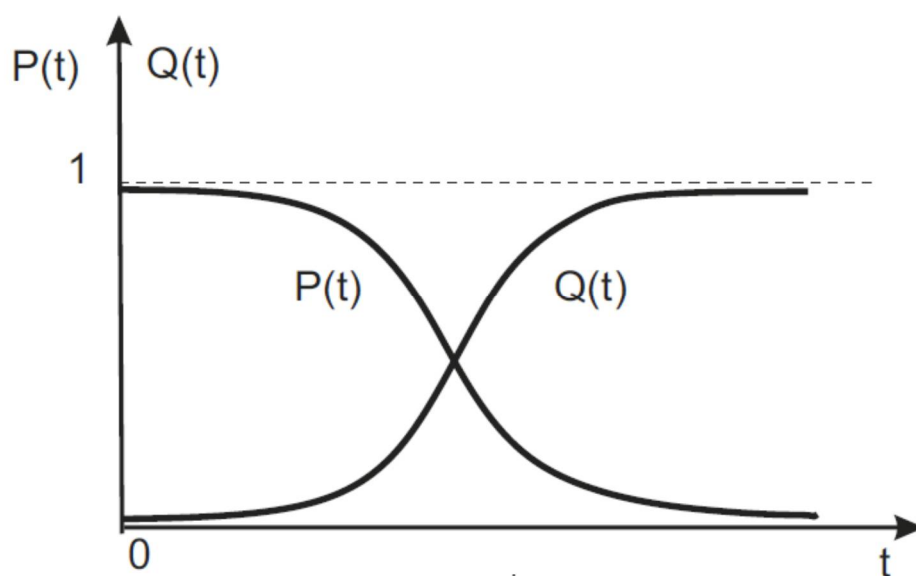


**И.А. Коняхин, Е.Н. Зверева**

**ТИПОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК  
НАДЕЖНОСТИ  
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**



**Санкт-Петербург**

**2016**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**И.А. Коняхин, Е.Н. Зверева**

**ТИПОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК  
НАДЕЖНОСТИ  
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

**Учебное пособие**

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

**2016**

Коняхин И.А., Зверева Е.Н. Типовые расчеты по определению характеристик надежности оптоэлектронных приборов. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 65 с.

Настоящее пособие представляет собой методические указания к выполнению типового расчета по дисциплине «Основы проектирования оптоэлектронных приборов и систем».

В учебном пособии в краткой форме изложены теоретические основы по разделу «теория надежности», поясняющие выполнение отдельных пунктов расчетного задания, приводится подробное решение типовой задачи и предлагаются варианты индивидуальных контрольных заданий.

Рекомендовано к печати Ученым советом факультета лазерной и световой инженерии протокол № 9 от 13 сентября 2016г.

Пособие соответствует программе курса «Основы проектирования оптоэлектронных приборов и систем» для технических ВУЗов и предназначено для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 12.03.02 «Оптехника», по профилю подготовки бакалавра «Оптоэлектронные приборы и системы», а также специалистов по специальности 12.05.01 "Электронные и оптоэлектронные приборы и системы специального назначения".



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

© Коняхин И.А., Зверева Е.Н., 2016

## Содержание

Введение .....	4
РАЗДЕЛ 1 Теоретические основы теории надежности.....	4
1.1 Основные понятия теории надежности.....	4
1.2 Основные количественные показатели безотказности .....	5
1.3 Экспоненциальный закон распределения наработки до отказа.....	7
1.4 Расчёт надёжности компонентов оптической системы.....	9
1.5 Надёжность электронной системы обработки сигнала при последовательном соединении элементов.....	10
РАЗДЕЛ 2 Контрольные задания по разделу «Теория надежности».....	12
2.1 Типовой пример .....	12
2.2 Индивидуальные контрольные задания.....	17
Приложение 1 «Среднее время безотказной работы оптоэлектронных элементов».....	56
Приложение 2 “Интенсивность отказа оптических элементов”.....	57
Приложение 3 «Интенсивность отказов интегральных схем (ИС) различного вида в зависимости от технологии изготовления» [13].....	57
Приложение 4 “Интенсивность отказов электронных и электромеханических элементов”.....	58
Приложение 5 “ Среднее время безотказной работы ламп” [7] .....	59
Список литературы .....	60

## Введение

Эффективность работы оптико-электронной системы (ОЭС) зависит как от надёжности отдельных электронных, электромеханических, оптических элементов, так и от аппаратуры, обеспечивающей взаимодействие между отдельными блоками и устройствами.

Развитие и усложнение техники, изменение условий её эксплуатации приводит к увеличению числа комплектующих элементов, что обуславливает повышенные требования к показателям надёжности ОЭС.

Цель выполнения типового расчета состоит в приобретении навыков расчета характеристик надёжности оптико-электронного прибора (ОЭП) с различными типами структур при различных объёмах исходной информации и анализа показателей надёжности проектируемой системы.

## РАЗДЕЛ 1 Теоретические основы теории надёжности

### 1.1 Основные понятия теории надёжности

В теории надёжности в соответствии с ГОСТ 27.022-89 принято использовать следующую терминологию [1].

Система – совокупность совместно действующих объектов, которые предназначены для самостоятельного (независимого) выполнения установленного задания.

Элемент системы – часть системы, предназначенная для выполнения определенных функций.

Надёжность (качественная характеристика) - это свойство системы (элемента системы) выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в указанных пределах в предписанных эксплуатационных условиях. Количественно надёжность определяется вероятностными характеристиками и параметрами.

Работоспособность – это состояние системы (элемента системы), при котором она способна выполнять свои функции.

Безотказность - это свойство системы (элемента системы) сохранять работоспособность в течении заданного времени в определенных условиях эксплуатации. Количественно безотказность определяется вероятностными характеристиками и параметрами.

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния системы (элемента системы).

Долговечность – это свойство системы (элемента системы) сохранять свою работоспособность до предельного состояния, когда его эксплуатация становится невозможной по техническим или экономическим причинам, условиям техники безопасности.

Все системы и элементы в теории надежности делятся на две группы: восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

Восстанавливаемость – это свойство системы (элемента системы), определяющее возможность получения допустимых значений параметров системы в результате устранения неисправности.

Невосстанавливаемая система – система, которая в случае возникновения отказа не подлежит или не поддается восстановлению.

К невосстанавливаемым элементам относят кнопки, диоды, интегральные блоки и т. д.

Наработка – это величина, принятая для измерения продолжительности работы системы (элемента системы).

Наработка между отказами – это наработка системы (элемента системы) между двумя последовательными возникшими отказами. Это случайная величина.

Наработка на отказ – это среднее время наработки между отказами.

Суммарная наработка – сумма наработок одной или нескольких систем (элементов) за определенный период времени.

Технический ресурс – это суммарная наработка системы (элементов) от начала эксплуатации до ее прекращения, обусловленное старением или изнашиванием.

Заданная наработка – это заранее установленная наработка системы (элемента системы), необходимая для выполнения определенного задания.

## 1.2 Основные количественные показатели безотказности

Основными показателями надежности невосстанавливаемых систем (показатели безотказности) являются: вероятность безотказной работы, плотность распределения отказов, интенсивность отказов и средняя наработка до отказа.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  – это вероятность того, что в заданной промежутке времени  $t$  в системе или элементе не возникнет отказ.

Статистическая оценка вероятности безотказной работы (эмпирическая функция надежности) определяется:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N}, \quad (1)$$

где  $N(t)$  – число элементов безотказно проработавших до момента наработки  $t$ ,  $N$  – общее число элементов.

Вероятность отказа  $Q(t)$  – это вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени появится хотя бы один отказ.

Статистическая оценка вероятности отказа (эмпирическая функция распределения отказов) определяется:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы является убывающей функцией, а вероятность отказа – возрастающей функцией наработки. Их графики приведены на рис 1.2.1.

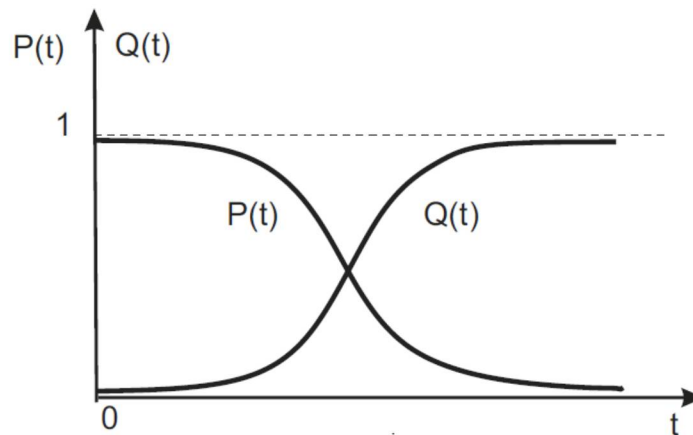


Рис. 1.2.1 Функция надежности  $P(t)$  и функция отказов  $Q(t)$

Плотность распределения отказов  $f(t)$  - это плотность распределения (плотность вероятности) случайной величины наработки элемента до отказа.

Оценка плотности распределения отказов численно равна «частоте» отказов, т. е. числу отказов за единицу времени, отнесенное к первоначальному количеству элементов.

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  – вероятность отказа элемента в единичный отрезок времени после данного момента времени  $t$  при условии, что до данного момента времени отказа не произошло.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (3)$$

Показатели интенсивности отказов комплектующих берутся на основании справочных данных [2,3,4,6].

Существуют уравнения связи основных показателей надежности, которое показывает, что  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $f(t)$  и  $\lambda(t)$  равноправны в том смысле, что зная один из них, можно определить другие.

$$P(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(t) dt \right\}, \quad (4)$$

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt. \quad (5)$$

Вид аналитической функции, описывающей изменение показателей надежности  $P(t)$ ,  $f(t)$  или  $\lambda(t)$ , определяет **закон распределения случайной величины**, который выбирается в зависимости от свойств объекта, его условий работы и характера отказов.

Для решения ряда практических задач надежность характеризуется средней наработкой до отказа (средним временем безотказной работы)  $T_{cp}$ . Это математическое ожидание величины времени работы до отказа, определяемое по формуле:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (6)$$

### 1.3 Экспоненциальный закон распределения наработки до отказа

Экспоненциальное распределение описывает наработку до отказа объектов, у которых в результате выходного контроля отсутствует период приработки, а назначенный ресурс установлен до окончания периода нормальной эксплуатации [5,6,8,9].

Эти объекты можно отнести к «не стареющим», поскольку они работают только на участке с  $\lambda(t) = \lambda = const$ . Круг таких объектов широк: сложные технические системы с множеством компонентов, средства вычислительной техники и системы автоматического регулирования и т. п.

Считается, что случайная величина наработки объекта до отказа подчинена экспоненциальному распределению, если плотность распределения отказов описывается выражением:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – параметр распределения, который по результатам испытаний принимается равным:

$$\lambda = \frac{1}{T_{cp}} \quad (8)$$

где  $T_{cp}$  – среднее время безотказной работы.

Остальные показатели безотказности при известной  $f(t)$  определяются:

- Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (9)$$

- Вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (10)$$



- Интенсивность отказов:

$$\lambda(t) = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda. \quad (11)$$

Из (11) следует, что интенсивность отказов является постоянной величиной, не зависящей от времени.

Числовые характеристики наработки до отказа:

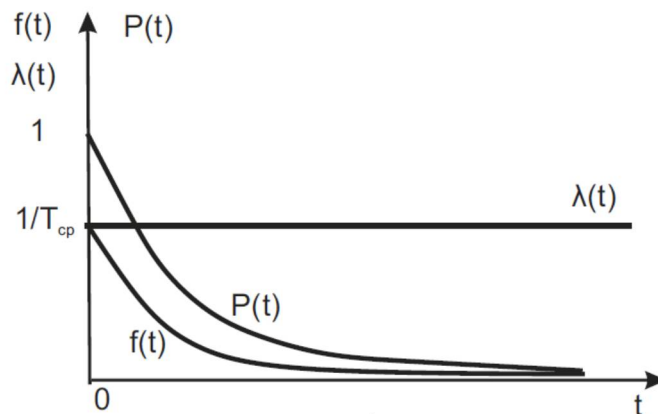
- Средняя наработка (математическое ожидание наработки) до отказа

$$T_{\text{cp}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (12)$$

- Дисперсия наработки до отказа

$$D = D(t) = \int_0^{\infty} (t - T_{\text{cp}})^2 f(t) dt = \frac{1}{\lambda^2}. \quad (13)$$

Графики изменения показателей безотказности при экспоненциальном распределении приведены на рис. 1.3.1



*Рис.1.3.1 Графики изменения показателей безотказности  $P(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  при экспоненциальном распределении*

Следует отметить, что при  $\lambda t \ll 1$ , т. е. при наработке  $t$  много меньшей, чем средняя наработка  $T_{\text{cp}}$ , выражения (7), (8), (10), (11) можно упростить, заменив  $e^{-\lambda t}$  двумя первыми членами разложения  $e^{-\lambda t}$  в степенной ряд.

Например, выражение для вероятности безотказной работы примет вид:

$$P(t) = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots \approx 1 - \lambda t, \quad (14)$$

вероятность отказа:

$$Q(t) = \lambda t, \quad (15)$$

плотность распределения отказов:

$$f(t) = \lambda \cdot (1 - \lambda t). \quad (16)$$

при этом погрешность аппроксимации не превышает 10%.

#### 1.4 Расчёт надёжности компонентов оптической системы

Расчет надёжности оптических компонентов производится с использованием приложения №2. Закон распределения наработки на отказ полагаем экспоненциальным.

Пусть, например, оптическая система состоит из объектива, светоделительного куба, плоского зеркала, ПЗС и светодиода.

Предполагается, что все поверхности линз объектива имеют просветляющее покрытие. Для каждой линзы интенсивность отказа составляет:

$$\lambda_i = \frac{1}{30} \cdot 10^{-3} \text{час}^{-1}.$$

Если объектив состоит из четырёх линз, то для всего объектива

$$\lambda = 4 \cdot \frac{1}{30} \cdot 10^{-3} \text{час}^{-1}.$$

Светоделительный куб по надёжности приблизительно эквивалентен интерференционному фильтру с многослойным покрытием

$$\lambda_k = \frac{1}{300} \cdot 10^{-3} \text{час}^{-1}.$$

Плоское отражающее зеркало по надёжности приблизительно эквивалентно интерференционному фильтру с многослойным покрытием

$$\lambda_z = \frac{1}{300} \cdot 10^{-3} \text{час}^{-1}.$$

Таким образом, для оптической системы расчет интенсивности отказов может быть представлен в виде Таблицы 1.1.

*Таблица 1.1 Пример расчёта интенсивности отказов оптической системы*

Название элемента	Кол.	$\lambda \cdot 10^{-6}$	$\sum \lambda \cdot 10^{-6}$
Светодиод	1	1/20	0,05
ПЗС	1	1/20	0,05
Линза	4	1/30	0.133
Куб светоделительный	1	1/300	0,0033
Зеркало плоское	1	1/300	0,0033
Всего			0.24

### 1.5 Надежность электронной системы обработки сигнала при последовательном соединении элементов

Работоспособность электронной системы обработки сигнала при последовательном соединении обеспечивается при условии, когда все  $n$  элементов системы находятся в работоспособном состоянии. Закон распределения наработки на отказ каждого элемента также полагаем экспоненциальным.

При последовательном соединении  $n$  элементов в основной системе (Рис. 1.5.1) отказ одного элемента приводит к отказу всей системы.



Рис. 1.5.1 Последовательное соединение элементов

Поскольку события, заключающиеся в работоспособности элементов системы, являются независимыми, то вероятность безотказной работы системы определяется произведением вероятностей отдельных событий:

$$P_{\Sigma}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t), \quad (17)$$

тогда вероятность отказа системы:

$$Q_{\Sigma}(t) = 1 - P_{\Sigma}(t) \quad (18)$$

Так как на участке нормальной эксплуатации системы [5] наработку до отказа можно описать экспоненциальным распределением каждого элемента (7), то вероятность безотказной работы системы равна:

$$P_{\Sigma}(t) = \exp(-\sum_{i=1}^k \lambda_i \cdot t). \quad (19)$$

Используя уравнение связи показателей безотказности (4), (5), выражающее вероятность безотказной работы любого элемента, в том числе и системы, и (17) получаем, что интенсивность отказов основной системы равна сумме интенсивностей отказов элементов:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \dots + \lambda_n(t) = \sum_{i=1}^k \lambda_i \quad (20)$$

$\lambda_i$  – интенсивность отказов элементов  $i$  – го типа;

$k$  – количество элементов.

В общем случае, для любого распределения интенсивность отказа системы равна:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1(t) + \lambda_2(t) \dots + \lambda_n(t)$$

Для  $n$  идентичных элементов  $\lambda_1(t) = \dots = \lambda_n(t) = \lambda(t)$  получаем:

$$\lambda_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^k \lambda(t) = n \cdot \lambda(t), \quad (21)$$

Математическое ожидание наработки до отказа

$$T_{\text{ср}\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{n\lambda} = \frac{T_{\text{ср}}}{n}, \quad (22)$$

Плотность распределения отказов

$$f_{\Sigma}(t) = n \cdot \lambda \cdot \exp(-n\lambda t). \quad (23)$$

Таким образом, при экспоненциальной наработке до отказа каждого из  $n$  элементов, распределение наработки до отказа электронной системы обработки сигнала при последовательном соединении элементов также подчиняется экспоненциальному распределению.

