллографе (12). С помощью осциллографа производится измерение сигналов ВОГ при различных скоростях вращения платформы.

4. Методические указания к выполнению работы.

4.1. Изучить теоретические сведения по данной работе, изложенные в (1,2).

В лабораторной работе используется волоконно-оптический гироскоп на многомодовом волокне с гармонической фазовой модуляцией. Принцип действия ВОГ основан на эффекте Саньяка. Он заключается в том, что вращение кольцевого интерферометра вокруг оси, перпендикулярной его плоскости, вызывает появление разности фаз световых волн, распространяющихся по замкнутому контуру во встречных направлениях.

Коэффициент пропорциональности между фазовым сдвигом Саньяка Φ_r и угловой скоростью вращения $^\circ\theta$ называется масштабным коэффициентом:

$$^\circ\theta = \frac{\lambda C}{8\pi A} \cdot \Phi_r \rightarrow F = \frac{8\pi A}{\lambda C} \theta \quad (1)$$

где C – скорость света в воздухе;

A – площадь, охватываемая оптическим контуром интерферометра.

При намотке световода на цилиндрическую катушку $A = \pi R^2 N$,

Где N - число витков;

R - радиус катушки.

Фазовый модулятор (6) расположен не симметрично относительно входа-выхода интерферометра, поэтому происходит модуляция сдвига фазы между встречными волнами, при этом ток на выходе фотодетектора меняется по закону:

$$I(t) = k \{ 1 + \cos(\Phi_m \sin \phi t + \Phi_r) \} \quad (2)$$

где k - коэффициент пропорциональности;

Φ_m – амплитуда фазовой модуляции;

ϕ - частота фазовой модуляции.

Полосовые фильтры выделяют сигнал первой и второй гармоник модуляции:

$$U_1 = k_1 I_1(\Phi_m 2 \sin \phi \tau / 2) \sin \Phi_r \quad (3)$$

$$U_2 = k_2 I_2(\Phi_m 2 \sin \phi \tau / 2) \cos \Phi_r \quad (4)$$

где $K_{1,2}$ – коэффициент пропорциональности:

τ - время обхода световой волной оптического контура.

Заметим, что при отсутствии вращения ($\Phi_r = 0$) сигнал второй гармоники максимален (со $\Phi_r = 1$), а сигнал первой гармоники равен нулю. Причем, с увеличением скорости вращения, сигнал первой гармоники возрастает, а второй – уменьшается.

4.2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки для исследования ВОГ.

4.3. Снять зависимость амплитуды первой гармоники сигнала ВОГ от скорости вращения. Для этого:

-включить источник питания полупроводникового излучателя (2) электронной схемы обработки сигнала (8,9,10), а так же включить осциллограф и генератор;

-Настроить ручкой регулировки амплитуду выходного напряжения генератора сигнал второй гармоники частотой 25 кГц на первый максимум. Для этого поворачивают ручку до упора влево, а затем, плавно вращая по часовой стрелке, добиваются максимальной амплитуды сигнала второй гармоники на экране осциллографа (нижний луч). Используя сетку на экране осциллографа произвести отсчет ее амплитуды;

-установить регулятор скорости вращения платформы в одно из крайних положений и включить платформу. Платформа начинает вращаться через 5-6 секунд после включения, причем автоматически меняя направление вращения в угловом диапазоне ВО;

-используя сетку на экране осциллографа произвести отсчет величины амплитуды первой гармоники сигнала (верхний луч);

-произвести измерения по предыдущему пункту при другом крайнем положении регулятора скорости вращения платформы. Угловую скорость вращения определяют по времени прохождения платформой сектора поворота $=\text{ВО}^\circ$.

4.4. Построить график зависимости амплитуды первой гармоники сигнала ВОГ от скорости вращения $^\circ\theta$.

4.5. Построить теоретическую зависимость величины сигнала первой гармоники сигнала ВОГ от скорости вращения. Для этого необходимо:

-рассчитать масштабный коэффициент по формуле (1), учитывая, что $R = 0,15\text{м}$, длина волоконного контура $L = 200\text{м}$, $\lambda = 0,85\text{мкм}$;

-определить коэффициент пропорциональности K_2 из формулы (4) учитывая, что $K_1 = 2,8K_2$ (объясняется нелинейность амплитудной характеристики предварительного усилителя), а также, зная значение первого максимума функции Бесселя первого порядка $I_{1\text{max}}(\Phi_m 2 \sin \phi\tau/2) = 0,581$ и функции Бесселя второго порядка $I_{2\text{max}}(\Phi_m 2 \sin \phi\tau/2) = 0,486$;

-используя формулу (3) построить теоретическую кривую зависимость $U_1 = f(^\circ\theta)$

4.4. На основании построенных теоретических и экспериментальных графиков определить чувствительность ВОГ.

5. Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему лабораторной установки.
2. Результаты проведенных измерений.
3. Результаты расчетов по формулам (1), (4), (3).
4. График экспериментальной и теоретической зависимости $U_1 = f(^\circ\theta)$.
5. Расчет чувствительности ВОГ.
6. Выводы по работе и анализ полученных результатов.

6. Контрольные вопросы.

1. В чем заключается эффект Саньяка?
2. Пояснить принцип работы кольцевого интерферометра.
3. Как осуществляется не взаимная фазовая модуляция в кольцевом интерферометре?
4. Назовите основные способы измерения угловой скорости вращения.

Литература.

1. Бутусов М.М., Галкин С.Л., Орбинский С.П., Пал Б.П. – Волоконная оптика и приборостроение – Л., Машиностроение, 1987.
2. Шереметьев А.Г. – Волоконно-оптический гироскоп – М., Радио и связь, 1987.

Лабораторная работа №3

Исследование принципов работы амплитудного волоконно-оптического датчика шторочного типа.

1.Цель работы.

Исследование принципов работы амплитудного волоконно-оптического датчика (ВОД) шторочного типа и измерение его основных характеристик.

2.Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы должны быть изучены основные принципы построения амплитудных волоконно-оптических датчиков шторочного типа [1,стр.81-92].

В процессе выполнения работы производится:

- знакомство с основными принципами построения амплитудных волоконно-оптических датчиков шторочного типа;
- изучение состава лабораторного оборудования;
- экспериментальное определение чувствительности макета амплитудного ВОД шторочного типа;
- экспериментальное определение зависимости информационного сигнала макета амплитудного ВОД шторочного типа от положения шторки между волокнами и расстояния между торцами волокон;
- расчет зависимости информационного сигнала макета амплитудного ВОД шторочного типа от положения шторки между волокнами и расстояния между торцами волокон. Схема лабораторной установки дана на рис 1.

