

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

Методическое обеспечение дисциплины

ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Смоленск – 2018 г.

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

**Лабораторный практикум
по дисциплине**

ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Смоленск – 2018 г.

1. Цели лабораторного практикума

Лабораторный практикум по дисциплине «Оптоэлектроника» служит для практического подкрепления лекционного материала и привития навыков оценки соответствия функционирования оптико-электронных систем требованиям технологии работы конкретных приборов, узлов и их моделей.

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в лаб. В-224 «Оптоэлектроника и УНИР» учебно-лабораторного корпуса филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске.

Цель студента при работе в лаборатории по дисциплине «Оптоэлектроника» – отработка навыков исследования показателей излучения и параметров оптических систем.

2. Перечень лабораторных работ и методические рекомендации по выполнению рабочего задания

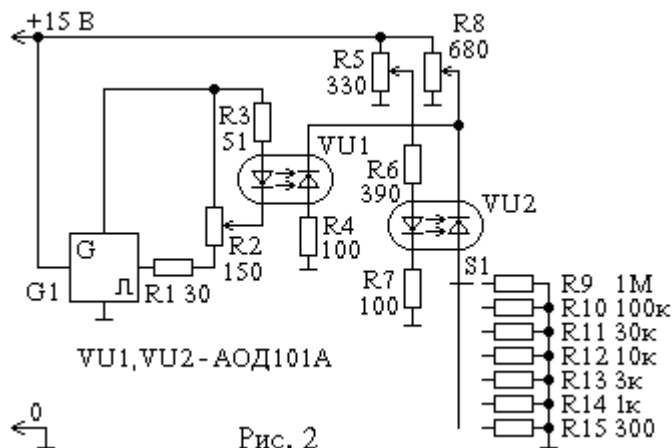
Лабораторная работа №1. Исследование диодной оптопары

Цель работы: ознакомление с характеристиками и параметрами диодных оптопар, и методами измерения некоторых из них.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка содержит электронный блок с двумя диодными оптопарами АОД101, подключаемый к источнику питания +15 В; измерения производятся универсальным вольтметром В7-26, В7-17 или цифровым вольтметром повышенной точности, а также осциллографом С1-73. Быстродействие осциллографа С1-73 (полоса частот до 5 МГц, время нарастания 70 нс) достаточно для измерения времен нарастания и спада оптопары АОД101В, для других оптопар этого типа следует использовать осциллограф с лучшим быстродействием, например, С1-81 (20 МГц, 18 нс).

Функциональная схема блока приведена на рис. 2. Блок содержит ТТЛ-генератор G1 прямоугольных импульсов напряжения, обеспечивающий времена нарастания и спада импульсов менее 30 нс, длительность импульсов регулируется в пределах 0,25...1,2 мкс, пауз между импульсами - 2...25 мкс. Оптопара VU1 работает в импульсном режиме и используется для измерения времен нарастания и спада выходного импульса. ИД этой оптопары включен в прямом направлении между выходом генератора G1 и положительным питающим проводом +5 В (напряжение образуется внутри генератора). ИД включен на генератор через балластный резистор R1, токовый резистор R3 и переменный резистор R2, регулирующий амплитуду входного тока в пределах 0...50 мА. ФД включен в обратном направлении на источник питающего напряжения, регулируемого резистором R8 в пределах 0...15 В (напряжение подается на фотодиоды обеих оптопар одновременно). Последовательно с ФД включен нагрузочный резистор R4 для осциллографирования выходного импульса и измерения его времени нарастания и спада.