Необходимо особо отметить, что надежность электронной системы обработки сигнала при последовательном соединении элементов меньше надежности каждого из элементов. С увеличением числа элементов ее надежность уменьшается.

## РАЗДЕЛ 2 Контрольные задания по разделу «Теория надежности»

### 2.1 Типовой пример

Имеется структурная схема ОЭСОПК (оптико-электронная система определения пространственных координат), реализующая метод «обратной угловой засечки» (рис. 2.1.1).

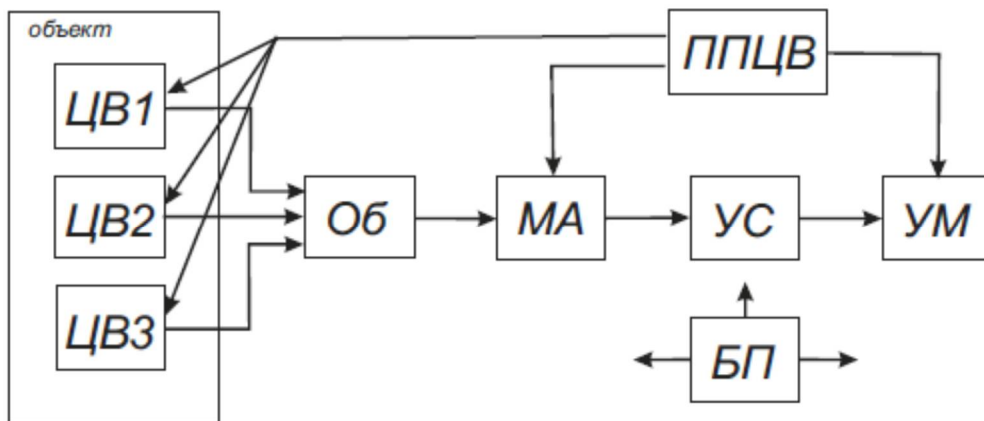


Рис. 2.1.1 Структурная схема оптико-электронной системы определения пространственных координат объекта:

ЦВ1, ЦВ2, ЦВ3 – цели визирные;

Об – объектив;

МА – матричный анализатор (используется КМОП-сенсор);

УС – устройство сопряжения;

УМ – управляющий микропроцессор;

ППЦВ – переключатель питания целей визирных;

БП – блок питания.

Блок ППЦВ представлен электрической схемой переключения излучающих диодов (рис 2.1.2), состоящий из:

1. Микроконтроллер *DD1* (*Reset*, *PD0*, *PD1*, *PD2*, *VCC*, *GND*, *XTAL1*, *XTAL2*, *AGND*, *AVCC*, *SCK*, *MISO*, *MOSI* – выходы портов);
2. Кварцевый генератор *G1*;
3. Два одинаковых керамических конденсатора *C1* и *C2*;

4. Конденсаторы  $C3 - C4$ ,  $C5 - C6$ , осуществляющие роль фильтров нижних и верхних частот;
5. Излучающие диоды (ИД)  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $VD3$  Kingbrighth марки WP7104F3C;
6. Резисторы  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$ ,  $R4$ ,  $R5$ ,  $R6$ ,  $R7$ - типовые металлоплёночные;
7. Транзисторы  $T1$ ,  $T2$ ,  $T3$ ;
8. Разъёмы соединительные  $X1$ ,  $X2$ .

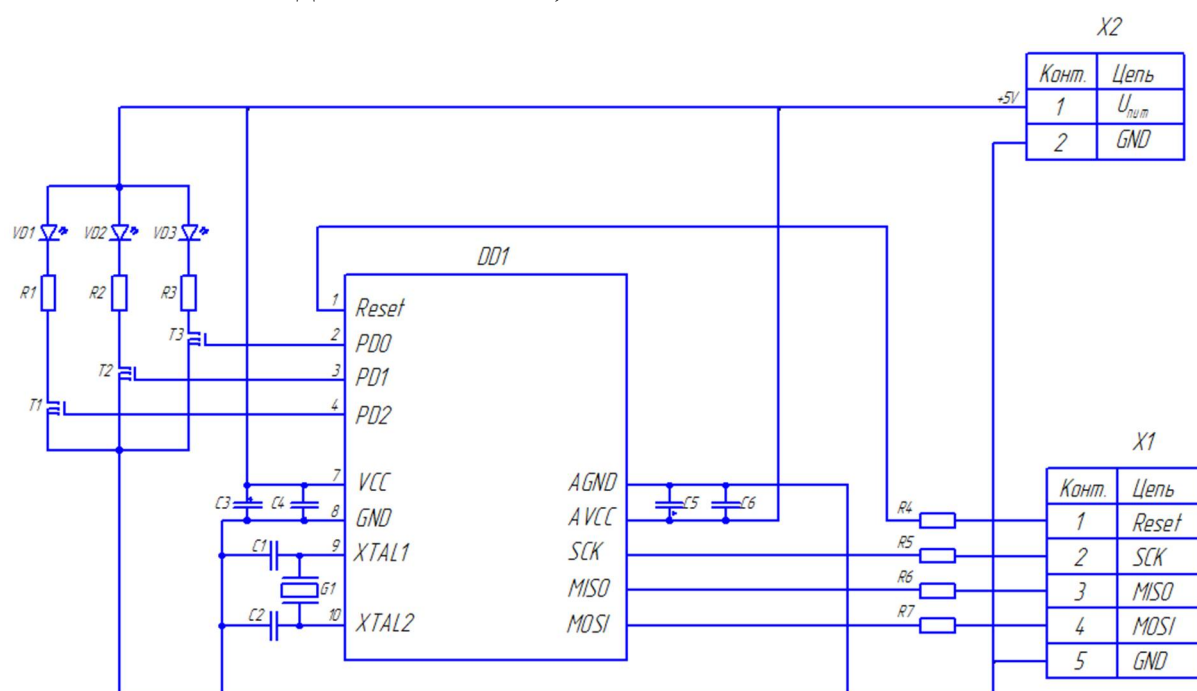


Рис. 2.1.2 Электрическая схема переключения излучающих диодов (ППЦВ)

Предполагается, что все элементы структурной схемы опико-электронной измерительной системы имеют последовательное, по надёжности, соединение, т.е. отказ одного из элементов структурной схемы (за исключением оптических) приведёт к отказу в работе всей системы.

В соответствии с техническим заданием на проектируемую систему, среднее время безотказной работы должно быть не менее 1000 час.

Поскольку для нормального функционирования ППЦВ необходима работоспособность всех трёх светодиодов, их цепи питания с точки зрения надёжности можно полагать соединёнными последовательно.

Требуется определить:

- 1) Интенсивность отказа системы;
- 2) Среднее время безотказной работы проектируемой системы;
- 3) Вероятность безотказной работы системы  $P(t)$  в течение двух временных отрезков  $t_1 = 800$  час,  $t_2 = 1000$  час;
- 4) Определить плотность распределения отказов системы при наработке  $t_2 = 1000$  час.

Решение.

1) Проведем расчет интенсивности отказа системы по усредненным значениям интенсивностей отказов элементов структурной схемы  $\lambda_i$ , считая что элементы оптической системы обладают абсолютной надежностью.

Используя справочные материалы приложения №1, определим интенсивность отказов элементов структурной схемы.

Среднее время работы ЦВ на основе излучающего диода фирмы Kingbrighth марки WP7104F3C составляет 15000 ч. Соответственно интенсивность отказа одного ИД WP7104F3C согласно формулы (8) составляет  $\lambda_{ид} \cong 6,67 \cdot 10^{-5} \text{ч}^{-1}$ .

Долговечность матричного анализатора (МА) составляет 5000 ч. По формуле (8) находим  $\lambda_{кмоп} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ч}^{-1}$ .

Определим интенсивность отказов блока ППЦВ.

Надежность микросхемы микроконтроллера  $DDI$  и кварцевого генератора  $GI$  можно представить, как надежность микросхемы со средним уровнем интеграции, средняя интенсивность отказов которых составляет  $\lambda_m = 10^{-7} \text{ч}^{-1}$  (см. приложение №3).

В приложении №4 представлены значения интенсивностей отказов для транзистора  $\lambda_T = 1 \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}$ , резистора  $\lambda_R = 3 \cdot 10^{-9} \text{ч}^{-1}$  и конденсатора  $\lambda_C = 25 \cdot 10^{-9} \text{ч}^{-1}$ .

Поскольку эти элементы электрической цепи ППЦВ по надёжности соединены последовательно, то суммарная интенсивность отказов этой схемы в целом определяется по формуле (20):

$$\lambda_{T+R+C} = 3 \cdot 1 \cdot 10^{-6} + 7 \cdot 3 \cdot 10^{-9} + 6 \cdot 25 \cdot 10^{-9} \cong 3,171 \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}.$$

Таким образом, интенсивность отказов блока ППЦВ составляет:

$$\lambda_{ппцв} = 3,171 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-7} = 3,371 \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}.$$

Интенсивность отказов блока питания в основном определяется

интенсивностью отказов трансформатора, как самого ненадёжного элемента. Из приложения №4 находим, что для трансформаторов средней мощности интенсивность отказов составляет  $\lambda_{БП} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ч}^{-1}$ .

Блок устройства сопряжения (УС) производит преобразование информации, снимаемой с МА, в коды для ее обработки в управляющем микропроцессоре (УМ). Исходя из опыта предыдущих расчетов на основании того, что принципиальная схема блока УС приблизительно в три раза сложнее (по количеству элементов) схемы ППЦВ, назначаем коэффициент пересчета  $k = 3$ . Таким образом, интенсивность отказов УС составит:

$$\lambda_{УС} = 3 \cdot \lambda_{ППЦВ} = 10,113 \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}.$$

Окончательно данные об интенсивности отказов элементов системы и их количестве представлены в табл. 2.1

Таблица 2.1

№ п/п	Наименование элемента	Количество	Интенсивность Отказов, $\text{час}^{-1}$
1	Источник оптического излучения (ЦВ)	3	$6,67 \cdot 10^{-5}$
2	Объектив	1	$0,133 \cdot 10^{-6}$
3	Приёмник оптического излучения (МА)	1	$2 \cdot 10^{-4}$
4	Устройство сопряжения (УС)	1	$10,113 \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}$
5	Управляющий микропроцессор (УМ)	1	$0,4 \cdot 10^{-4}$
6	Блок ППЦВ	1	$3,371 \cdot 10^{-6}$
7	Блок питания	1	$5 \cdot 10^{-4}$

По формуле (20) интенсивность отказов системы в целом составит:

$$\lambda_{\Sigma} = 3 \cdot 6,67 \cdot 10^{-5} + 0,133 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-4} + 10,113 \cdot 10^{-6} + + 0,4 \cdot 10^{-4} + 3,371 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-4} \text{ч}^{-1} \cong 9,53707 \cdot 10^{-4} \text{ч}^{-1}.$$

2) Среднее время безотказной работы системы определим по формуле (22):

$$T_{\text{ср}\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \cong 1049 \text{ час.}$$



Так как по условию технического задания среднее время безотказной работы должно быть не менее 1000 часов, то на основании полученных данных можно сделать вывод, что система обладает требуемой надежностью.

3) Вероятность безотказной работы системы в течение заданного времени  $t_1 = 800$  час и  $t_2 = 1000$  час определяется по формуле (19):

$$P(1000) = e^{-9,53707 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} = 0,385$$

$$P(800) = e^{-9,53707 \cdot 10^{-4} \cdot 800} = 0,466$$

4) Плотность распределения отказов (эта же величина определяет и частоту отказов) системы при наработке  $t_2 = 1000$  час по формуле (23) определяется

$$f(1000) = 9,53707 \cdot 10^{-4} e^{-9,53707 \cdot 10^{-4} \cdot 1000} = 3,67 \cdot 10^{-4}.$$

## 2.2 Индивидуальные контрольные задания

### Вариант 1.

Даны объектив и электрическая схема модуля управления питанием излучающих диодов. Требуется разработать структурную схему прожектора ОЭС «управления по лучу», определить интенсивность отказов блока модуля, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной работы системы в течение  $t=1000$  час, плотность распределения отказов системы.

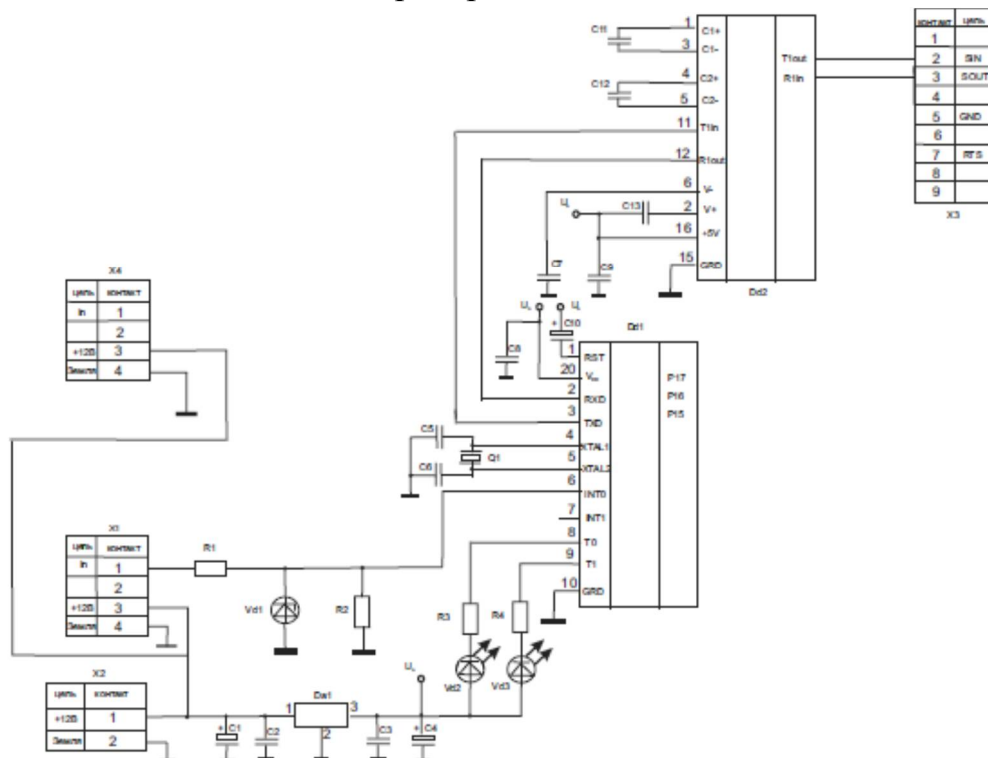


Рис. 2.2.1а Электрическая схема модуля управления

Электрическая схема модуля управления (Рис. 2.2.1а) состоит из:

1. Микроконтроллеры  $DD1$ ,  $DD2$  выполнены на основе микросхем VI и более высокой степени интеграции;
2. Кварцевый резонатор  $Q1$ ;
3. Керамические конденсаторы  $C1 - C13$ ;
4. Электролитические конденсаторы  $C1$ ,  $C4$ ,  $C10$ ;
5. Излучающие диоды  $VD2$ ,  $VD3$ ;
6. Стабилитрон - диод  $VD1$ ;
7. Резисторы проволочные  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$ ,  $R4$ ;

8. Разъемы X1, X2, X3, X4;
9. Микросхема малой степени интеграции (SSL) DA1.

