

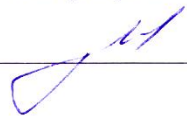
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт *высокоточных систем им. В.П. Грязева*  
Кафедра «Приборы управления»

Утверждено на заседании кафедры  
«Приборы управления»  
« 22 » января 20 24 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой

  
В.В. Матвеев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по проведению лабораторных работ**  
**по дисциплине (модулю)**  
**«Основы фотоники»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**12.03.03 Фотоника и оптоинформатика**

с направленностью (профилем)  
**Интеллектуальные фотонные системы**  
Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 120303-01-24

Тула 2024 год

**Разработчик методических указаний:**

Алалуев В.В., доц. каф., к.т.н., \_\_\_\_\_



(подпись)

## Оглавление

Лабораторная работа №1. «Исследование излучения свечи» .....	4
Лабораторная работа №2. Исследование излучения лампы накаливания .....	6
Лабораторная работа №3. Исследование излучения светодиодов .....	10
Лабораторная работа №4 Исследование фоторезистора ФСД-1 .....	14
Лабораторная работа №5. Изучение работы фотодиода .....	19
Лабораторная работа №6. Исследование оптико-электронного датчика частоты вращения винта	22
Лабораторная работа №7. Исследование характеристик и схем включения двухплощадочного фотодиода.....	26
Лабораторная работа №8. Исследование ПЗС линейки .....	29
Лабораторная работа №9. Изучение матричного ФПЗС .....	31

## Лабораторная работа №1. «Исследование излучения свечи»

Цель работы: определение фотометрических параметров излучения восковой свечи.

Оборудование и материалы: Свеча, линейка 50см, транспортир, люксметр, тренога.

Порядок выполнения работы:

1. Расположите свечу на треноге в затемненном помещении. Как показано на рис.1.

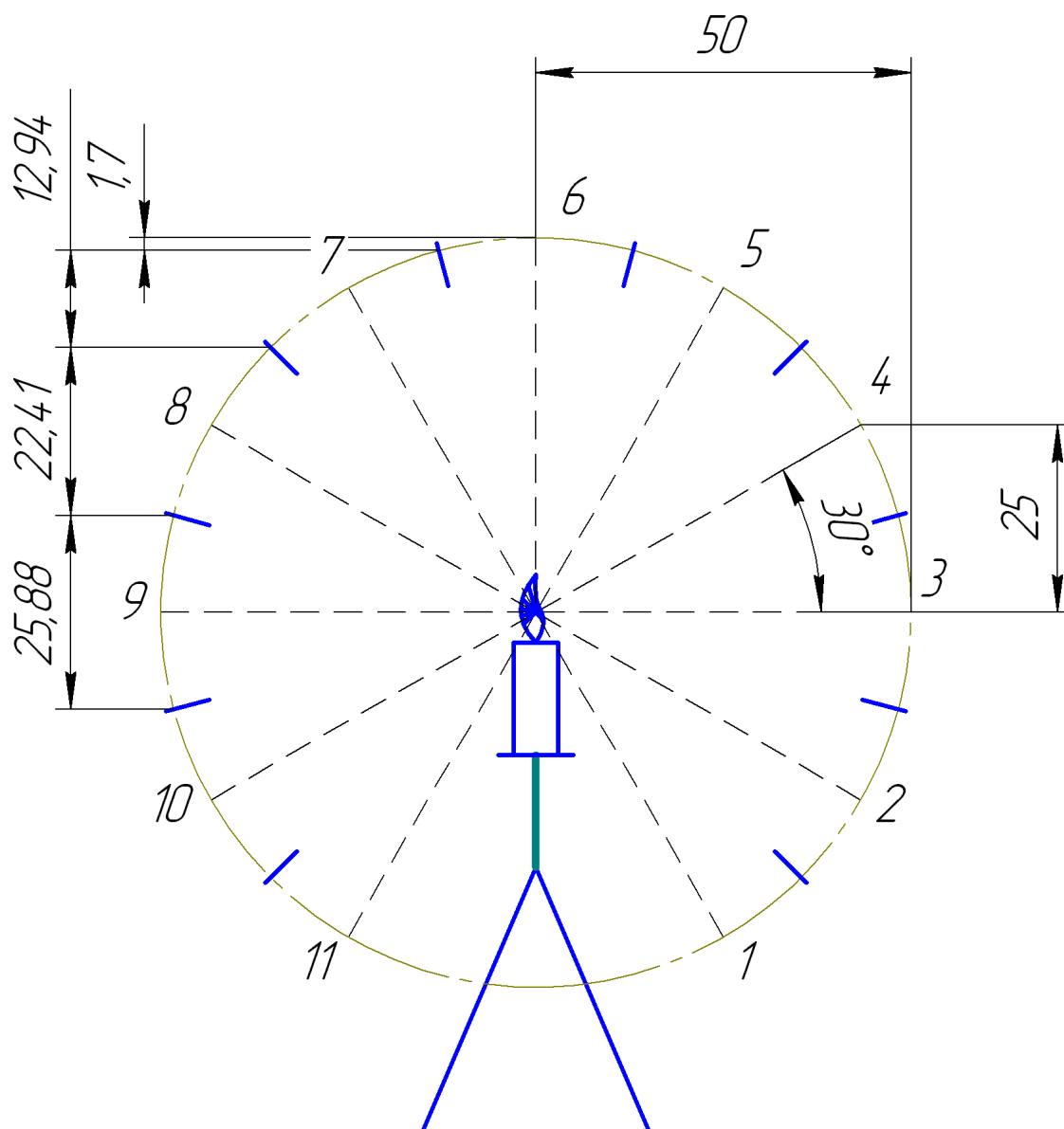


Рис.1. Схема опыта.

2. Проведите измерения фоновой освещенности люксметром в точках 1-12, не зажигая свечу. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица1

№ контр точки	Фоновая освещенность, $E_{v,фон,i}$ , лк	Измеренная освещенность, $E_{v,изм,i}$ , лк	Освещенность от свечи, $E_{v,i}$ , лк	Сила света, $I_{v,i}$ , кД	Яркость, $L_{v,i}$ , нит
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

3. Зажгите свечу, проведите измерения освещенности люксметром в точках 1-12. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

4. Оцените размер пламени свечи и рассчитайте площадь пламени. Потушите свечу.

5. Рассчитайте освещенность от свечи, силу света и яркость свечи, считая яркость пламени равномерной. Результаты расчета занесите в таблицу.

6. Рассчитайте телесный угол соответствующей каждой измеренной точке. Поскольку площадь шарового слоя определяется по формуле  $S = 2\pi Rh$ , имеем:  $\Omega_i = \frac{\pi}{R} h_i$  для точек

1-5,7-11; для точки 6  $\Omega_i = \frac{2\pi}{R} h_i$ , где  $h_i$  - высота слоя соответствующей контрольной точки см.

рис.1.

№ контр точки	Телесный угол, $\Omega_i$ , ср.	Световой поток, $\Phi_{v,i}$ , лк			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

7. Определите световой поток  $\Phi_v$  свечи.

8. Определите светимость  $M_v$  свечи, считая светимость пламени равномерной.

## Лабораторная работа №2. Исследование излучения лампы накаливания

Цель работы: определение фотометрических параметров излучения лампы накаливания.

Оборудование и материалы: лампа накаливания, линейка 50см, транспортир, люксметр, тренога, блок питания 0-30В с индикацией тока, вольтметр.

Порядок выполнения работы:

1. Расположите лампу на столе в затемненном помещении. Как показано на рис.1.

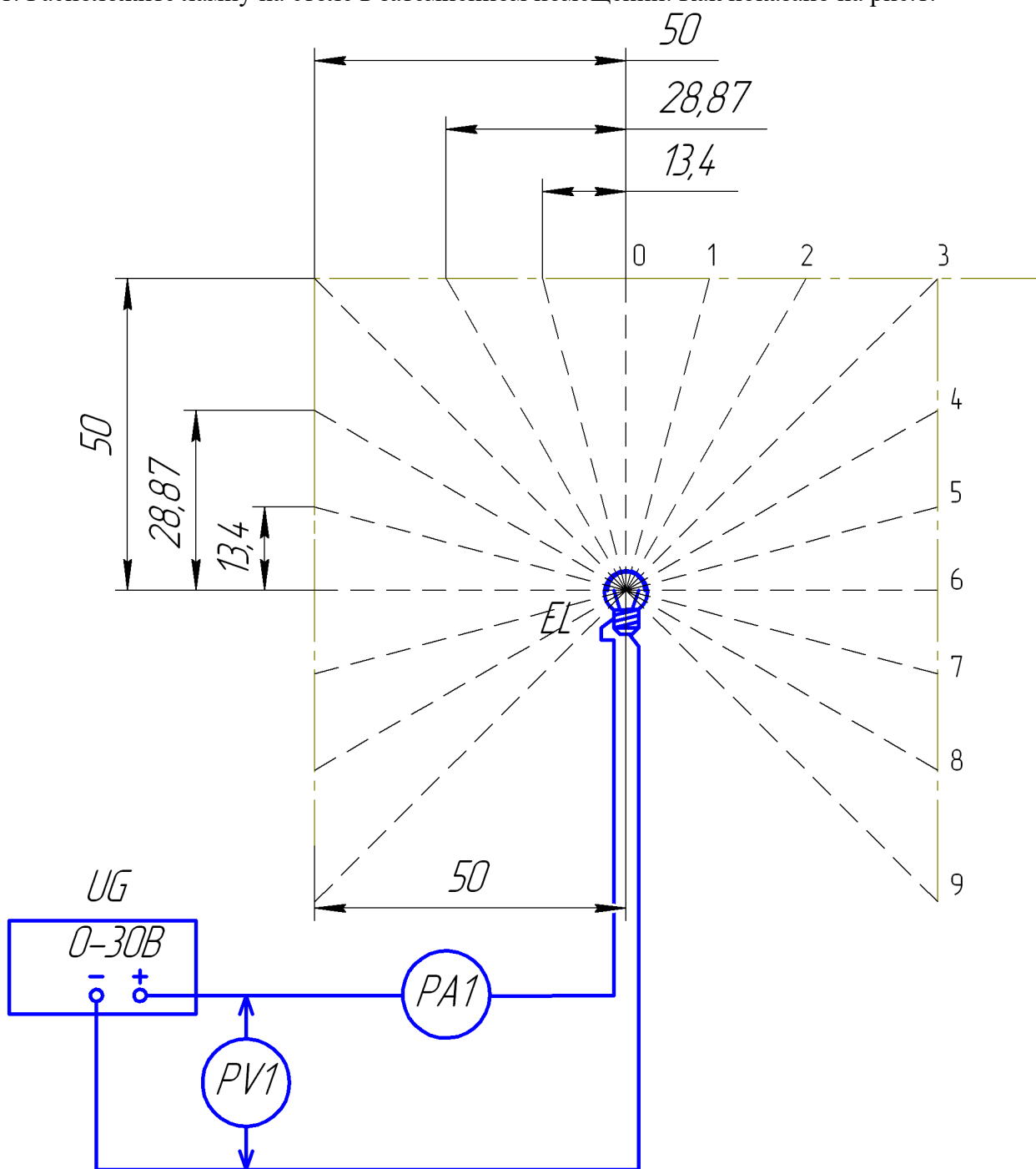


Рис.1. Схема опыта.