Оптопара VU2 работает в статическом режиме и используется для измерения входной, выходной и передаточной характеристик и их параметров. ИД включен в прямом направлении через балластный резистор R6, токовый резистор R7 и переменный резистор R5 на питающее напряжение +15 В, ток ИД регулируется в пределах 0...25 мА. ФД второй оптопары включен в обратном направлении на питающее напряжение, регулируемое упомянутым потенциометром R8 в пределах 0...15 В; при этом измеряется выходной (обратный) ток оптопары. Последовательно с ФД включаются нагрузочные резисторы R9...R15, коммутируемые переключателем S1. В верхнем положении переключателя включен резистор R9=1 МОм, с учетом входного сопротивления вольтметра В7-26 (30 МОм) сопротивление нагрузки в этом случае равно 0,97 Мом; использовать с этим резистором иной вольтметр не следует в связи с неизвестным значением его входного сопротивления. В других положениях переключателя включаются резисторы R10...R15, сопротивление которых не превышает 100 кОм, эти резисторы шунтируются вольтметрами и осциллографом слабо. Сопротивление нагрузки в этих случаях можно считать равным сопротивлению этих резисторов. Резисторы позволяют измерять выходной ток от 1 нА (падение напряжения 10 мВ на сопротивлении 10 МОм) до 1 мА (0,3 В на 300 Ом). Все резисторы используются для измерения вольт-амперных характеристик ФД в вентильном режиме.

На лицевую панель блока выведены "под шлиц" регуляторы длительности импульсов (надпись " t_n ") и пауз между импульсами (" $t_{п}$ "), а также ручки резисторов R2, R5, R8, переключатель S1 и контактные гнезда для подключения измерительных приборов. Оптопара VU1 смонтирована непосредственно на плате генератора для уменьшения влияния соединительных проводов на форму импульсов; на переднюю панель выведены только контактные гнезда от резисторов R3 и R4 для подключения к ним осциллографа.

Лабораторная работа №2. Исследование транзисторной оптопары

Цель работы заключается в ознакомлении с характеристиками и параметрами транзисторных оптопар и методами изучения некоторых из них.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка содержит электронный блок с транзисторной оптопарой АОТ110, подключаемый к двум источникам питания: +15 и +30 В. Измерения в блоке производятся универсальным вольтметром В7-26 (или цифровым вольтметром повышенной точности) и двухканальным осциллографом, например, С1-118А.

Функциональная схема блока приведена на рис. 2. Блок содержит генератор прямоугольных импульсов G1, используемый при измерении временных параметров оптопары. Генератор обеспечивает амплитуду импульсов до +15 В, длительность фронтов менее 100 нс; длительность импульсов регулируется в пределах 8...70 мкс, пауз между импульсами - 20...300 мкс.

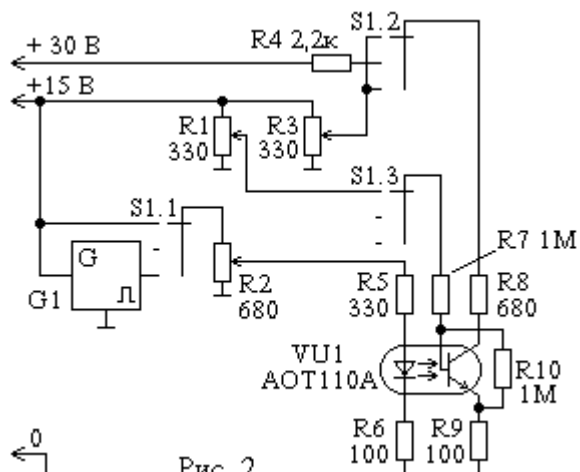


Рис. 2

Схемы соединений, необходимых для измерения соответствующих характеристик и параметров, обеспечиваются переключателем S1. В верхнем положении переключателя измеряются статические входная, выходная и передаточная характеристики и их параметры. В этом случае ИД оптопары включен в прямом направлении через балластный резистор R5, токовый резистор R6 и переменный резистор R2 на источник постоянного напряжения +15 В; ток ИД регулируется резистором R2 в пределах 0..30мА. ФТ открывается оптическим излучением ИД, а также электрическим током - включением базы через балластный резистор R7 и переменный резистор R1 на источник напряжения +15 В; ток базы в этом случае регулируется в пределах 0..15 мкА. Цепь R1R7 используется при изучении ФТ; при измерении передаточной характеристики и ее параметров ток от R1 должен быть исключен. Для этого движок резистора R1 сдвигается вниз (по схеме, на установке - против часовой стрелки), в сторону нулевого напряжения; при этом база ФТ оказывается "заземленной" через R7. Коллектор ФТ через нагрузочный резистор R8 включен на источник напряжения, регулируемого резистором R3 в пределах +0...15 В - это выходное (коммутируемое) напряжение оптопары. Для удобства измерения выходного тока в цепь эмиттера включен токовый резистор R9, ток через него совпадает с током коллектора ($R_n=R8+R9$).

