

**ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. Шевченко**

Физико-математический факультет

Кафедра Твердотельной электроники и микроэлектроники

Материалы и элементы электронной техники

Лабораторный практикум

Тирасполь, 2013

УДК
ББК

Составитель:

Т.И. Гоглидзе, ст. преподаватель кафедры ТТЭМ

Н.И. Мацкова, ст. преподаватель кафедры ОФ и МПФ

Рецензенты:

Ишимов В.М., канд.ф.м.н, доцент кафедры ТТЭМ

Коровай О.В., канд.ф.м.н., доцент кафедры НОиКР

Материалы и элементы электронной техники. Лабораторный практикум/
Составитель:

Т.И. Гоглидзе, Н.И. Мацкова, Тирасполь: 2013 – 37 стр.

Лабораторный практикум предназначен для выполнения лабораторных работ по курсу «Материалам и элементам электронной техники».

Учебное пособие предназначено для студентов III- IV курса физико-математического факультета ПГУ им. Т.Г. Шевченко.

УДК
ББК

Утверждено Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© Составитель
Т.И. Гоглидзе,
Н.И. Мацкова
2013

Введение	4
Лабораторная работа №1	
"Исследование зависимости емкости конденсаторов постоянной емкости от температуры и определение температурного коэффициента емкости (ТКЕ)"	5
Лабораторная работа №2	
"Определение температурного коэффициента сопротивления (ТКС) резисторов"	8
Лабораторная работа №3	
"Исследование светоизлучающего диода"	11
Лабораторная работа №4	
"Исследование оптрона"	17
Лабораторная работа №5	
"Исследование фоторезистора"	23
Лабораторная работа №6	
"Исследование параметров оптического волокна"	28
Литература	37

ВВЕДЕНИЕ

Руководство по выполнению лабораторных работ составлено в соответствии с программой курса «Материалы и элементы электронной техники».

Оно содержит краткие теоретические сведения, необходимые для правильного понимания физической сущности исследуемого явления и предназначено для оказания помощи студентам в подготовке к лабораторным занятиям, а также при оформлении и защиты отчетов по выполненным работам.

После выполнения каждой лабораторной работы студент представляет индивидуальный отчет, выполненный в соответствии с «Методическими указаниями по оформлению отчетов лабораторных работ», который должен содержать:

- титульный лист;
- цель и задачи лабораторной работы,
- схему установки,
- краткие сведения по теории,
- таблицы и графики расчетных и экспериментальных данных,
- выводы и заключения по работе.

Каждая лабораторная работа рассчитана на 2 часа. Для более глубокого усвоения материала и методики исследования студентам рекомендуется пользоваться литературой, указанной в программе курса «Материалы и элементы электронной техники» в конце работы. К выполнению последующих лабораторных работ студенты допускаются только после сдачи и защиты отчета по предыдущей работе.

Для выполнения лабораторных работ каждая студенческая группа делится на подгруппам. К выполнению работ допускаются студенты, изучившие «Правила по технике безопасности в лабораториях кафедры ТТЭМ».

РАБОТА № 1

Исследование зависимости емкости конденсаторов постоянной емкости от температуры и определение температурного коэффициента емкости (ТКЕ)

Цель работы - исследование зависимости емкости конденсаторов с различными диэлектриками от температуры и определение (ТКЕ) этих конденсаторов.

Одним из важнейших факторов, характеризующих внешние воздействия на электрические конденсаторы, является температура окружающей среды.

Температурная зависимость емкости конденсаторов характеризуется величиной температурного коэффициента емкости (ТКЕ) :

$$\alpha_c = \frac{1}{C} \frac{dC}{dt} .$$

Если зависимость емкости от температуры носит линейный характер, то величину ТКЕ можно вычислить по формуле:

$$\alpha_c = \frac{C_2 - C_1}{C_1(t_2 - t_1)} ,$$

где α_c – температурный коэффициент емкости, град-1;

C_1 – емкость при комнатной температуре t_1 ;

C_2 – емкость при измененной температуре t_2 .

При нелинейной зависимости емкости от температуры указанная формула дает только среднее значение ТКЕ.

Характер зависимости емкости конденсатора от температуры обычно определяется температурной зависимостью диэлектрической проницаемости применяемого в конденсаторе диэлектрика.

Кроме того, зависимость емкости от температуры обуславливается особенностями конструкции конденсатора и изменением его размеров при нагревании. Температурное расширение обкладок приводит к

увеличению емкости, а увеличение толщины диэлектрика - к ее уменьшению.

В плоскости конденсатора с обкладками в виде квадрата со стороной l емкость равняется:

$$C = 0,0884 \frac{\varepsilon \cdot l^2}{d},$$

где C – емкость конденсатора, пФ;

ε – диэлектрическая проницаемость;

d – толщина диэлектрика, мм;

l – линейный размер, мм.

Дифференцируя это выражение по температуре, получим:

$$\frac{dC}{dt} = 0,0884 \cdot \left(\frac{l^2}{d} \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{\varepsilon}{d} 2l \frac{dl}{dt} - \frac{\varepsilon \cdot l^2}{d^2} \frac{dd}{dt} \right).$$

Разделив левую и правую части на выражение для емкости, имеем:

$$\frac{1}{C} \frac{dC}{dt} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{2}{l} \frac{dl}{dt} - \frac{1}{d} \frac{dd}{dt},$$

или

$$\alpha_C = \alpha_\varepsilon + 2\alpha_M - \alpha_d,$$

где α_ε – температурный коэффициент диэлектрической проницаемости;

α_M – коэффициент линейного расширения металлических обкладок;

α_d – коэффициент линейного расширения диэлектрика.

Если конденсатор изготовлен способом металлизации диэлектрика,

то расширение обкладок будет определяться не расширением металла, а расширением диэлектрика. В этом случае можно считать, что и формула принимает вид:

$$\alpha_C = \alpha_\varepsilon + \alpha_d.$$

Описание лабораторной установки

Исследованию подвергаются различные типы конденсаторов постоянной емкости, укрепленные в термостате. Выводы от каждого конденсатора подведены к переключателю, позволяющему производить поочередно подключение конденсаторов к измерительному прибору.

Измерение емкости конденсаторов производится с помощью универсального измерительного моста типа Е7-4. К одному плечу моста подключена измеряемая емкость, величина которой уравнивается переменной емкостью. При совпадении подстроенной емкости с измеряемой наступает резонанс токов, наблюдаемый по положению стрелки микроамперметра прибора Е7-4 (при резонансе токи компенсируются, и стрелка приближается к нулю).

Подготовка прибора к работе

1. Подключить шнур питания к сети.
2. Включить прибор тумблером “СЕТЬ”.
3. Ручку “Чувствительность” установить в крайнее правое положение.
4. Через 15 минут после включения прибора можно приступить к измерениям.

Измерение емкости прибором Е7-4

1. Подключить провода от переключателя к клеммам “R – C – L”. Установить переключатель “Вид измерения” в положение “С”.
2. Установить переключатель “ $Q - \operatorname{tg} \delta$ ” в положение “ $\operatorname{tg} \delta$ ”.
3. Ручкой установить величину фазы в нулевое положение.
4. Установить переключатели измерений в положение, близкое к номинальному значению.
5. Ручками, объединенными надписью “Отсчет”, добиться наименьшего по модулю показания на микроамперметре.

6. Произвести отсчет измеряемой величины емкости. Она равна сумме отсчетов по шкалам “Отсчет”, умноженной на соответствующий множитель предела измерений. (Порядок формирования измеряемой величины указан на панели моста).

Примечание: При измерениях на частоте 100 Гц отсчет емкости дополнительно должен быть умножен на 10 (загорается предупреждающий индикатор).

Порядок выполнения работы

1. Подготовить прибор к работе.
2. Записать номинал каждого конденсатора.
3. Измерить емкости конденсаторов при комнатной температуре, поочередно подсоединяя их к измерительному прибору при помощи переключателя емкостей.
4. Включить термостат.
5. Измерить емкости конденсаторов при температуре 40, 60, 80 и 100С. Данные свести в таблицу.
6. Произвести подсчет ТКЕ. Построить графики $C = f(t)$.

РАБОТА № 2

Определение температурного коэффициента сопротивления (ТКС) резисторов

Цель работы - исследование зависимости сопротивления резисторов от температуры и определение ТКС различных типов резисторов.