2. Подключите блок питания  $UG$ , как показано на рис. 1

3. Проведите измерения фоновой освещенности люксметром в точках 0-13, не зажигая светодиод. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ контр точки	Фоновая освещенность, $E_{v,фон,i}$ , лк	Измеренная освещенность, $E_{v,изм,i}$ , лк	Освещенность от лампы, $E_{v,i}$ , лк	Напряжение питания, $U_1$ , В	Потребляемый ток $I_1$ , А
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

4. Включите блок питания и отрегулируйте напряжение на выходе **в пределах указанных на цоколе лампы!**

5. Подключите к блоку питания лампу согласно схеме рис.1.

6. Проведите измерения освещенности люксметром в точках 0-9, одновременно с этим регистрируйте напряжение питания  $U_1$  и падение ток  $I_1$  на сопротивлении. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

7. Рассчитайте освещенность создаваемую светодиодом, силу света и яркость, считая яркость излучающей поверхности светодиода равномерной (Размер излучающей поверхности лампы оценить визуально). Результаты расчета занесите в таблицу 2.

8. Рассчитайте мощность, подводимую к лампе по формуле  $P_1 = U_1 \cdot I_1$ .

9. Рассчитайте телесный угол соответствующей каждой измеренной точке. Поскольку площадь шарового слоя определяется по формуле  $S = 2\pi Rh$ , имеем:  $\Omega_i = \frac{2\pi}{R_i} h_i$ , где  $h_i$  - высота

слоя соответствующей контрольной точки см. рис.2.  $R_i$  - расстояние до контрольной точки.

Табл.2

№ контр точки	Сила света, $I_{v,i}$ , кд	Яркость, $L_{v,i}$ , нит	Телесный угол, $\Omega_i$ , ср.	Световой поток, $\Phi_{v,i}$ , лк
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

9					
---	--	--	--	--	--

10. Определите световой поток  $\Phi_v$  лампы.

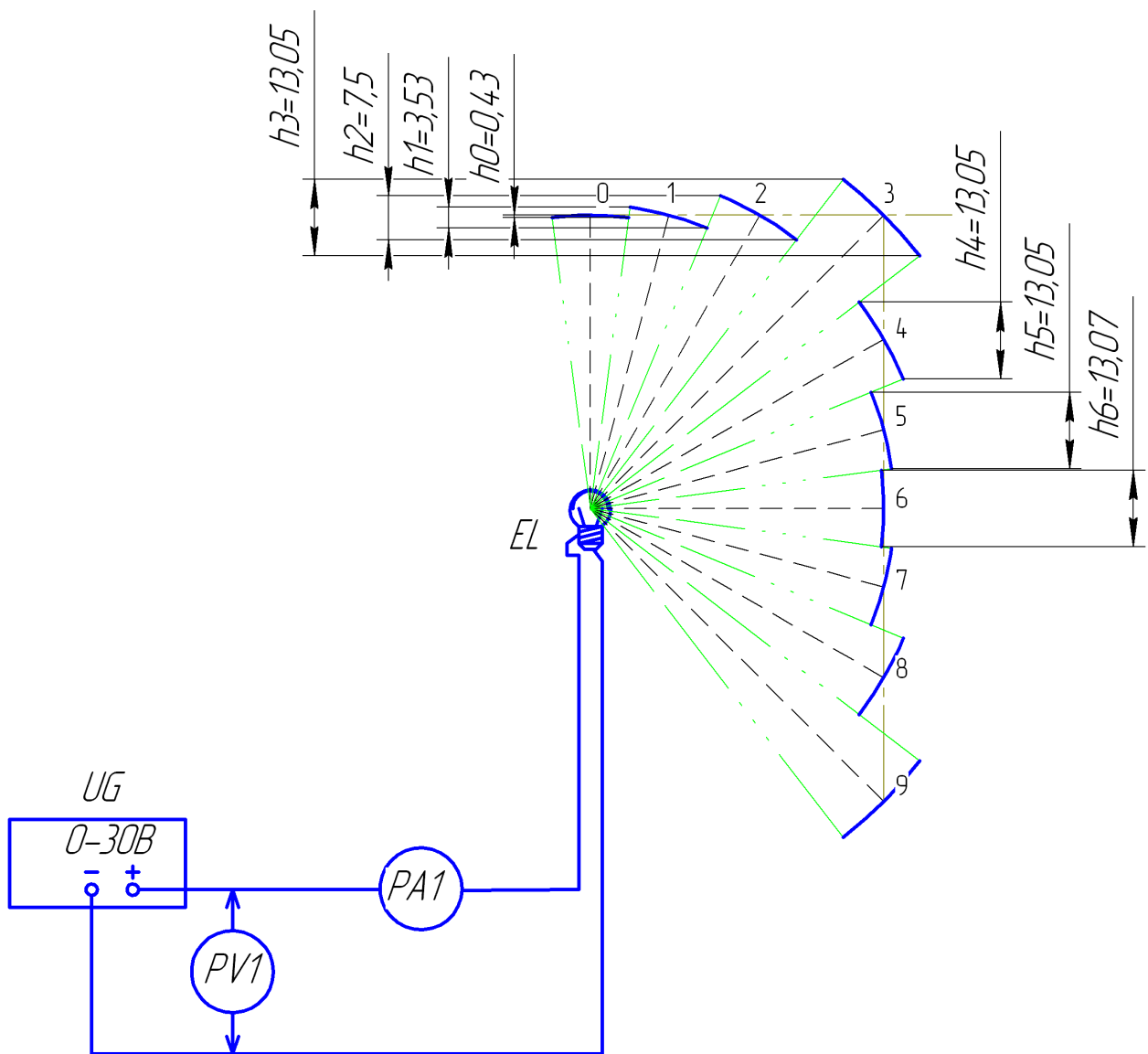
11. Определите светимость  $M_v$  лампы, считая светимость излучающей поверхности равномерной.

12. Определите светоотдачу лампы  $\Phi_v/P_1$  и сравните со значением из табл. 3

Табл. 3

Тип источника	Световая отдача (лм/вт)	Относительная световая отдача
Лампа накаливания 100 Вт	13.8	2.0 %
Лампа накаливания 200 Вт	15.2	2.2 %
Галогеновая лампа 100 Вт	16.7	2.4 %
Галогеновая лампа 200 Вт	17.6	2.6 %
Галогеновая лампа 500 Вт	19.8	2.9 %
Кремлёвские звёзды	22	3.2 %
Кинопроекторные лампы	35	5.1 %
Светодиод	10-200	1.5-15 %
Ксеноновая дуговая лампа	30-50	4.4-7.3 %
Люминесцентная лампа	40—104	6-12 %
Газоразрядная натриевая лампа высокого давления	85-150	12-22 %
Газоразрядная натриевая лампа низкого давления	100-200	15-29 %
Теоретический максимум (монохроматический зелёный свет 555 нм)	683.002	100 %





Номер точки	Расстояние, см
$R_0, R_6$	50
$R_1, R_5, R_7$	51.76
$R_2, R_4, R_8$	57.74
$R_3, R_9$	70,71

Рис. 2 Определение телесного угла для расчета светового потока.

### Лабораторная работа №3. Исследование излучения светодиодов

Цель работы: определение фотометрических параметров излучения полупроводникового светодиода.

Оборудование и материалы: полупроводниковый светодиод на плате с резистором, линейка 50см, транспортир, люксметр, тренога, блок питания 0-30В, вольтметр.

Порядок выполнения работы:

1. Расположите светодиод на столе в затемненном помещении. Как показано на рис.1.

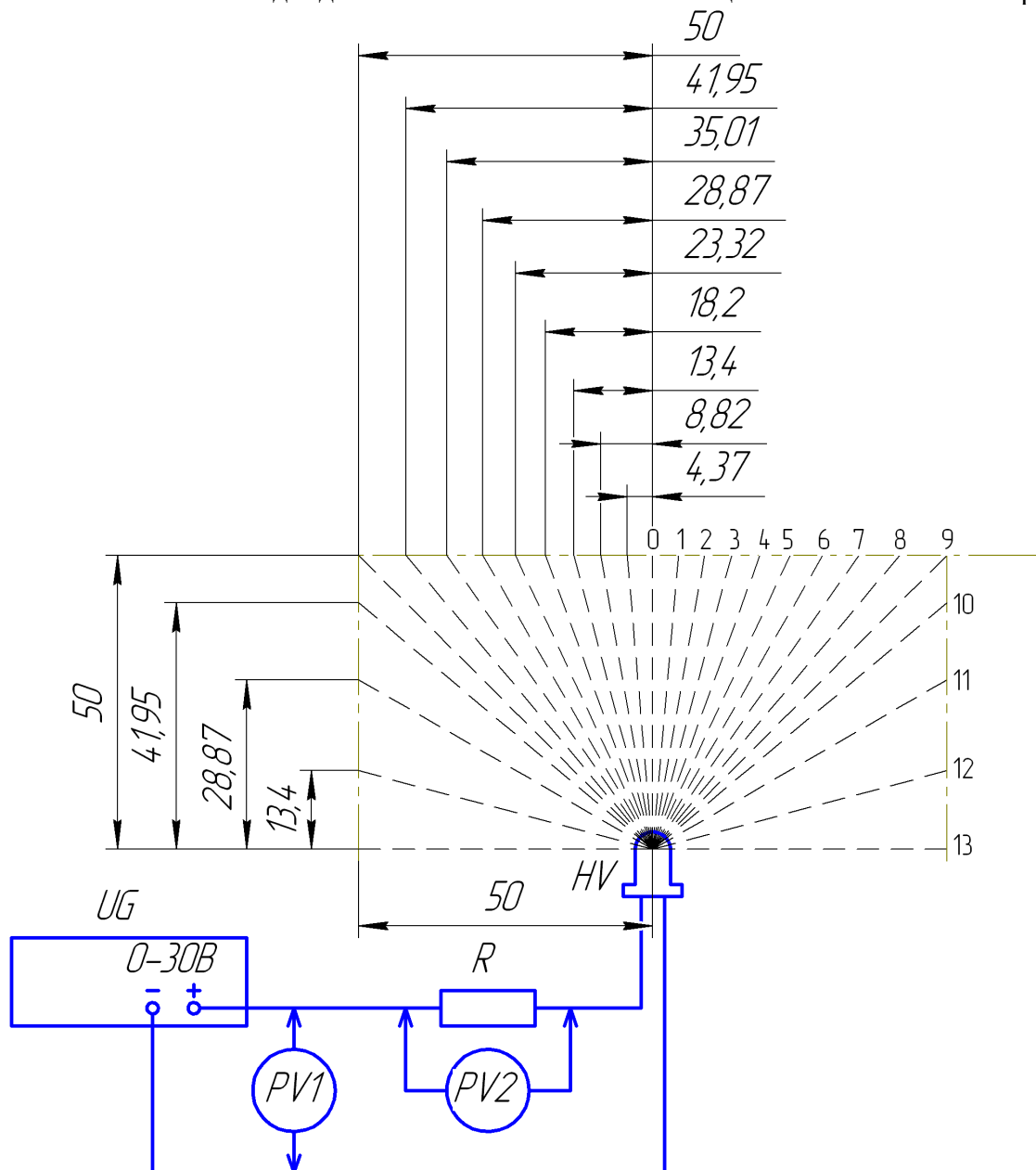


Рис.1. Схема опыта.

