

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)**

Кафедра телевидения и управления  
(ТУ)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ТУ, профессор

\_\_\_\_\_ И.Н. Пустынский

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

**ДАТЧИКИ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

Методические указания к лабораторным работам

Данные методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» - 210303, «Аудиовизуальная техника» - 210312

**РАЗРАБОТАЛ**

\_\_\_\_\_ Ю.Р. Кирпиченко

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

Кирпиченко Ю.Р. Датчики охранной сигнализации: Методические указания к лабораторным работам. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 40 с.

Настоящий комплекс лабораторных работ ориентирован на приобретение студентами практических навыков измерения характеристик элементов систем охранной сигнализации с целью определения обоснованных требований к отдельным элементам, а также с целью выявления их оптимальных параметров.

© Кирпиченко Ю.Р., 2012

© Кафедра Телевидения и управления, ТУСУР, 2012

## Содержание

1	Лабораторная работа 1. Изучение законов освещенности.....	4
2	Лабораторная работа 2. Методика измерения качества изображения объективов по дифракционной точке.....	9
3	Лабораторная работа 3. Измерение коэффициента оптической передачи объективов.....	13
4	Лабораторная работа 4. Исследование сигналов управления работой телевизионной передающей камеры на матрице ПЗС со строчным переносом.....	17
5	Лабораторная работа 5. Измерение разрешающей способности ПЗС камеры.....	22
6	Лабораторная работа 6. Исследование средств адаптации ПЗС камер к изменению освещенности.....	28
7	Лабораторная работа 7. Исследование электронно-оптического преобразователя.....	33
8	Лабораторная работа 8. Исследование индикатрис излучения полупроводниковых излучающих диодов.....	38

## Лабораторная работа №1

### ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ОСВЕЩЕННОСТИ

#### Цели работы

1. Ознакомиться с основными энергетическими и световыми величинами.
2. Ознакомиться со способами измерения отдельных световых величин.

#### Краткие теоретические сведения

Основной величиной, которая позволяет судить о количестве излучения, является поток излучения (или мощность излучения):

**Поток излучения** (лучистый поток)  $\Phi_e$  – это величина энергии, переносимой полем в единицу времени через данную площадку .

Поток излучения измеряется в ваттах:  $[\Phi_e] = Вт, 1Вт = 1 Дж/с$ .

Для более подробного описания электромагнитного излучения вводятся дополнительные величины, характеризующие его поверхностную (энергетическая освещенность) и пространственную плотность (энергетическая сила света, энергетическая яркость).

Энергетические характеристики потока излучения являются исчерпывающими с энергетической точки зрения, но они не позволяют количественно оценить визуальное восприятие излучения. Восприятие глазом видимого диапазона определяется не только мощностью воспринимаемого излучения, но также зависит от его спектрального состава. Световые характеристики описывают, как энергию излучения воспринимает зрительная система с учетом спектрального состава света.

Связь световых и энергетических величин устанавливается через зрительное восприятие.

Из всего спектра излучений источников света только видимый свет, воздействуя на светочувствительные элементы глаза, вызывает зрительное ощущение.

Чувствительность глаза к излучениям различных длин волн неодинакова. Свойство глаза по-разному оценивать одинаковую лучистую энергию или мощность различных длин волн видимого спектра называется спектральной чувствительностью.

Особенность нашего зрения такова, что при равной мощности излучения всех длин волн видимого спектра мы лучше всего воспринимаем желто-зеленый цвет, т. е. излучение с длиной волны, равной 555 нм. Поэтому чувствительность глаза на этой длине волны принимается за единицу, а для остальных длин волн светового излучения она будет меньше единицы (при одинаковой мощности излучения).

Следует отметить, что относительная спектральная чувствительность глаза тождественна таким понятиям, как спектральная эффективность глаза и кривая видности глаза.

Кривая относительной спектральной чувствительности глаза является одной из основных характеристик светотехники, ее используют во всех определениях, световых и цветовых расчетах и определениях.