В процессе эксплуатации сопротивление резисторов может значительно изменяться за счет воздействия различных возмущающих факторов. Наиболее существенное влияние оказывает изменение температуры резистора, приводящее к изменению удельного

сопротивления материала токопроводящего слоя и его геометрических размеров.

Для количественной оценки температурной стабильности сопротивления резисторов пользуются величиной температурного коэффициента (ТКС), который определяется как относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1 0С.

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt},$$

поскольку:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{l} \frac{dl}{dt} - \frac{1}{S} \frac{dS}{dt},$$

т.е. величина ТКС зависит от температурного коэффициента удельного сопротивления токопроводящего материала (α_ρ) и от коэффициента линейного расширения (α_l) этого материала.

Однако почти всегда $\alpha_\rho \gg \alpha_l$, по этому характер температурной зависимости сопротивления резисторов определяется в основном изменением удельного сопротивления материала токопроводящего слоя.

Температурный коэффициент может иметь различную величину и знак для одного и того же токопроводящего материала (например, композиции), поэтому практически представляет интерес не величина температурного коэффициента, а относительное изменение сопротивления резистора в определенном, достаточно широком интервале температур.

В связи с этим обычно определяется среднее значение ТКС для заданного интервала температур:

$$\alpha_{cp} = \frac{R_1 - R_2}{R_1(t_1 - t_2)},$$

где R_1, R_2 - величина резистора при температурах t_1, t_2 .

Температурный коэффициент сопротивления резисторов, град -1

Углеродистые (УЛИ) $(5...20) \cdot 10^{-4}$

Боруглеродистые (БЛП) $(1,2...2,5) \cdot 10^{-4}$

Металлодиэлектрические (МЛТ, ТМ) $(7...16) \cdot 10^{-4}$

Металлодиэлектрические (С2) $(0,25...6) \cdot 10^{-4}$

Композиционные объемные $(-20...+6) \cdot 10^{-4}$

Композиционные пленочные $(10...25) \cdot 10^{-4}$

Проволочные точные $(0,15...1,5) \cdot 10^{-4}$

Проволочные общего назначения $(-5...+10) \cdot 10^{-4}$

Описание лабораторной установки

Исследованию подвергаются различные типы резисторов постоянного сопротивления, помещенные в термостат. Переключатель позволяет производить поочередно подключение сопротивлений к измерительному прибору. Измерения производятся с помощью универсального измерительного моста типа Е7-11. К одному плечу моста подключено измеряемое сопротивление, величина которого уравнивается переменным сопротивлением. При совпадении величин наступает резонанс токов, наблюдаемый по положению стрелки микроамперметра прибора Е7-11 (при резонансе токи компенсируются, и стрелка приближается к нулю).

Для начала измерений: подключить шнур питания к сети, включить прибор тумблером “СЕТЬ”, ручку “Чувствительность” установить в крайнее правое положение, через 15 минут после включения прибора можно приступить к измерениям.

Измерение сопротивлений прибором Е7-11

1. Подключить провода от переключателя к клеммам “R–C–L”.
- Установить переключатель “Вид измерения” в положение “R”.

2. Ручкой установить величину Фазы в нулевое положение.
3. Установить переключатели измерений в положение, близкое к номинальному значению.
4. Ручками, объединенными надписью “Отсчет”, добиться наименьшего по модулю показания на микроамперметре.
5. Произвести отсчет измеряемой величины сопротивления. Оно равно сумме отсчетов по шкалам “Отсчет”, умноженной на соответствующий множитель предела измерений. (Порядок формирования измеряемой величины указан на панели моста).

Порядок выполнения работы

1. Записать номинал каждого резистора.
2. Замерить сопротивление резисторов при комнатной температуре.
3. Включить термостат. Произвести замер сопротивлений всех резисторов при температуре 40 , 60 , 80 , 100 0С .
4. Произвести подсчет ТКС и сравнить его с теоретически возможным.
5. Построить графики $R = f(t)$.

РАБОТА № 3

Исследование светоизлучающего диода

Цель работы - ознакомление с принципом работы и методами экспериментального исследования светоизлучающих диодов; определение основных параметров и характеристик в различных режимах работы светоизлучающих диодов.

Светоизлучающий диод С(ИД) - полупроводниковый оптоэлектронный прибор с одним р-п переходом, преобразующий электрическую энергию в энергию некогерентного светового излучения.

СИД является перспективным источником излучения, используемым в оптоэлектронике, и характеризуется малыми габаритами и массой, большим сроком службы, высоким быстродействием (длительность включения $10^{-7} - 10^{-5}$ с), низкими управляющими напряжениями (1,6-2,5 В), малой потребляемой мощностью (20 - 600 мВт).

СИД представляет собой гомогенный или гетерогенный p-n переход (Рис. 1).

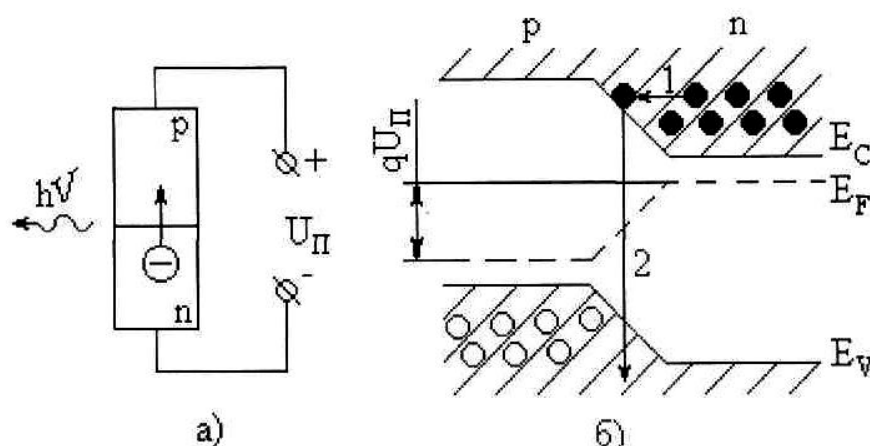


Рис.1. Схема работы СИД: а) Схема включения; б) зонная диаграмма

- 1 - инжекция электронов в область p-n перехода;
- 2 - рекомбинация носителей

При смещении p-n перехода внешним источником питания в прямом направлении имеет место инжекция неосновных носителей заряда (электронов) эмиттером n типа в базу p типа. Рекомбинация неосновных носителей (электронов) с основными носителями (дырками) в базе сопровождается излучением квантов света. Такое явление носит название инжекционной электролюминесценции.

Спектральная характеристика СИД имеет ярко выраженный максимум $\lambda_{\text{МАХ}}$. Величина $\lambda_{\text{МАХ}}$ определяется разностью энергетических уровней возбужденного и невозбужденного состояний электронов и для случая собственного проводника определяется шириной запрещенной зоны. Связь длины волны излучения (λ , мкм) с шириной запрещенной зоны полупроводника (E_g , эВ) определяется соотношением :

$$\lambda_{\text{MAX}} = \frac{1,234}{E_g}.$$

Для получения видимого излучения ($\lambda = 0,4 \dots 0,78$ мкм) требуются полупроводники с широкой запрещенной зоной, превышающей 1,72 эВ.

СИД для видимого и ближнего инфракрасного излучения изготавливают из монокристаллов карбида кремния SiC, фосфида галлия GaP, арсенида галлия GaAs и более сложных соединений типа $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$, где x - доля содержания того или другого элемента в соединении. Изменение цвета свечения достигается также легированием полупроводника различными примесями (Zn, Au и др.).

Качество СИД характеризуется внешним квантовым выходом :

$$\eta = \gamma \eta_{\text{в}} \eta_{\text{опт}},$$

где γ – коэффициент инжекции,

$\eta_{\text{в}}$ – внутренний квантовый выход – отношение числа излученных квантов к числу инжектированных электронов ,

$\eta_{\text{опт}}$ – оптическая эффективность – доля генерированных квантов света , выведенных за пределы полупроводника .

Для большинства промышленно выпускаемых СИД величина η лежит в пределах от 0,5 до 5 % . Трудности вывода излучения из полупроводника обусловлены интенсивным поглощением света областью эмиттера, а также отражением света на границе полупроводник-воздух при больших значениях показателя преломления, свойственных полупроводникам (для GaAs $n = 3,6$).

На рис. 2 показаны две конструкции СИД.