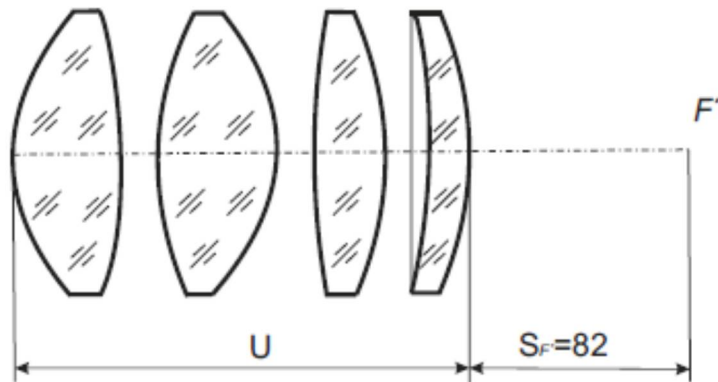


Рис. 2.2.16 Объектив

Таблица №2.2.1 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=60,3$	$d_1=12$	$n_1=1,5077$	68
$r_2=-81,1$			
$r_3=139$	$d_2=0,4$	$n_2=1$	68
$r_4=-83,5$	$d_3=8$	$n_3=1,5077$	
$r_5=331,1$	$d_4=0,4$	$n_4=1$	64
$r_6=-126,7$	$d_5=5$	$n_5=1,5077$	
$r_7=-1448,8$	$d_6=0,4$	$n_6=1$	64
	$d_7=5$	$n_7=1,5077$	

$D_{св}=70\text{мм}$ ;  $f'=100\text{мм}$ ; стекло марки К8; двойное просветление

## Вариант 2.

Даны объектив и электрическая схема блока питания прожектора ПУЛ-Н. Требуется разработать структурную схему прожектора ПУЛ-Н, определить интенсивность отказов блока питания прожектора ПУЛ-Н, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

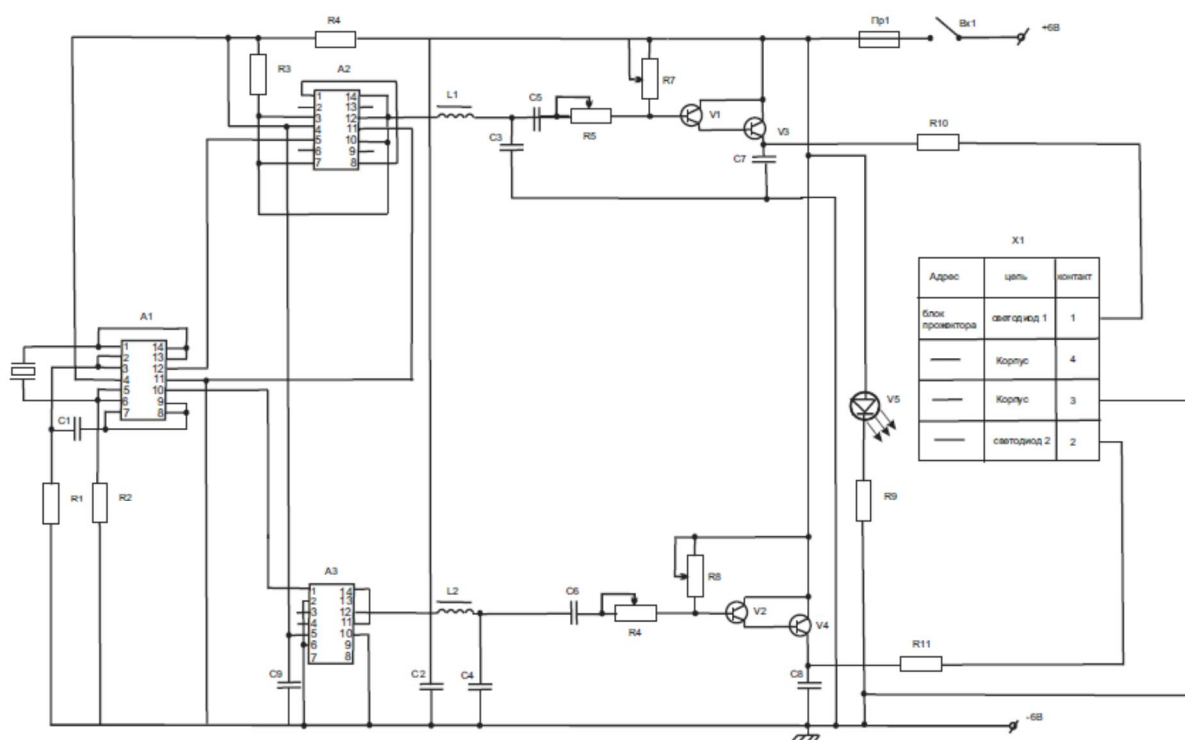


Рис. 2.2.2а Электрическая схема блока питания прожектора ПУЛ-Н

Электрическая схема блока питания прожектора ПУЛ-Н (Рис. 2.2.2а) состоит из:

1. Микросхемы ТТЛС  $A1, A2, A3$ ;
2. Катушки индуктивности  $L1, L2$ ;
3. Керамические конденсаторы  $C1 - C9$ ;
4. Транзисторы германиевые  $V1, V2, V3, V4$ ;
5. Предохранитель  $Pr1$ ;
6. Резисторы проволочные переменные  $R4, R5, R7, R8$ ;
7. Резисторы металлопленочные  $R1 - R10$ ;
8. Разъем  $X1$ ;
9. Излучающий светодиод  $V5$

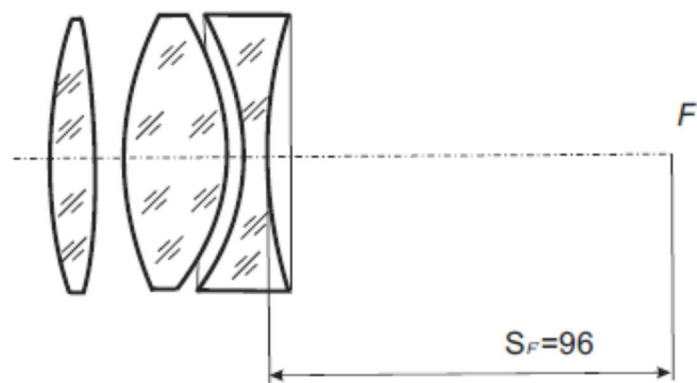


Рис. 2.2.26 Объектив

$D_{св}=55$  мм;  $f'=115$  мм; стекло марки К8

Таблица №2.2.2 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=113$	$d_1=8,3$	$n_1=1,5163$	55
$r_2=-211$			
$r_3=75$	$d_2=0,2$	$n_2=1$	55
$r_4=-100$	$d_3=14,9$	$n_3=1,5163$	55
$r_5=-100$	$d_4=0,1$	$n_4=1$	
$r_6=152$	$d_5=3,5$	$n_5=1,5163$	

### Вариант 3.

Даны объектив и электрическая схема блока управления источниками излучения прожектора ПУЛ. Требуется разработать структурную схему ОЭС, определить интенсивность отказов блока управления источниками излучения, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной

работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

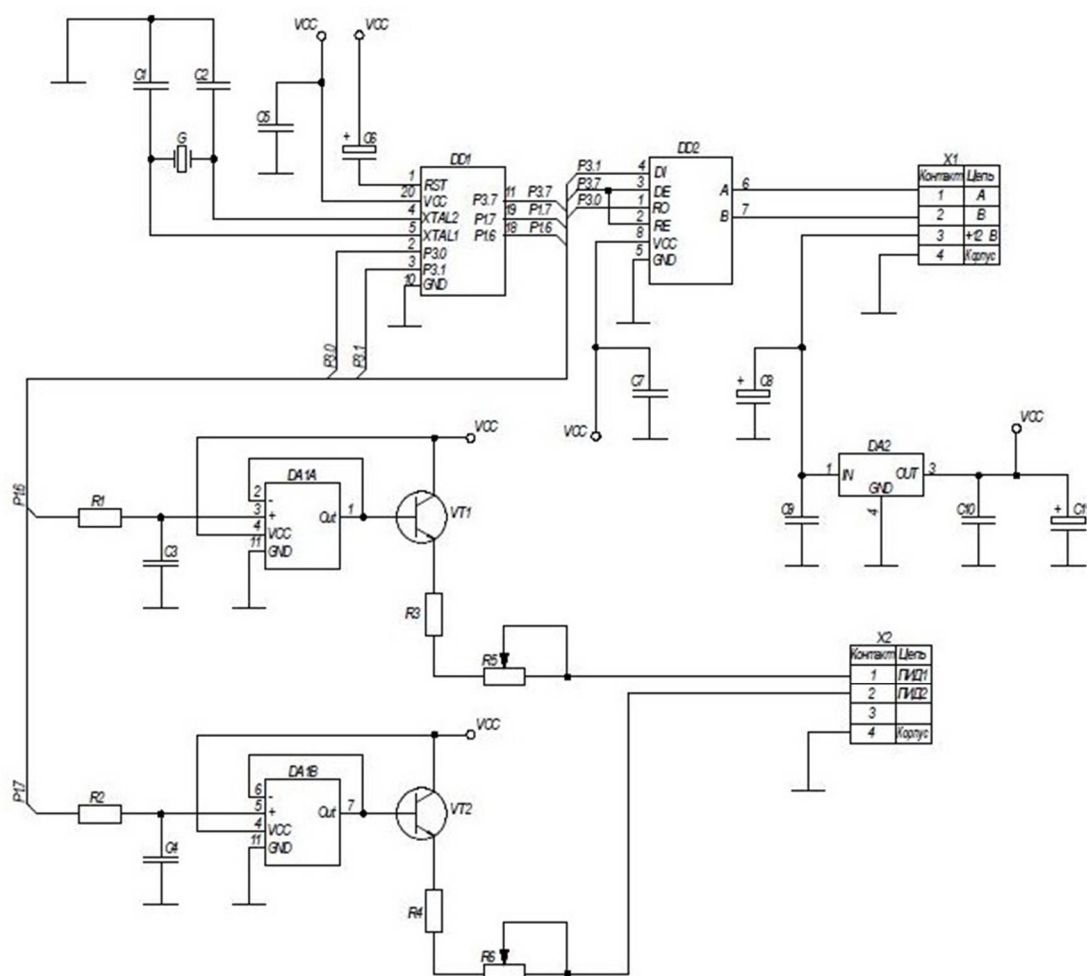


Рис. 2.2.3а Электрическая схема блока управления источниками излучения

Электрическая схема блока управления источниками излучения (Рис. 2.2.3а) состоит из:

1. Кварцевый резонатор  $Q1$ ;
2. Микроконтроллер  $DD1$ ,  $DD2$  выполнены на основе микросхем VI и более высокой степени интеграции;
3. Керамические конденсаторы  $C1 - C10$ ;
4. Конденсаторы электролитические  $C1$ ,  $C8$ ,  $C11$ ;
5. Микросхемы ЕКЛ10К  $DA1A$ ;  $DA1B$ ;
6. Резисторы проволочные точные  $R5$ ,  $R6$ ;
7. Резисторы постоянные многоваттные  $R1 - R4$ ;
8. Разъемы  $X1$ ,  $X2$ ;

9. Микросхема малой степени интеграции (SSL) DA2;
10. Транзисторы кремниевые VT1, VT2;
11. VCC, одноштырьковое соединение (коммутационное средство).

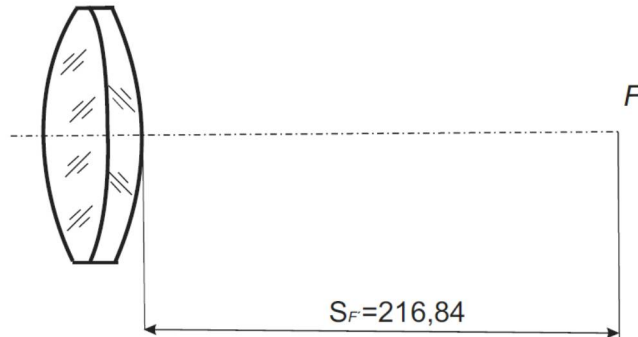


Рис. 2.2.3б Объектив

$D_{св} = 122 \text{ мм}$ ;  $f' = 240,15 \text{ мм}$ ; стекло марки К8 и Т8-1;

Таблица №2.2.3 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1 = 147,57$	$d_1 = 37$	$n_1 = 1,5163$	122
$r_2 = -109,9$			
$r_3 = -332,7$			$d_2 = 8$

#### Вариант 4.

Даны объектив и электрическая схема приемного блока (ПБ) ПУЛ. ПБ обрабатывает сигналы с двух кремниевых фотодиодов. Требуется разработать структурную схему ОЭС, определить интенсивность отказов блока, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

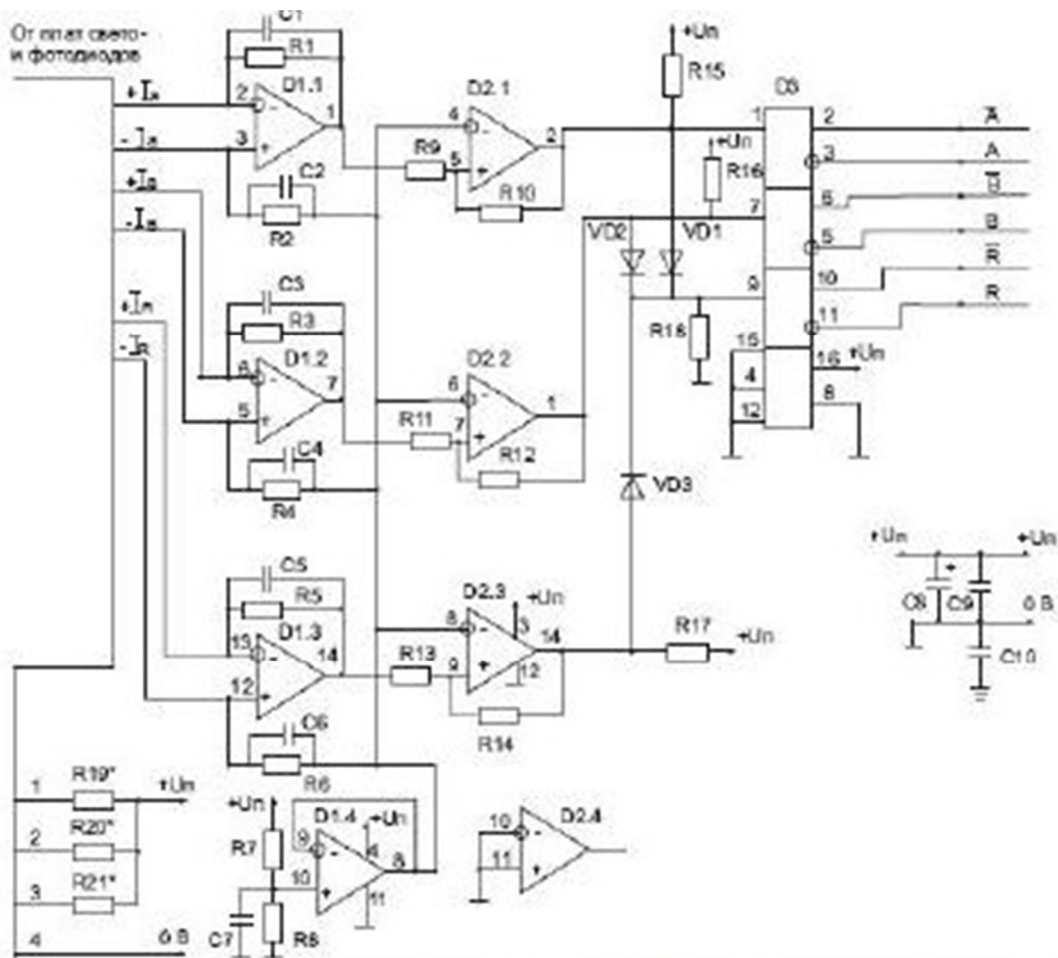


Рис. 2.2.4а Электрическая схема ПБ

Электрическая схема ПБ (Рис. 2.2.4а) состоит из:

1. Излучающие диоды  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $VD3$ ;
2. Керамические конденсаторы  $C1 - C4$ ;
3. Операционные усилители  $D1.1-D1.4$  и  $D2.1-D2.4$  выполнены на основе микросхем I - V степени интеграции;
4. Резисторы проволочные  $R19^*$ ,  $R20^*$ ,  $R21^*$ ;
5. Резисторы угольные  $R1- R18$ ;
6. Запоминающее устройство (256кбит)  $O3$ ;



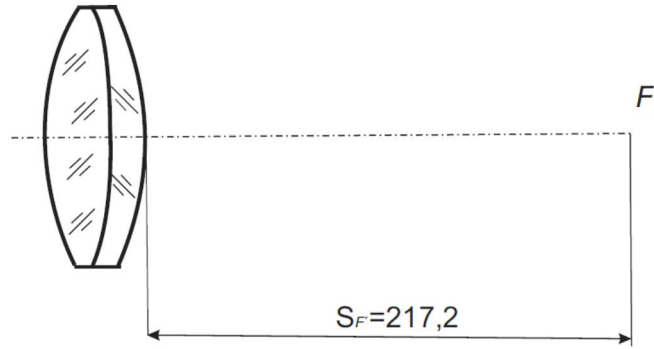


Рис. 2.2.4б Объектив

$D_{св} = 60 \text{ мм}$ ;  $f' = 238,2 \text{ мм}$ ; стекло марки К8 и Т8-1;

Таблица №2.2.4 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1 = 147,57$	$d_1 = 9,25$	$n_1 = 1,5163$	60
$r_2 = -111,3$			
$r_3 = -312,7$	$d_2 = 3$	$n_2 = 1,6475$	60

### Вариант 5.

Даны объектив и электрическая схема приемного блока (ПБ) ПУЛ. ПБ обрабатывает сигналы с фотоприемника – германиевого фотодиода.