**Световой поток**  $\Phi_v$  является одной из основных световых величин и представляет собой тот же лучистый поток, но оценивается по световому ощущению, которое он производит на глаз человека, т. е. световой поток — это величина, образуемая от лучистого потока путем умножения на коэффициенты спектральной чувствительности глаза по каждой из длин волн видимого спектра.

Если энергия излучается только на одной из длин волн  $\lambda$ , то световой поток этого монохроматического излучения будет равен:

$$\Phi_{v\lambda} = \Phi_{e\lambda} V(\lambda).$$

При таком представлении световой поток измеряется в ваттах, как и лучистый. Чтобы различать эти потоки, для обозначения светового потока добавляется слово «световой», т. е. получается световой ватт. Правда, такая размерность светового потока практически не используется, поскольку система СИ рекомендует в качестве единиц светового потока люмены (от лат. lumen — свет).

**Силой света** называется отношение светового потока  $d\Phi_v$ , распространяющегося от источника в определенном направлении внутри малого телесного угла, к этому телесному углу  $d\Omega$ , т. е.

$$I_v = d\Phi_v / d\Omega.$$

Нужно отметить, что здесь имеется ввиду точечный источник излучения, т. е. тело, имеющее малые размеры по сравнению с расстоянием, на котором рассматривается его действие.

Телесным углом называется часть пространства, ограниченная конической поверхностью.

Если вокруг вершины телесного угла описать сферу произвольного радиуса  $r$ , то коническая поверхность, ограничивающая телесный угол, вырежет на поверхности сферы участок, площадь  $S$  которого будет пропорциональна квадрату радиуса, т. е.:

$$S = \Omega r^2$$

За единицу телесного угла — стерадиан (ср) — принят телесный угол, вырезающий участок сферы, площадь которого равна квадрату ее радиуса.

Для перехода от плоского угла  $\omega$  при вершине конуса к телесному  $\Omega$  можно использовать формулу:

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \omega).$$

**Освещенность** представляет собой поверхностную плотность светового потока, падающего на освещаемую поверхность. При равномерном распределении светового потока  $\Phi_v$  в пределах освещаемой поверхности  $S$  значение освещенности можно определить как:

$$E_v = \frac{\Phi_v}{S}.$$

Освещенность и сила света точечного источника света при нормальном падении лучей (поверхность перпендикулярна лучам) связаны следующим соотношением:

$$E_v = \frac{I_v}{r^2},$$

где  $r$  — расстояние от источника света до освещаемой поверхности.

Это выражение называется законом квадратов расстояний.

Если лучи от источника падают на поверхность под углом  $\varphi$  к нормали (рис. 1), то тот же световой поток  $\Phi_v$  распределяется по площади, в  $1 / \cos \varphi$  раз большей, чем  $S$  (по площади  $S / \cos \varphi$ ), и формула примет вид:

$$E_v = I_v \cos \varphi / r^2.$$

Закон квадратов расстояний приемлем для расчета освещенности, создаваемой осветительными приборами.

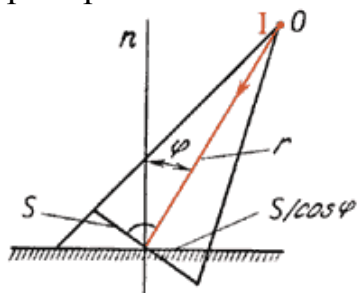


Рис. 1. К определению освещенности поверхности

Единицей освещенности является люкс (лк, от лат. lux — свет). То есть,  $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ м}^2$ . внесистемная единица освещенности:  $1 \text{ фот} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ см}^2$ . В США, Англии и других странах в качестве единицы освещенности часто используется фут-кандела:  $1 \text{ фут-кандела} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ фут}^2 = 10,764 \text{ лк}$ .