2. Подключите блок питания  $UG$ , как показано на рис. 1

3. Проведите измерения фоновой освещенности люксметром в точках 0-13, не зажигая светодиод. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ контр точки	Фоновая освещенность, $E_{v,фон,i}$ , лк	Измеренная освещенность, $E_{v,изм,i}$ , лк	Освещенность от светодиода, $E_{v,i}$ , лк	Напряжение питания, $U_1$ , В	Падение напряжения $U_R$ , В
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					

4. Включите блок питания и отрегулируйте напряжение на выходе в пределах 20-25В

5. Подключите к блоку питания светодиод согласно схеме рис.1.

6. Проведите измерения освещенности люксметром в точках 0-13, одновременно с этим регистрируйте напряжение питания  $U_1$  и падение напряжения  $U_R$  на сопротивлении.

Результаты измерений занесите в таблицу 1.

7. Рассчитайте освещенность создаваемую светодиодом, силу света и яркость, считая яркость излучающей поверхности светодиода равномерной (Размер излучающей поверхности принять равным 0,3x0,3мм). Результаты расчета занесите в таблицу 2.

8. Рассчитайте мощность, подводимую к светодиоду по формуле  $P_1 = (U_1 - U_R) \frac{U_R}{R}$ , где R- сопротивление.

9. Рассчитайте телесный угол соответствующей каждой измеренной точке. Поскольку площадь шарового слоя определяется по формуле  $S = 2\pi R h$ , имеем:  $\Omega_i = \frac{2\pi}{R_i} h_i$ , где  $h_i$  - высота слоя соответствующей контрольной точки см. рис.2.  $R_i$  - расстояние до контрольной точки.

Табл.2

№ контр		Сила света,	Яркость,	Телесный угол,	Световой поток,

точки		$I_{v,i}$ , кД	$L_{v,i}$ , нит	$\Omega_i$ , ср.	$\Phi_{v,i}$ , лк
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					

10. Определите световой поток  $\Phi_v$  светодиода.

11. Определите светимость  $M_v$  светодиода, считая светимость излучающей поверхности равномерной.

12. Определите светоотдачу светодиода  $\Phi_v/P_1$  и сравните со значением из табл. 3

Табл. 3

Тип источника	Световая отдача (лм/Вт)	Относительная световая отдача
Лампа накаливания 100 Вт	13.8	2.0 %
Лампа накаливания 200 Вт	15.2	2.2 %
Галогеновая лампа 100 Вт	16.7	2.4 %
Галогеновая лампа 200 Вт	17.6	2.6 %
Галогеновая лампа 500 Вт	19.8	2.9 %
Кремлёвские звёзды	22	3.2 %
Кинопроекторные лампы	35	5.1 %
Светодиод	10-200	1.5-15 %
Ксеноновая дуговая лампа	30-50	4.4-7.3 %
Люминесцентная лампа	40—104	6-12 %
Газоразрядная натриевая лампа высокого давления	85-150	12-22 %
Газоразрядная натриевая лампа низкого давления	100-200	15-29 %
Теоретический максимум (монохроматический зелёный свет 555 нм)	683.002	100 %

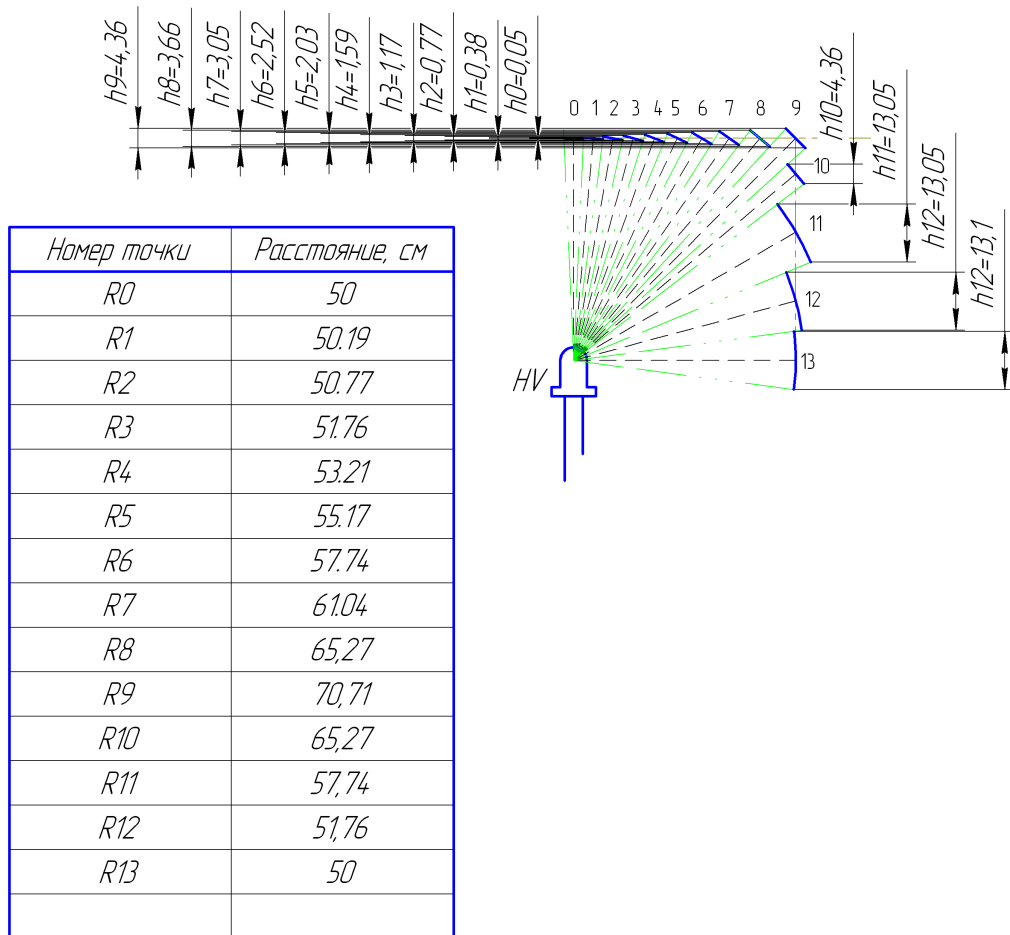


Рис. 2 Определение телесного угла для расчета светового потока.

## Лабораторная работа №4 Исследование фоторезистора ФСД-1

Цель работы: Изучить работу фоторезистора экспериментально определить технические характеристики.

Материалы и оборудование: 1 Лабораторный стенд, осциллограф с возможностью расчета спектра функции (RIGOL1000), люксметр VICTOR 1010A.

Фоторезисторы — это дискретные светочувствительные резисторы, принцип действия которых основан на явлении фотопроводимости, т. е. на изменении проводимости полупроводникового материала под действием светового излучения. При воздействии на полупроводник электромагнитного излучения светового диапазона часть электронов материала приобретает энергию, достаточную для разрыва их связи с атомами. Это явление генерации свободных носителей заряда обуславливает увеличение проводимости полупроводника.

**ФСД-1** - фоторезисторы в пластиковом корпусе с жесткими выводами. Максимум световой чувствительности фоторезистора ФСД-1 лежит на границе видимой и инфракрасной части спектра. Фоточувствительный элемент выполнен на основе селенистого кадмия.

### Основные характеристики ФСД-1:

Рабочее напряжение, не более	20В
Темновое сопротивление, не менее	2Мом
Темновой ток, не более	10мкА
Ток при освещенности 200лк, не менее	1,5мА
$R_{\text{темн.}}/R_{\text{осв.}}$ , не менее	150
Длина волны максимальной чувствительности	720..770нм
Материал фоточувствительного элемента	CdSe
Размеры фоточувствительного элемента	4x7,2мм
Постоянная времени, не более	0,08с.
Температурный коэффициент изменения чувствительности	+0,3..-2,6 %/°C
Максимальная рассеиваемая мощность, не более	50 мВт
Масса, не более	3г.

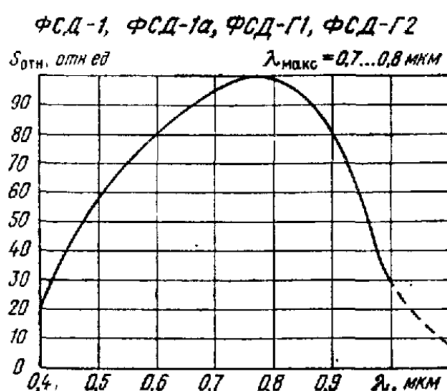


Рис 1. Характеристика относительной спектральной чувствительности фоторезистора ФСД-1



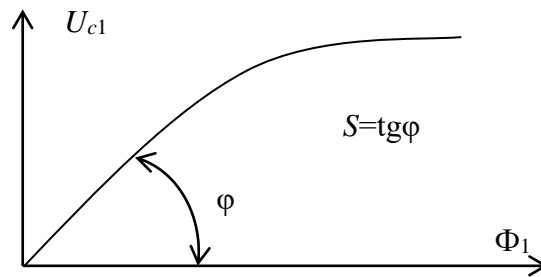


Рис 3. Пример энергетической характеристики фоторезистора

### Исследование частотной характеристики чувствительности

Данная характеристика измеряется при максимальном потоке ОИ, т.е. при  $I=100\text{мкА}$ . Частота модуляции ОИ изменяется за счет изменения скорости вращения модулятора и регулируется в пределах от 0 до 200 Гц.

Чувствительность на заданной частоте равна

$$S(f_{mn}) = \frac{U_{c1}(f_{mn})}{\Phi_1(f_{mn})} =$$

где  $\Phi_1$ -не зависит от частоты модуляции, т.к. форма модуляционной характеристики зависит от формы модулятора и остается неизменной для разных частот;

$n = 1, 2, \dots$  номера частоты модуляции:  $f_{m1}=1\text{Гц}$  ;  $f_{m2}=2\text{Гц}$  ;  $f_{m3}=3\text{Гц}$  ;  $f_{m4}=4\text{Гц}$ ;  $f_{m5}=5\text{Гц}$ .....и т.д. Допускается пропускать частоты.

Максимальная чувствительность имеет место при отсутствии модуляции потока излучения  $f_{M1} = 0$ , но она не известна. Поэтому нормируем текущее значение чувствительности на максимальное значение при  $f_{M1} = 1\text{Гц}$  и получим частотную характеристику относительной чувствительности ПИ

$$S_0(f_{mn}) = \frac{S(f_{Mn})}{S(f_{M1} = 1)} = \frac{U_{c1}(f_{mn})}{\Phi_1 \cdot U_{c1}(f_{M1} = 1)} = \frac{U_{c1}(f_{mn})}{U_{c1}(f_{M1} = 1)}$$

Таблица 2 – Исследование амплитудно-частотной характеристики ФР

Частота модуляции излучения, Гц						
$U_{c1}, \text{В}$						
$S_{\text{отн}}=U_{c1\text{вых}}/U_{c\text{макс}}$						

При синусоидальной модуляции частотная характеристика чувствительности описывается функцией :

$$= \frac{S(0)}{\sqrt{1 + (2\pi f_m \tau)^2}}$$

Относительная чувствительность



$$S_0(f_m) = \frac{S(f_m)}{S(0)} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f_m \tau)^2}};$$

### Определение постоянной времени ФР

Постоянная времени ПИ определяется по двум значениям фотосигналов на двух различных частотах  $U_{c1}(f_{m1}), U_{c1}(f_{m2})$

$$U_{c1}(f_{m1}) = S(f_{m1}) \cdot \Phi_1 = \frac{S(0) \cdot \Phi_1}{\sqrt{1 + (2\pi f_{m1} \tau)^2}}$$

$$U_{c1}(f_{m2}) = S(f_{m2}) \cdot \Phi_1 = \frac{S(0) \cdot \Phi_1}{\sqrt{1 + (2\pi f_{m2} \tau)^2}}$$

Отношение двух фотосигналов равно:

$$\frac{U_{c1}(f_{m1})}{U_{c1}(f_{m2})} = \frac{\sqrt{1 + (2\pi f_{m2} \tau)^2}}{\sqrt{1 + (2\pi f_{m1} \tau)^2}}$$

Из полученного отношения определяется постоянная времени ПИ

### Модуляционная характеристика потока ОИ

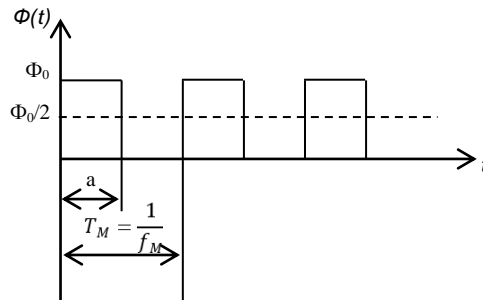


Рис.4 К определению модуляционной характеристики оптического облучения.