В среднем положении переключателя измеряется ток утечки на выходе оптопары, при этом на резисторы R2 и R7 напряжение не подается; ток утечки измеряется при выходном напряжении +30 В, подаваемом на коллекторный резистор R8 через предохранительный резистор R4.

В нижнем положении переключателя измеряются импульсные параметры оптопары: времена нарастания, спада, включения, выключения, задержки. При этом на резистор R2 цепи питания ИД подается импульсное напряжение с генератора G1. Коллекторная цепь ФТ включается на источник напряжения +0...15 В.

На лицевую панель блока выведены "под шлиц" регуляторы длительности импульсов (надпись " $t_{и}$ ") и паузы (" $t_{п}$ "), а также ручки регулировочных резисторов R1...R3, переключателя S1 и контактные гнезда для подключения измерительных приборов

Лабораторная работа №3. Исследование тиристорной оптопары

Цель работы заключается в ознакомлении с характеристиками и параметрами тиристорных оптопар и методами измерения некоторых из них.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка содержит электронный блок с двумя тиристорными оптопарами АОУ103, блок подключается к двум источникам питания, каждый из которых регулируется независимо друг от друга в пределах +0...15 В; измерения в блоке производятся универсальным вольтметром В7-26 (или цифровым вольтметром повышенной точности) и осциллографом С1-73.

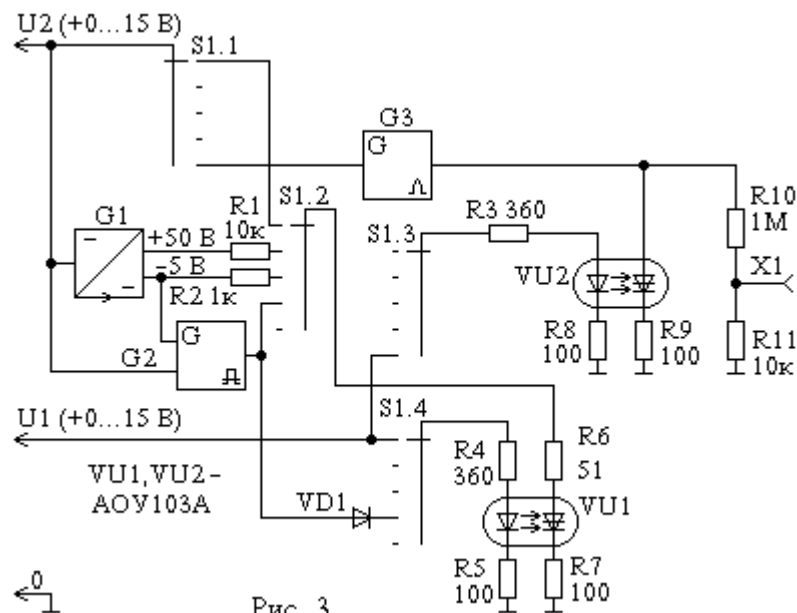


Рис. 3

Функциональная схема блока приведена на рис.2. Блок содержит три генератора. Генератор G1 - преобразователь постоянного напряжения, обеспечивает на выходе напряжение, регулируемое в пределах $+0...50$ В (регулировка по входу генератора - изменением входного напряжения U_2), а также стабилизированное напряжение -5 В (стабильность обеспечивается при входном напряжении $U_2=15$ В). Источник напряжения $+0...50$ В регулируется до установления выходного напряжения $+50$ В и используется при измерении выходного тока закрытого ФТ, это напряжение подается на ФТ через резисторы R1, R6 и R7. Источник напряжения -5 В используется в качестве одного из входов для генератора G2, а также при измерении выходного обратного тока.

Генератор G2 используется при измерении временных параметров оптопары. Он представляет собой генератор прямоугольных импульсов напряжения, меняющегося от -5 В в паузе до $+15$ В в импульсе (при напряжении питания $U_2=15$ В). Длительность фронта импульсов меньше $0,2$ мкс, среза - $0,6$ мкс; длительность импульсов регулируется в пределах $6...50$ мкс, пауз между импульсами - $60...500$ мкс.