**Яркость** поверхности изотропных излучателей для заданного направления — это отношение силы света, излучаемого в данном направлении, к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к этому направлению (рис. 2):

$$L_v = I_v / S \cos \varphi.$$

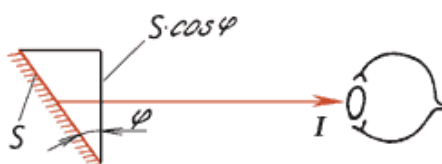


Рис. 2. К определению яркости поверхности

При равномерном освещении диффузно отражающей поверхности уравнение, связывающее яркость этой поверхности с ее освещенностью, будет иметь вид:

$$L_v = \rho \frac{E}{\pi},$$

где  $\rho$  — коэффициент отражения поверхности.

Яркость — единственная из световых величин, которую глаз воспринимает непосредственно, и при отсутствии поглощения света в среде распространения она не зависит от расстояния. Уравнение, связывающее яркость объекта  $L_v$  освещенность  $E_{зр}$ , создаваемую этим объектом на зрачке глаза, и телесный угол  $\Omega$ , в пределах которого глаз видит данный объект, можно представить как:

$$L_v = E_{зр} / \Omega.$$

Единицей яркости является кандела на квадратный метр (кд / м<sup>2</sup>). 1 кд / м<sup>2</sup> — это яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с 1 м<sup>2</sup> поверхности.

### Сопоставление энергетических и световых величин

Энергетические величины		Световые величины	
Наименование и обозначение	Единицы измерения	Наименование и обозначение	Единицы измерения
Поток излучения, $\Phi_e$	Вт	Световой поток, $\Phi_v$	лм
Энергетическая сила света, $I_e$	Вт×ср <sup>-1</sup>	Сила света, $I_v$	кд
Энергетическая освещенность, $E_e$	Вт×м <sup>-2</sup>	Освещенность, $E_v$	лк
Энергетическая светимость, $M_e$	Вт×м <sup>-2</sup>	Светимость, $M_v$	лм×м <sup>-2</sup>
Энергетическая яркость, $L_e$	Вт×ср <sup>-1</sup> ×м <sup>-2</sup>	Яркость, $L_v$	кд×м <sup>-2</sup>

### Порядок выполнения работ

1. Снимите зависимость фототока от расстояния между источником света и фотоэлементом. Данные занести в таблицу 1. Постройте график (рис. 3).

Таблица 1

$I_\Phi$								
$r$								

2. Снимите на фиксированном расстоянии зависимость фототока от угла падения светового потока. Данные занесите в таблицу 2. Постройте график (рис. 4).

Таблица 2

$I_\phi$								
$\cos \varphi$								

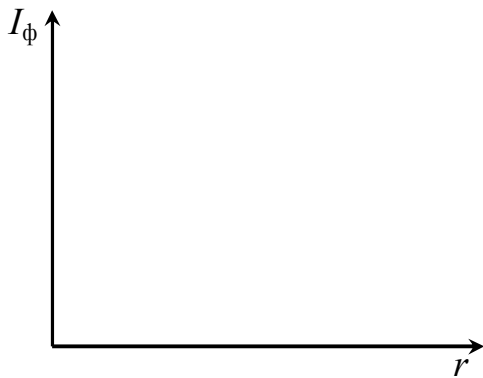


Рис. 1

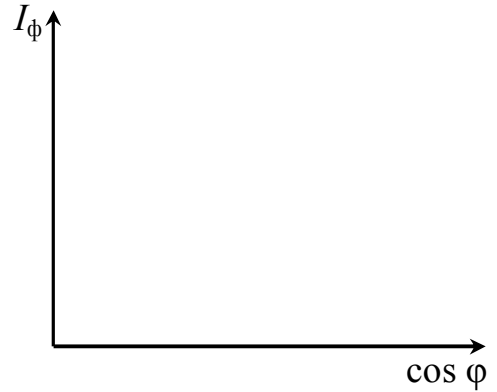


Рис. 2

### Содержание отчета

1. Таблицы с результатами измерений, графики.
2. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. К свету какой длины волны (цвета) наиболее чувствителен глаз человека?
2. Перечислите основные фотометрические характеристики. Дайте определение этих характеристик и их единицы.
3. Что называется точечным источником света?
4. Какие источники света называются Ламбертовыми?