Требуется разработать структурную схему ОЭС; определить интенсивность отказов приёмного блока; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

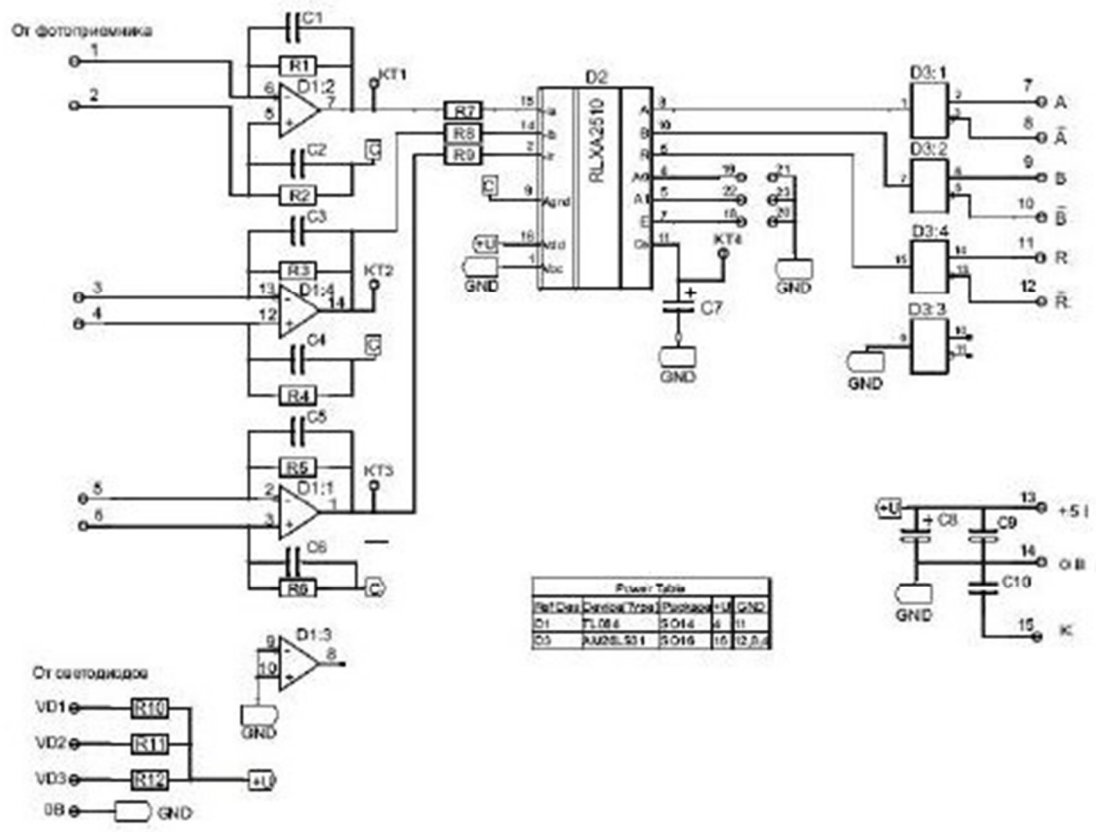


Рис. 2.2.5а Электрическая схема ПБ

Электрическая схема ПБ (Рис. 2.2.5а) состоит из:

1. Микросхемы ТТЛ S D3:1, D3:2, D3:3, D3:4;
2. Керамические конденсаторы C1 – C8;
7. Операционные усилители D1.1-D1.4 выполнены на основе микросхем I - V степени интеграции;
3. Резисторы проволочные мощные R7, R8, R9;
4. Резисторы металлопленочные R1- R5;
5. Микросхема ЕКЛ 10к D2:

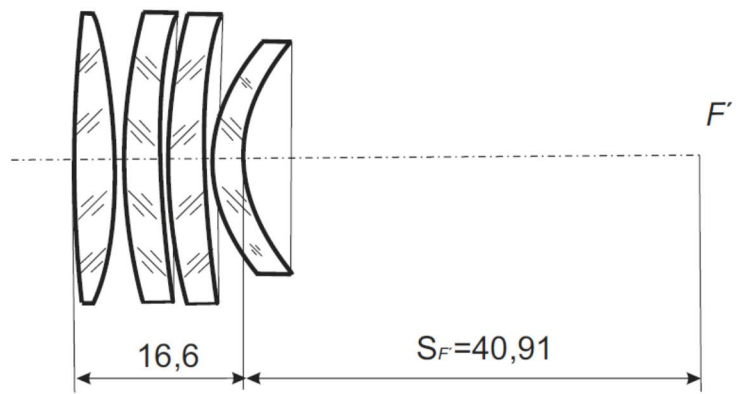


Рис. 2.2.5б Объектив

$D_{св}=34\text{мм}$ ;  $f=50,4\text{мм}$ ; стекло марки К8;

Таблица №2.2.5 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=118,03$	$d_1=4$	$n_1=1,50778$	34
$r_2=-724,4$			
$r_3=63,39$	$d_2=0,2$	$n_2=1$	34
$r_4=165,58$	$d_3=4$	$n_3=1,50778$	
$r_5=41,88$	$d_4=0,2$	$n_4=1$	34
$r_6=69,5$	$d_5=4$	$n_5=1,50778$	
$r_7=30,13$	$d_6=0,2$	$n_6=1$	34
$r_8=40,55$	$d_7=4$	$n_7=1,50778$	

### Вариант 6.

Даны объектив и электрическая схема приемного блока (ПБ) ПУЛ. ПБ обрабатывает сигналы с двух селеновых фотодиодов. Требуется разработать структурную схему ОЭС; определить интенсивность отказов блока ПБ; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t=1000$  час.

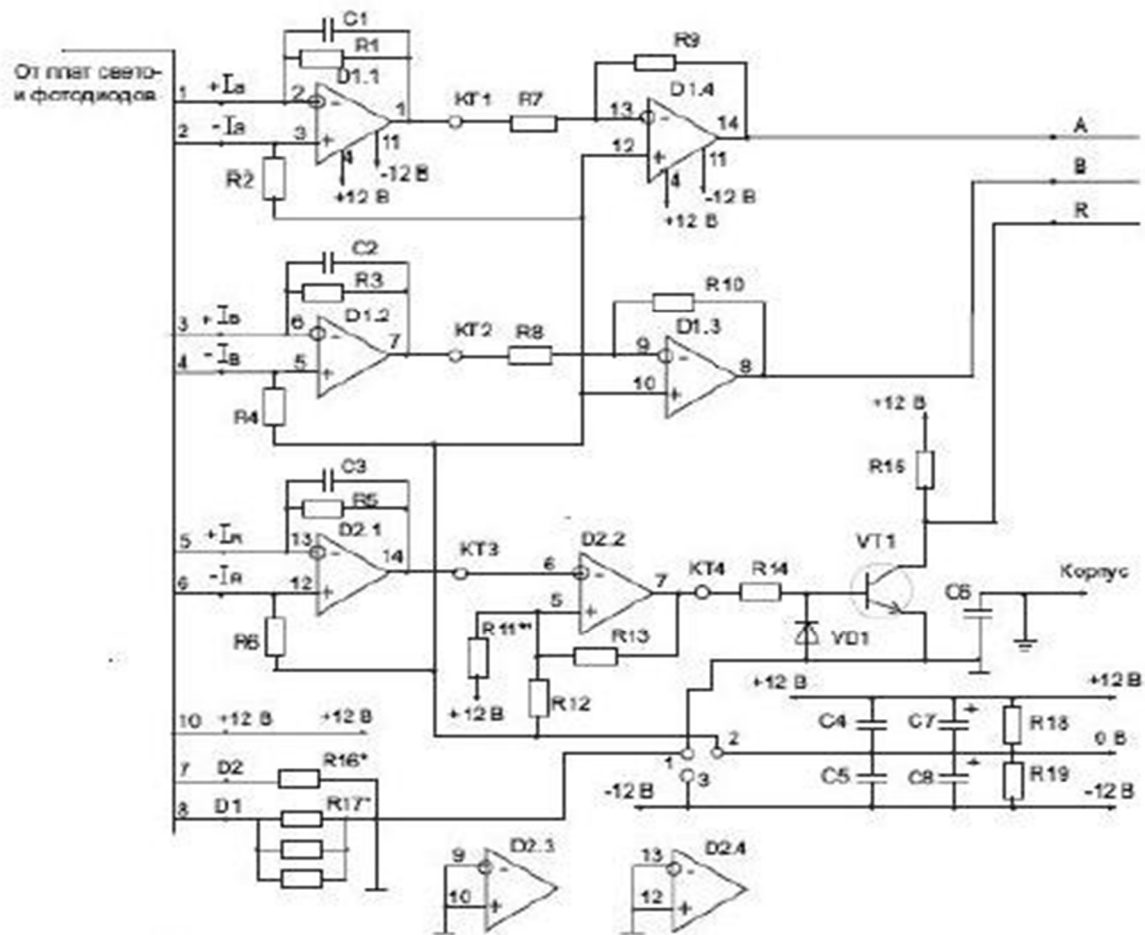


Рис. 2.2.6а Электрическая схема приемного блока ПУЛ

Электрическая схема приемного блока ПУЛ (Рис. 2.2.6а) состоит из:

1. Одноштырьковое соединение (коммутационное средство) КГ1, КГ2, КГ3, КГ4;
2. Керамические конденсаторы С1 – С8;
3. Резисторы проволочные  $R16^*$ ,  $R17^*$ ;
4. Резисторы проволочные переменные  $R1- R14$ ,  $R18$ ,  $R19$ ;
5. Транзистор германиевый VT1.

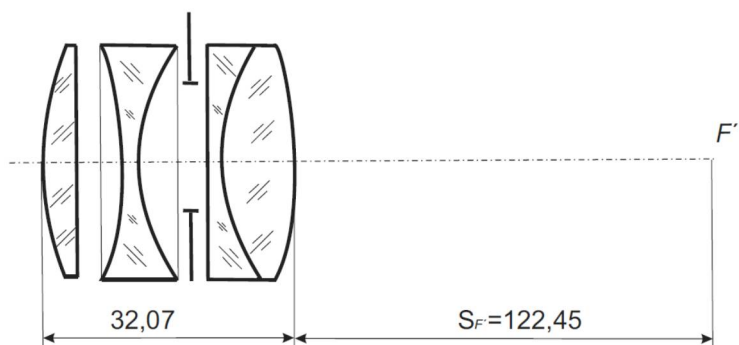


Рис. 2.2.6б Объектив

$D_{св}=31,2\text{мм}$ ;  $f'=140,47\text{мм}$ ; стекло марки ТК16; ЛФ5; ОФ1; ТК10;  
 Апертурная диафрагма расположена между второй и третьей линзами  
 на расстоянии 5,23мм от второй линзы. Диаметр апертурной диафрагмы  
 равен 27мм.

Таблица №2.2.6 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=38,475$	$d_1=5,6$	$n_1=1,6126$	32,2
$r_2=\infty$			32,2
$r_3=-86,068$	$d_2=6,35$	$n_2=1$	27,6
$r_4=35,29$	$d_3=2,5$	$n_3=1,5749$	26,3
$r_5=-271,48$	$d_4=8,12$	$n_4=1$	27,1
$r_6=36,149$	$d_5=2$	$n_5=1,5294$	27,5
$r_7=-55,65$	$d_6=7,5$	$n_6=1,6227$	27,7

## Вариант 7.

Даны объектив и электрическая схема предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н. Требуется разработать структурную схему ОЭС; определить интенсивность отказов блока предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t=1000$  час, плотность распределения отказов системы.

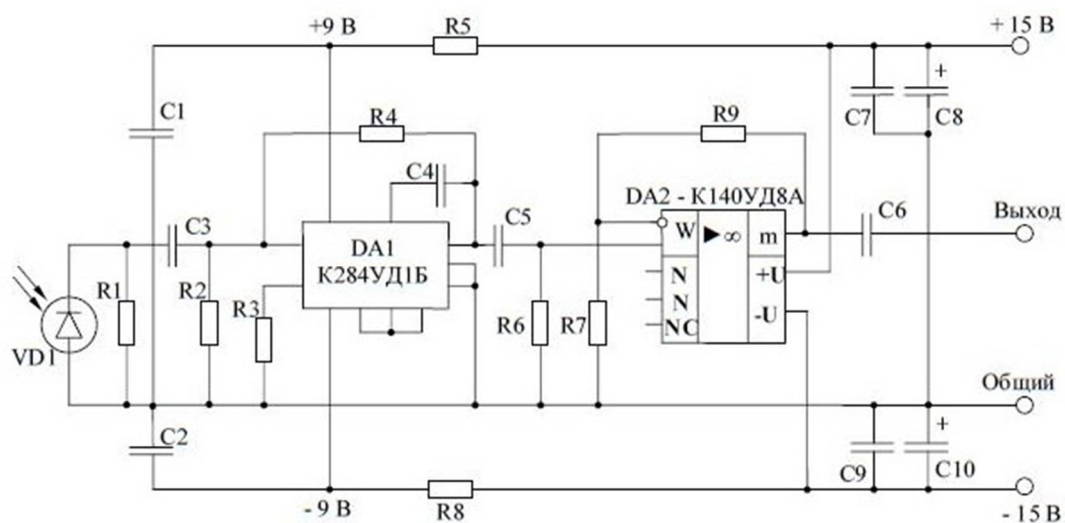


Рис. 2.2.7а Электрическая схема предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н

Электрическая схема предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н (Рис. 2.2.7а) состоит из:

1. Микросхемы ЕКЛ DA1, DA2;
2. Керамические конденсаторы C1 – C10;
3. Резисторы проволочные R1- R9;
4. Фотодиод Si VD1.

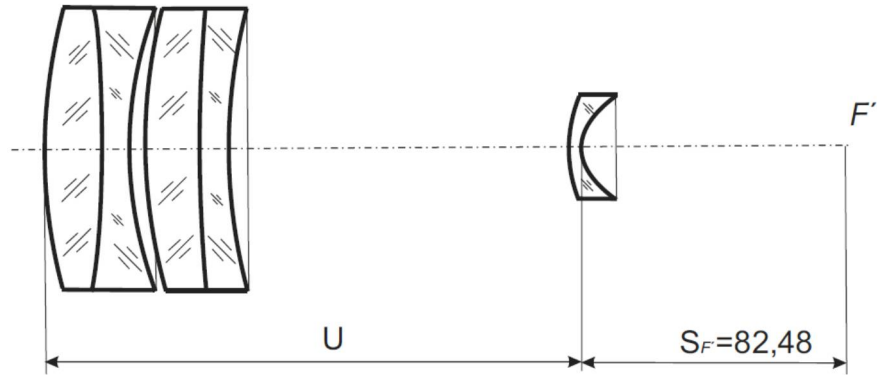


Рис. 2.2.76 Объектив

$D_{св}=64\text{мм}$ ;  $f'=500,275\text{мм}$ ; стекло марки К8;

Таблица №2.2.7 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=192,32$	$d_1=12$	$n_1=1,613$	64
$r_2=-158,4$			
$r_3=866,9$	$d_2=7$	$n_2=1,6625$	64
$r_4=170,23$	$d_3=0,2$	$n_3=1$	
$r_5=1184,15$	$d_4=12$	$n_4=1,613$	64
$r_6=256,5$	$d_5=7$	$n_5=1,6128$	
$r_7=43,6$	$d_6=206,8$	$n_6=1$	64
$r_8=24,57$	$d_7=4$	$n_7=1,5688$	

## Вариант 8.

Даны объектив и электрическая схема автоколлиматора АК. Требуется разработать структурную схему АК; определить интенсивность отказов проектируемой системы; определить среднее время безотказной работы; вероятность безотказной работы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

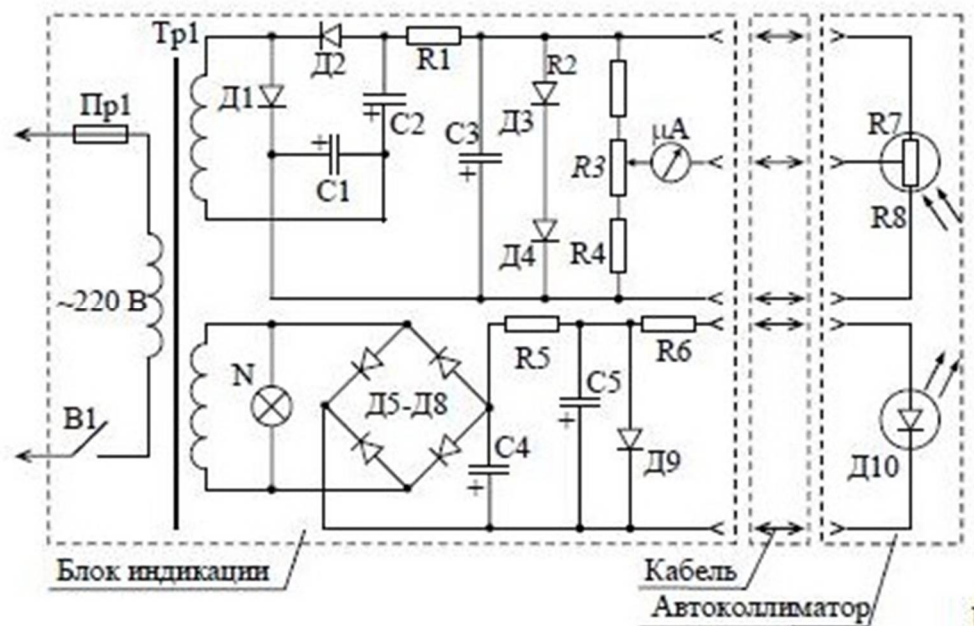


Рис. 2.2.8а Электрическая схема автоколлиматора

Электрическая схема автоколлиматора (Рис. 2.2.8а) состоит из:

1. Диоды кремниевые Д1 - Д9;
2. Излучающий диод германиевый Д10;
3. Керамические конденсаторы C1 – C15;
4. Резисторы проволочные R1- R6;
5. R7- R8 фоторезистор СФ (позиционно-чувствительный);
6. N лампа индикаторная ОП 8;
7. Микроамперметр  $\mu\text{A}$ ;
8. Предохранитель Пр1;
9. Трансформатор Tr1.