Генератор G3 используется при измерении напряжений включения оптопары (до $1...1,5$ кВ) при малых значениях входного тока. Генератор представляет собой силовой преобразователь напряжения в виде однотактного инвертора, на его выходе с помощью диодов формируются импульсы напряжения примерно колоколообразной формы с амплитудой $+0...1200$ В, скважностью около 5 и частотой несколько килогерц (она немного меняется при изменении напряжения питания генератора). После отпирания ФТ шунтирует выход инвертора, и генерация срывается, предотвращая перегрузку генератора и уменьшая мощность, выделяющуюся в оптопаре. Довольно высокая скважность импульсов снижает среднюю мощность, выделяющуюся в запертом ФТ. Для исключения пробоя изоляции высоковольтный генератор смонтирован на отдельной плате вместе с оптопарой VU2, там же смонтированы резисторы делителя напряжения R10R11 (1:100), с которого выходное напряжение генератора подается на осциллограф.

Схемы соединений, требуемых для измерения соответствующих характеристик и параметров, обеспечиваются переключателем S1. В первом (сверху по схеме) положении переключателя измеряются статические входная и выходная характеристики и их параметры, а также параметры включения оптопары. В этом случае ИД оптопары включен в прямом направлении через токовый резистор R5 и балластный резистор R4 на регулируемое напряжение источника питания U_1 , ток ИД регулируется в пределах $0...25$ мА. ФТ включен в прямом направлении через токовый резистор R7 и балластный резистор R6 на регулируемое напряжение источника питания U_2 , после включения ФТ устанавливается выходной ток до 100 мА.

Во втором положении переключателя измеряется выходной ток закрытого ФТ, в третьем положении - выходной обратный ток ФТ, при этом напряжение на ИД не подается. ФТ через резисторы R6, R7 и предохранительный резистор R1 включается в прямом направлении на напряжение +50 В (U_2 подбирается), а через предохранительный резистор R2 - в обратном направлении на напряжение $\square 5$ В ($U_2=15$ В).

В четвертом положении переключателя измеряются импульсные параметры оптопары: времена нарастания, спада, задержки, включения, выключения. При этом напряжение с генератора G2 (-5 В в паузе, +15 В в импульсе при $U_2=15$ В) подается на ФТ через резисторы R6, R7 (импульс прямого тока около 100 мА), на ИД - через резисторы R4, R5 и диод VD1, исключающий попадание обратного напряжения на ИД (импульс прямого тока около 25 мА).

В пятом положении переключателя регулируемое напряжение питания U_2 подается на генератор G3, его выходное импульсное напряжение прикладывается к ФТ оптопары VU2 через токовый резистор R9 и измеряется осциллографом с помощью делителя напряжения R10R11. На ИД оптопары VU2 подается постоянный входной ток через токовый резистор R8 и балластный резистор R3 от источника питающего напряжения U_1 , входной ток регулируется в пределах 0...25 мА.

На лицевую панель блока выведены "под шлиц" регуляторы длительности импульсов (надпись " $t_{и}$ ") и паузы (" $t_{п}$ ") генератора G2, а также ручка переключателя S1 и контактные гнезда для подключения измерительных приборов

Лабораторная работа №4. Исследование тиристорной оптопары

Цель работы заключается в измерении некоторых классификационных параметров и основных характеристик знакоинтегрирующего полупроводникового сегментного индикатора.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка содержит электронный блок с цифровым индикатором АЛС324 с восемью светодиодами красного цвета свечения (7 сегментов и десятичная - "децимальная"- точка) с высотой цифр 7,5 мм.

Функциональная схема блока приведена на рис. 2. Блок подключается к двум источникам питания: +15 и 15 В, измерения производятся осциллографом С1-73. Блок содержит стабилизатор напряжения А1, электронный ключ А2, исследуемый индикатор НГ1, фотодиод VD1, усилитель фототока на операционном усилителе (ОУ) DA1.

Стабилизатор А1 регулирует выходное напряжение в пределах 0...10 В при токе нагрузки до 0,1 А.