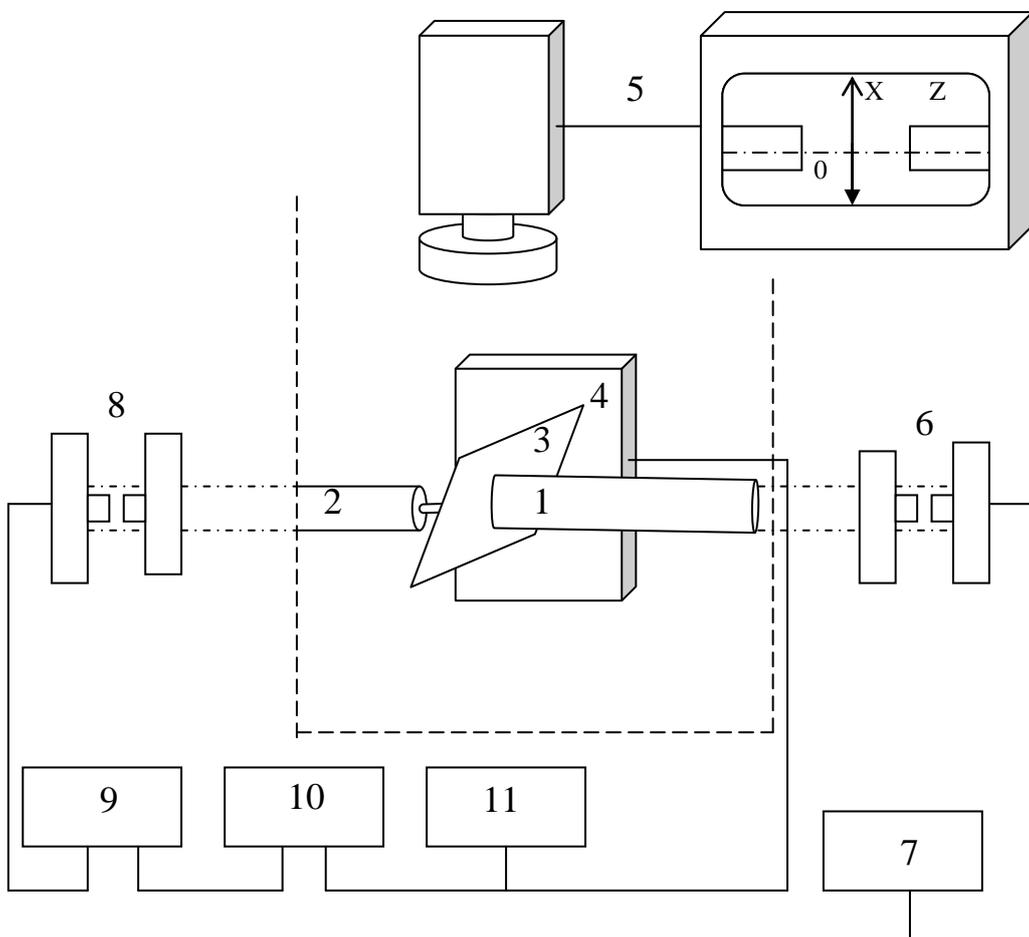


Рис.1

Чувствительный элемент датчика обведен на рисунке пунктирной линией. Выходной торец входного волокна (1) и входной торец выходного волокна (2) закреплены в подвижках, которые позволяют смещать торцы по трем координатам. В зазоре между торцами двух волоконных световодов расположена шторка (3), частично перекрывающая сечение светового потока, передающегося из одного световода в другой. Шторка жестко связана с пьезокерамикой (4). При подаче на пьезокерамику переменного напряжения от генератора (11) шторка колеблется, причем амплитуда колебаний определяется величиной подаваемого на пьезокерамику напряжения и составляет 1мкм/1В. Колебание шторки приводит к модуляции оптической мощности, поступающей из входного световода в выходной и, затем, на вход фотоприемника.

На экране монитора телевизионной установки (5) наблюдается взаимное расположение торцов волоконных световодов и положение шторки между ними. Отсчет расстояния между торцами и смещение шторки относительно оси световодов производится с помощью шкалы на экране монитора.

Источник света (светоизлучающий диод) соединен с входным волоконным световодом с помощью оптического разъема (6). Питание СИД осуществляется от источника постоянного тока (7). Выходной волоконный световод соединен с фотоприемником оптическим разъемом (8). Сигнал с фотоприемника подается на селективный усилитель (9) и усиленный сигнал наблюдается и измеряется с помощью осциллографа (10). Напряжение на пьезокерамику (4) подается с генератора сигналов (11). Амплитуда поданного напряжения измеряется с помощью осциллографа (10).

4.Методческие указания к выполнению работы.

4.1.Изучить теоретические сведения по данной работе, изложенные в [1,стр.81-92]. При изучении принципов работы ВОД шторочного типа следует помнить, что в амплитудных ВОД (ВОД с модуляцией оптической мощности) шторочного типа регистрируемое внешнее воздействие изменяет коэффициент пропускания по мощности чувствительного элемента $T_s(X)$. Выходной сигнал фотоприемника:

$$i = f(x) = S_f P T T_s(x), \quad (1)$$

где S_f - ампер-ваттная чувствительность фотоприемника;

P - входная оптическая мощность;

T - коэффициент пропускания оптического тракта по мощности;

Чувствительность ВОД шторочного типа определяется как

$$S = \frac{df(x)}{dX} = S_f P T \frac{dT_s(X)}{dX} \Big|_{x=x_0} = S_f P T \frac{2\sqrt{a^2 - X_0^2}}{\pi[a + \Delta Z(NA)]^2}, \quad |X| < a \quad (2)$$

А информационный сигнал:

$$\Delta Y = S \Delta X = S_f P T \frac{2\sqrt{a^2 - x_0^2}}{\pi[a + \Delta Z(NA)]^2} \Delta X,$$

где, a – радиус световода;

NA - его числовая апертура;

ΔZ - расстояние между торцами световодов;

X_0 - смещение края шторки относительно оси световодов (рабочая точка);

ΔX - амплитуда колебания шторки.