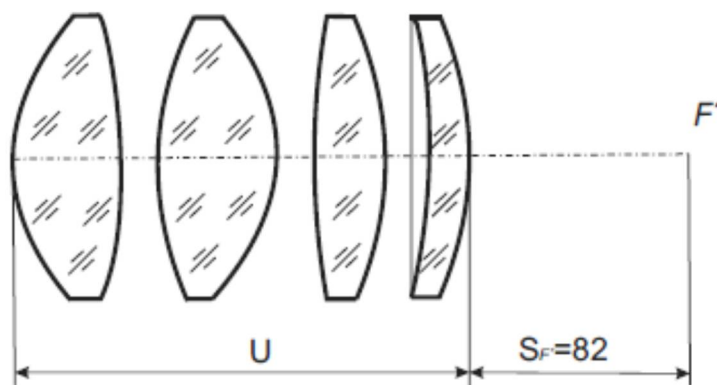


Рис. 2.2.8б Объектив

$D_{св}=70\text{мм}$ ;  $f=100\text{мм}$ ; стекло марки К8; двойное просветление

Таблица №2.2.8 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=60,3$	$d_1=12$	$n_1=1,5077$	68
$r_2=-81,1$			
$r_3=139$	$d_2=0,4$	$n_2=1$	68
$r_4=-83,5$	$d_3=8$	$n_3=1,5077$	
$r_5=331,1$	$d_4=0,4$	$n_4=1$	64
$r_6=-126,7$	$d_5=5$	$n_5=1,5077$	
$r_7=-1448,8$	$d_6=0,4$	$n_6=1$	64
	$d_7=5$	$n_7=1,5077$	

### Вариант 9.

Даны объектив и электрическая схема оптического передатчика оптической системы связи. Требуется разработать структурную схему ОЭС; определить интенсивность отказов оптического передатчика; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы;

вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

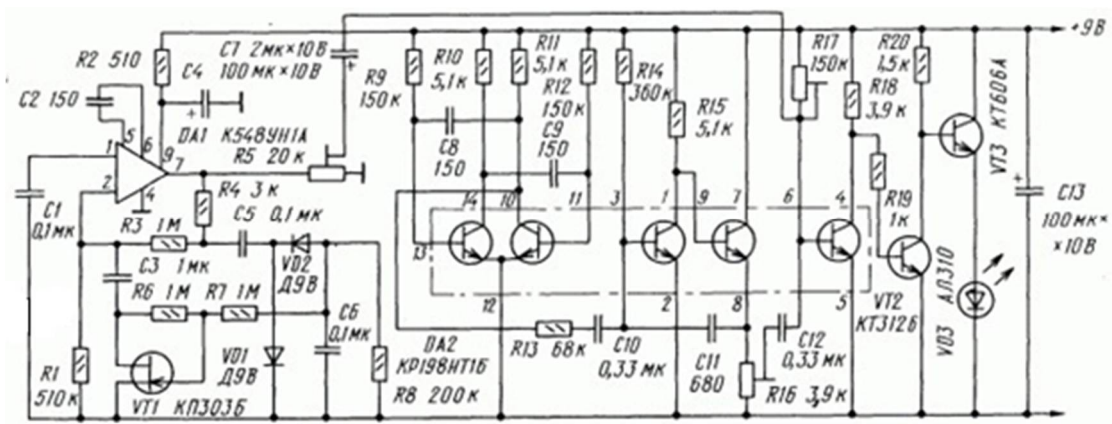


Рис. 2.2.9а Электрическая схема оптического передатчика

Электрическая схема оптического передатчика (Рис. 2.2.9а) состоит из:

1. Излучающие диоды VD1 – VD3;
2. Операционный усилитель DA1 выполнен на основе микросхем I - V степени интеграции;
3. Керамические конденсаторы C1 – C13;
4. Резисторы проволочные R1- R20;
5. Транзисторы кремниевые VT1- VT3.

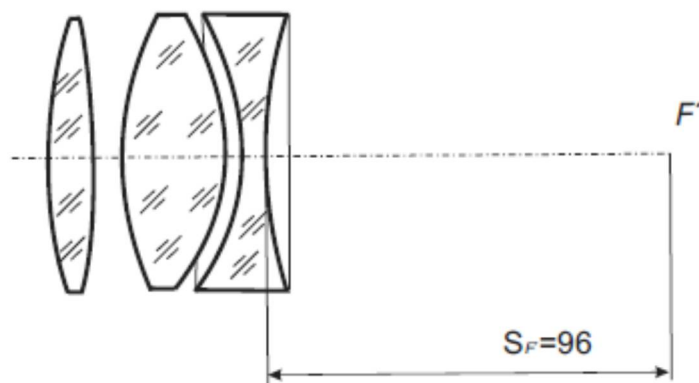


Рис. 2.2.9б Объектив

$D_{св} = 55 \text{ мм}$ ;  $f' = 115 \text{ мм}$ ; стекло марки K8

Таблица №2.2.9 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=113$	$d_1=8,3$	$n_1=1,5163$	55
$r_2=-211$			
$r_3=75$	$d_2=0,2$	$n_2=1$	55
$r_4=-100$	$d_3=14,9$	$n_3=1,5163$	55
$r_5=-100$	$d_4=0,1$	$n_4=1$	
$r_6=152$	$d_5=3,5$	$n_5=1,5163$	

### Вариант 10.

Даны объектив и электрическая схема приемно-излучающего устройства автоколлиматора (АК). Требуется разработать структурную схему АК; определить интенсивность отказов приемного устройства; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

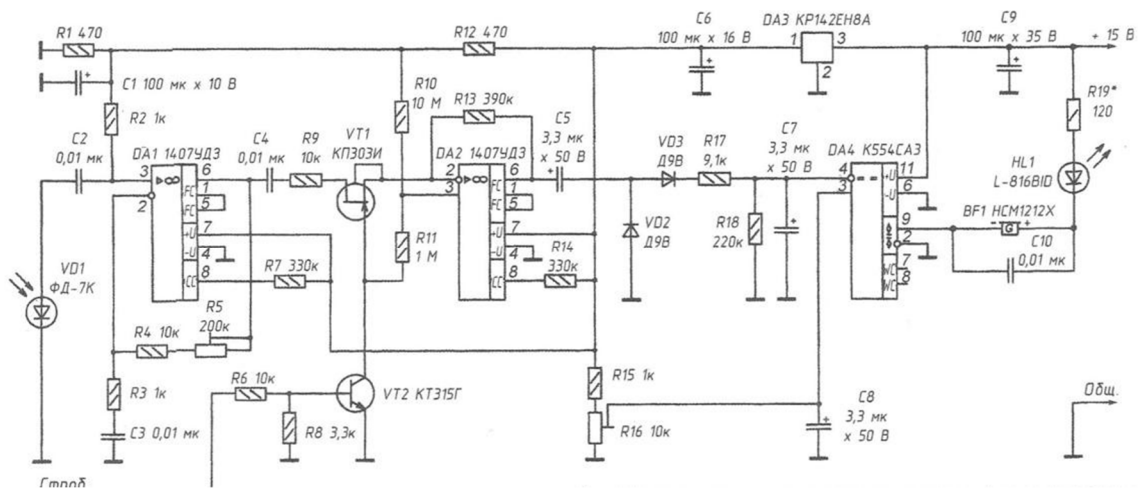


Рис. 2.2.10а Электрическая схема приемно-излучающего устройства автоколлиматора

Электрическая схема приемного устройства автоколлиматора (Рис. 2.2.10а) состоит из:

1. Диоды кремниевые VD1 – VD3;
2. Микросхемы ТТЛ S DA1- DA4;
3. Керамические конденсаторы C1 – C10;
4. Резисторы проволочные R1- R18;
5. Резистор металлопленочный R19\*;
6. Транзисторы германиевые VT1, VT2;
7. Кварцевый резонатор BF1;
8. Излучающий фотодиод Ge HL1;

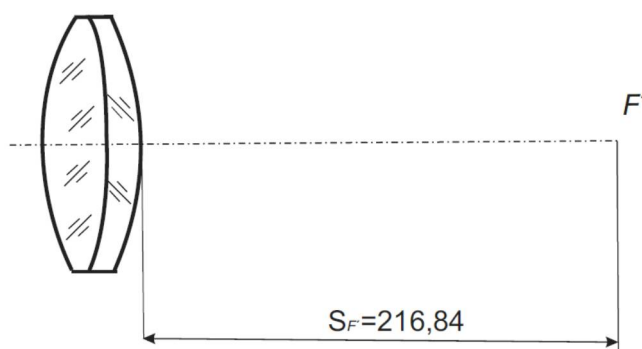


Рис. 2.2.10б Объектив

$D_{св}=122\text{мм}$ ;  $f'=240,15\text{ мм}$ ; стекло марки К8 и Т8-1;

Таблица №2.2.10 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=147,57$	$d_1=37$	$n_1=1,5163$	122
$r_2=-109,9$			
$r_3=-332,7$			$d_2=8$

## Вариант 11.

Даны объектив и электрическая схема устройства включения/выключения (УВВ) бытового прибора (электрополотенца). Требуется разработать структурную схему; определить интенсивность отказов датчика включения электрополотенца; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

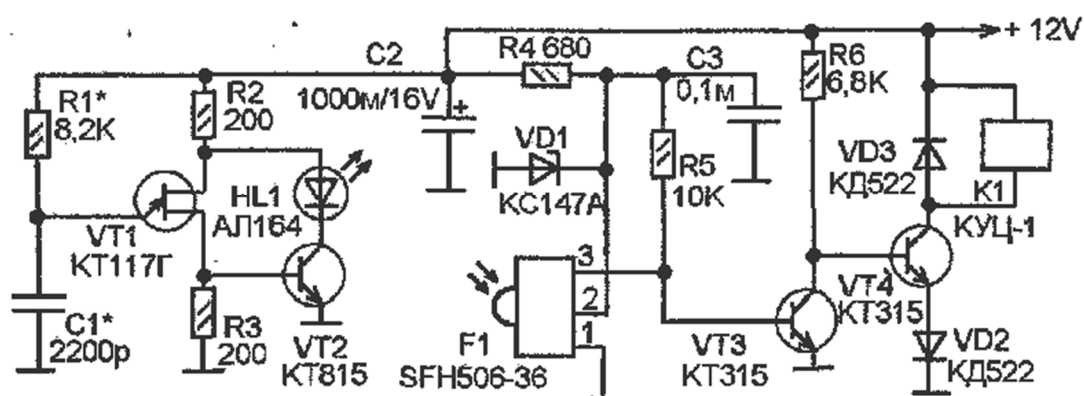


Рис. 2.2.11а Электрическая схема датчика включения электрополотенца

Электрическая схема датчика включения электрополотенца (Рис. 2.2.11а) состоит из:

1. Диоды кремниевые VD1 – VD3;
2. Реле K1;
3. Керамические конденсаторы C2, C3;
4. Конденсатор электролитический C1\*;
5. Резисторы проволочные R2- R6;
6. Резистор металлопленочный R1\*;
7. Транзисторы германиевые VT1, VT2, VT3, VT4;
8. Позиционно-чувствительный фоторезистор СФ F1;
9. Излучающий диод кремниевый HL1;

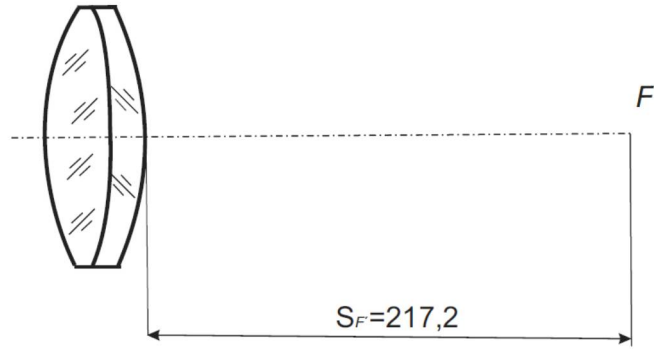


Рис. 2.2.11б Объектив

$D_{св}=60\text{мм}; f'=238,2\text{ мм};$  стекло марки К8 и Т8-1;

Таблица №2.2.11 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=147,57$	$d_1=9,25$	$n_1=1,5163$	60
$r_2=-111,3$			
$r_3=-312,7$	$d_2=3$	$n_2=1,6475$	60

### Вариант 12.

Даны объектив и электрическая схема устройства включения/выключения (УВВ) бытового прибора (электропылесоса). Требуется разработать структурную схему УВВ; определить интенсивность отказов, среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

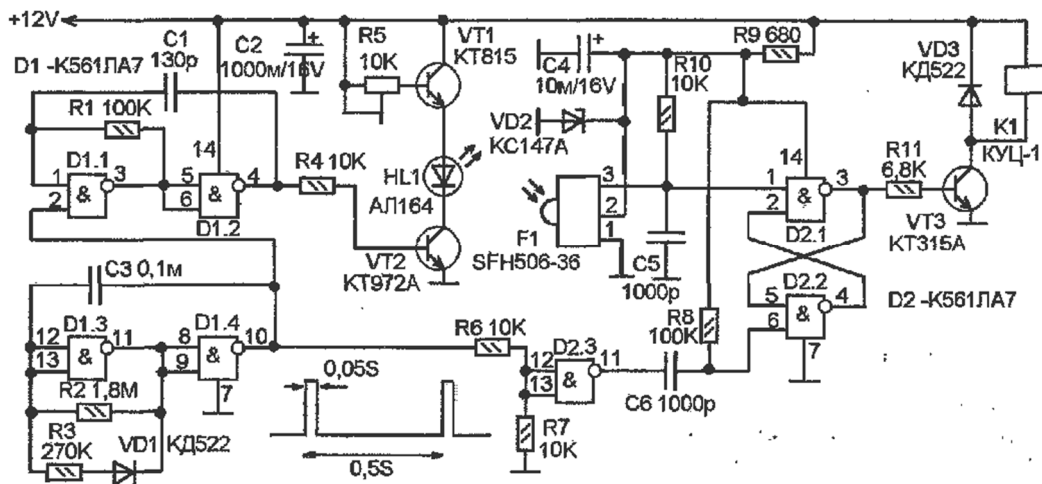


Рис. 2.2.12а Электрическая схема датчика включения бытового прибора (электроблесоса)

Электрическая схема датчика включения/выключения электропылесоса (Рис. 2.2.12а) состоит из:

1. Излучающие диоды VD1 – VD3;
2. Реле K1;
3. Керамические конденсаторы C1, C2;
4. Резисторы проволочные R1- R1;
5. Транзисторы германиевые VT1, VT2, VT3;
6. Позиционно-чувствительный фоторезистор СФ F1;
7. Микросхемы ТТЛ S D1.1-D1.4 и D2.1-D2.3;

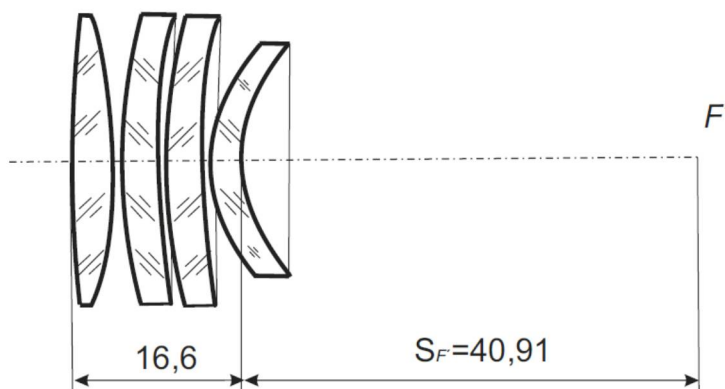


Рис. 2.2.12б Объектив

$D_{св}=34\text{мм}; f'=50,4\text{мм}; \text{стекло марки К8};$

Таблица №2.2.12 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=118,03$	$d_1=4$ $d_2=0,2$ $d_3=4$ $d_4=0,2$ $d_5=4$ $d_6=0,2$ $d_7=4$	$n_1=1,50778$ $n_2=1$ $n_3=1,50778$ $n_4=1$ $n_5=1,50778$ $n_6=1$ $n_7=1,50778$	34
$r_2=-724,4$			
$r_3=63,39$			34
$r_4=165,58$			
$r_5=41,88$			34
$r_6=69,5$			
$r_7=30,13$			34
$r_8=40,55$			

### Вариант 13.

Даны объектив и электрическая схема модуля управления питанием излучающих диодов. Требуется разработать структурную схему прожектора ОЭС «управления по лучу», определить интенсивность отказов блока модуля, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной работы системы в течение  $t=1000$  час, плотность распределения отказов системы.



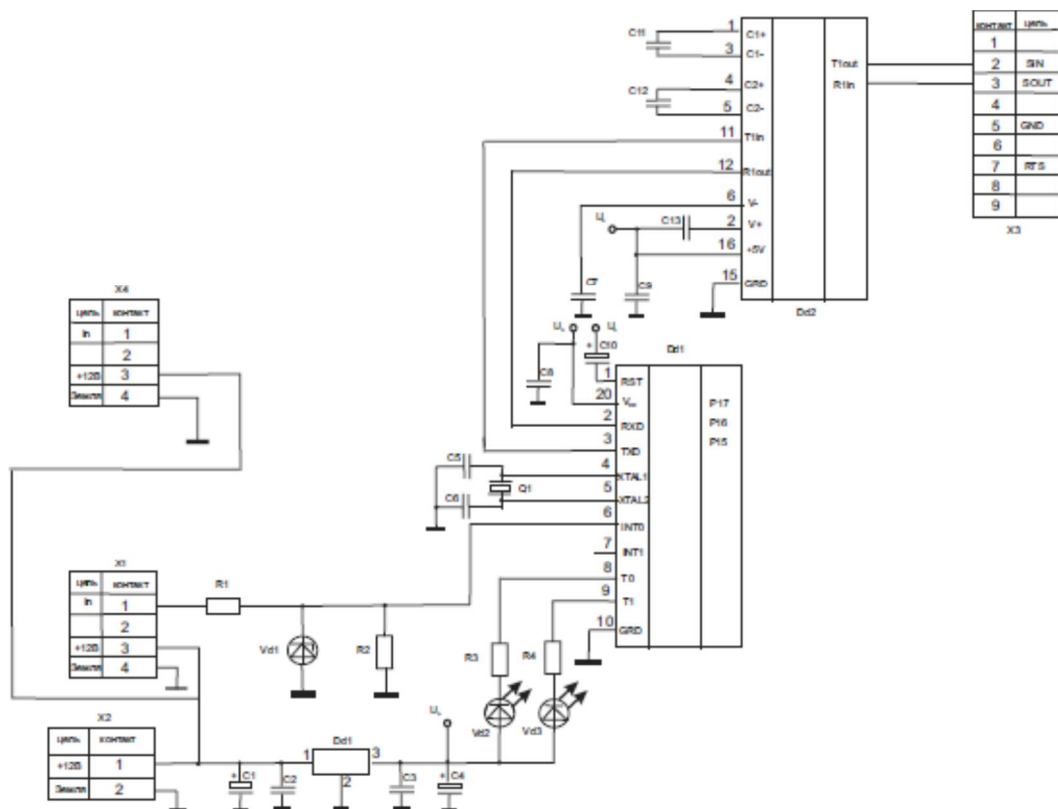


Рис. 2.2.13а Электрическая схема модуля управления

Электрическая схема модуля управления (Рис. 2.2.13а) состоит из:

1. Микроконтроллеры  $DD1$ ,  $DD2$  выполнены на основе микросхем  $VI$  и более высокой степени интеграции;
2. Кварцевый резонатор  $Q1$ ;
3. Керамические конденсаторы  $C1 - C13$ ;
4. Электролитические конденсаторы  $C1$ ,  $C4$ ,  $C10$ ;
5. Излучающие диоды  $VD2$ ,  $VD3$ ;
6. Стабилитрон - диод  $VD1$ ;
7. Резисторы проволочные  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$ ,  $R4$ ;
8. Разъемы  $X1$ ,  $X2$ ,  $X3$ ,  $X4$ ;
9. Микросхема малой степени интеграции (SSL)  $DA1$ .