Плоская конструкция (рис.2 а) наиболее простая, однако за счет полного внутреннего отражения часть излучения теряется в объеме полупроводника. Сферическая конструкция (рис.2 б) позволяет получить максимальное значение внешнего квантового выхода, но практически ее реализация сложнее.

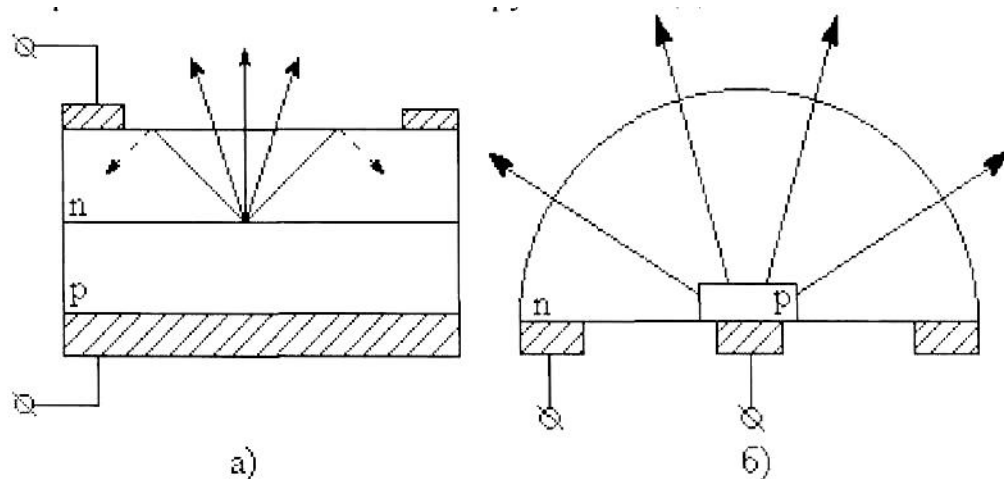


Рис.2. Конструкции СИД: а) плоская, б) сферическая

Вольтамперная характеристика СИД аналогична ВАХ кремниевого диода и определяется выражением:

$$I = I_0 \exp \frac{qu}{nkT}$$

где I_0 и n - постоянные,

u - напряжение,

k - постоянная Больцмана,

q - заряд электрона,

T - температура.

Высвечивание СИД происходит только на прямой ветви ВАХ.

Важнейшей характеристикой СИД является зависимость яркости высвечивания от величины протекающего тока. Особенностью светоизлучающего диода является линейность яркостной характеристики в широком диапазоне изменения токов, которая описывается выражением:

$$L = L_0 (I - I^*),$$

где: L_0 и I^* - постоянные,

Величина I^* лежит в пределах 0,1...2,5 мА.

Конструкция СИД определяет диаграмму направленности светоизлучающего диода. Светоизлучающие диоды, используемые в качестве индикаторов, имеют широкую диаграмму направленности и

сравнительно малые яркости свечения. СИД, применяемые в составе оптронных пар, имеют узкую диаграмму направленности и должны создавать повышенные яркости свечения.

Описание лабораторной установки

Для исследования светоизлучающего диода используется установка, схема которой приведена на рис. 3.

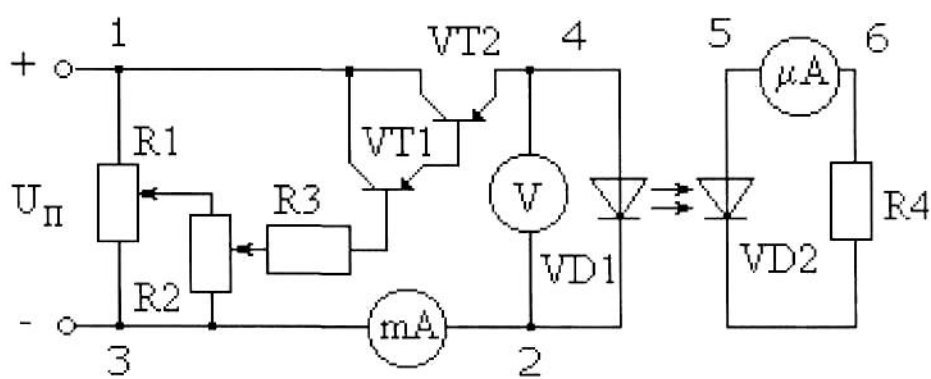


Рис.3. Схема экспериментальной установки

Питание СИД (VD1) осуществляется от источника постоянного напряжения 9 В. Потенциометры R1 , R2 , резистор R3, транзисторы VT1, VT2 предназначены для регулировки тока, протекающего через СИД.

Яркость высвечивания СИД определяется косвенным способом по величине засветки фотодиода VD2. Фотодиод работает в фотогальваническом режиме (без внешнего источника питания).

Особенностью фотодиода как приемника оптического излучения является практически линейная зависимость фототока $I_{фг}$ от яркости светового потока L , воздействующего на прибор. Таким образом, яркость свечения СИД оказывается прямо пропорциональной току в цепи фотодиода.

Для снятия диаграммы направленности СИД установка позволяет изменять положение фотодиода относительно СИД в пределах $\pm 90^\circ$ от направления максимума яркости высвечивания.

Порядок выполнения работы

1. Снять прямую ветвь вольтамперной характеристики СИД. С этой целью изменять величину тока, протекающего через СИД, в пределах от 0 до 15 мА через 1 мА. Для каждого значения тока определить величину напряжения на СИД.

2. Снять обратную ветвь вольтамперной характеристики СИД. С этой целью переключателем поменять полярность включения светоизлучающего диода. Напряжение на СИД менять в пределах от 0 до 9 В через 1 В.

3. Снять яркостную характеристику СИД. Переключателем установить прямое напряжение на СИД. Ток в цепи светоизлучающего диода менять в пределах от 0 до 30 мА через 2 мА. Для каждого значения тока определить напряжение на СИД и величину тока фотодиода ИФД.

4. Снять диаграмму направленности СИД. Установить величину тока, протекающего через СИД 30 мА. Поворачивая фотоприемник в пределах $\pm 90^\circ$ через 10° , определить соответствующие значения фототока ИФД.

5. Построить прямую и обратную ветви вольтамперной характеристики, графики зависимости яркости высвечивания от тока через СИД, напряжения на нем и мощности, рассеиваемой на светоизлучающем диоде, диаграмму направленности СИД в полярных координатах.

РАБОТА № 4

Исследование оптрона

Цель работы - ознакомление с основными параметрами и характеристиками оптрона типа светоизлучающий диод - фототиристор.

Краткие теоретические сведения

Оптроном называется оптоэлектронный прибор, в котором имеются управляемый источник излучения и фотоприемник с тем или иным видом оптической связи между ними, конструктивно объединенные и помещенные в один корпус.

В оптроне энергия электрического сигнала с помощью светоизлучающего диода преобразуется в световую, затем через оптическую среду передается на фотоприемник, в котором снова происходит преобразование энергии света в электрический сигнал. Такое преобразование энергии позволяет передавать информацию из одной электрической цепи в другую с помощью электрически нейтральных фотонов. Это свойство определяет ряд преимуществ оптрона:

- практически полную гальваническую развязку входа и выхода (достижимо сопротивление изоляции $10^{12} - 10^{14}$ Ом, емкость связи не более 10-14 Ф),
- одно направленность потока информации и обусловленное этим отсутствие обратной реакции приемника на источник, возможность создания сильно разветвленных коммутаций, нагруженных на "несогласованные" разнородные потребители энергии,
- возможность реализации бесконтактных (механически и электрически) связей, например через воздушную среду,
- физическое и конструктивное разнообразие, широта функциональных возможностей и др.

Оптроны применяются в качестве развязывающих (изолирующих) четырехполюсников в цепях постоянного и переменного токов, в импульсных и высоковольтных цепях. С их помощью легко согласовать между собой низкоомные и высокоомные, высоковольтные и низковольтные, высокочастотные и низкочастотные цепи. Они применяются в качестве реле для коммутации напряжений и токов, аналоговых преобразователей, оптических разъемов и пр.

Наряду с этим оптроны характеризуются такими достоинствами, как высокое быстродействие, малые габариты, отсутствие механических подвижных контактов, широкий частотный диапазон, большой срок службы и надежность.