4.2. Включить телевизионную установку (5), селективный усилитель (9), осциллограф (10) и генератор сигналов (11). Используя юстировочные винты, получить на экране монитора четкое изображение торцов волоконных световодов и шторки. Установить световоды соосно друг другу, при этом шторка должна находиться в среднем положении (край шторки на оси волокон $X_0 = 0$), а расстояние между торцами $\Delta Z = 3 \div 4$ деления по шкале. Включить блок питания СИД. **ТОК ЧЕРЕЗ СИД НЕ ДОЛЖЕН ПРЕВЫШАТЬ 110мА !** Изменяя напряжение на пьезокерамике в диапазоне $1 \div 20В$ снять зависимость сигнала с фотоприемника от амплитуды колебания шторки: $U_{\text{сигн.}} = f(\Delta X)$.

Повторить измерения для нескольких значений ΔZ , построить графики зависимостей $U_{\text{сигн.}} = f(\Delta X) \Big|_{\substack{x_0=0 \\ \Delta Z=\text{const}}}$; определить чувствительность макета ВОД в ед. $(\frac{В}{\text{mkm}})$ для различных значений расстояний между торцами световодов.

4.3. Установить напряжение на керамике $U_{\text{кер.}} = 20В$. Снять зависимость сигнала с фотоприемника от расстояния между торцами световодов:

$$U_{\text{сигн.}} = f(\Delta Z) \Big|_{\substack{U_{\text{кер.}}=\text{const} \\ x_0=0}}$$

Построить график зависимости $\frac{U_{\text{сигн.}}(\Delta Z)}{U_{\text{сигн.}}(\Delta Z = \text{min})}$. Используя формулу (3) рассчитать зависимость $\frac{\Delta Y(\Delta Z)}{\Delta Y(\Delta Z = \text{min})}$, если $a = 25\text{мкм}$ и $NA = 0,2$. Сравнить экспериментальные и расчетные данные.

4.4. Установить расстояние между торцами волокон $\Delta Z = 3 \div 4$ деления, напряжение на керамике $U_{\text{кер.}} = 20В$ и снять зависимость сигнала с фотоприемника от положения шторки:

$$U_{\text{сигн.}} = f(x_0) \Big|_{\substack{U_{\text{кер.}}=\text{const} \\ \Delta Z=\text{const}}}$$

Построить график зависимости $\frac{U_{\text{сигн.}}(X_0)}{U_{\text{сигн.}}(X_0 = 0)}$.

Используя формулу (3) рассчитать зависимость $\frac{\Delta Y(X_0)}{\Delta Y(X_0 = 0)}$.

Сравнить результаты расчета и эксперимента.

5. Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему лабораторной установки.
2. Результаты проведенных измерений и расчеты.
3. Выводы по работе и анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы.

1. По какому принципу классифицируются ВОД?
2. Каковы требования к источнику излучения для амплитудных ВОД?
3. Что такое чувствительность ВОД и чем она определяется?
4. При каком положении шторки чувствительность максимальна?
5. Чем определяется динамический диапазон амплитудного ВОД шторочного типа?
6. Какова область применения амплитудных ВОД шторочного типа?

ЛИТЕРАТУРА.

1. М.М.Бутусов и др.- Волоконная оптика и приборостроение, - Л-Д, Машиностроение, 1987.

Лабораторная работа № 4

Исследование волоконно-оптического вольтметра

1.Цель работы.

Целью работы является исследование принципов работы волоконно-оптического вольтметра, измерение его основных характеристик.

2.Задание на лабораторную работу.

Перед выполнением работы должны быть изучены основные принципы построения ВОД с модуляцией интенсивности [1,стр.107-119].

В процессе выполнения работы производится:

- знакомство с основными принципами работы амплитудных ВОД;
- изучение лабораторного оборудования;
- изучение конструкции макета волоконно-оптического вольтметра;
- измерение амплитудных характеристик исследуемого макета (зависимости выходного сигнала волоконно-оптического вольтметра от величины измеряемого напряжения);
- определение чувствительности макета ВО вольтметра при осевых и продольных рассогласованиях волокон;
- расчет оптимального расстояния между осями волоконных световодов;
- расчет зависимости нормированного сигнала от продольного рассогласования волоконных световодов.

3.Описание лабораторной установки для исследования принципов работы волоконно-оптического вольтметра.

Схема лабораторной установки приведена на рис.1а. Конструкция чувствительного элемента ВО вольтметра представлена на рис.1б.