Нечетная периодическая функция  $f(x) = -f(-x)$  (симметрия 2-го рода) разлагается в синусоидальный ряд Фурье по частотам  $f_M, 2f_M, 3f_M, \dots, kf_M$

$$\Phi(t) = \frac{\Phi_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \Phi_k \sin(2\pi k f_M t)$$

$\Phi_k$  – коэффициенты ряда Фурье

$$\Phi_k = \frac{2}{T_M} \int_0^{T_M} \Phi(t) \sin\left(2\pi \frac{t}{T_M} k\right) dt = \Phi_0 \sin c\left(\pi a \frac{k}{T_M}\right) = \Phi_0 \sin c(\quad)$$

Коэффициент модуляции ОИ на частотной характеристике есть отношение потока излучения на частоте к-й гармоники полному потоку излучения излучения

$$K_{mk} = \frac{\Phi_k}{\Phi_0} = \sin c\left(\pi a k \frac{1}{T_M}\right)$$

При длительности импульса, равной половине периода  $a = \frac{T_M}{2}$  коэффициент модуляции на частоте первой гармоники  $f_{M1}$

$$K_{M1} = \sin c\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{2}{\pi} = 0,64$$

Аналогично определим теоретические коэффициенты для других гармоник.

Поток ОИ на частоте первой гармоники:

$$\Phi_1 = \Phi_0 \cdot K_{M1}$$

Максимальное значение фотосигнала (напряжения) на частоте первой гармоники (амплитуды первой гармоники)  $U_{c1}$

$$U_{c1} = S \cdot \Phi_1 = S \cdot K_{м1} \Phi_0$$

Измерение коэффициентов модуляции для различных гармоник проведем с помощью осциллографа, для этого подключим осциллограф к клеммам стенда, установим частоту модуляции порядка 1Гц. На осциллографе выберем режим МАТН в выпадающем меню выберем режим FFT (Быстрое преобразование Фурье). Перерисовываем получившиеся на экране графики в тетрадь. Измеряем амплитуды гармоник  $U_{mk}$  Фурье преобразования сигнала и амплитуду сигнала  $U_0$ . Определяем экспериментальные коэффициенты гармоник  $K_{mk} = U_{mk} / U_0$ .

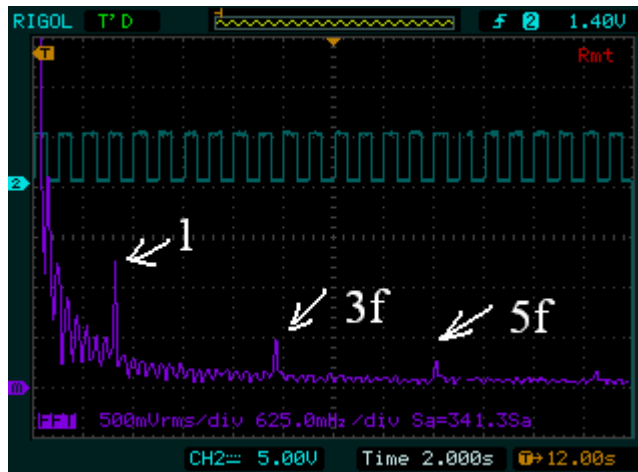


Рис. экран осциллографа с измеренными значениями амплитуд гармонических составляющих. Сравниваем их с теоретическими значениями

Таблица 3. Экспериментальное исследование гармоник фотосигнала

№ гармоники	1	2	3	4
Частота модуляции, Гц.				
Теоретическое значение коэффициента гармоники $K_{mk}$				
Экспериментальное значение коэффициента гармоники $K_{mk}$				

#### Контрольные вопросы:

1. Принцип работы стенда
2. Как повлияет на постоянную времени фоторезистора изменение: напряжения питания, сопротивления нагрузочного резистора.
3. Объясните форму энергетической характеристики фоторезистора.
4. Объясните расхождение экспериментальных результатов с теорией при исследовании гармоник сигнала

## Лабораторная работа №5. Изучение работы фотодиода

Цель работы: освоение методики снятия вольт-амперных характеристик, приобретение навыков выбора оптимального режима работы фотодиода в опико-электронных приборах и системах.

### Порядок выполнения работы

Первый этап работы выполняется в "ручном" режиме. Он заключается в исследовании "поведения" фотодиода при постоянной величине нагрузочного сопротивления  $R_n$  и при изменении полярности и величины напряжения питания.

Для двух-трех значений потока излучения, которые следует согласовать с преподавателем или лаборантом, снимите зависимости напряжения на фотодиоде от напряжения источника питания (с учетом полярности) в диапазоне  $U_n = -6... +1 В$ . При известной величине сопротивления нагрузочного резистора ( $R_n = 32 кОм$ ) рассчитайте значения тока, протекающего через фотодиод при каждом значении выбранного напряжения питания. Результаты измерений оформите в виде табл. 10.

Таблица 10.

$\Phi = \dots мкВт$		
$U_n, В$	$U_d, В$	$I_d, мкА$
...	...	...
...	...	...

### Примечания:

1. Шаг задания напряжений источника питания не обязательно должен быть одинаковым. Его следует выбирать с таким расчетом, чтобы было легко построить график  $I_d = f(U_d)$ . Учитывая характер кривой, следует уменьшить шаг задания напряжений (например, до 0,1...0,2 В), когда напряжение на фотодиоде близко к нулю (от -1 до +1 В).

2. Последовательность задания напряжений источника питания может быть любой, то есть в ходе эксперимента могут быть получены дополнительные (промежуточные) точки, позволяющие уточнить ход зависимости.

3. Минимальное число точек измерения, при каждом значении потока - 10, но при необходимости число точек может быть увеличено путем повторного задания (после десяти измерений) того же значения потока.

Закончив первый этап работы, обратитесь к преподавателю или лаборанту.

После проверки правильности выполнения первого этапа работы следует перейти к следующему этапу, нажав клавиши [2], [5], [ENTER].

Второй этап начинается с наблюдения за процессом снятия семейства вольт-амперных характеристик в автоматическом режиме. При этом программным путем обеспечивается изменение величины потока и напряжения источника, измерение напряжения на фотодиоде и расчет силы тока, протекающего через нагрузку. После завершения процесса формирования вольт-амперных характеристик следует перейти к более детальному их исследованию в фотодиодном или фотогальваническом режиме (переход к тому или иному режиму осуществляется в соответствии с меню, отображаемым в нижней части экрана).

В фотодиодном режиме, наблюдая на экране семейство вольт-амперных

характеристик, выберите сначала напряжение источника (и введите его значение), а затем введите сопротивление нагрузки по постоянному току, при которых линия нагрузки будет пересекать хотя бы 2 - 3 вольт-амперные характеристики в области токов насыщения. Пользуясь вариантами представленного меню, Вы можете многократно изменять параметры схемы ( $U_{п}$  и  $R_{н}$ ) до тех пор, пока не получите такой вид линии нагрузки, при котором обеспечивается максимальная вольтовая чувствительность для заданного  $\Phi_{max}$ . При этом следует действовать сознательно, а не путем случайного подбора, т.е. заранее рассчитывая оптимальное значение  $R_{н}$ , при котором вторая точка линии нагрузки должна располагаться в желаемом месте на оси  $I_{д}$ . При необходимости можно очистить изображение семейства вольт-амперных характеристик от предыдущих построений. Для этого нужно нажать клавишу [Enter].

После завершения серии экспериментов запишите оптимально выбранные параметры  $U_{п}$  и  $R_{н}$ . Рассчитайте соответствующее им значение вольтовой чувствительности

$$S_U = \Delta U_{н} / \Delta \Phi = R_{н} \cdot \Delta I_{н} / \Delta \Phi [B/Bm].$$

Не выходя из фотодиодного режима, обратитесь к преподавателю или лаборанту, чтобы ввести режим продолжения. После разрешения преподавателя нажмите клавиши [2], [5], [ENTER].

Исследование фотодиодного режима заканчивается построением линии нагрузки по переменному току. Для этого в режиме продолжения необходимо:

- ввести напряжение источника питания (конкретное значение рекомендуется согласовать с преподавателем);
- ввести значение сопротивления нагрузки по постоянному току (следует иметь в виду, что обычно сопротивление по постоянному току в схемах с дроссельной или трансформаторной нагрузкой не более 1 кОм. Это - активное сопротивление обмотки дросселя или трансформатора);
- в соответствии с заданной величиной постоянной составляющей потока излучения (задает преподаватель), пользуясь вольт-амперными характеристиками, ввести значение постоянной составляющей фототока;
- ввести сопротивление нагрузки по переменному току (обычно стремятся обеспечить  $R_{н\sim} \gg R_{н}$ , т.е. следует задавать величину  $R_{н\sim}$  в несколько десятков килоом);

На экране воспроизводится нагрузочная характеристика по переменному току (в случае модулированного потока). При необходимости повторите эксперимент. Запишите параметры, соответствующие окончательному результату. Рассчитайте вольтовую чувствительность для данного случая.

Полностью закончив исследование фотодиодного режима, перейдите (с помощью меню) к исследованию фотогоальванического режима.

Наблюдая на экране семейство вольт-амперных характеристик, введите 2 - 3 раза сопротивление нагрузки по постоянному току  $R_{н}$ . Определите вольтовую чувствительность для выбранных значений  $R_{н}$ . Подумайте, как должна выглядеть линия нагрузки в фотогоальваническом режиме в случае использования модулированного потока и нагрузки, разделенной по постоянному и переменному токам.

В дальнейшем рекомендуется провести дополнительные исследования по своей инициативе, с целью более глубокого освоения данной темы и подготовки ответов на вопросы, приведенные в конце описания.

Объем и содержание теоретического раздела отчета формируется по усмотрению студента. Он может включать краткие теоретические сведения о фотодиодах и возможных режимах работы; структуру аппаратных средств лабораторного модуля и др. Однако, следует иметь в виду, что при защите работы разрешается пользоваться только собственным отчетом, и сведения, которые в нем содержатся, могут быть полезными при обдумывании ответов.