Наиболее распространенными оптоэлектронными парами, применяемыми в оптронах, являются GaAs - светоизлучающие диоды и фотоприемники на основе кремния, которые хорошо согласуются между собой по спектру излучения и поглощения, а также по быстродействию.

Согласование спектральных характеристик источника излучения и фотоприемника является одним из основных условий, обеспечивающих оптимальную передачу сигнала с входа оптрона на его выход. В качестве передающей среды используются газовый промежуток (в том числе воздушный), различные иммерсионные, согласующие среды (полимерные органические оптические лаки и клеи, низкотемпературные халькогенидные стекла) и оптоволоконные линии (световоды) - жесткие стержни, гибкие жгуты. Оптическая среда выбирается таким образом, чтобы она обеспечивала высокую пробивную прочность.

Большинство типов промышленных оптронов рассчитывается на работу совместно с интегральными микросхемами. Это требует согласования их входных параметров с ДТЛ, ТТЛ и другими интегральными микросхемами. Если источник света в оптроне является светоизлучающий диод, то его входные параметры определяются

электрическими параметрами СИД: $U_{BX} = 1,25 - 1,6 \text{ В}$; $I_{BX} = 20 - 100 \text{ мА}$; $U_{OBR} \leq 3,5 \text{ В}$; $I_{OBR} = 10 \text{ мкА}$; $C_D = 100 - 150 \text{ пФ}$.

Выходные параметры определяются выбранным типом фотоприемника. Распространение получили оптроны на фотодиодах и фототранзисторах для работы с микросхемами, а также на фоторезисторах и фототиристорах для целей автоматики и измерительной техники.

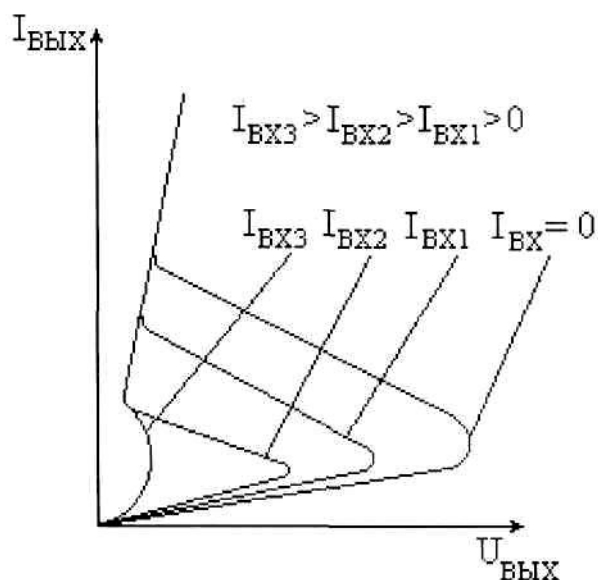


Рис.4. Семейство ВАХ тиристорной оптопары

Наименьший коэффициент передачи тока - у диодных оптронов, для которых $K = 1...1,5\%$, однако диодные оптроны являются самыми быстродействующими вплоть до $t_{ВКЛ} \approx 10^{-8} \text{ с}$.

Транзисторные оптроны характеризуются наибольшей схемотехнической гибкостью, имеют высокое значение коэффициента передачи тока $K = 50 - 100\%$, но относительно невысокое быстродействие $t_{ВКЛ} (t_{ВЫКЛ}) \approx 2 - 5 \text{ мкс}$.

Семейство выходных вольтамперных характеристик тиристорной оптопары приведено на рис.4. Параметром семейства является входной ток через излучающий диод.

Специфическими для тиристорных оптопар статическими параметрами являются:

- входной ток срабатывания $I_{ВХ.СРАБ.}$ - постоянный прямой входной ток, который переводит оптопару в открытое состояние при заданном режиме на выходе,

- выходной ток в закрытом состоянии $I_{ВЫХ.ЗАКР.}$ - ток протекающий в выходной цепи при закрытом состоянии фототиристора и заданном режиме,

- выходное напряжение в открытом состоянии $U_{ВЫХ.ОТКР.}$ - напряжение на выходных выводах тиристорной оптопары в условиях открытого состояния фототиристора,

- выходной удерживающий ток $I_{ВЫХ.УД.}$ - наименьшее значение выходного тока, при котором фототиристор еще находится в открытом состоянии в отсутствии входного тока,

- выходной минимальный ток при подаче управляющего сигнала $I_{ВЫХ.МИН.}$

- минимальное значение выходного тока, при котором фототиристор сохраняет включенное состояние при наличии входного сигнала.

Тиристорные оптроны используются как мощные ключи, имеющие хорошую электрическую изоляцию между цепью управления и анодной цепью. Управляя значительными мощностями в нагрузке (до 100 кВт), тиристорные оптопары по входу практически совместимы с интегральными микросхемами.

Фототиристор, так же как и обычный тиристор, имеет четырехслойную структуру р-п-р-п. Конструктивно оптопара выполнена так, что основная часть излучения входного СИД направлена на высокоомную базовую область п фототиристора (рис.5).

К крайним областям - аноду и катоду - прикладывается внешнее выходное напряжение плюсом к аноду.

В случае затемненной п базы под действием внешнего напряжения через тиристор протекает незначительный обратный ток, обусловленный

прохождением неосновных носителей через обратносмещенный центральный р-п переход (тиристор закрыт). Проходящие через переход неосновные носители накапливаются в п и р базах, увеличивая их потенциал. Увеличение отрицательного заряда в п базе и положительного заряда в р базе приводит к увеличению инжекции носителей (дырок р анодом и электронов п катодом) в базовые области. Инжектированные носители беспрепятственно проходят центральный переход и накапливаются в базовых областях, которые являются потенциальными ямами для электронов (п база) и дырок (р база). При определенном значении напряжения, называемом напряжением "опрокидывания", этот процесс носит лавинообразный характер, все три р-п перехода оказываются открытыми, ток через прибор резко возрастает, а напряжение на структуре падает (тиристор открыт).

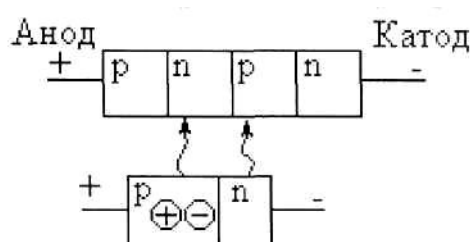


Рис.5. Схема оптопары

При освещении п базы под действием светового потока в ней генерируются пары электронов и дырок. Под действием электрического поля центрального р-п перехода происходит разделение генерированных носителей, в результате чего заряды п и р баз возрастают. Накопление дополнительных зарядов в центральных областях приводит к тому, что "опрокидывание" тиристора происходит при меньшем напряжении.

Фототиристор обладает большим внутренним усилением тока. В отличие от других типов оптопар открытое состояние фототиристора сохраняется и при прекращении излучения входного диода. Чтобы закрыть фототиристор, с него надо снять внешнее напряжение.

Описание лабораторного макета

Для исследования тиристорного оптрона используется установка, собранная по схеме, представленной на рис.6.

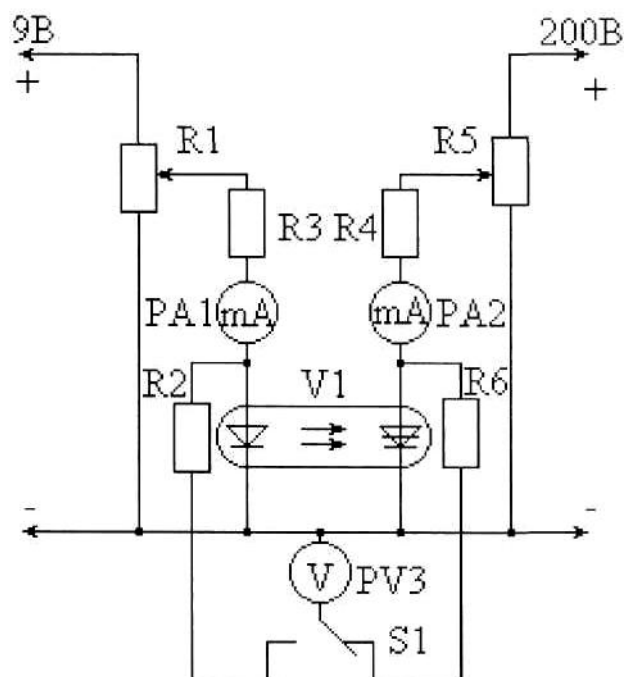


Рис.6. Схема экспериментальной установки

Потенциометр R1 служит для регулировки тока в цепи СИД, потенциометр R5 предназначен для регулировки напряжения и тока в цепи фототиристора.