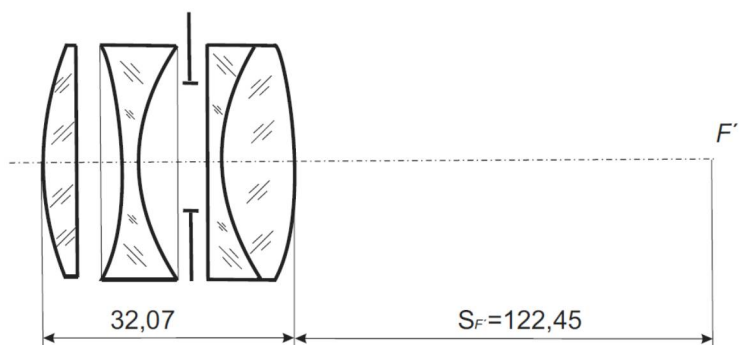


Рис. 2.2.13б Объектив

$D_{св}=31,2\text{мм}$ ;  $f'=140,47\text{мм}$ ; стекло марки ТК16; ЛФ5; ОФ1; ТК10;  
 Апертурная диафрагма расположена между второй и третьей линзами  
 на расстоянии 5,23мм от второй линзы. Диаметр апертурной диафрагмы  
 равен 27мм.

Таблица №2.2.13 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=38,475$	$d_1=5,6$	$n_1=1,6126$	32,2
$r_2=\infty$			32,2
$r_3=-86,068$	$d_2=6,35$	$n_2=1$	27,6
$r_4=35,29$	$d_3=2,5$	$n_3=1,5749$	26,3
$r_5=-271,48$	$d_4=8,12$	$n_4=1$	27,1
$r_6=36,149$	$d_5=2$	$n_5=1,5294$	27,5
$r_7=-55,65$	$d_6=7,5$	$n_6=1,6227$	27,7

## Вариант 14.

Даны объектив и электрическая схема блока питания прожектора ПУЛ-Н. Требуется разработать структурную схему прожектора ПУЛ-Н, определить интенсивность отказов блока питания прожектора ПУЛ-Н, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

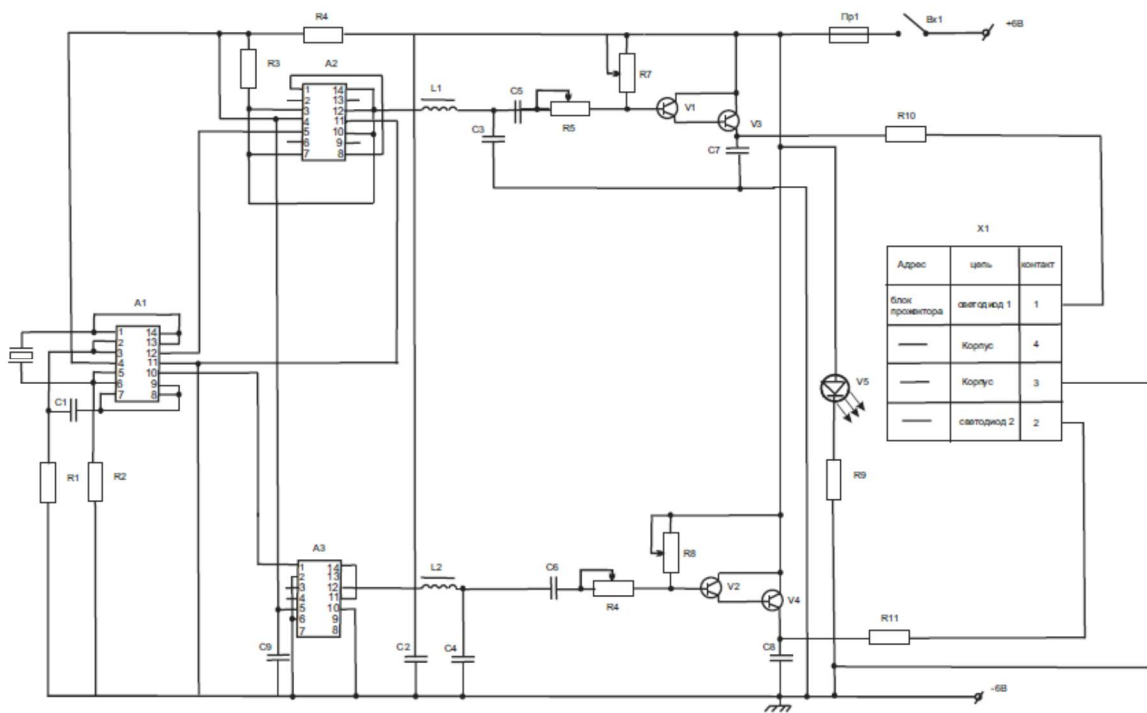


Рис. 2.2.14а Электрическая схема блока питания прожектора ПУЛ-Н

Электрическая схема блока питания прожектора ПУЛ-Н (Рис. 2.2.14а) состоит из:

1. Микросхемы ТТЛIS  $A1, A2, A3$ ;
2. Катушки индуктивности  $L1, L2$ ;
3. Керамические конденсаторы  $C1 - C9$ ;
4. Транзисторы германиевые  $V1, V2, V3, V4$ ;
5. Предохранитель  $Pr1$ ;
6. Резисторы проволочные переменные  $R4, R5, R7, R8$ ;
7. Резисторы металлопленочные  $R1 - R10$ ;
8. Разъем  $X1$ ;
9. Излучающий светодиод  $V5$

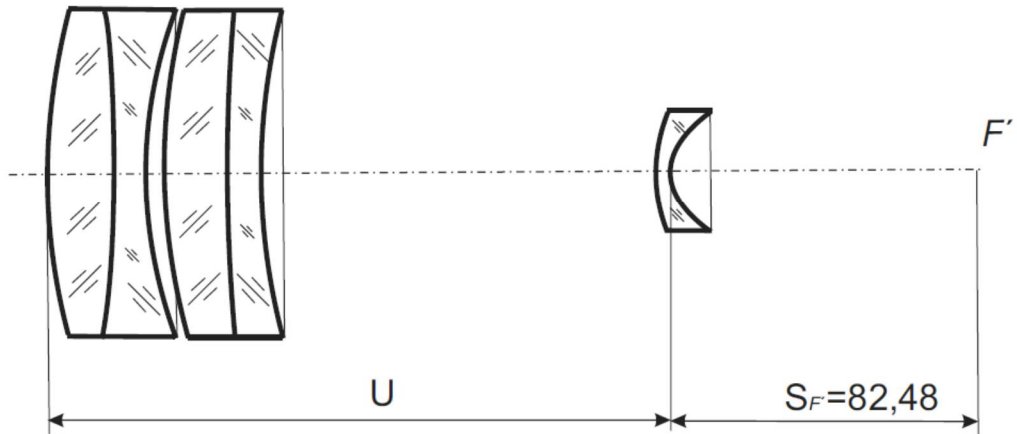


Рис. 2.2.14б Объектив

$D_{св}=64\text{мм}$ ;  $f'=500,275\text{мм}$ ; стекло марки К8;

Таблица №2.2.14 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=192,32$	$d_1=12$	$n_1=1,613$	64
$r_2=-158,4$			
$r_3=866,9$	$d_2=7$	$n_2=1,6625$	64
$r_4=170,23$	$d_3=0,2$	$n_3=1$	
$r_5=1184,15$	$d_4=12$	$n_4=1,613$	64
$r_6=256,5$	$d_5=7$	$n_5=1,6128$	
$r_7=43,6$	$d_6=206,8$	$n_6=1$	64
$r_8=24,57$	$d_7=4$	$n_7=1,5688$	

## Вариант 15.

Даны объектив и электрическая схема блока управления источниками излучения прожектора ПУЛ. Требуется разработать структурную схему ОЭС, определить интенсивность отказов блока управления источниками излучения, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

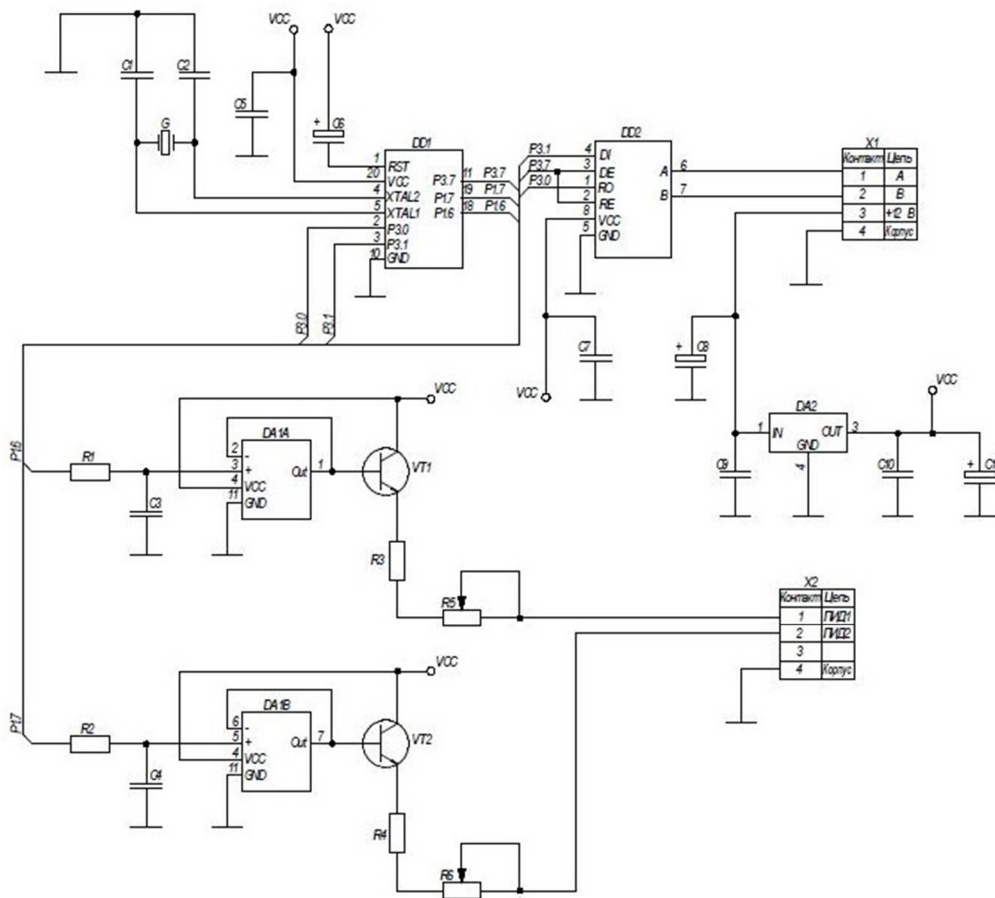


Рис. 2.2.15а Электрическая схема блока управления источниками излучения

Электрическая схема блока управления источниками излучения (Рис. 2.2.15а) состоит из:

1. Кварцевый резонатор  $Q1$ ;
2. Микроконтроллер  $DD1$ ,  $DD2$  выполнены на основе микросхем VI и более высокой степени интеграции;
3. Керамические конденсаторы  $C1 - C10$ ;

4. Конденсаторы электролитические  $C1, C8, C11$ ;
5. Микросхемы ЕКЛ10К DA1A; DA1B;
6. Резисторы проволочные точные  $R5, R6$ ;
7. Резисторы постоянные многоваттные  $R1- R4$ ;
8. Разъемы  $X1, X2$ ;
9. Микросхема малой степени интеграции (SSL) DA2;
10. Транзисторы кремниевые VT1, VT2;
11. VCC, одноштырьковое соединение (коммутационное средство).

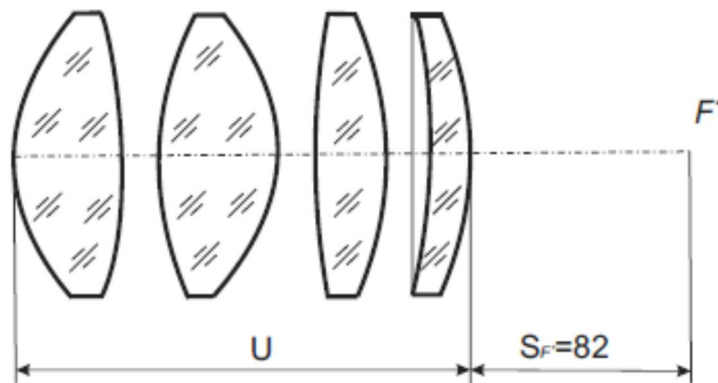


Рис. 2.2.15б Объектив

$D_{св}=70\text{мм}$ ;  $f'=100\text{мм}$ ; стекло марки К8; двойное просветление

Таблица №2.2.15 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=60,3$	$d_1=12$	$n_1=1,5077$	68
$r_2=-81,1$			
$r_3=139$	$d_2=0,4$	$n_2=1$	68
$r_4=-83,5$	$d_3=8$	$n_3=1,5077$	
$r_5=331,1$	$d_4=0,4$	$n_4=1$	64
$r_6=-126,7$	$d_5=5$	$n_5=1,5077$	
$r_7=-1448,8$	$d_6=0,4$	$n_6=1$	64
	$d_7=5$	$n_7=1,5077$	

## Вариант 16.

Даны объектив и электрическая схема приемного блока (ПБ) ПУЛ. ПБ обрабатывает сигналы с двух кремниевых фотодиодов. Требуется разработать структурную схему ОЭС, определить интенсивность отказов блока, определить среднее время безотказной работы проектируемой системы, вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

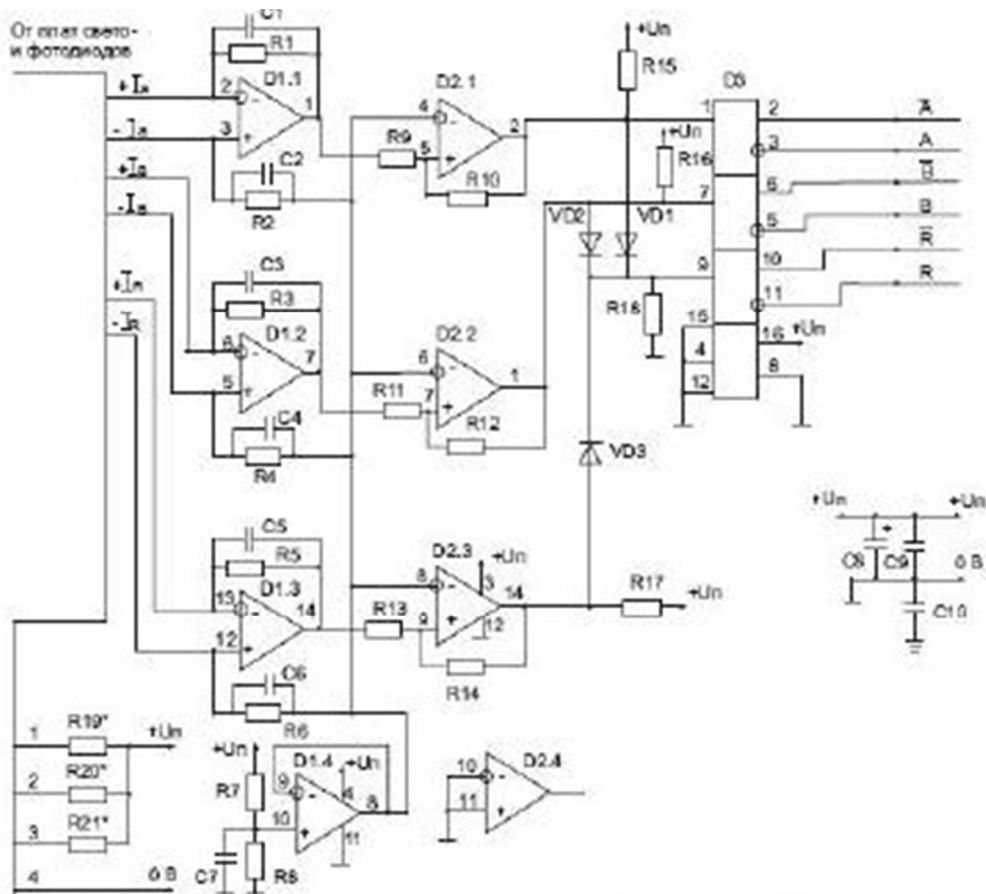


Рис. 2.2.16а Электрическая схема ПБ

Электрическая схема ПБ (Рис. 2.2.16а) состоит из:

1. Излучающие диоды  $VD1, VD2, VD3$ ;
2. Керамические конденсаторы  $C1 - C4$ ;
3. Операционные усилители  $D1.1-D1.4$  и  $D2.1-D2.4$  выполнены на основе микросхем I - V степени интеграции;
4. Резисторы проволочные  $R19^*, R20^*, R21^*$ ;
5. Резисторы угольные  $R1- R18$ ;
6. Запоминающее устройство (256кбит)  $O3$ ;

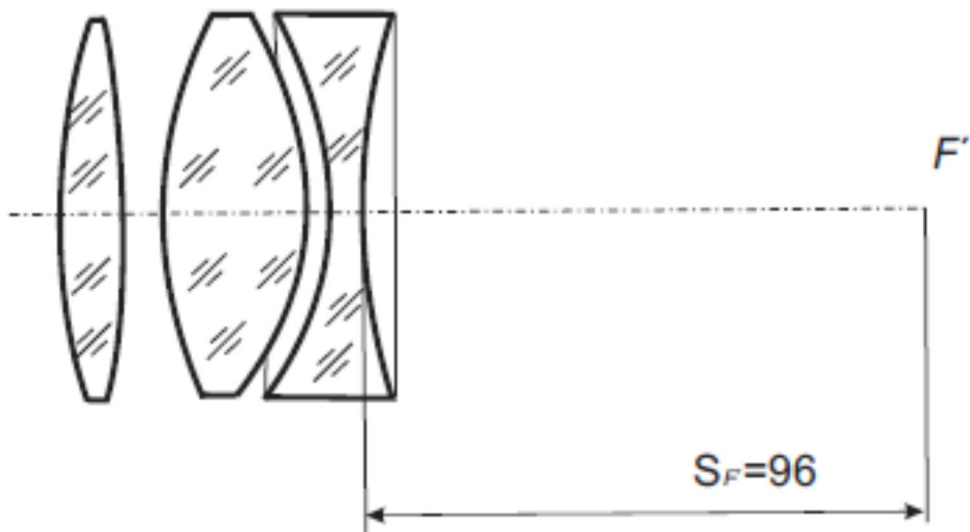


Рис. 2.2.16б Объектив

$D_{св}=55$  мм;  $f'=115$ мм; стекло марки К8

Таблица №2.2.16 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=113$	$d_1=8,3$	$n_1=1,5163$	55
$r_2=-211$			
$r_3=75$	$d_2=0,2$	$n_2=1$	55
$r_4=-100$	$d_3=14,9$	$n_3=1,5163$	55
$r_5=-100$	$d_4=0,1$	$n_4=1$	
$r_6=152$	$d_5=3,5$	$n_5=1,5163$	



## Вариант 17.

Даны объектив и электрическая схема приемного блока (ПБ) ПУЛ. ПБ обрабатывает сигналы с фотоприемника – германиевого фотодиода.

Требуется разработать структурную схему ОЭС; определить интенсивность отказов приёмного блока; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

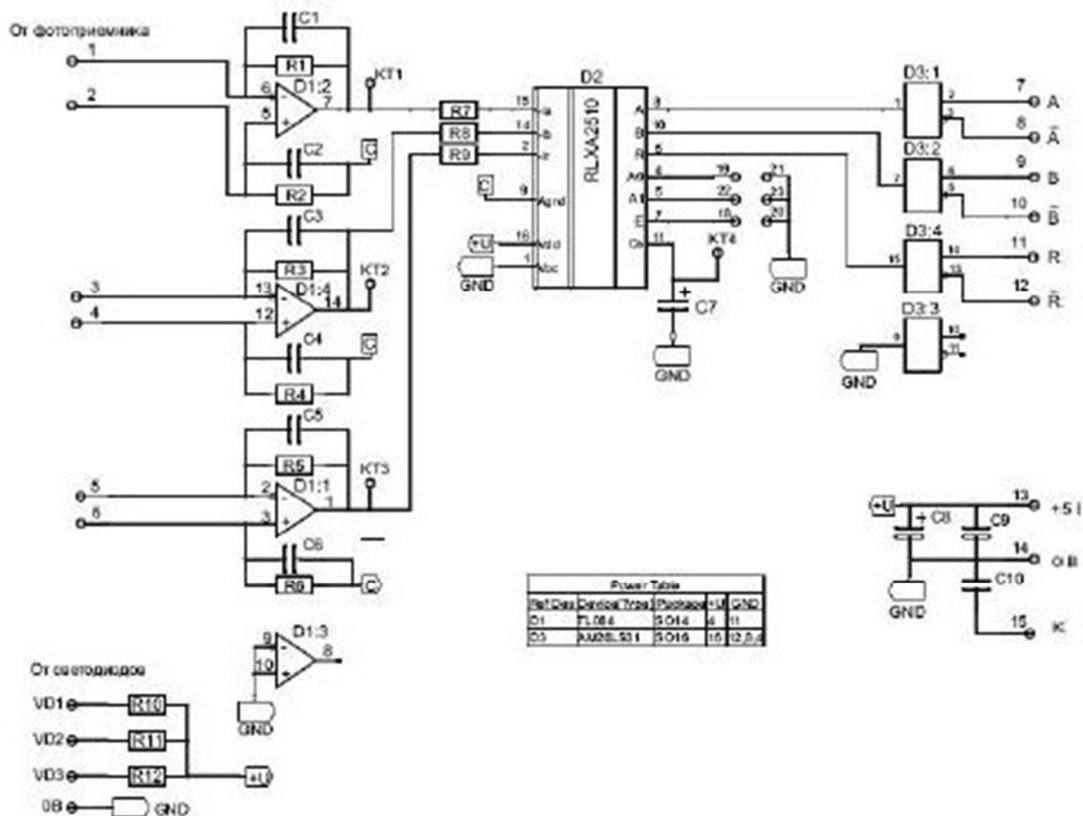


Рис. 2.2.17а Электрическая схема ПБ

Электрическая схема ПБ (Рис. 2.2.17а) состоит из:

1. Микросхемы ТТЛ S D3:1, D3:2, D3:3, D3:4;
2. Керамические конденсаторы C1 – C8;
3. Операционные усилители D1.1-D1.4 выполнены на основе микросхем I - V степени интеграции;
4. Резисторы проволочные мощные R7, R8, R9;
5. Резисторы металлопленочные R1- R5;
6. Микросхема ЕКЛ 10к D2.

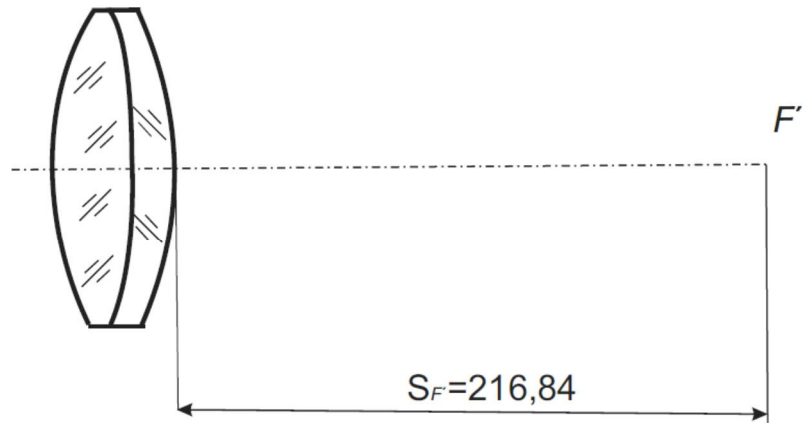


Рис. 2.2.17б Объектив

$D_{св}=122\text{мм}$ ;  $f=240,15\text{ мм}$ ; стекло марки К8 и Т8-1;

Таблица №2.2.17 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=147,57$	$d_1=37$	$n_1=1,5163$	122
$r_2=-109,9$			
$r_3=-332,7$			$d_2=8$

### Вариант 18.

Даны объектив и электрическая схема приемного блока (ПБ) ПУЛ. ПБ обрабатывает сигналы с двух селеновых фотодиодов. Требуется разработать структурную схему ОЭС; определить интенсивность отказов блока ПБ; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t=1000$  час.

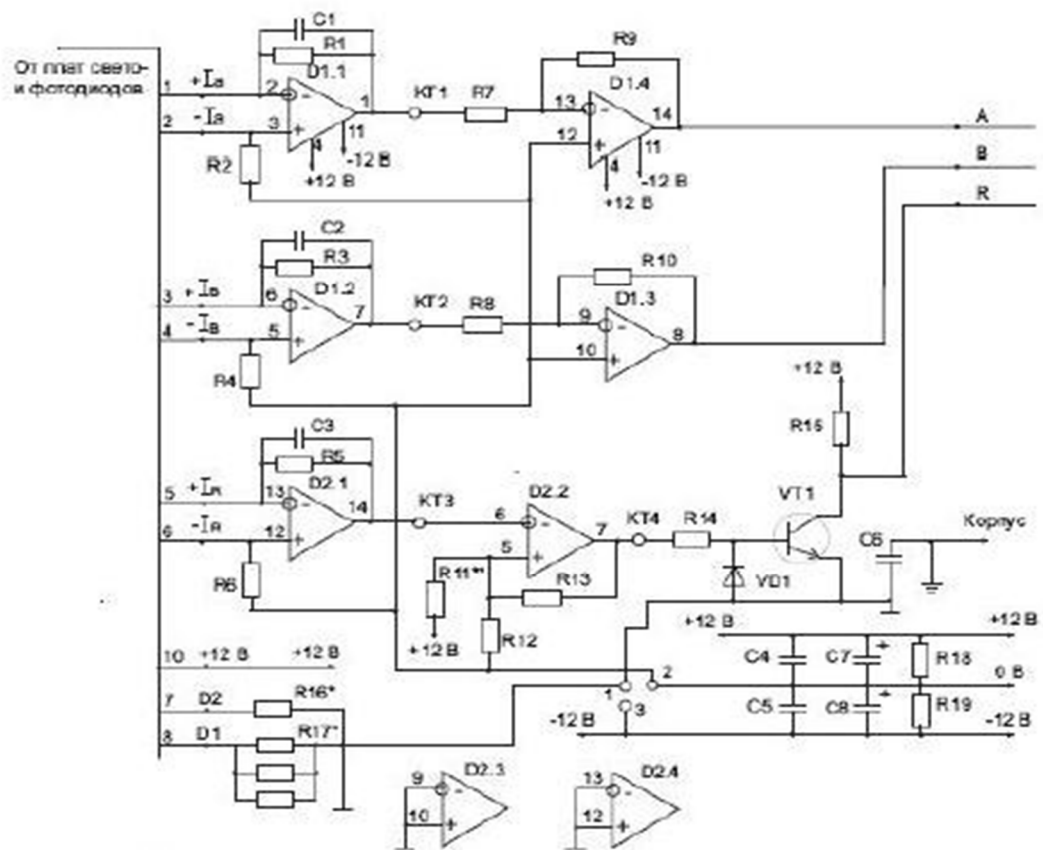


Рис. 2.2.18а Электрическая схема приемного блока ПУЛ

Электрическая схема приемного блока ПУЛ (Рис. 2.2.18а) состоит из:

1. Одноштырьковое соединение (коммутационное средство) КГ1, КГ2, КГ3, КГ4;
2. Керамические конденсаторы С1 – С8;
3. Операционные усилители D1.1-D1.4 и D2.1-D2.4 выполнены на основе микросхем I - V степени интеграции;
4. Резисторы проволочные  $R16^*$ ,  $R17^*$ ;
5. Резисторы проволочные переменные  $R1- R14$ ,  $R18$ ,  $R19$ ;
6. Транзистор германиевый VT1.

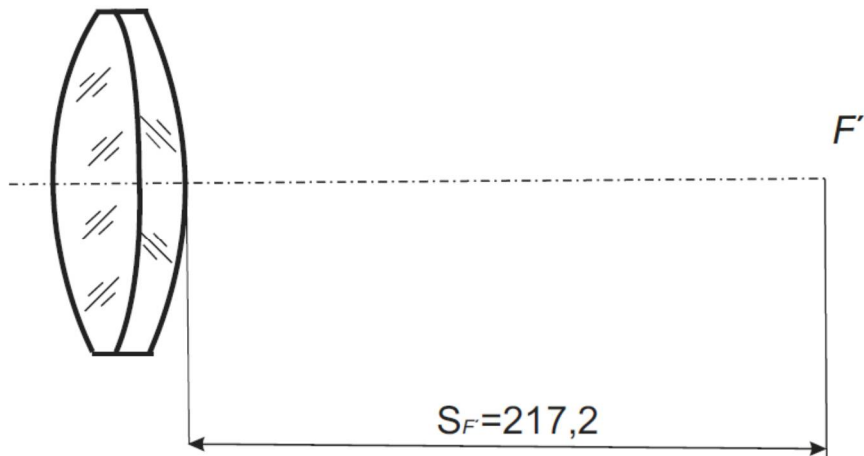


Рис. 2.2.18б Объектив

$D_{cv} = 60$  мм;  $f = 238,2$  мм; стекло марки К8 и Т8-1;

Таблица №2.2.18 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{cv}$
$r_1 = 147,57$	$d_1 = 9,25$ $d_2 = 3$	$n_1 = 1,5163$ $n_2 = 1,6475$	60
$r_2 = -111,3$			
$r_3 = -312,7$			60

### Вариант 19.

Даны объектив и электрическая схема предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н. Требуется разработать структурную схему ОЭС; определить интенсивность отказов блока предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н; определить среднее время безотказной работы проектируемой системы; вероятность безотказной работы системы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

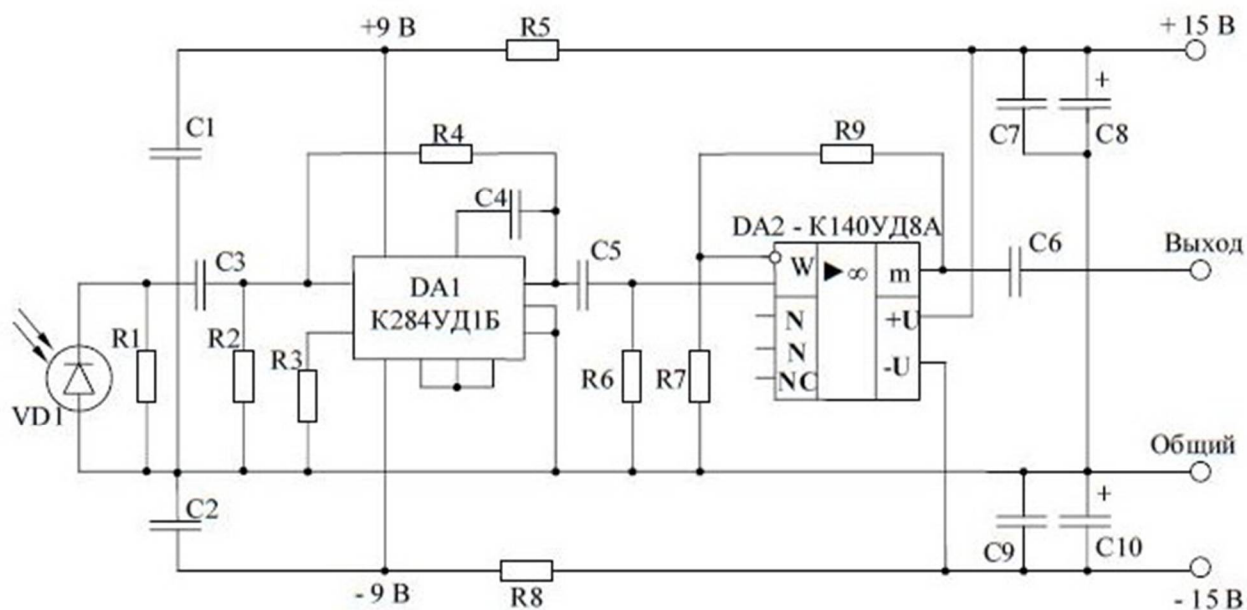


Рис. 2.2.19а Электрическая схема предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н

Электрическая схема предварительного усилителя прибора ПУЛ-Н (Рис. 2.2.19а) состоит из:

1. Микросхемы ЕКЛ 10к DA1, DA2 средняя степень интеграции;
2. Керамические конденсаторы C1 – C10;
3. Резисторы проволочные R1- R9;
4. Фотодиод Si VD1.