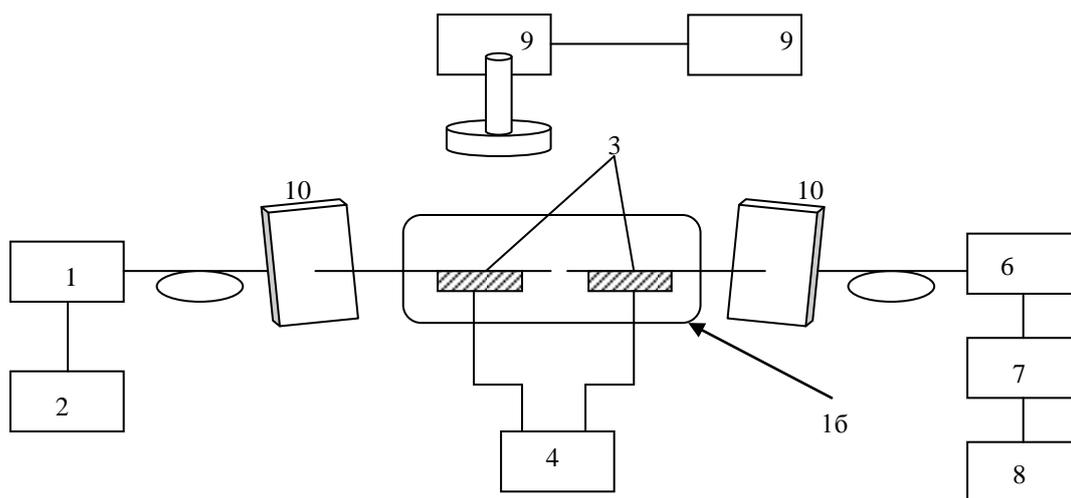


Рис 1а

На входной волоконный световод при помощи оптического разъема вводится излучение СИД (1). Питание СИД осуществляется от источника постоянного тока (2). Выходной торец входного волоконного световода и входной торец выходного световода закреплены на пьезокерамических пластинках (3). Работа пьезокерамики основана на обратном пьезоэффекте, который проявляется в том, что в зависимости от подаваемого на пьезокерамику напряжения линейные размеры ее меняются, причем направление изменения зависит от направления создаваемого в пьезокерамике электрического поля. Пьезоэлектрические пластины подключаются к генератору (4) таким образом, что закрепленные на них волоконные световоды колеблются в направлении, перпендикулярном осям. Амплитуда колебаний последних определяется величиной подаваемого на пьезокерамические пластины напряжения. Величина напряжения измеряется по стрелочному вольтметру генератора. Такие колебания волоконных световодов приводят к модуляции светового потока, передающегося из одного световода в другой (см. рис.1). Промодулированный по амплитуде выходной сигнал поступает из выходного световода на фотоприемник (6), далее усиливается селективным усилителем (7), затем наблюдается и измеряется с помощью осциллографа (8). Юстировочные подвижки (10), в которых закреплены пьезокерамические пластины, позволяют производить перемещение волоконных световодов по трем ортогональным направлениям, а также осуществлять их угловую юстировку. Тем самым обеспечивается возможность исследования характеристик макета с различными осевыми и продольными рассогласованиями волоконных световодов. Контроль взаимного расположения волоконных световодов осуществляется при помощи телевизионной установки (9). Отсчет расстояния между торцами волоконных световодов и смещения осей относительно друг друга производится калибровочной шкалой, нанесенной на экран монитора.