Миллиамперметры PA1 и PA2 предназначены для измерения токов во входной и выходной цепях. Вольтметр PV3 служит для измерения напряжений на входе и выходе оптопары.

Порядок выполнения работы

1. Снять входную характеристику оптрона $I_{ВХ} = f(U_{ВХ})$, напряжение $U_{ВХ}$ менять от 0 до 2 В через 0,2 В.
2. Снять выходные характеристики оптрона. Напряжение $U_{ВЫХ}$ менять в пределах от 0 до 200 В через 10 В. Характеристики снять при значениях входного тока $I_{ВХ} = 0 \text{ мА}; 4,5 \text{ мА}; 5 \text{ мА}; 5,5 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 6,5 \text{ мА}$.
3. Измерить выходной удерживающий ток $I_{ВЫХ.уд}$.

4. Измерить минимальный выходной ток $I_{\text{ВЫХ.МИН.}}$ при значениях $I_{\text{ВХ}}=2,5 \text{ мА}; 5 \text{ мА}; 7,5 \text{ мА}; 10 \text{ мА};$

5. Снять зависимость входного тока срабатывания от напряжения на выходе оптрона при $U_{\text{ВЫХ}} = 80 \text{ В}; 90 \text{ В}; 100 \text{ В}; 110 \text{ В}; 120 \text{ В}; 160 \text{ В};$

6. Построить графики зависимостей, полученные в п.п. 1-5.

РАБОТА № 5

Исследование фоторезистора

Цель работы - ознакомление с методами экспериментального исследования фоторезистора. Определение основных параметров и характеристик в различных режимах работы.

Краткие теоретические сведения

Фоторезистор - полупроводниковый прибор с однородной (гомогенной) структурой, применяется в оптоэлектронике в качестве фотоприемника с внутренним фотоэффектом. Электрическое сопротивление фоторезистора меняется под действием светового потока. В отличие от фотоприемников с внешним фотоэффектом в фоторезисторах можно получать значительные по величине фототоки и значительные выходные мощности. Это обстоятельство, а также высокая фоточувствительность, присущая фоторезисторам, и простота их конструкции определила их широкое использование в цепях фотоэлектрической автоматики, оптоэлектроники, пороговых приемников и пр.

Наиболее распространенными материалами для фоторезисторов являются соединения кадмия с серой, селеном, теллуrom, чувствительные к видимой области спектра, кремний с добавками золота или цинка для ближнего инфракрасного излучения, соединения свинца с серой и селеном,

германия, сурьмянистого индия для длинноволнового инфракрасного излучения.

Принцип действия фоторезистора основан на образовании дополнительных подвижных носителей электрического заряда при ионизации атомов кристалла квантами света, вследствие чего уменьшается общее сопротивление полупроводника. При подключении к такому резистору напряжения электрический ток, протекающий в цепи, будет являться функцией двух переменных $I = f(\Phi, U)$.

Основными характеристиками фоторезистора являются: световая, спектральная, частотная, переходная, температурная.

Световые характеристики ($I = f(\Phi, U)$ при $U = \text{const}$) фоторезисторов нелинейны. Для большинства приборов эта зависимость может быть представлена в виде:

$$I = I_T + I_\Phi = I + \Phi_n,$$

где I_T - темновой ток фоторезистора, зависящий от напряжения:

$$I_T = \frac{U}{R_T},$$

где R_T - темновое сопротивление прибора; n - постоянный коэффициент, зависящий от типа фоторезистора (для большинства типов $n = 0,5$).

Нелинейность световой характеристики фоторезистора можно объяснить следующим образом. Как известно, проводимость полупроводника, а, следовательно, и ток зависит от концентрации электронов и дырок. Количество ежесекундно возбуждаемых атомов под действием кванта света прямо пропорционально световому потоку, но в состоянии установившегося равновесия число возникших в единицу времени дырок и электронов равно числу их рекомбинаций. Чем больше появляется электронов и дырок, тем больше вероятность их рекомбинации. В результате концентрация электронов и дырок, и проводимость полупроводника возрастает не прямо пропорционально световому потоку

(числу ежесекундно возбуждаемых атомов), а увеличивается по закону квадратного корня. Это и предопределяет нелинейность световых характеристик, что является существенным недостатком фоторезистора. Вольтамперные характеристики представляют собой зависимость

$$I=f(U) \text{ при } \Phi=\text{const.}$$

Вольтамперные характеристики сохраняют линейность в очень широких пределах. Наклон нулевой характеристики (при $\Phi=0$) определяется темновым сопротивлением TR или собственной проводимостью полупроводникового вещества. Значения темнового сопротивления фоторезисторов достигают десятков МОм. При освещенности 1000 лк их сопротивление уменьшается до десятков сотен Ом. В процессе эксплуатации не следует превышать максимальную допустимую мощность рассеивания, которая зависит от температуры окружающей среды и лежит в пределах 0,05...1 Вт. Инерционность фоторезисторов относительно велика. Основная причина этого заключается в природе фотопроводников.

Для получения большей чувствительности необходимо выбрать материалы с большим временем жизни носителей. В свою очередь время жизни заряда приводит к тому, что после выключения освещения фототок исчезает не сразу, а убывает с постоянной времени, пропорциональной времени жизни носителей заряда. Большой чувствительности можно достичь лишь при большей инерционности. Время жизни носителей заряда в фоторезисторах может колебаться в больших пределах. Для CdS- и CdSe-фоторезисторов среднее его значение составляет 0,01...0,001 с.

Интегральной чувствительностью фоторезисторов называют отношение фототока I_{Φ} к световому потоку Φ , при номинальном значении напряжения $U_{НОМ}$.

$$K_{\Phi} = \frac{(I - I_T)}{\Phi} = \frac{I_{\Phi}}{\Phi}.$$

Описание экспериментальной установки

Для исследования фоторезистора используется установка, собранная по схеме, приведенной на рис.7.

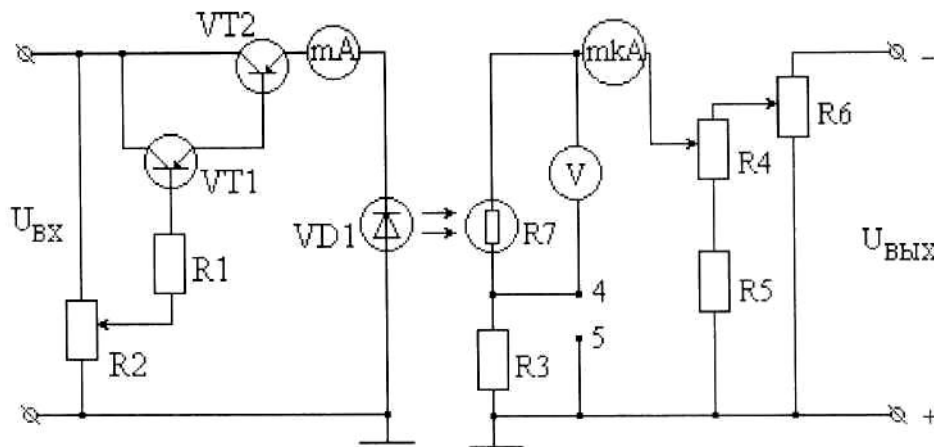


Рис.7. Схема установки

Резисторы R1-R2 и транзисторы VT1-VT2 служат для регулировки тока, протекающего через светодиод, который измеряется миллиамперметром (регулировка яркости высвечивания светодиода). Резисторы R4-R6 служат для регулировки электрического режима работы фоторезистора, регистрируемого микроамперметром и вольтметром.

Клеммы служат для подключения миллиамперметра и микроамперметра, роль которых выполняет один прибор Вольтметр универсальный В7-21А. Выбор соответствующего диапазона осуществляется переключателем, а род измерений дублируется индикатором.

Порядок выполнения работы

1. Снятие вольтамперной характеристики фоторезистора $I_T = f(U)$ при отсутствии светового воздействия. Напряжение на фоторезисторе изменять от 1 до 8 В через 1 В.

Результаты измерений свести в таблицу:

U	1	2	3	4	5	6	7	8
I _T								

Примечание: обратить внимание, чтобы резистор был защищен от случайного светового воздействия.