### Литература

1. Кирпиченко Ю.Р., Пустынский И.Н. Датчики телевизионно-вычислительных систем: Учебное пособие для вузов. – Томск: В – Спектр, 2010. – 160 с.



## Лабораторная работа №2

### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТИВОВ ПО ДИФРАКЦИОННОЙ ТОЧКЕ.

#### Цель работы

1. Знакомство с видами абберационных искажений, влияющих на качество изображения.

#### Краткие теоретические сведения

Разрешающая способность объектива определяется точностью изготовления и сборки, величиной остаточных aberrаций и дифракционными явлениями. Если ограничения, накладываемые на разрешающую способность первыми двумя факторами, могут быть, по крайней мере теоретически, доведены до любого приемлемого уровня, то дифракционные явления устанавливают определенный теоретический предел разрешающей способности.

Согласно критерию Релея предел разрешающей способности, определяемый как число разрешаемых линий на единицу длины, равен

$$N_{об} = Q/\lambda. \quad (1)$$

При  $\lambda = 555$  нм получаем  $N_{об} = 1800Q$ . Если  $Q = 1 : 4$ , то предельная разрешающая способность будет составлять  $N_{об} = 450$  лин/мм

Реальная разрешающая способность объектива из-за остаточных aberrаций обычно ниже предельной. При максимальном отверстии реальная разрешающая способность определяется в основном aberrациями, при минимальном – дифракционными явлениями.

Изменение относительного отверстия регулировкой апертурной диафрагмы меняет разрешающую способность по закону, отличающемуся от (1). Наибольшую разрешающую способность объектив имеет при некотором промежуточном значении относительного отверстия. Оптимальное значение относительного значения зависит от фокусного расстояния объектива и его относительного отверстия.

В центре разрешающая способность имеет максимальное значение, а на краях заметно падает. Объясняется это в первую очередь возрастанием aberrаций.

Разрешающая способность объектива ТВ камеры должна быть достаточно высокой, чтобы не снижать существенно общей разрешающей способности телевизионной системы. Для этого визуальная разрешающая способность  $N_{об.в}$  должна быть много выше разрешающей способности телевизионной системы.

В справочниках обычно приводятся значения фотографической разрешающей способности объектива. Этими Данными можно руководствоваться при выборе объективов, так как практически установлено, что объективы не вносят заметного ухудшения в качество телевизионного изображения, если

их фотографическая разрешающая способность в полтора-два раза выше предельной разрешающей способности телевизионной системы, т. е.

$$N_{\text{об.ф}} > (1,5 \div 2) N_T$$

### Описание лабораторной установки

По изображению точки можно определить наличие следующих aberrаций: сферической, астигматизма, комы, кривизны поверхности изображения, а также наличие местных ошибок оптических поверхностей, напряжений в стекле и децентровки линз.

Оценка качества объектива по виду изображения точки производится на оптической скамье по схеме, приведенной на рисунке 1.

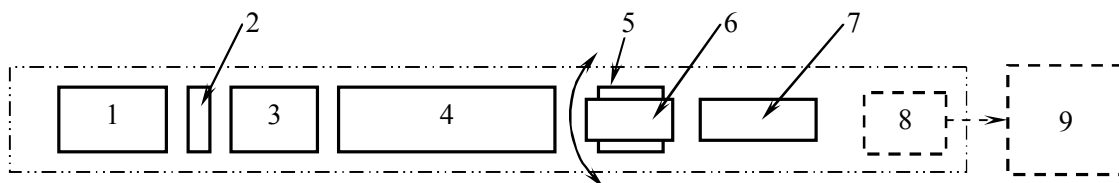


Рис. 1. Схема установки для оценки качества изображения объектива по дифракционной точке: 1 – источник света; 2 – интерференционный светофильтр; 3 – револьверный привод оптических мирид; 4 – коллиматор; 5 – поворотное устройство; 6 – испытываемый объектив; 7 – микроскоп с окулярным микрометром; 8 – телевизионная камера высокого разрешения VEC-535; 9 – компьютер.