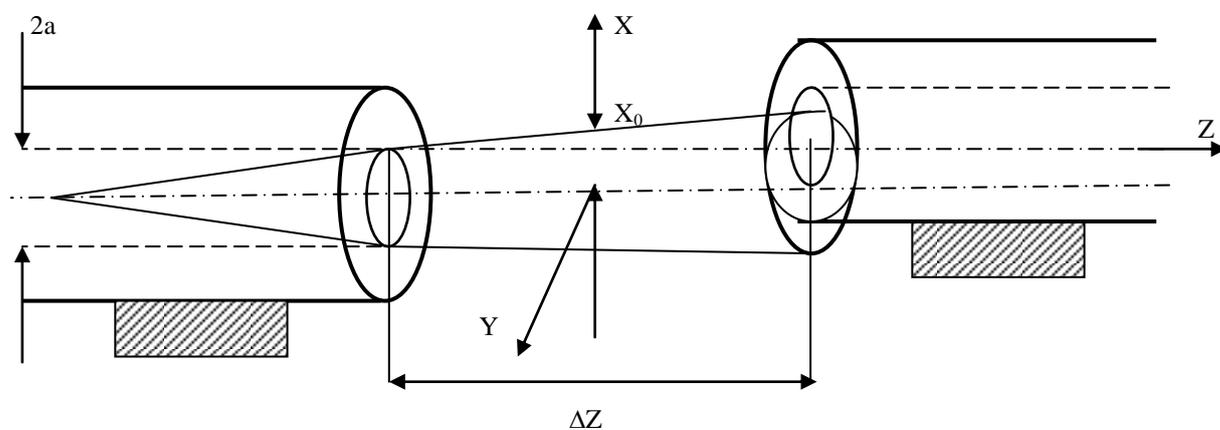


Рис.1б

4.Методические указания к выполнению работы.

4.1.Изучить теоретические сведения по данной работе, изложенные в [1,с.107-110].

При изучении принципов работы ВО вольтметра следует помнить, что исследуемый волоконно-оптический вольтметр представляет из себя датчик амплитудного типа с колеблющимися волоконными световодами. Колебания волоконных световодов, происходящие при подаче на пьезокерамику напряжения, приводят к изменению коэффициента пропускания по мощности чувствительного элемента $T_s(X)$.

Выходной сигнал фотоприемника

$$I = f(X) = S_f P T T_s(X), \quad (1)$$

где S_f – ампер-ваттная чувствительность фотоприемника;

P – входная оптическая мощность;

T – коэффициент пропускания оптического тракта по мощности.

Чувствительность коэффициента пропускания чувствительного элемента волоконно-оптического вольтметра определяется как

$$S = \frac{dT_s(x)}{dX} \left(\frac{\partial X}{\partial U} \right) \frac{dT_s(X)}{dX} \left(\frac{\partial X}{\partial U} \right)$$

Где: $\frac{\partial X}{\partial U}$ - изменение линейных размеров на 1мкм пьезокерамических пластин под

действием напряжения в 1В. Величина $\frac{dT_s(x)}{dX}$ зависит от расстояния между осями X_0

продольного рассогласования ΔZ волоконных световодов. Причем оптимальной смещение X_0 равно

$$X_0 = \sqrt{[tg \arcsin(NA)\Delta Z + a]^2 - a^2}, \quad (2)$$

При таком смещении чувствительность устройства максимальна и определяется по формуле

$$\frac{\partial T_s}{\partial X} \cdot \frac{\partial X}{\partial U} = \frac{2a}{\sqrt{[tg \arcsin(NA)\Delta Z + a]^2}} \cdot \frac{\partial X}{\partial U}, \quad (3)$$

а выходной сигнал

$$U_{\text{sign}} = K \cdot R_n \cdot S_f P T \frac{2a}{\sqrt{[tg \arcsin(NA)\Delta Z + a]^2}} \frac{\partial X}{\partial U} U_{\text{вх}} \quad (4)$$

где: a – радиус сердцевины волоконного световода (=25мкм);

NA – его числовая апертура;

ΔZ - расстояние между торцами волоконных световодов;

$I_{\text{вх}}$ – амплитуда измеряемого сигнала;

K – коэффициент преобразования усилительного тракта;

R_n – сопротивление нагрузки фотоприемника.

4.2. Включить генератор (4), селективный усилитель (7), осциллограф (8), блок питания СИД (2). Ток через СИД не должен превышать 120мА. Включить телевизионную установку (9). Используя юстировочные винты подвижек (10) получить на экране монитора четкое изображение торцов волоконных световодов. Установить расстояние между торцами 10мкм, подать напряжение на пьезокерамику $U_{\text{вх}} = 30\text{В}$.

Перемещая волокна по координатам X, Y добиться максимальной амплитуды выходного сигнала. Меняя напряжение от 0 до 150В снять зависимость выходного сигнала от подаваемого на пьезокерамику напряжения $U_{\text{сигн}} = f(U_{\text{вх}})$.

Повторить измерения для четырех расстояний между осями волоконных световодов X_0 , отличающихся друг от друга на 15мкм, причем сохраняя $\Delta Z = \text{const} = 30\text{мкм}$.

Построить графики зависимостей $U_{\text{сигн}} = f(U_{\text{вх}}) \Big|_{\Delta Z = \text{const}}$ для различных X_0 . Прodelать то же самое для другого $\Delta Z = 100\text{мкм}$.