Ключ А2 обеспечивает питание схемы включения индикатора импульсами напряжения амплитудой, установленной стабилизатором А1; длительность импульсов 0,1 мс, период 2 мс, скважность более 10.

Сегменты $a...h$ индикатора НГ1 включаются на импульсное питающее напряжение через коммутирующие выключатели Q1...Q8, балластные резисторы R1...R8 и токовые резисторы R9...R16. Выключатели позволяют включать сегменты в отдельности и в любом сочетании. Токовые резисторы (R9... R16) предназначены для измерения амплитуды импульсов тока через сегменты индикатора, балластные резисторы (R1...R8) вместе с токовыми ограничивают импульсный ток через сегменты $a...g$ до 40 мА, через сегмент h - до 300 мА. Большой ток через сегмент h позволяет снять вольт-амперную характеристику (ВАХ) вплоть до максимального для сегментов индикатора АЛС324 при указанной скважности тока. Остальные сегменты работают с токами, близкими к номинальным.

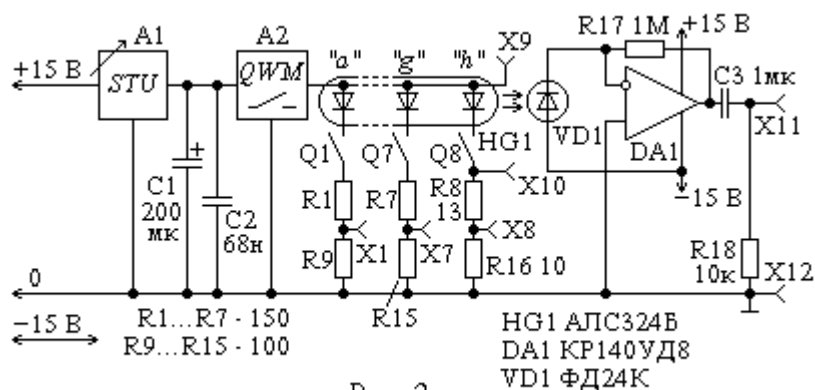


Рис. 2.

Усилитель фототока выполнен по схеме ПТН на ОУ с полевыми транзисторами на входе, его коэффициент преобразования равен сопротивлению резистора обратной связи R17. Фильтр верхних частот C3R18 с частотой среза 15 Гц ослабляет низкочастотные составляющие шума и устраняет сдвиг потенциала выхода усилителя (гнездо X12). Для уменьшения импульсных наводок от силовой части установки на фотометрическую последняя специальным электростатическим экраном выделена в отдельный отсек, а в цепях питания ФД и ОУ кроме обычных фильтрующих керамических конденсаторов применены резистивно-стабилитронные фильтры (параметрические стабилизаторы напряжения, на рис. 2 не показаны). Основная экранировка фотометрической части обеспечивается металлическим корпусом установки, соединенным с нулевой точкой схемы.

На лицевую панель блока выведен регулятор выходного напряжения стабилизатора A1, выключатели Q1...Q8, контактные гнезда X1...X8 для осциллографирования импульсов тока сегментов, X9 и X10 для напряжения на сегменте h , X11 для импульсов фотонапряжения на выходе ПТН. Кроме того, на лицевой стороне панели смонтирован индикатор на поворотном столике (вращать не более $\pm 90^\circ$), индикатор накрывается откидным черным светозащитным кожухом. Против индикатора расположен фотодиод в экранирующем черном кожухе. Расстояние между индикатором и фотодиодом более 6 см, что отвечает критерию точности (высота цифр 7,5 мм, диаметр чувствительной поверхности фотодиода 10 мм). Это позволяет измерять силу света и распределение ее в пространстве для любого сегмента индикатора, а также всех сегментов одновременно, не добиваясь точного выведения каждого элемента на ось фотометрической системы

3. Перечень лабораторных работ и методические рекомендации по выполнению рабочего задания

Лабораторный практикум включает 4 лабораторные работы (по 4 часа).

Рабочее задание на лабораторный практикум:

Лабораторная работа № 1. Исследование диодной оптопары

Лабораторная работа № 2. Исследование транзисторной оптопары

Лабораторная работа № 3. Исследование тиристорной оптопары

Лабораторная работа № 4. Исследование знакоинтегрирующего полупроводникового индикатора

Защита лабораторных работ.