Основную часть отчета составляют результаты проведенных исследований и расчетов. К ним относятся:

- таблицы, содержащие данные, полученные на первом этапе, а также графики вольт-амперных характеристик, соответствующие этому этапу ("ручной" режим);
- параметры, выбранные при исследовании фотодиодного режима работы фотодиода (по постоянному и переменному токам) и соответствующие им рассчитанные значения вольтовой чувствительности;
- параметры, выбранные при исследовании фотогальванического режима и соответствующие им рассчитанные значения вольтовой чувствительности.

### **Вопросы для подготовки**

1. Объясните все полученные Вами результаты.
2. Объясните физику работы фотодиода в фотодиодном и фотогальваническом режимах.
3. Каковы преимущества и недостатки каждого из них?
4. В каком из режимов (и почему) легче добиться линейной световой характеристики?
5. Из каких соображений, пользуясь вольт-амперной характеристикой, следует выбирать напряжение питания и величину сопротивления нагрузки?
6. Что дает разделение нагрузки по постоянному и переменному токам?
7. Объясните устройство аппаратных средств установки.
8. Каким образом строится линия нагрузки на вольт-амперных характеристиках? Из каких соображений следует выбирать  $U_p$  и  $R_n$ ?
9. Как с помощью вольт-амперных характеристик и построенной линии нагрузки рассчитывается вольтная чувствительность фотоприемного контура?

### **Литература**

Источники и приемники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов / Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев, Г.В. Польщиков. - СПб: Политехника, 1991 (с. 112-125).

## Лабораторная работа №6. Исследование оптоэлектронного датчика частоты вращения винта

Цель работы: Изучение простейшей схемы оптоэлектронного прибора – оптоэлектронного датчика частоты вращения винта

### Структурная схема и принцип работы оптоэлектронного датчика частоты вращения винта мини-БПЛА.

Структурная схема оптоэлектронного датчика частоты вращения винта мини-БПЛА представлена на рисунке 2.1.

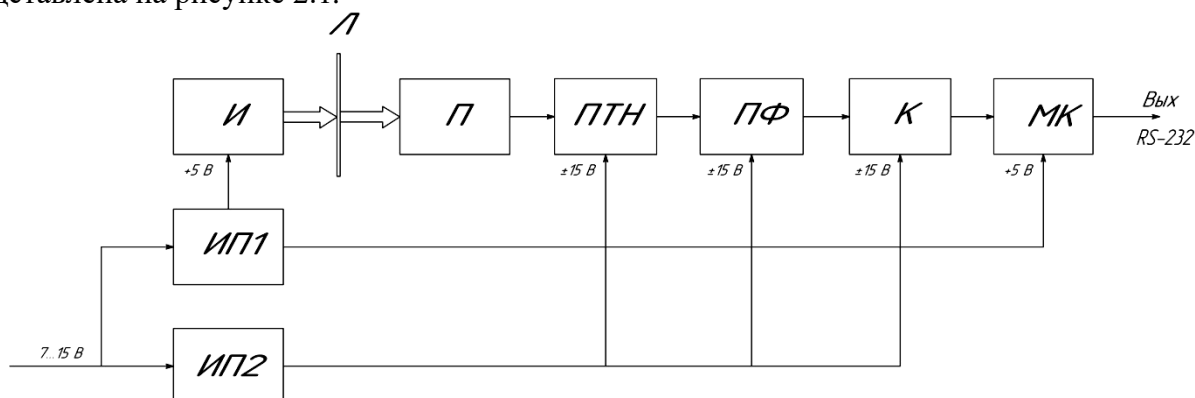


Рисунок 2.1 Структурная схема оптоэлектронного датчика

- И - источник ИК излучения;
- Л - лопасть винта мини-БПЛА;
- П - приемник ИК излучения;
- ПТН - преобразователь ток-напряжения;
- ПФ - полосовой фильтр;
- К - компаратор;
- МК - микроконтроллер;
- ИП1 - источник питания +5В;
- ИП2 - источник питания ±15В.

Электронный тракт датчика собран на базе микроконтроллера (МК) серии ATmega32, который выполняет в данной конструкции функцию счетчика по подсчёту импульсов поступающих с компаратора, и передает полученный результат в виде последовательного двоичного кода по интерфейсу RS-232. Алгоритм работы микроконтроллера представлен на плакате (формат А1).

Информация о частоте вращения винта передается оптическим сигналом с использованием инфракрасной составляющей диапазона, в процессе облучения винта источником ИК излучения (И) и приема отраженного сигнала приемником ИК излучения (П).

Оптический сигнал поступающий на приемник ИК излучения преобразуется в электрический сигнал с помощью преобразователя ток-напряжения (ПТН). Электрический сигнал через полосовой фильтр (ПФ) поступает на компаратор, в котором преобразуется в импульсный сигнал.

Полосовой фильтр работает в диапазоне частот вращения винта мини-БПЛА, заданных в задании

Система питания устройства состоит из нескольких ступеней. Напряжение питания 7...15В подается на разъем ХР3 (см. чертеж: Схема электрическая принципиальная (формат А1)), после чего преобразуется в напряжение +5В в ИП1, необходимое для работы светодиода и счетчика; а также в напряжение ±15В с помощью ИП2, для питания микросхем.

Инфракрасный светодиод L-514EIR4С, основные параметры которого представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Напряжение (тип.), В при 20 мА	Обратный ток (макс.), мкА	Длина волны, нм	Угол излучения, град.	Мощность излучения, мВт/ср
1,6	10	850	20	60

Зная плоский угол свечения светодиода  $\theta$  (двойной угол половинной яркости), указанный производителем, можно определить телесный угол по формуле  $\Omega = 2\pi (1 - \cos(\theta/2))$ . Подставив данные из таблицы получим:

$$\Omega = 2 \cdot 3.14 (1 - \cos \frac{20}{2}) = 0.0954 \text{ ср}$$

Внешний вид и габаритные размеры ИК светодиода представлены на рисунке 3.1.

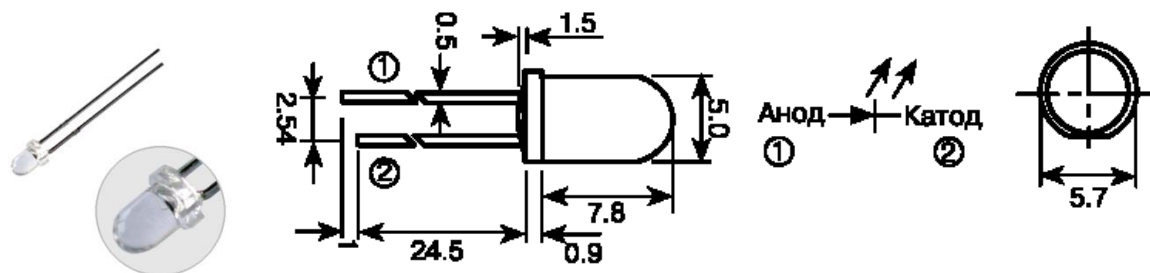


Рисунок 3.1 Внешний вид и габаритные размеры ИК светодиода L-514EIR4C

Найдем облученность, создаваемую точечным источником (за который примем светодиод) на поверхность (поверхность винта), на которую излучение падает под углом используя формулу:

$$E_e = \frac{I_e \cos \beta}{l^2} \quad (3.1)$$

где  $I_e$  - сила излучения источника;  $\beta$  - угол между нормалью поверхности и падающим излучением (возьмем равным 5 град.);  $l$  - расстояние от источника до поверхности.

Расстояние от источника и приемника до поверхности винта задано заданием. Угол между источником, а также приемником ИК излучения и нормалью к поверхности винта возьмем равным 5 градусов.

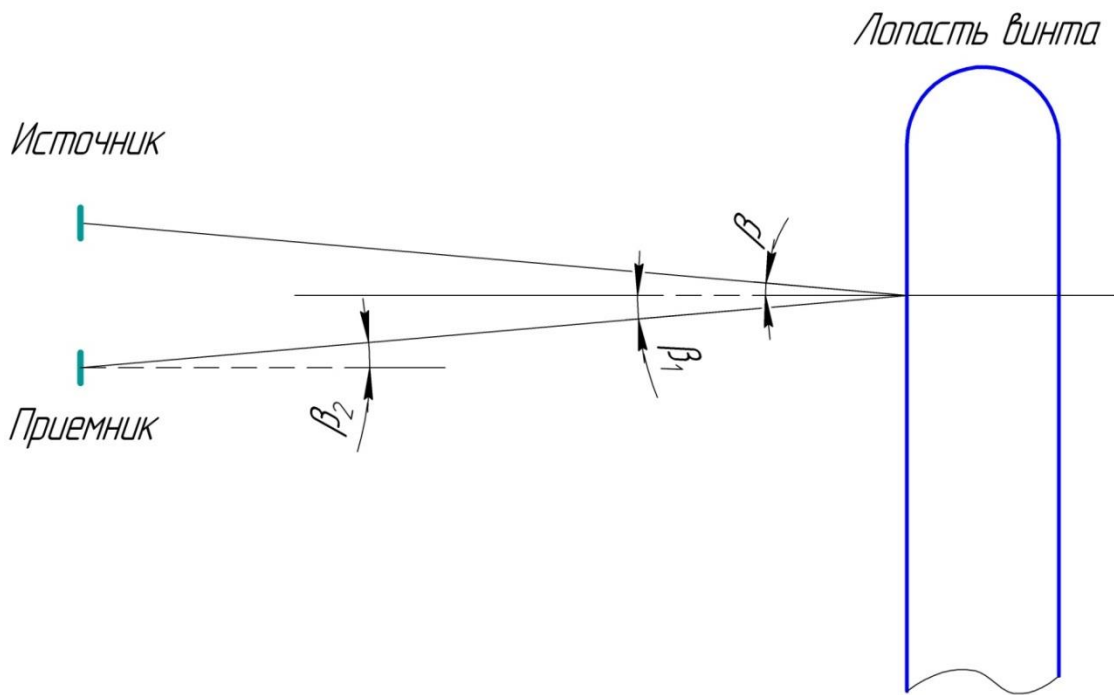


Рисунок 3.2. Взаимное расположение источника, приемника инфракрасного излучения и лопасти винта.

Получившийся угол в 10 градусов между источником и приемником ИК излучения не обязательно соблюдать строго при проектировании сборочного чертежа, так как небольшие отклонения не сильно влияют на работу опико-электронного датчика.

Рассчитаем облученность с использованием имеющихся данных:

$$E_e = \frac{60 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 5^\circ}{0.03^2} = 66.4 \frac{Вт}{м^2}$$

Энергетическая светимость облучаемой поверхности, создаваемая отраженным излучением определяется по формуле:

$$M_e = E_e \rho \tag{3.2}$$

где  $\rho$  - коэффициент отражения (принимается равным 0,7).

$$M_e = 66.4 \cdot 0.7 = 46.48 \frac{Вт}{м^2}$$

Примем поверхность винта за ламбертовский излучатель (худший случай, т.к. поверхность лопасти рассеивает свет равномерно), и воспользовавшись следствием из закона Ламберта найдем яркость облучаемой поверхности:

$$L_e = \frac{M_e}{\pi} = \frac{46.48}{3.14} = 14.8 \frac{Вт}{м^2 \cdot ср}$$

Определим площадь лопасти, на которую падает излучение от источника; и плоский угол зрения приемника оптического излучения  $2\beta$ .