2. Снятие вольтамперной характеристики фоторезистора $I_T = f(U)$ при наличии светового воздействия. Характеристика снимается при трех значениях светового потока, падающего на фоторезистор, которые задаются величиной тока, протекающего через светодиод: $I_{CD} = 3$ мА, $I_{CD} = 6$ мА, $I_{CD} = 10$ мА. Напряжение на фоторезисторе изменять от 1 до 8 В через 1 В.

Результаты измерений свести в таблицу:

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8
I _{ФР} при $I_{CD} = 3$ мА								
I _{ФР} при $I_{CD} = 6$ мА								
I _{ФР} при $I_{CD} = 10$ мА								

3. Снятие световой характеристики фоторезистора $I_\Phi = f(B)$. Характеристика снимается при трех значениях напряжения: $U_1 = 3$ В, $U_2 = 5$ В, $U_3 = 7$ В. Световой поток, создаваемый светодиодом воздействует на фоторезистор. Яркостная характеристика светодиода $B = f(I_{CD})$ имеет значительный линейный участок, соответствующий токам в диапазоне 5...30 мА. Поэтому можно приближенно считать, что характер световой характеристики фоторезистора сохранится, если зависимость $I_\Phi = f(B)$ будет заменена зависимостью $I_\Phi = f(I_{CD})$, определение которой существенно проще. Ток через светодиод изменять от 1 до 10 мА через 1 мА.

Результаты измерений свести в таблицу:

I _{CD} , мА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I _Ф при U ₁ = 3 В										
I _Ф при U ₂ = 5 В										
I _Ф при U ₃ = 7 В										

Отчет должен содержать

1. Схему измерения.
2. Таблицы результатов измерений по п.п. 1-3.
3. Графики, построенные по таблицам 1-3.

$$R_T = \frac{U}{I_T}$$

4. Определение темнового сопротивления фоторезистора по данным таблицы 1 для точки $U=5$ В.

$$R_\Phi = \frac{U}{I_\Phi}$$

5. Определение светового сопротивления фоторезистора по данным таблицы 2 для точки $U=5$ В в трех зафиксированных значениях светового потока.

$$\frac{R_T}{R_\Phi}$$

6. Определение отношения для точки $U=5$ В при трех зафиксированных значениях светового потока.

7. Выводы.

РАБОТА № 6

Исследование параметров оптического волокна

Цель работы - ознакомление с методами определения основных параметров и характеристик оптического волокна при его производстве.

Краткие теоретические сведения

1. Определение коэффициента затухания α в оптическом волокне (ОВ) производится с помощью анализатора оптического волокна ANDO (рис.8) и заключается в измерении интенсивности излучения P_1 заданной длины волны $\lambda=1,3; 1,55$ мкм, прошедшего через измеряемый образец световода длиной L и интенсивности излучения - P_0 , прошедшего

через отрезок световода известной длины (2м) с последующим расчетом по формуле:

$$\alpha = 10/L \cdot \lg(P_0/P_1),$$

осуществляемым автоматически с помощью вычислительной машины анализатора.

Контроль коэффициента затухания α проводится в 2 этапа:

а) Контроль уровня гидроксила - ОН.

Перед нанесением дополнительной стекломассы преформы из нее вытягивается опытный образец ОВ (60...80 мкм) длиной 200 метров для проверки уровня содержания гидроксила - ОН. Диаметр волокна предполагает одномодовый режим в измеряемой области спектра.

Измеряется коэффициент затухания в спектре длин волн излучения 1,2...1,45 мкм. Величины коэффициента α на длинах волн 1,24 мкм и 1,38 мкм позволяют судить об уровне содержания - ОН, в составе материала предзаготовки. Контроль уровня оптических потерь на данном этапе не проводится, т.к. длина вытянутого образца (~200 м) не позволяет судить о реальных потерях.

б) Контроль уровня оптических потерь в готовом волокне. Из готовой заготовки вытягивается оптическое волокно по геометрическим характеристикам, соответствующее техническому заданию (ТЗ). Измеряется коэффициент затухания в спектральном диапазоне 850...1600 нм. Длины ОВ (1000...8000 м) позволяют с достаточной точностью ($\pm 0,05$ дБ/км) определить уровень коэффициента затухания α . Динамический диапазон измерительной аппаратуры для данного типа волокна (световод с соотношением диаметров сердцевина/оболочка — 10/125 мкм) определен как 20 дБ. Поэтому, измерение затухания в длинномерных отрезках ОВ (20...25 км) при существующем уровне оптических потерь представляет некоторые трудности. Однако, дальнейшее улучшение оптических характеристик ОВ позволяет решить эту задачу.

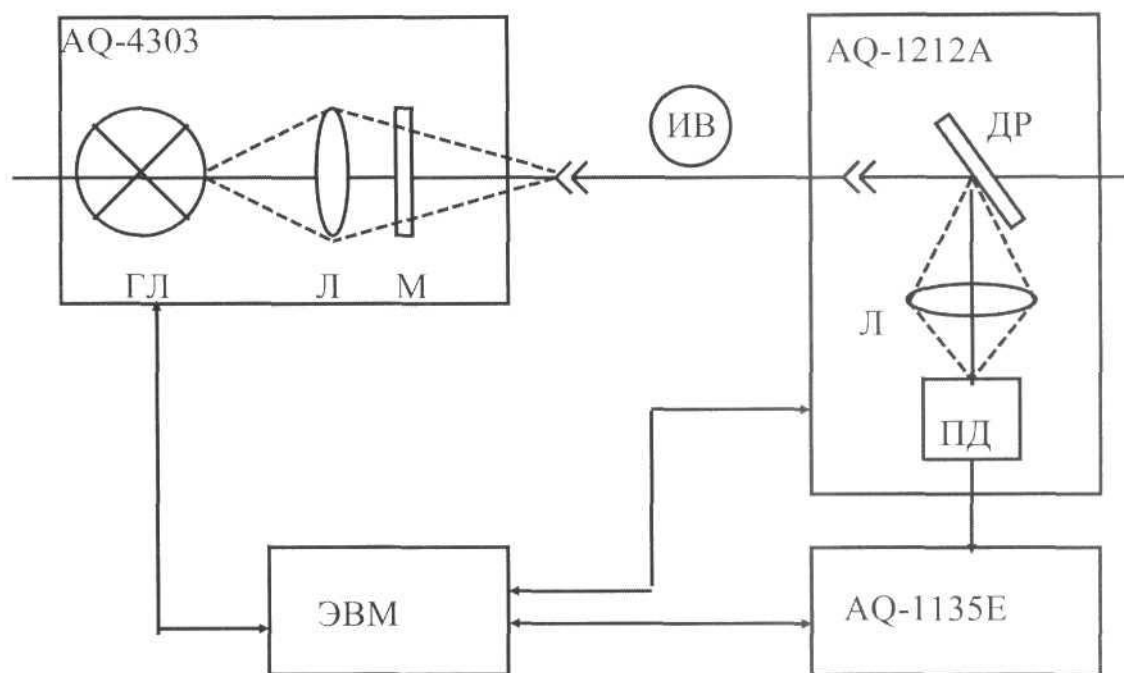


Рис. 8. Схема анализатора ANDO

где:

AQ-4303 - источник излучения, ГЛ - галогеновая лампа, Л-линза, М -модулятор; ИВ - измеряемое волокно; AQ-1212В - программируемый монохроматор, ДР - дифракционная решетка, Л - линза, ПД - приемник-демодулятор; AQ-1135Е - измеритель оптической мощности.

2. Контроль длины волны отсечки (ДВО) λ_c проводится также на 2х этапах. Сперва в опытном образце ОВ (60...80мкм), что позволяет уверенно определить требуемую ТЗ ДВО в готовом 125-микронном ОВ.

Следующим шагом контролируется ДВО в исходном ОВ. Определение ДВО λ_c производится с помощью анализатора ANDO (рис. 8) и заключается в измерении интенсивности излучения дин волн, в спектральном диапазоне 0,85...1,6 мкм. Измеряемый образец представляет собой ОВ длиной 2..3 м. Измерение основано на уравнении значений мощности оптического излучения на выходе ОВ в свободном (Р0) и напряженном (РН) состоянии. Напряженное состояние в ОВ достигается с

помощью намотки его на цилиндр 10 мм.