### Порядок выполнения работ

Перемещая микроскоп вдоль оптической скамьи, визуально добиваемся резкого изображения пятна рассеяния точки на оптической оси коллиматора. Если aberrации испытываемого объектива малы и не превышают  $0,25\lambda$ , то изображения точки должно представлять собой дифракционную картину: яркое ядро, окруженное чередующимися темными и светлыми кольцами. При наличии сферической aberrации более  $0,25\lambda$  яркость первого, второго и последующих светлых колец будет возрастать, а яркость центрального ядра уменьшаться. При наличии других aberrаций изображение точки будет изменяться в соответствии со схематическим изображением дифракционной точки, приведенным в таблице 1.

1. С помощью окулярного микроскопа измеряют размер aberrационного кружка рассеяния, если он обладает центральной симметрией. Если же aberrационный кружок рассеяния не обладает центральной симметрией, то необходимо измерять его наибольший и наименьший размеры.

2. Изменяя угол между оптическими осями коллиматора и испытываемого объектива в пределах его угла зрения, повторяем измерения по пункту 1. Измерения проводятся в семи точках равномерно распределенных в пределах угла зрения испытываемого объектива.

3. С помощью механических перемещений совмещаем оптические оси объектива ТВ камеры и микроскопа. Перемещением ТВ камеры и ее объектива вдоль оптической оси добиваемся резкого изображения кружка рассеяния на экране монитора компьютера. Документируем изображения во всех точках, где измерялись размеры кружка рассеяния.

**Таблица 1. Схематическое изображение дифракционной точки**

	Изображение точки, создаваемое безабберационным объективом
	Расфокусированное изображение точки, создаваемое безабберационным объективом (за фокусом и до фокуса)
	Расфокусированное изображение точки при наличии астигматизма
	Изображение точки при наличии астигматизма
	Изображение точки при наличии комы
	Изображение точки при наличии сферической аберрации
	Изображение точки при наличии пережатия линзы в оправе
	Расфокусированное изображение точки при наличии свилей в стекле

4. Измерения по пунктам 1 ÷ 3 проводятся для различных длин волн монохроматического излучения посредством смены интерференционных фильтров.

5. Сравнивая изображения дифракционной точки, полученного в п.3, с одной из схем, приведенных в таблице 1, делаем вывод о характере aberrаций, ошибках сборки и юстировки испытываемого объектива.

**Примечание:** 2. ТВ камера должна работать в режиме передачи цветного изображения, коэффициент гамма коррекции должен быть равен единице.

### **Содержание отчета**

1. Схема лабораторной установки и ее описание.
2. Изображения измеренных aberrаций.
3. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Объясните наличие минимума в зависимости глубины модуляции от величины относительного отверстия объектива.
2. Какие способы уменьшения влияния aberrаций на разрешающую способность объективов вы знаете?

### **Литература**

1. ОСТ 3-4387-79. Объективы съёмочные. Метод оценки качества изготовления по виду изображения точки.
2. Кирпиченко Ю.Р., Пустынский И.Н. Датчики телевизионно-вычислительных систем: Учебное пособие для вузов. – Томск: В – Спектр, 2010. – 160 с.

## Лабораторная работа №3

### ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ОБЪЕКТИВОВ

#### Цель работы

Изучить влияние параметров объектива и расстояния до объекта наблюдения на коэффициент оптической передачи

#### Краткие теоретические сведения

Основным оптическим элементом телевизионной передающей камеры является объектив, с помощью которого изображения объектов передачи проецируются на фоточувствительную поверхность датчика изображения. При выборе оптики и расчете оптических характеристик телевизионных передающих камер важно знать соотношения, связывающие освещенность изображения на фоточувствительной поверхности датчика изображения с условиями освещения объектов и их светотехническими характеристиками.