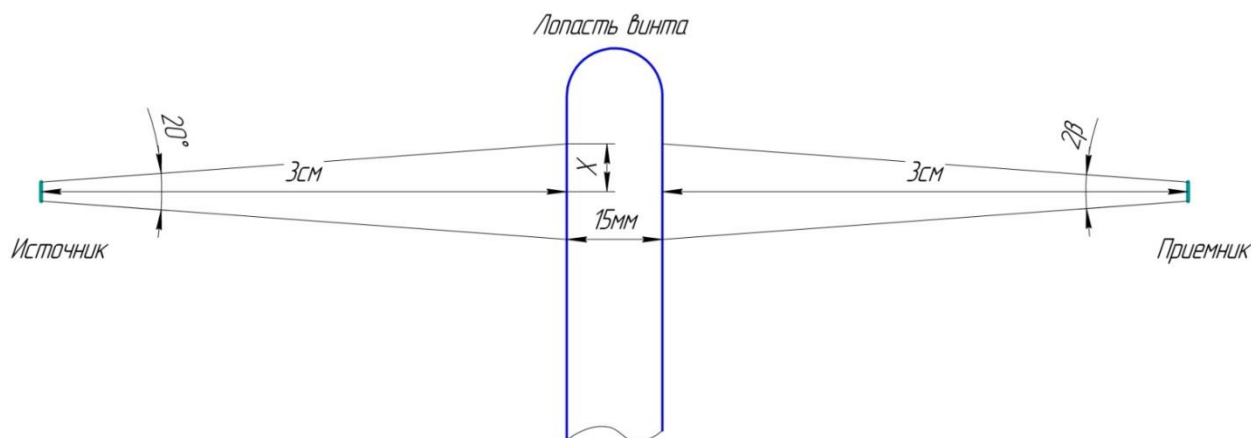


Рисунок 3.3

Найдем площадь лопасти, на которую падает излучение от источника:

$$X = \frac{0.03 \cdot \sin 10^\circ}{\sin 80^\circ} \approx 0.0053 \text{ м} = 5,3 \text{ мм}$$

$$S = 0.015 \cdot 0.0053 \cdot 2 = 0.000159 \text{ м}^2 = 159 \text{ мм}^2$$

Исходя из подобия треугольников, в следствии одинакового расстояния от лопасти до приемника и источника излучения,  $2\beta = 20^\circ$ . Следовательно выбираем фотодиод из следующих условий:

- плоский угол зрения  $2\beta \geq 20^\circ$ ;
- длина волны максимума спектральной чувствительности  $\lambda_{\text{макс}} = 850 \text{ нм}$ .

Выберем фотодиод ФД-256 со следующими параметрами:

Фотодиод кремниевый планарный. Фоточувствительный элемент круглый диаметром 1,37 мм. Выпускаются в металлостеклянном корпусе. Удлиненный вывод - плюсовой. Масса не более 1 г.

Порядок выполнения работы

1. Зарисуйте схему электрическую принципиальную стенда, обозначте на ней контрольные точки.

2. Включите ЭВМ и подключите стенд к ЭВМ

3. Подключите стенд к блоку питания и к ЭВМ с помощью соединительных кабелей.

Напряжение питания составляет +7+15В.

4. Запустите программу ТАНОМ.EXE

5. Проверьте работу датчика путем установки требуемой частоты вращения в программе.

**будьте осторожны при обращении с вращающимся винтом, не подставляйте руки и др. части тела во избежание травм.**

6. Выставьте частоту вращения порядка 20 Гц.

7. С помощью осциллографа проведите снятие осциллограмм с контрольных точек.

Осциллограммы сохраните на FLASH носитель.

Содержание отчета

1. Электрическая схема установки.

2. Результаты измерений.

### Контрольные вопросы

1. Объясните результаты измерений в контрольной точке № \_\_\_
2. Принцип работы светодиода
3. Принцип работы фотодиода

## Лабораторная работа №7. Исследование характеристик и схем включения двухплощадочного фотодиода

**Цель работы:** Исследование характеристик и схем включения двухплощадочного фотодиода.

### Принцип действия фотодиода

При воздействии энергии излучения возникают электронно-дырочные пары, разделяемые р-п-переходом и образующие фототок. При отсутствии освещения в цепи протекает только темновой ток (обратный ток смещенного диода), составляющий единицы и даже десятки микроампер.

Фотодиоды могут включаться в схемы как с внешним источником питания – в фотодиодном режиме, так и без него – в фотогальваническом режиме.

В настоящее время основными материалами для изготовления фотодиодов являются германий и кремний.

Очень важной характеристикой фотодиода является стабильность его параметров при изменении температуры, влажности, давления окружающей среды.

Двухплощадочные фотодиоды предназначены для применения в качестве приемников излучения в составе опико-электронной аппаратуры. ФД20-30К применяемый в данной работе имеет два фоточувствительных элемента А и В. Для обеспечения условий измерения смещения  $\Delta x$  изображения марки необходимо, чтобы диаметр марки не превышал одного элемента фотодиода. При этом координаты центра изображения  $\Delta x$  определяются вычитанием сигналов, снимаемых с элементарных площадок. Структурная схема фотоприемника с двухплощадочным фотодиодом показана на рис.1.

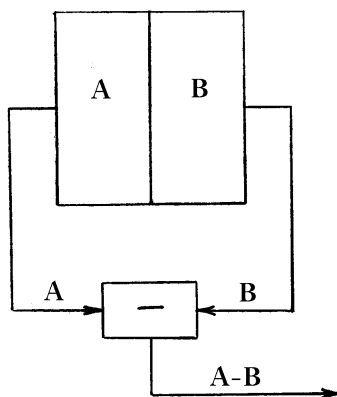


Рис.1

Таблица: Технические характеристики фотодиода

Тип фотодиода	фоточувствительного элемента, мм (количество)	$\Delta\lambda$ , мм	$\lambda_{max}$ , мкм	$U_p$ , В	$I_T$ , мкА, не более	$S_{инт}$ , мА / лм (мкА / лк), не менее	$\Phi_{пл}$ , лм / Гц <sup>1/2</sup> , не более	$\tau$ , с, не более	$K_{фс}$ , %, не более	изоляция между орпусом	Масса, Г, не более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ФД-20КП	2 × 2 (4)	0,5...1,1	0,85...0,92	7	0,1	4	-	5 · 10 <sup>-6</sup>	2	100	4,0
ФД-20-30К	1,5 × 1,5 (2)	0,5...1,1	0,85...0,95	5	0,1	(0,3 А / Вт) при 0,9 мкм	-	1,8 · 10 <sup>-6</sup>	3	200	0,65

- $\Delta\lambda$  – область спектральной чувствительности;
- $\lambda_{\text{макс}}$  – длина волны максимума спектральной чувствительности;
- $U_p$  – рабочее напряжение;
- $I_T$  – темновой ток;
- $S_{\text{инт}}$  – токовая интервальная чувствительность;
- $\Phi_{\text{п}}$  – порог чувствительности в единичной полосе частот;
- $\tau$  – постоянная времени фотодиода.

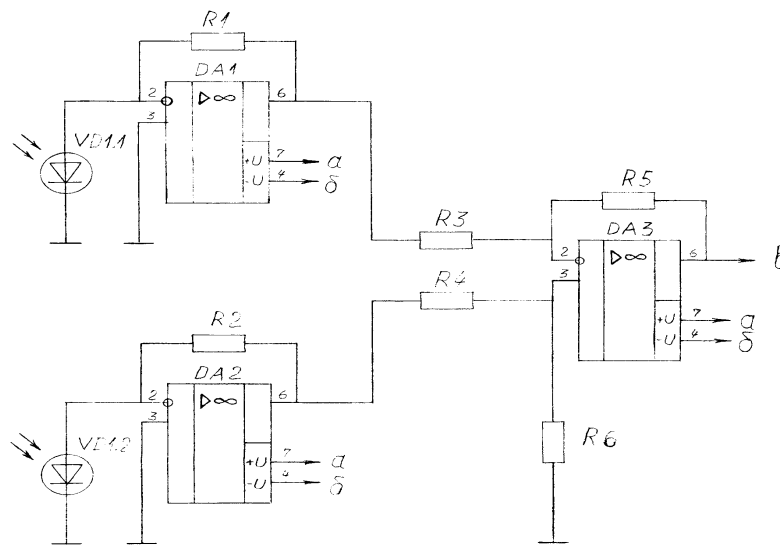
### Семы включения фотодиодов

Фотодиоды могут включаться как в диодном режиме рис.2 (а), так и в фотогальваническом рис.2 (б).



Рис.2

В данной лабораторной работе используется схема включения, показанная на рис.3



Конт.	Цепь
1	Общий
2	+15 В
3	-15 В
4	Выход

Рис.3

### Объект и средства исследования

- макет фотоприемного устройства – фотодиод ФД20-30К;
- делительная головка;
- источник питания  $\pm 15$  В;

- вольтметр.

### Подготовка к работе

1. Закрепить фотоприемник на валу делительной головки (цена деления 1').
2. Соосно приемнику излучения установить источник излучения.
3. Подключить вольтметр к фотоприемнику.
4. К источнику питания подключить делительную головку.
5. Включить источник питания в сеть.
6. Снять статическую характеристику фотоприемника.

### Порядок проведения эксперимента

Исследования фотоприемника на базе площадочного фотодиода.

Снятие статических характеристик фотодиода.

### Обработка результатов эксперимента

На базе проведенного эксперимента составим таблицу.

$\alpha +$	$U_{\text{вых}}$	$\alpha -$	$U_{\text{вых}}$

На основе таблицы строим график зависимости угла  $\alpha$  от напряжения  $U_{\text{вых}}$ .

### Контрольные вопросы

1. В каких двух режимах работают фотодиоды?
2. Что такое приемник излучения?
3. Объяснить принцип действия фотодиодов.
4. Как освещение влияет на работу фотодиода?
5. От каких двух параметров зависит работа фотодиода?
6. Нарисовать и объяснить принцип действия структурной схемы фотоприемника с двухплощадочным фотодиодом.

## Лабораторная работа №8. Исследование ПЗС линейки

Цель работы: Изучение схемы включения и сигналов ПЗС линейки, соответствующего пространственной структуре оптического изображения, исследование линейности выходных сигналов .