4.3. Из графиков определить чувствительность волоконно-оптического вольтметра для минимального ΔZ и различных расстояний между волоконными световодами X_0 .

Построить график зависимости чувствительности от X_0 :

$$S = f(x_0) \Big|_{\Delta Z = \text{const}}$$

Рассчитать по формуле (2) оптимальное рассогласование и сравнить с полученным из эксперимента.

4.4. Установить максимальную амплитуду входного сигнала и оптимальное расстояние между волоконными световодами. Снять зависимость выходного сигнала от продольного рассогласования: $U_{\text{сигн}} = f(\Delta Z) | X_{0=\text{опт}}$. Подстраивая для каждого ΔZ X_0 на опт с шагом 27мкм.

Построить график

$$\frac{U_{\text{сигн}}(\Delta X)}{U_{\text{сигн}}(\Delta Z = 30\text{мкм})} = f(\Delta Z) \quad \frac{U_{\text{сигн}}(\Delta Z)}{U_{\text{сигн}}(\Delta Z = 30\text{мкм})} = f(\Delta Z).$$

Используя формулу (4) рассчитать аналогичную зависимость и сравнить с полученной экспериментально.

5. Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему лабораторной установки.
2. Результаты проведенных измерений и расчетов.
3. Выводы по работе и анализ полученных результатов.

6. Контрольные вопросы.

1. Назовите принципы построения амплитудных ВОД.
2. Назовите характеристики разрывных ВОД, чем они отличаются?
3. Чем определяются требования к источнику излучения разрывных амплитудных ВОД?
4. Чем определяются шумы разрывных ВОД?
5. Что такое чувствительность ВО вольтметра и чем она ограничивается?
6. Чем определяются частотные характеристики ВО вольтметра?

Литература.

1. Бутусов М.М.Б – Волоконная оптика и приборостроение – Машиностроение- 1987.

Лабораторная работа № 5

Исследование датчика температуры на основе поглощения в полупроводнике

Цель работы – исследование принципов построения волоконно – оптических датчиков температуры на основе эффекта температурного сдвига края полосы поглощения в монокристалле полупроводника .

В процессе работы производится измерение зависимости величины сигнала на выходе сигнального и опорного каналов датчика при изменении температуры чувствительного элемента от 20 до 180 градусов Цельсия.

Блок – схема лабораторной установки показана на рис . 1 .

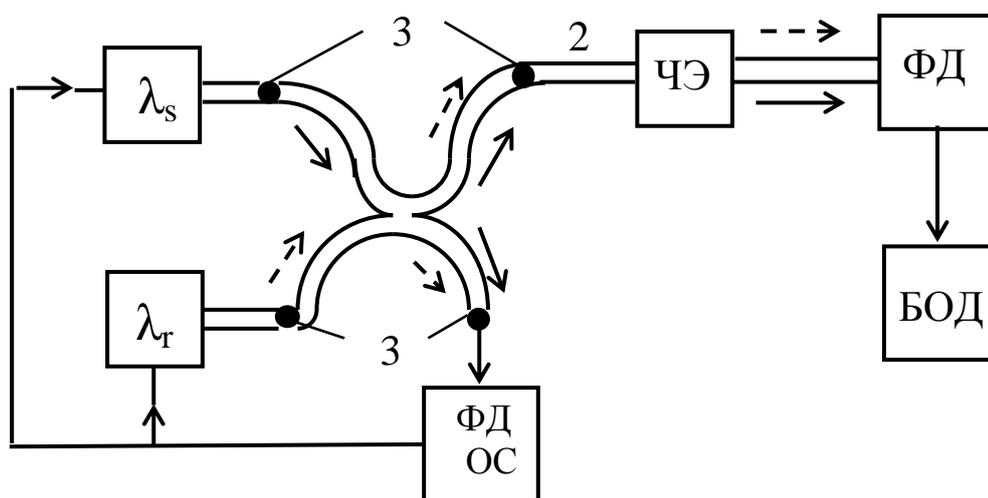


Рис.1 Структурная схема ВОД температуры проходного типа с опорным каналом: 1 – ответвитель; 2 – волокно; 3 – оптический разъем; ФД- фотодетектор; ФД ОС – фотодетектор обратной связи; ЧЭ – чувствительный элемент; λ_s , λ_r – излучатель рабочей и опорной волны соответственно; БОД – блок обработки данных.