ДВО λ_c определяется из функции вида:

$$R(\lambda)=10\lg P_0(\lambda)/P_H(\lambda).$$

При этом ДВО λ_c равна наибольшей длине волны, при которой значение функции $R(\lambda)=0,1\text{дБ}$.

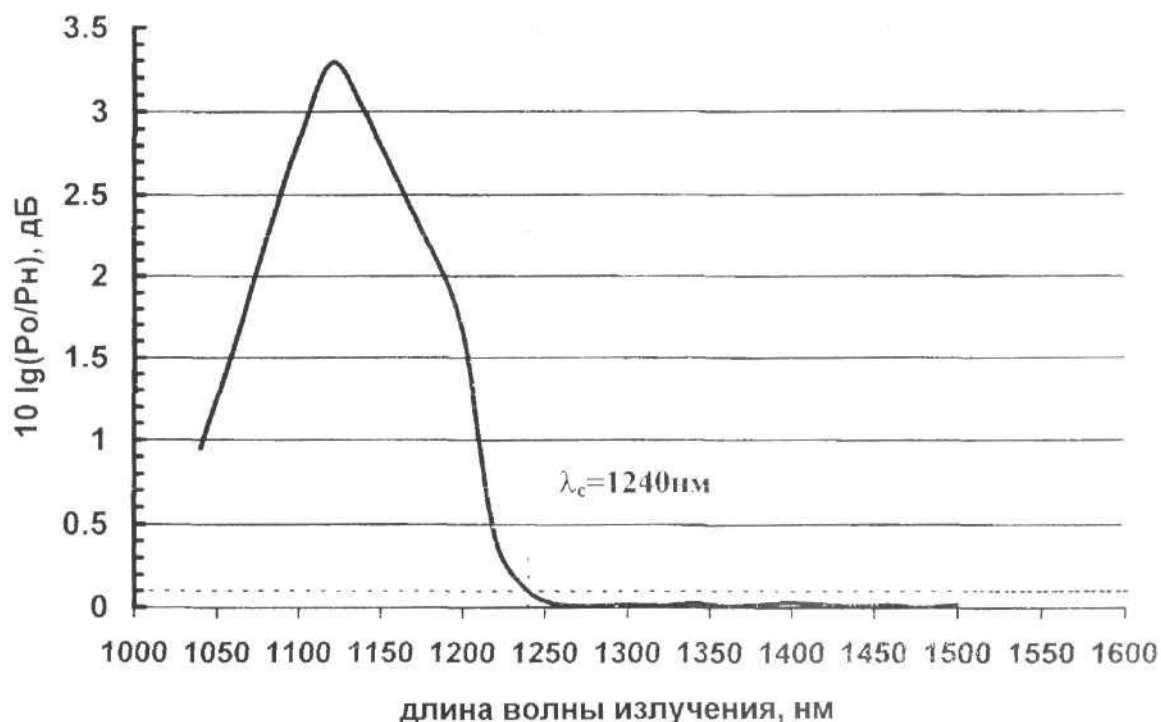


Рис. 9. Определение длины волны отсечки

Расчет функций $R(\lambda)$ производится компьютером, и результаты измерений выводятся на экран дисплея и распечатываются принтером.

3. Контроль прироста коэффициента затухания при изгибе ОВ $\Delta\alpha_{\text{изг}}$, при изгибе ОВ на 5 мм проводится с помощью анализатора ANDO (рис.8).

Метод основан на сравнении значений мощности оптического излучения на выходе ОВ длиной 2...3 м в свободном Р0 и изогнутом РИЗГ состоянии.

Прирост коэффициента $\Delta\alpha_{\text{изг}}$ определяется по формуле:

$$\Delta\alpha_{\text{изг}} = 10 \lg(P_0/P_{\text{изг}}).$$

Измерение $\Delta\alpha_{\text{изг}}$ проводится на длинах волн излучения 1,3 мкм и 1,55 мкм.

4. Контроль прироста коэффициента затухания при воздействии на ОВ температуры окружающей среды. Дополнительные оптические потери измеряются в сравнении значений мощности оптического излучения на выходе ОВ длиной больше 1 км при начальной комнатной температуре (P_K) и дискретных температурах окружающей ОВ среды (P_T).

Прирост $\Delta\alpha_{\text{темп}}$ определялся по формуле:

$$\Delta\alpha_{\text{темп}} = 10L \cdot \lg(P_K/P_T),$$

где L -длина испытываемого образца.

Измерения проводятся на длине волны излучения 1,3 мкм.

Режимы температурных испытаний выбираются в соответствии с ТЗ и учетом технических характеристик камеры. Скорость изменения температуры в режимах охлаждения и нагревания <1 градуса в минуту. Диапазон изменения температур от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. В работе предусматриваются следующие режимы испытаний ОВ:

- повышенная температура среды - нагревание ОВ от $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и далее до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, с последующим охлаждением до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- пониженная температура среды - охлаждение ОВ от $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и дальнейшее нагревание до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- предельное изменение температуры среды - охлаждение ОВ от $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ затем нагревание до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и охлаждение до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Время выдержки ОВ при температурах $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в первых двух режимах порядка 1 часа, а время выдержки ОВ при предельных температурах третьего режима составляло 0,5 часа.

Испытаниям подвергаются ОВ, намотанные на катушку (образец №1) и свободно уложенные в бухту (образец №2).

Изменения коэффициента затухания $\Delta\alpha_{\text{темп}} = \alpha_{T^{\circ}\text{C}} \cdot \alpha_{20^{\circ}\text{C}}$ ОВ на длине волны 1,3 мкм приведены в таблице ниже.

Образец	Режим испытания			
	I		II	III
	+60 °C	+100°C	-50 °C	-50 °C
№1	0	0	-0,1	-0,1 +0,1
№2	0,3	0,3	0,3	0,3 0,3

Из полученных данных обращает внимание низкотемпературное изменение коэффициента затухания в образце №1. Несмотря на то, что величина $\Delta_{\text{температура}}$ находится на уровне задаваемого ТЗ, однако, для ОВ с полимерным покрытием из эпоксиакрилатов в области низких температур следует ожидать увеличения оптических потерь, а не их ослабления. Результаты испытания в режиме от -50 °C до $+100\text{ °C}$ позволяют предположить влияние катушечных потерь на температурные

изменения коэффициента затухания. Испытание ОВ свободно уложенного в бухту показало, что общий уровень дополнительных оптических потерь, как в низкотемпературной области, так и в высокотемпературном диапазоне не превышает 0,3 дБ/км. Общей особенностью низкотемпературного поведения как образца №1, так и образца №2 является наличие гистерезиса. После снятия температурного воздействия в ОВ наблюдаются остаточные потери порядка 0,1 дБ/км.

Более детальное описание температурного поведения ОВ данного типа требует проведения дальнейших исследований.

Порядок выполнения работы

1. Получить номер варианта у преподавателя.