Описание лабораторной установки:

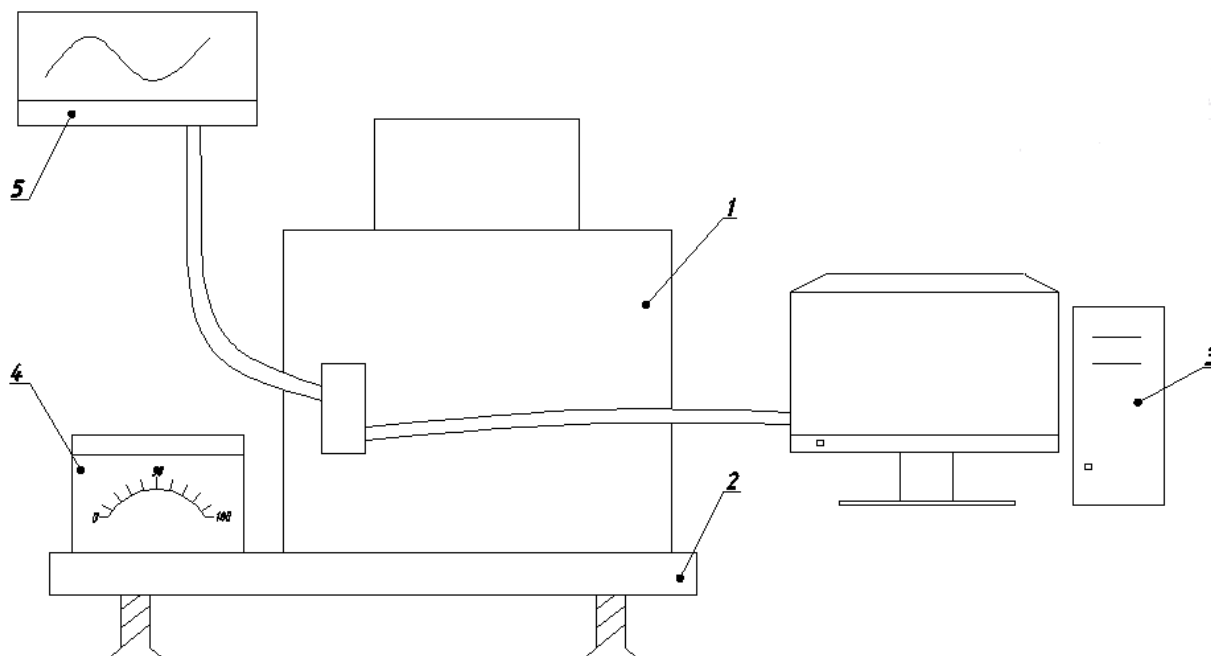


Рис.А1 Схема лабораторной установки.

1. Измерительный блок
2. Углозадающее основание
3. Персональный компьютер
4. Оптический квадрант
5. Осциллограф

Измерительный блок и оптический квадрант находятся на углозадающем основании. К измерительному блоку, через интерфейс RS232, подключен персональный компьютер. Так же, для изучения выходных сигналов ПЗС, возможно подключения осциллографа. Измерительный блок состоит из неподвижной части на которой установлена ПЗС линейка и подвижной на которой находится осветительный блок. Так же на корпусе находится плата потенциометра, для регулирования освещенности приемника света.

Порядок выполнения работы:

1. Соберите лабораторную установку согласно приведенной схеме.
2. Подключите измерительный блок к свободному порту USB.
3. Задайте начальный наклон углозадающего основания равный  $-5^\circ$ . (Установите на оптическом квадранте угол  $-5^\circ$  и с помощью поворота микрометрического винта добейтесь равенства уровней оптического квадранта и углозадающего основания).
4. На компьютере запустите программу «Лабораторный стенд.exe»
5. Выберите необходимый номер ком порта.
6. Введите угол наклона и нажмите кнопку «Получить номер ячейки»
7. Если результаты не вызывают сомнения нажмите кнопку «Добавить данные в таблицу».

8. Увеличивая угол наклона на один градус, проведите десять испытаний. Каждый раз заносите данные в таблицу.

9. После того, как будут произведены десять испытаний и таблица будет заполнена, данные следует сохранить. Для этого воспользуйтесь соответствующей кнопкой.

10. По полученным результатам следует построить график и найти нелинейность.

Контрольные вопросы:

1. Принцип работы ПЗС линейки?

2. Охарактеризуйте нелинейность преобразования ПЗС датчика.

3. Основные параметры ПЗС датчиков

4. Какие виды координатных приемников излучения Вы знаете, для чего они применяются.

## Лабораторная работа №9. Изучение матричного ФПЗС

Цель работы: Ознакомление с принципом работы матричного ФПЗС и построенной на его основе видеокамеры; снятие осциллограмм управляющих сигналов и выходного видео сигнала.

### Принцип работы матричного ФПЗС

Матричный ФПЗС К1200ЦМ7 является полноформатным формирователем видеосигналов, отвечающим по числу строк ТВ-стандарту и находит широкое применение в разнообразных телевизионных системах. Микросхема содержит на одном кристалле (см. рисунок 1) ФПЗС с кадровой организацией и два дополнительных регистра сдвига на ПЗС, один из которых (входной, на рисунке 1 - третий) может управляться независимо, для чего между ним и секцией накопления предусмотрен разрешающий затвор. В ФПЗС К1200ЦМ7 в секциях накопления и памяти содержится по 288 строк, одна дополнительная строка используется только при переносе. Общее число элементов по вертикали 580, число элементов по горизонтали (в строке) 360.

Изображение проецируется на секцию накопления в течение времени полукадра (составляющего для стандартных телевизионных систем 20 мс). В фоточувствительных ПЗС-

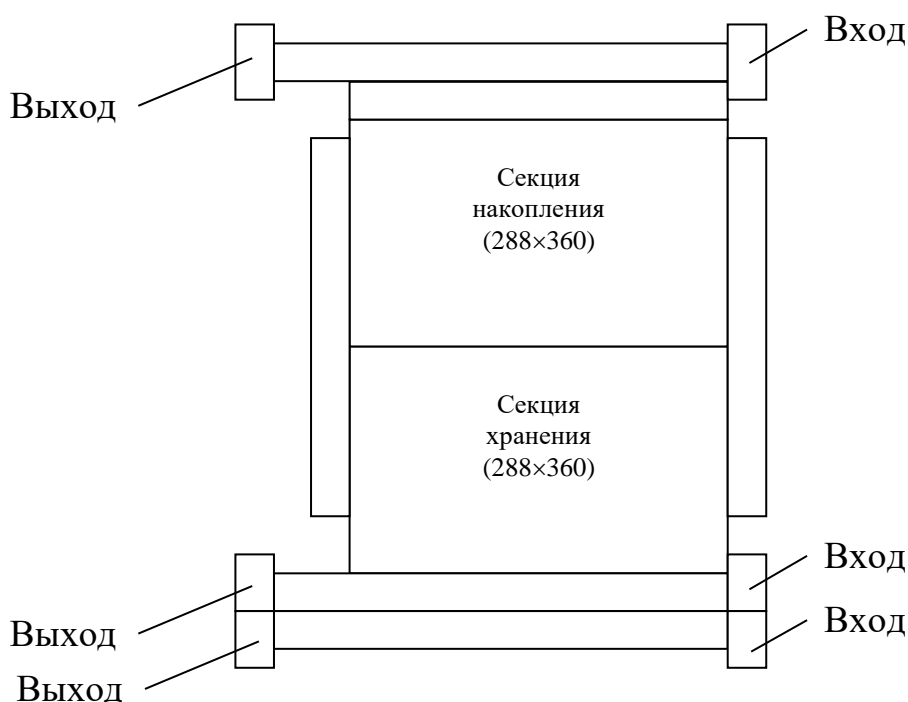


Рисунок 1 – Структурная схема матричного ФПЗС К1200ЦМ7

элементах накапливаются фотогенерированные зарядовые пакеты. Затем вся картина зарядов в параллельной форме сдвигается в секцию хранения. В течение следующего

полукадра зарядовые пакеты накапливаются под фоточувствительными элементами другой фазы секции накопления, благодаря чему достигается удвоение разрешающей способности, это же время картина зарядов, соответствующая предыдущему полукадру,

построчно в параллельной форме сдвигается из секции хранения в выходной сдвиговый регистр 1, а оттуда в последовательной форме (поэлементно) передается на выход.

Для нейтрализации отрицательных эффектов избыточных локальных засветок (перетекания заряда из сильно засвеченных ячеек соседние) в конструкции микросхемы предусмотрены устройства антиблуминга. Избыточный заряд удаляется из ячеек через специальные шины (стоки антиблуминга).

### Структурная схема включения матричного ФПЗС

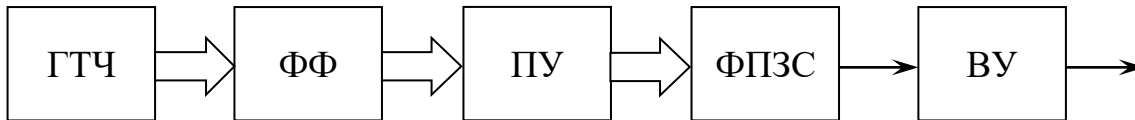


Рисунок 2 – Структурная схема видеокамеры на матрице ФПЗС

Управление работой ФПЗС в любом случае включает в себя следующие задачи:

- обеспечение накопления информации, т. е. установление некоторого распределения смещений на электродах ФПЗС (не только секции накопления);
- перенос накопленных зарядовых пакетов посредством формирования управляющих импульсов;
- вывод информации;
- согласование управляющих импульсов с ФПЗС по амплитудам, длительностям и фронтам, т. е. преобразование уровней;
- добавление служебных импульсов (привязка к уровню, выбор поля и т.д.);
- синхронизация управляющих и служебных уровней.

Блоки изображенные на структурной схеме видеокамеры, представленной на рисунке 2, выполняет все выше обозначенные задачи.

Блок генератора тактовой частоты (ГТЧ) используется в качестве входного опорного генератора. Формирователь фаз (ФФ) формирует трехфазные последовательности импульсов для управления секциями накопления, хранения и считывающим выходным регистром. Преобразователь уровней (ПУ) обеспечивает согласование управляющих сигналов по амплитуде с микросхемой ФПЗС. Видеоусилитель (ВУ) осуществляет формирование видеосигнала, его усиление и фильтрацию.