Установка состоит из измерительного блока, чувствительного элемента, волоконно- оптической линии , нагревателя , блока питания нагревателя , контрольного ртутного термометра и цифрового вольтметра контрольного канала .

Импульсы оптического излучения с двумя различными длинами волн попеременно вводятся в оптическое волокно и попадают в чувствительный элемент – тонкую (100 мкм) монокристаллическую пластину полупроводникового материала , находящуюся в зазоре между торцами двух волокон . Излучение с сигнальной длиной волны частично поглощается в полупроводнике , излучение с опорной длиной волны практически не поглощается . При увеличении температуры монокристалла край полосы поглощения полупроводника сдвигается в длинноволновую область из – за уменьшения ширины запрещенной зоны , что приводит к увеличению показателя поглощения кристалла для сигнального излучения . При этом интенсивность сигнального излучения , прошедшего через кристаллическую пластину , уменьшается с ростом температуры . Интенсивность опорного излучения при изменении температуры не изменяется . Излучение опорного и сигнального каналов , пройдя через пластину , попадают в выходное волокно и поступают на вход приемного устройства датчика. Там происходит разделение опорного и сигнального излучений и отдельная обработка обоих сигналов . По изменению амплитуды импульсов излучения сигнального канала производится определение температуры чувствительного элемента датчика , импульсы опорного канала служат для компенсации нетемпературных паразитных воздействий на измерительный тракт .

Порядок выполнения лабораторной работы.

1. Включить измерительный блок датчика тумблером на лицевой панели .

При этом на цифровом индикаторе блока загорается индикация напряжения на выходе устройства обработки сигнального канала – это напряжение определенным образом связано с температурой чувствительного элемента датчика . Дождаться выхода блока обработки в стационарный режим (при этом показания измерителя должны стабилизироваться на уровне 11 в .) .

2. Включить вольтметр контрольного канала.

3. Включить источник питания нагревателя датчика.

Регуляторами напряжения установить напряжение питания нагревателя 5 В., регулятор тока нагревателя должен находиться в положении 0 , 8 А.

4. Наблюдать по шкале ртутного термометра увеличение температуры чувствительного элемента и происходящее при этом уменьшение показаний индикатора на измерительном блоке датчика.

5. Снять зависимость величины сигналов на выходе сигнального и опорного каналов от температуры датчика. Для этого производить постепенное увеличение напряжения питания нагревателя от 5 В. до 15 В. с шагом 1В., что приведет к росту температуры датчика .

При достижении температурой датчика величины 170 градусов выключить источник питания нагревателя и произвести повторное измерение зависимости обоих сигналов от температуры - при остывании датчика до исходной величины (25 градусов).

Используя результаты обоих циклов измерения, построить зависимости величин напряжений сигнального и опорного каналов от температуры для возрастающей температуры и для убывающей.

Используя формулы 3.51-3.5.3 , построить зависимость ширины запрещенной зоны от температуры и измерительную характеристику датчика.

Порядок расчета измерительной характеристики датчика:

1. Расчет зависимости пропускания чувствительного элемента от температуры.

При распространении по поглощающей среде с показателем

$$I(T) = I_0 (1 - R)^2 \cdot e^{-(\alpha(T) \cdot d)} \quad (3.5.1.)$$

поглощения α интенсивность излучения изменяется в соответствие с законом Бугера.

R – коэффициент френелевского отражения, рассчитывается он следующим образом:

n_1 – показатель преломления воздуха, $n_1 = 1$;

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2, \quad (3.5.2.)$$

n_2 – показатель преломления GaAs, $n_2 = 3,4$.

2. Расчет зависимости $\alpha(T)$.

Для GaAs $\alpha_0 = 2800 \text{ м}^{-1}$, $\beta = 68 \text{ eV}$

$$\alpha(T) = \alpha_0 \cdot e^{\left[\beta \cdot \left(h \cdot \nu - E_g(T) \right) \right]} \quad (3.5.3.)$$

$E_g(T) = 1,5107 - 0,000727 \cdot [T^2 / (T + 499)]$, eV, T – абсолютная температур

Содержание отчета .

Отчет по работе должен содержать:

1. Блок – схему лабораторной установки .
2. Результаты измерения в виде таблиц .
3. Графики зависимостей сигнального напряжения от температуры , опорного напряжения от температуры и график зависимости их отношения от температуры .
4. Расчетные зависимости ширины запрещенной зоны и пропускания чувствительного элемента от температуры.