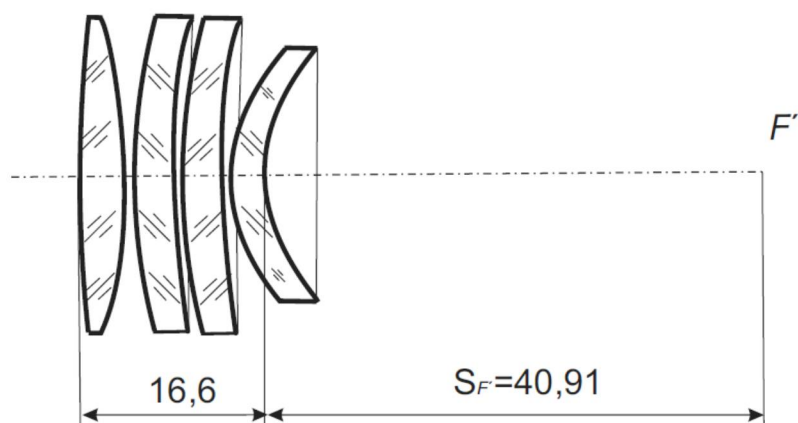


Рис. 2.2.19б Объектив

$D_{св}=34\text{мм}; f'=50,4\text{мм}; \text{стекло марки К8};$

Таблица №2.2.19 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=118,03$	$d_1=4$ $d_2=0,2$ $d_3=4$ $d_4=0,2$ $d_5=4$ $d_6=0,2$ $d_7=4$	$n_1=1,50778$ $n_2=1$ $n_3=1,50778$ $n_4=1$ $n_5=1,50778$ $n_6=1$ $n_7=1,50778$	34
$r_2=-724,4$			
$r_3=63,39$			34
$r_4=165,58$			
$r_5=41,88$			34
$r_6=69,5$			
$r_7=30,13$			34
$r_8=40,55$			

### Вариант 20.

Даны объектив и электрическая схема автоколлиматора АК. Требуется разработать структурную схему АК; определить интенсивность отказов проектируемой системы; определить среднее время безотказной работы; вероятность безотказной работы в течение  $t = 1000$  час, плотность распределения отказов системы.

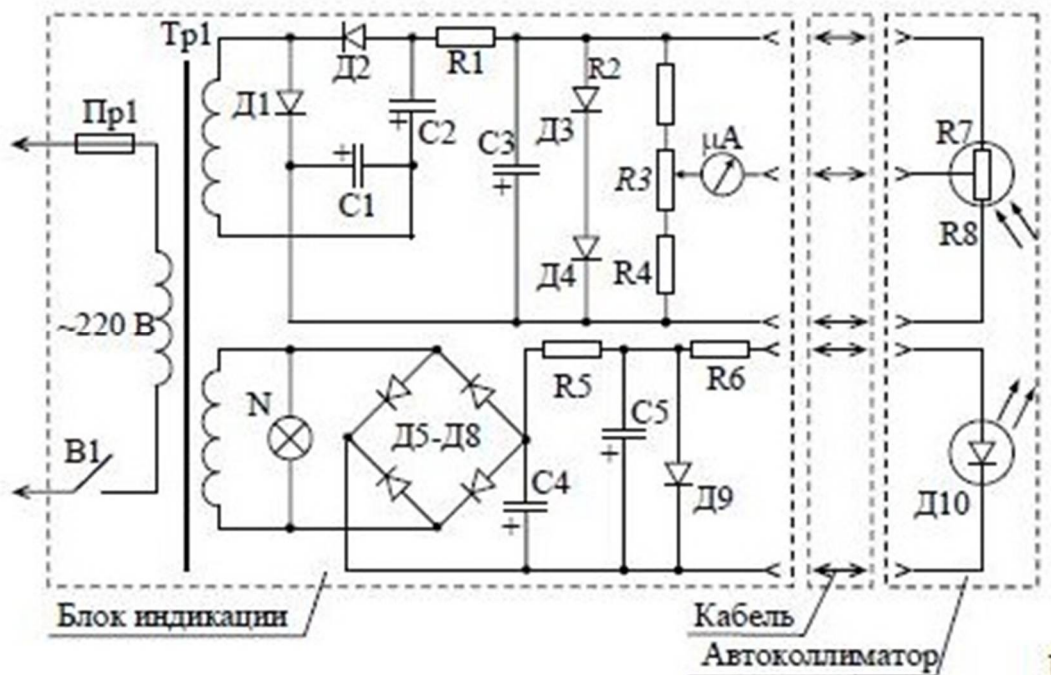


Рис. 2.2.20а Электрическая схема автоколлиматора

Электрическая схема автоколлиматора (Рис. 2.2.20а) состоит из:

1. Диоды кремниевые Д1 - Д9;
2. Излучающий диод германиевый Д10;
3. Керамические конденсаторы  $C1 - C15$ ;
4. Резисторы проволочные  $R1- R6$ ;
5.  $R7- R8$  фоторезистор СФ (позиционно-чувствительный);
6. N лампа индикаторная ОП 8;
7. Микроамперметр  $\mu A$ ;
8. Предохранитель Пр1;
9. Трансформатор Тр1.

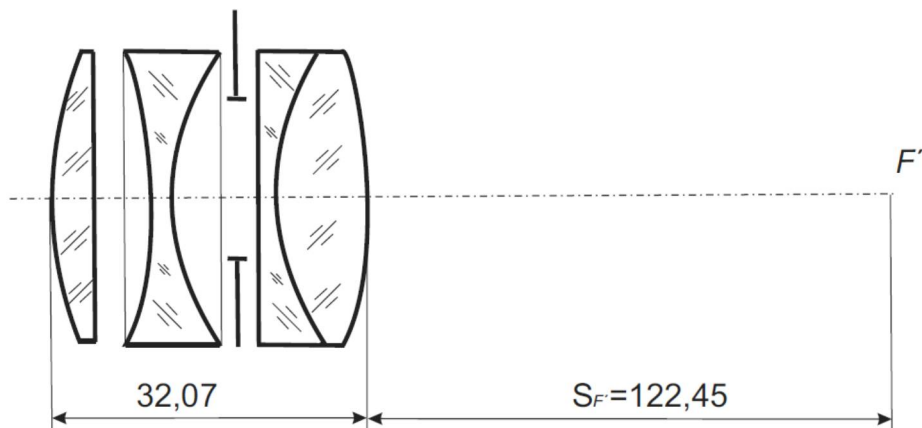


Рис. 2.2.20б Объектив

$D_{св}=31,2\text{мм}$ ;  $f=140,47\text{мм}$ ; стекло марки ТК16; ЛФ5; ОФ1; ТК10;  
 Апертурная диафрагма расположена между второй и третьей линзами  
 на расстоянии 5,23мм от второй линзы. Диаметр апертурной диафрагмы  
 равен 27мм.

Таблица №2.2.20 «Параметры объектива»

Радиус кривизны, мм	Толщина по оси, мм	Показатель преломления	$D_{св}$
$r_1=38,475$	$d_1=5,6$	$n_1=1,6126$	32,2
$r_2=\infty$			32,2
$r_3=-86,068$	$d_2=6,35$	$n_2=1$	27,6
$r_4=35,29$	$d_3=2,5$	$n_3=1,5749$	26,3
$r_5=-271,48$	$d_4=8,12$	$n_4=1$	27,1
$r_6=36,149$	$d_5=2$	$n_5=1,5294$	27,5
$r_7=-55,65$	$d_6=7,5$	$n_6=1,6227$	27,7



**Приложение 1 «Среднее время безотказной работы  
оптоэлектронных элементов»**

Изделие	Среднее время безотказной работы, час
<i>Светодиоды, оптопары и индикаторы</i>	
СВЕТОДИОД	15000-25000 [11]
Оптопара	10000-20000 [11]
Светодиодная лампа GNL/01 (GNL/02)	5000 (10000) [7]
Цифровой индикатор АЛ 11 ЗА (АЛ 33ЗА)	10000 (100000) [7]
Жидкокрист. индикатор ЦИЖ 5 (ЦИЖ9)	10000 (25000) [7]
<i>Лазеры газовые [ 7]</i>	
He-Ne (MellesGriot)	50000
He-Cd (Kimmon Electric)	4500
ИОННЫЙ ЛГН-519	2000
ИГ - 106М5	1500
Innova (Coherent)	5000
Ultra Series (JDS Uniphase)	8000
СО <sub>2</sub> лазер (Sinrad)	50000
<i>Лазеры полупроводниковые импульсные [ 7]</i>	
ЛПИ-102	30
ЛПИ-108	200
ЛПИ-120	150
ЛПИ-121	50
ИЛПН (непрерывного действия)	50000
<i>Приемники оптического излучения [ 10]</i>	
ФОТОРЕЗИСТОР ФСК И ФСА	10000
ФОТОРЕЗИСТОР СФ	5000
ФОТОРЕЗИСТОР ФР	10000
Фотодиод Se	1000 [12]
Фотодиод Si	5000-10000 [12]
Фотодиод Ge	2000-5000 [12]
Фотодиоды кодовые и со спец. вход. окнами	1000
ПЗС	15000-25000
ФОТОУМНОЖИТЕЛЬ	1000-2000
ДИССЕКТОР	1000
СУПЕРОРТИКОН	500-1200
ВИДИКОН	800-1200
БОЛОМЕТР	5 лет

## Приложение 2 “Интенсивность отказа оптических элементов”

Изделие	Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^{-6}, \text{час}^{-1}$
линза	1
линза (с многослойным покрытием)	30
светофильтр	0,15
Светофильтр (интерференционный)	3

## Приложение 3 «Интенсивность отказов интегральных схем (ИС) различного вида в зависимости от технологии изготовления» [13]

Тип	Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^{-6}, \text{час}^{-1}$			Темпер. (С°)
	SSL / MSI	LSI	VLSI	
Логические схемы				
ТТЛ	1	-	-	55
ТТЛ S	3	-	-	65
ЕКЛ 10к	2	-	-	65
К-МОП	1	-	-	45
Вентильные схемы				
ТТЛ	-	0,1	-	50
ЕКЛ	-	-	0,1	-
К-МОП	-	0,1	0,1	-
Микропроцессор N-МОП				
8085	-	0,4	-	70
8086	-	-	0,4	-
Микрокомпьютер				
N-МОП8048	-	-	0,4	55
Запоминающие устройства				
16 кбит	-	0,1	-	50
64 кбит	-	0,1	-	-
256 кбит	-	-	0,1	-
Аналоговые схемы				
Биполярные	0,1	-	-	55

Примечания.

1. В таблице приняты обозначения: SSL – малая степень интеграции; MSI – средняя степень интеграции; LSI – большая степень интеграции; VLSI – сверхбольшая степень интеграции.

В ИС I–V степеней интеграции среднее время безотказной работы - 100 т.ч

В ИС VI и более степеней интеграции среднее время безотказной работы  $\geq 50$  т.ч.

2. Если технология изготовления интегральной схемы неизвестна, то интенсивность отказов можно принять равной  $\lambda = 1 \cdot 10^{-7} \text{ час}^{-1}$  [14].

#### Приложение 4 “Интенсивность отказов электронных и электромеханических элементов”

Изделия	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}, \text{ час}^{-1}$		
	Макс.	Средняя	Мин.
Диоды:			
-германиевые	0,678	0,157	0,002
-кремниевые	0,452	0,2	0,021
-селеновые	0,6	0,2	0,11
-мощные	3,0	1,42	0,018
Стабилитрон	0.004		
Конденсаторы:			
-керамические	0,213	0,1	0,063
-слюдяные	0,132	0,075	0,005
-танталовые	1,934	0,6	0,103
-электролитические	0,513	0,035	0,003
Потенциометры:			
-проволочные	2,0	1,2	0,72
Резисторы:			
-металлопленочные	0,4	0,04	0,004
-постоянные многоваттные	0,065	0,028	0,009
-проволочные	0,165	0,087	0,046
-проволочные точные	0,191	0,091	0,052
-проволочные мощные	0,076	0,04	0,021
-проволочные переменные	0,807	0,09	0,02
-угольные	0,898	0,045	0,005
Транзисторы:			
-германиевые	1,91	0,3	0,04
-кремниевые	1,44	0,5	0,27
-усилительные	0,84	0,5	0,31
-переключатели	0,71	0,4	0,1
Электродвигатели:			
-переменного тока	9,36	5,24	1,12
-постоянного тока	-	9,36	-
-шаговые	0,71	0,37	0,22

Трансформаторы	6,5	-	0,02
Дроссели, катушки индуктивности	4,4	-	0,02
Реле	100,0	-	0,5
Коммутационные средства	3,0	-	0,003
Предохранитель	-	0,013	-
Микроамперметр	-	0,5	-
Штепсельные разъемы	9,0	-	0,01
Элементы пьезоэлектрические кварцевые (резонаторы, генераторы)	-	0,065	-
Соединения пайкой	1,0	-	0,1

### Приложение 5 “ Среднее время безотказной работы ламп” [7]

Изделие	Среднее время безотказной работы, час
<i>Лампы накаливания</i>	
ОП 8 - 9	50
ОП2.5-2, О П 4 - 4	100
ОП 8 -100	500
КГМ6.6 - 200 (галогенная)	500
КГМ 40 - 750 (галогенная)	150
КГМ 27 - 50 (галогенная)	50
КГМ 127-500 (галогенная)	50

## Список литературы

1. Теория надежности в области радиоэлектроники [Текст]: Общие понятия: Терминология / [Отв. ред. чл.-кор. АН СССР В. И. Сифоров]. - Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. - 48 с.
2. Малинский В.Д. и др. Испытания радиоаппаратуры – М.: Энергия, 1965г.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики – М.; Сов. Радио, 1975г.
4. Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем, М, Сов. Радио, 1978 г.
5. И.А. Коняхин Методы и средства статистического моделирования ОЭС: учеб. пособие / СПб: ИТМО, 2005. - 52 с.
6. И.А. Коняхин, Д.Ю. Зубенко Критерии качества ОЭП. Сборник задач: учеб. пособие / СПб: ИТМО, 2005. - 45 с.
7. Ишанин Г.Г. Источники излучения. Учебное пособие / Г.Г.Ишанин, В.В. Козлов. – СПб: СПбГУИТМО, 2004. – 395 с.
8. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб: «БХВ – Петербург» 2006. – 702 с.
9. Инженерные методы исследования надежности радиоэлектронных систем / под ред. Половко А.М., Варжапетяна А.Г. – М.; Сов. Радио, 1968г.
10. Аксененко М.Д. Приемники оптического излучения: Справочник / М.Д. Аксененко, М.Д. Бараночников - М.; Радио и Связь, 1987. – 296с.
11. Приборы оптоэлектронные. Излучатели полупроводниковые. Оптопары. – СПб.: Издательство РНИИ «Электронстандарт», 1992. – 250 с.
12. Ишанин Г.Г. Приемники излучения / Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, В.П. Челибанов. – СПб.: Издательство «Папирус», 2003. – 528 с.
13. Цербет М. Контрольно-измерительная техника: Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 320 с.
14. Леонов А.Н., Дубровский Н.Ф. Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 272 с.

**Миссия университета** – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

---

## **КАФЕДРА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ И ЕЕ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА**

Кафедра создавалась в 1937-38 годах и существовала под следующими названиями:

- с 1938 по 1958 год - кафедра военных оптических приборов;
- с 1958 по 1967 год - кафедра специальных оптических приборов;
- с 1967 по 1992 год - кафедра оптико-электронных приборов;
- с 1992 года - кафедра оптико-электронных приборов и систем.

Кафедру возглавляли:

- с 1938 по 1942 год - профессор К.Е. Солодилов;
- с 1942 по 1945 год профессор А.Н. Захарьевский (по совместительству);
- с 1945 по 1946 год - профессор М.А. Резунов;
- с 1947 по 1972 год - профессор С.Т. Цуккерман;
- с 1972 по 1992 год - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Л.Ф. Порфирьев;
- с 1992 по 2007 год - заслуженный деятель науки РФ, профессор Э.Д. Панков.
- с 2007 года по настоящее время - почетный работник высшего профессионального образования, профессор В.В. Коротаев.

1938 по 1970 кафедра входила в состав оптического факультета.

В 1970 году кафедра вошла в состав факультета оптико электронного приборостроения, который в 1976 году был переименован в инженерно-физический факультет.

В 1998 г кафедра вошла в состав факультета оптико-информационных систем и технологий.

В 2015 году кафедра вошла в состав факультета лазерной и световой инженерии

Кафедра оптико-электронных приборов и систем (ОЭПиС) осуществляет подготовку профессионалов в области создания оптико-электронных и видеоинформационных приборов и систем, а также в области разработки их программного обеспечения.

Результаты научных исследований кафедры докладываются на ведущих мировых научных форумах, публикуются в виде научных статей и монографий.

Приборы, разработанные на кафедре, поставляются на предприятия России и на предприятия других стран.

Этот уникальный опыт передается нашим студентам.

На кафедре работают 6 докторов наук, профессоров, однако большую часть коллектива составляют молодые люди в возрасте от 18 до 35 лет, в том числе 11 молодых кандидатов наук.

Коллектив кафедры Оптико-электронных приборов и систем (ОЭПиС) – сформировавшаяся научная и научно-педагогическая школа, существующая с 1938 года.

За эти годы были подготовлены более тысячи специалистов, более ста докторов и кандидатов наук.

С 2007 г. заведующим кафедрой является почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, профессор В.В. Кортаев.

Только в период с 2007 по 2015 год на кафедре были защищены 28 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В 2012 году научно-педагогическая школа кафедры ОЭПиС «Оптико-электронное приборостроение» была внесена в реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга.

Подробная информация о кафедре ОЭПиС имеется на сайте кафедры: <http://oep.ifmo.ru/>

**Коняхин Игорь Алексеевич  
Зверева Елена Николаевна**

**ТИПОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ  
ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ  
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

**Учебное пособие**

В авторской редакции  
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО  
Зав. РИО  
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99  
Подписано к печати  
Заказ №  
Тираж  
Отпечатано на ризографе

Н.Ф. Гусарова

50 экз.



**Редакционно-издательский отдел  
Университета ИТМО  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49**