#### 1.1 Описание принципиальной схемы видеокамеры



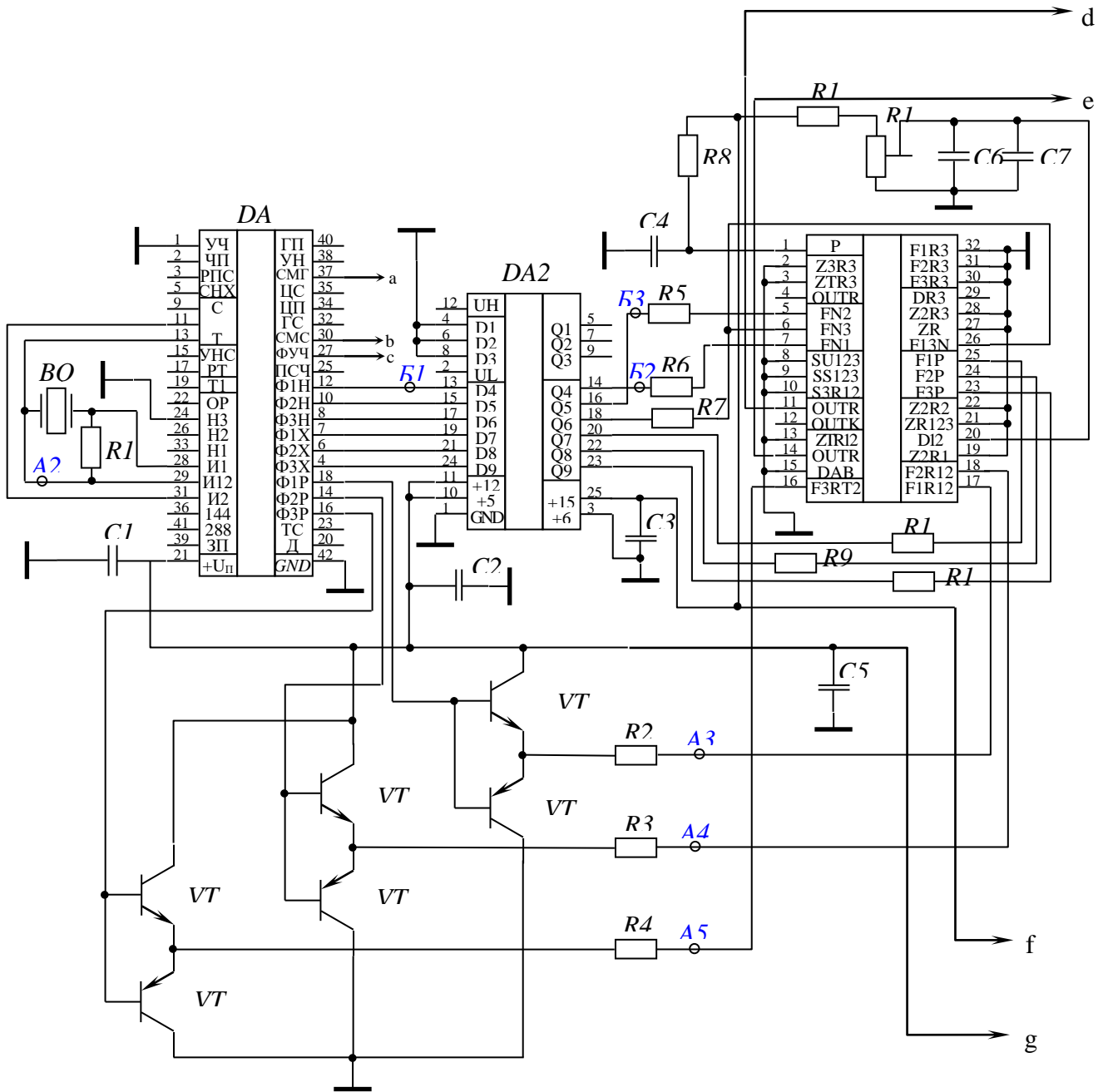


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема видеокамеры на основе ФПЗС-матрицы (часть 1)

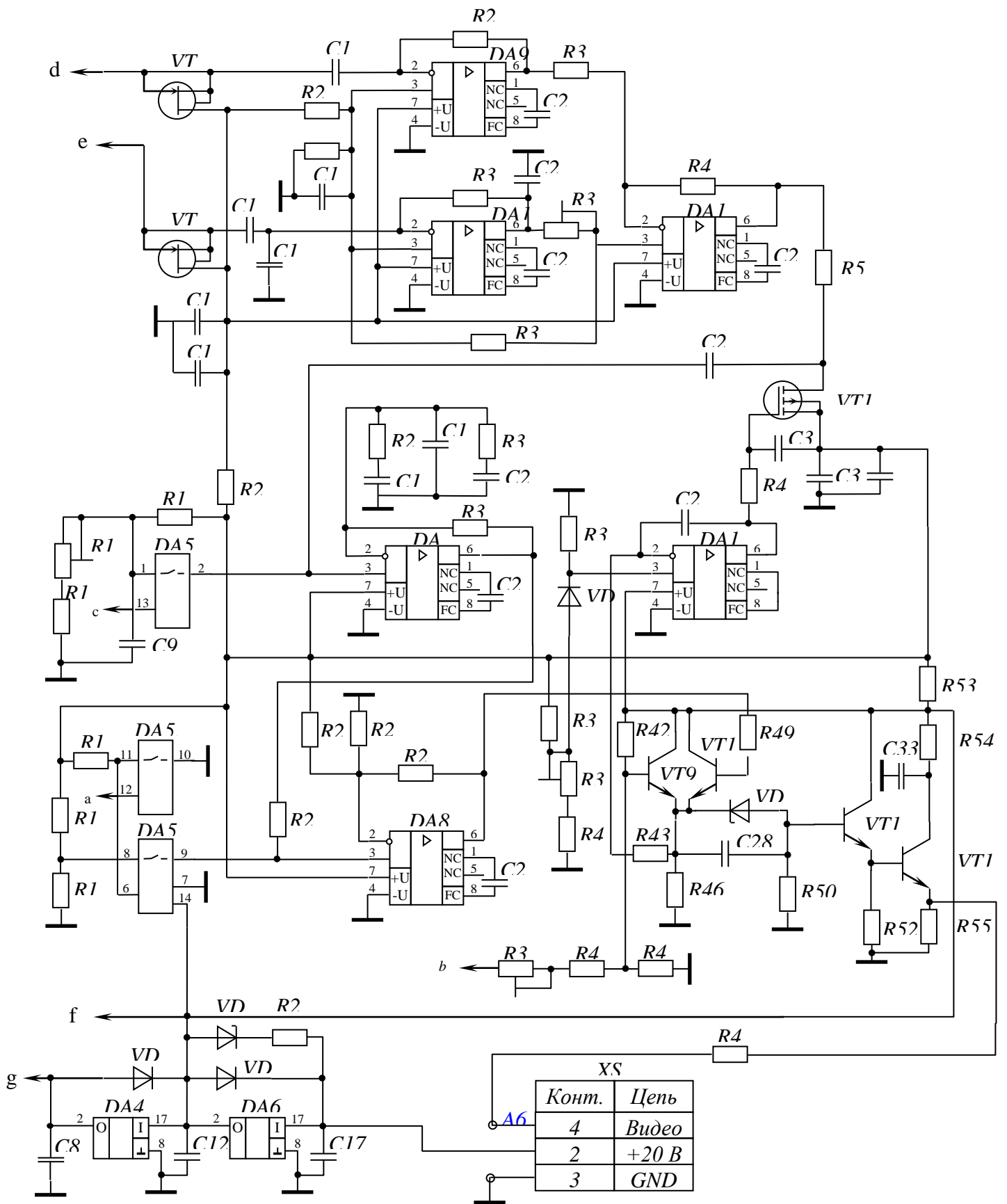


Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема видеокамеры на основе ФПЗС-матрицы (часть 2)

На рисунках 3 и 4 представлена принципиальная электрическая схема видеокамеры на основе матричного ФПЗС. В данной схеме импульсы управляющие работой ПЗС-матрицы K1200ЦМ7 (DA3), вырабатываются микросхемой K1124АП2 (DA1). Она самостоятельно формирует опорные тактовые импульсы с помощью подключенного к ней кварцевого резонатора ВQ1. Для согласования по амплитуде управляющих сигналов с микросхемой ФПЗС используется микросхема преобразователя уровня K1124ПУ1 (DA2, на схеме D1-D9 – входы, Q1-Q9 - выходы), а также для сигналов регистров 1 и 2 - эмиттерные повторители на транзисторах VT1-VT6. Сигналы с выхода регистров 1 и 2 обрабатываются выходным видеоусилителем, где происходит выборка и фильтрация сигнала и его последующее усиление.

Таблица 1 – Назначение выводов микросхемы K1200ЦМ7

Вывод	Обозначение	Функциональное назначение
1	P	Подложка
2	Z2R3	Третий затвор регистра 3
3	ZTR3	Затвор транзистора сброса регистра 3
4	OUTR3	Выход основной регистра 3
5	FN2	Вторая фаза секции накопления
6	FN3	Третья фаза секции накопления
7	FN1	Первая фаза секции накопления
8	SU123	Стоки усилительных транзисторов регистров 1,2,3
9	SS123	Стоки транзисторов сброса регистров 1, 2, 3
10	Z3R12	Третьи затворы регистров 1 и 2
11	OUTR12	Выход основной регистра 2
12	OUTK2	Выход компенсационный регистра 2
13	ZTR12	Затворы транзисторов сброса регистров 1, 2, 3
14	OUTR1	Выход основной регистра 1
15	DA3	Диод антиблуминговый
16	F3RT2	Третья фаза регистров 1, 2
17	F1R12	Первая фаза регистров 1, 2
18	F2R12	Вторая фаза регистров 1, 2
19	Z2R1	Входной затвор регистра 1
20	D12	Входной диод общий для регистров 1 и 2
21	ZR123	Первый затвор общий для регистров 1, 2, 3
22	Z2R2	Второй затвор регистра 2
23	F3P	Третья фаза секции памяти
24	F2P	Вторая фаза секции памяти
25	F1P	Первая фаза секции памяти
26	F13N	Третья фаза секции накопления
27	ZR	Разрешающий затвор между регистром 3 и секцией накопления
28	Z2R3	Второй затвор регистра 3
29	DR3	Входной диод регистра 3

Таблица 1 (Продолжение) – Назначение выводов микросхемы K1200ЦМ7

30	F3R3	Третья фаза регистра 3
31	F2R3	Вторая фаза регистра 3
32	F1R3	Первая фаза регистра 3

Таблица 2 – Назначение выводов микросхемы K1124АП2

Вывод	Обозначение	Функциональное назначение
1	УЧ	Уменьшение вдвое частоты импульсов переноса из СН в СХ
2	ЧП	Импульсы четности поля

3	РПС	Разрешение переноса строк внутри СН
4	Ф3Х	Третья фаза СХ
6	Ф2Х	Вторая фаза СХ
7	Ф1Х	Первая фаза СХ
8	Ф3Н	Третья фаза СН
9	С	Вход внешней синхронизации (используется при работе в автоколебательном режиме)
10	Ф2Н	Вторая фаза СН
11,13	$T, \bar{T}$	Входные тактовые парафазные импульсы
12	Ф1Н	Первая фаза СН
14	Ф2Р	Вторая фаза регистра
15	УНС	Установка начального состояния (низкий уровень – ждущий режим)
16	Ф3Р	Третья фаза регистра
18	Ф1Р	Первая фаза регистра
21	+ U <sub>п</sub>	Питание (плюс)
24	Н3	Третий вход управления режимом накопления
25	ПСЧ	Импульсы половинной строчной частоты
26	Н2	Второй вход управления режимом накопления
27	ФУЧ	Импульсы уровня черного
30	СМС	Смесь синхронизирующих и уравнивающих импульсов строк и полей приемника
32	ГС	Импульсы гашения строк
33	Н1	Первый вход управления режимом накопления
34	ЦП	Импульсы, отмечающие центр поля
35	ЦС	Импульсы, отмечающие центр строк
37	СМГ	Смесь гасящих импульсов строк и полей кадра
38	УН	Импульсы управления потенциалом накопления
40	ГП	Импульсы гашения полей кадра
42	GND	Общий

#### Объект и средства исследования

- видеочамера на основе матричного ФПЗС;
- монитор «Электроника-62»;
- однополярный источник постоянного тока питания 20 В;
- осциллограф С1-93;

#### Подготовка к работе

- подключить монитор к сети переменного тока  $\approx 220$  В 50 Гц;
- подключить видеочамеру к источнику постоянного тока 20В;
- соединить видеовыход камеры с видеовходом монитора;
- включить осциллограф и вставить нулевой провод щупа в гнездо А1 выносного разъема видеочамеры.

#### Порядок проведения эксперимента :

Снять осциллограммы с контактов А2-А6 и Б1-Б3 выносного разъема видеочамеры.

#### Обработка результатов эксперимента:

Определить форму, период, частоту, разность фаз (для сигналов трехфазных последовательностей), амплитуду сигналов полученных при проведении эксперимента. По полученным результатам сделать соответствующие выводы.

#### Контрольные вопросы

1. Описать общее устройство матричного ФПЗС K1200ЦМ7 и принцип его работы.
2. Назовите основные блоки видеокамеры на основе ФПЗС и расскажите об их назначении.
3. Каковы преимущества построения видеокамеры с использованием специальных управляющих микросхем?