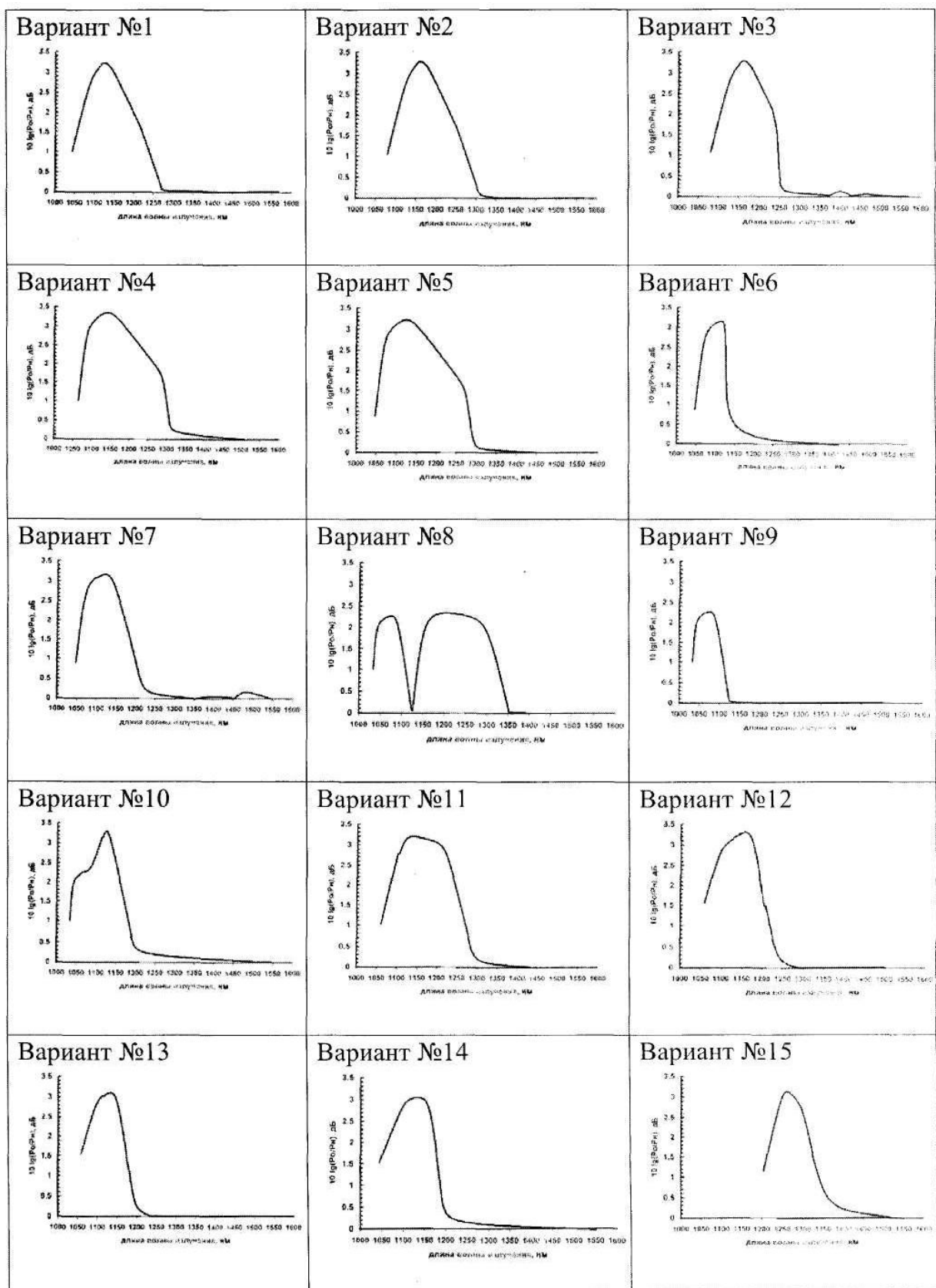
Т.к. работа выполняется на ЭВМ, то распечатать исходные данные на принтере.

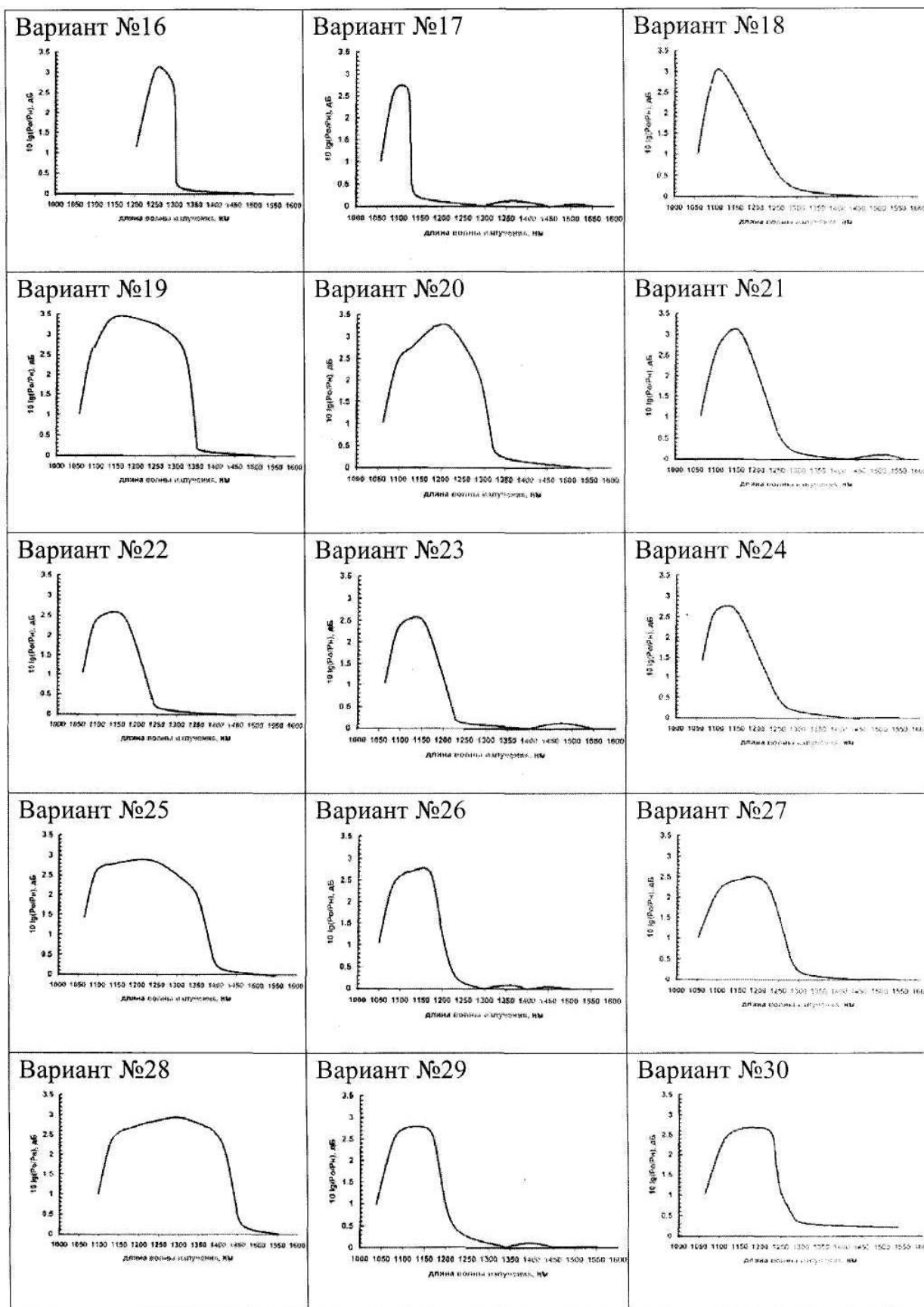
2. По полученной зависимости $R(\lambda)$ определить графически ДВО $\lambda_{\text{с}}$.

3. Рассчитать коэффициент затухания α для двух длин волн 1,3 мкм и 1,55 мкм.

4. Рассчитать изменение коэффициента затухания $\Delta_{\text{температура}}$ для всех температур полученного варианта.

5. Построить график зависимости $\alpha \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (Т) при длине волны 1,3 мкм.
6. Сделать вывод о характере изменения коэффициента затухания с ростом температуры, о термостабильности данного «образца» ОВ и определить диапазон изменения коэффициента затухания $\Delta\alpha_{\text{тем.}}$.
7. Все данные свести в отчет.





Литература

1. Пасынков В.В. Материалы электронной техники. М: Высшая школа 1980
2. Харин А.Н., Дьякова А.П. Материалы электронной техники. Таганрог: ТРТУ – 1977 (№212)
3. Курносов А.И. Материалы для полупроводниковых приборов и интегральных схем. – М.: Высшая школа – 1980
4. Ренне В.Т. “Электрические конденсаторы”. - Л., “Энергия”, 1969.
5. Волгов В. А. “ Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры ”.- М. Энергия , 1967.
6. Мартюшев К. И. , Тихонов А. И. , Зайцев Ю. В. “ Прецизионные непроволочные резисторы ”.- М. Энергия , 1979.
7. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника, М., "Советское радио", 1977.
8. Снайдер А., Лав Д., Теория оптических волноводов, М., 1987.
9. Унгер Х.Г., Планарные и волоконные оптические волноводы, М.,1980.
10. Леко В.К., Мазурин О.В. Свойства кварцевого стекла. Л., 1985.
11. Электрорадиоматериалы (под ред. Б.М. Тареева) – М.: Высшая школа 1978
12. Богородицкий Н.П. и др. Электротехнические материалы. Л.: Энергия 1977
13. Кнорозов Б.В. и др. Технология металлов. – М.: Металлургия - 1974
14. Корицкий Ю.В. Электротехнические материалы. – М.: Энергия - 1976