4. Контрольные вопросы

1. Конструкция диодной оптопары, типы ИД и ФД.
2. Характеристики, параметры диодных оптопар.
3. Схемы включения ИД, ФД, режимы работы ФД. Влияние $U_{\text{вых}}$, $R_{\text{н}}$.
4. Определение $t_{\text{н}}$ ($t_{\text{с}}$) для оптопары и установки и требуемое соотношение между ними.
5. Области определения и измерения ВАХ ИД и ФД.
6. Методика измерения характеристик и параметров диодных оптопар.
7. Почему при рассмотрении инерционности диодной оптопары не определяют время задержки выходного импульса?
8. Требования к длительности фронта испытательного импульса.
9. Понятия: токовый, балластный, нагрузочный резисторы.
10. Почему среди предельно допустимых параметров не оговаривается допустимая мощность рассеяния для элементов и оптопары в целом?
11. Характеристики, параметры транзисторных оптопар.
12. Схемы включения и режимы работы ФТ. Влияние $U_{\text{вых}}$, $R_{\text{н}}$.
13. Определение коэффициента передачи входного тока k_i и использование его при проектировании активного и ключевого режима работы транзисторной оптопары.
14. Области определения и измерения вольт-амперных характеристик ИД и ФТ.
15. Необходимость, выбор подключения и сопротивление резистора в базовой цепи ФТ (R_{10}).
16. Характеристики, параметры тиристорных оптопар.
17. Схема включения, режимы работы, влияние $U_{\text{п}}$, $R_{\text{н}}$.
18. Методика определения характеристик и параметров тиристорных оптопар.
19. Активный (линейный, усилительный), ключевой, релейный режимы работы активных электронных и оптоэлектронных приборов.
20. Средняя рассеиваемая мощность оптопары при измерениях в статическом и импульсном режимах работы в прямом (открытом и закрытом) и обратном направлениях тока ФТ.

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

**Методические рекомендации к расчетно-графической работе
по дисциплине**

ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Смоленск – 2018 г.

1. Цель расчетно-графической работы по дисциплине «Оптоэлектроника» – закрепление соответствующего лекционного материала дисциплины.

Тема расчетно-графической работы: «Расчет коэффициента передачи входного тока диодной оптопары на дискретных элементах».

Для достижения поставленной цели при выполнении расчетно-графической работы студентами решаются следующие задачи:

- Расчет масштабного коэффициента для индикатрисы силы света
- Определение интегральной чувствительности ПИ
- Расчет потока на чувствительной поверхности
- Расчет потока на чувствительной поверхности приемника излучения в случае канала диффузного вида
- Расчет потока на чувствительной поверхности приемника излучения в случае отсутствия специальной конструкции канала
- Расчет коэффициентов передачи входного тока диодной оптопары на дискретных элементах

Варианты задания на расчетно-графическую работу:

№ вар.	Тип ИИ	Тип ПИ
1	АЛ108А	ФД-6К
2	АЛ316А	1690
3	АЛ106	ФД-256
4	ЗЛ137А	ФД-21КП
5	АЛ120Б	1690
6	АЛ107Б	ФД-26К
7	ЗЛ138А	ФТ-1К, гр1
8	АЛ115А	ФД-3К
9	ЗЛ129А	КФДМ
10	АЛ106	ФД-28КП
11	АЛ 107А	ФТ-2К, гр1
12	АЛ137А	ФД-К-227
13	ЗЛ136А	ФД-25К
14	АЛ107А	ФД-27К
15	ЗЛ341Б	ФД-20-31К
16	ЗЛ341Г	ФДК-1
17	АЛ118А	ФД-8К
18	АЛ120А	ФД-10КП
19	ЗЛ341Е	КФДМ
20	АЛ108АМ	ФД-10К

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов, В.Н. Физические основы оптоэлектроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Н. Давыдов. — Электрон. дан. — Москва : ТУСУР, 2016. — 139 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/110271>. — Загл. с экрана.
2. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Н. Игнатов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 596 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/95150>. — Загл. с экрана.
3. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. – М.: Техносфера, 2006. – 592 с.