Источник света освещает объект передачи. Отраженный от объекта световой поток частично захватывается объективом и посылается на фоточувствительную поверхность, на которой образуется оптическое изображение. Элементарный световой поток  $dF_{об}$  отраженный перпендикулярной к главной оптической оси элементарной площадкой объекта  $dS_{об}$  и захватываемый объективом, определяется выражением

$$dF_{об} = B \omega dS_{об} \quad (1)$$

где  $B$  яркость площадки  $dS_{об}$ , а  $\omega$  – телесный угол, под которым виден входной зрачок объектива из центра площадки  $dS_{об}$ .

Телесный угол

$$\omega \approx \frac{\pi D_{вх}^2}{4(x - x_p)^2} = \frac{\pi}{4} Q^2 \frac{V^2 V_p^2}{(V_p - V)^2}, \quad (2)$$

где  $D_{вх}$  – диаметр входного зрачка;  $Q = D_{вх}/f'$  – относительное отверстие объектива;  $V = -fx$  – увеличение системы;  $V_p = -fx_p$  – увеличение в зрачках.

Подставив значение  $\omega$  из (2) в (1), получим

$$dF_{об} = \frac{\pi}{4} Q^2 B \frac{V_p^2}{(V_p - V)^2} dS_{\phi}$$

где  $dS_{\phi} = dS_{об} V^2$  – площадь изображения элементарной площадки на фоточувствительной поверхности.

Величина светового потока, прошедшего сквозь объектив,  $dF = \tau F_{об}$ , где  $\tau$  – коэффициент пропускания объектива. Отсюда освещенность элементарной площадки фоточувствительной поверхности

$$E_{\phi} = \frac{dF_{\phi}}{dS_{\phi}} = \frac{\pi}{4} Q^2 \tau \frac{V_p}{(V_p - V)^2} B.$$

В объективах симметричной или близкой к симметричной конструкции увеличение в зрачках близко к единице, т. е.  $V_p \approx 1$ . Тогда

$$E_{\phi} = \frac{\pi}{4} Q^2 \tau \frac{1}{(1 - V)^2} B.$$

Это выражение связывает освещенность изображения на фоточувствительной поверхности с яркостью передаваемых объектов, увеличением и параметрами объектива. Соотношение между освещенностью, создаваемой на сценической площадке, и освещенностью на фоточувствительной поверхности можно получить, если учесть, что большинство объектов передачи диффузно отражает падающий на них свет. Тогда

$$B = \frac{\delta_d E_{об}}{\pi}$$

и

$$E_{\phi} = \frac{1}{4} Q^2 \delta_d \frac{1}{(1 - V)^2} E_{об},$$

где  $E_{об}$  – освещенность на объекте, а  $\delta_d$  – коэффициент диффузного отражения объектов.

Для оценки световой эффективности всей системы проекции используется коэффициент оптической передачи  $K_E$ , представляющая собой отношение освещенности на фоточувствительной поверхности к освещенности на объекте передачи:

$$K_E = \frac{E_{\phi}}{E_{об}} = \frac{Q^2 \tau \delta_d}{4(1 - V)^2}.$$

### Описание лабораторной установки

Установка (рис. 1) состоит источника подсвета 1, набора нейтральных светофильтров 2, обеспечивающих необходимую освещенность в плоскости изображения объектива, матового стекла 3, на которую накладывается диафрагма 4, исследуемого объектива 6, имеющего механизм перемещения 7, экрана контроля фокусировки 8 с механизмом перемещения 9, фотоприемника 5 и измерительного прибора 10.

Источник подсвета создает параллельный пучок света, который, пройдя через набор нейтральных светофильтров, попадает на матовое стекло, имитирующее диффузно рассеивающий объект наблюдения. Границы объекта наблюдения ограничиваются диафрагмой. Показания измерительного прибора, помещенного в плоскости матового стекла, пропорциональны освещенности объекта наблюдения (диафрагмы). Исследуемый объектив фокусирует изображение диафрагмы в плоскости экрана контроля фокусировки, точное положение которого в плоскости изображения объекта обеспечивается меха-

низмом перемещения экрана в продольном направлении. С помощью фотоприемника, размещенного в плоскости экрана, измеряется сигнал пропорциональный освещенности в плоскости изображения.

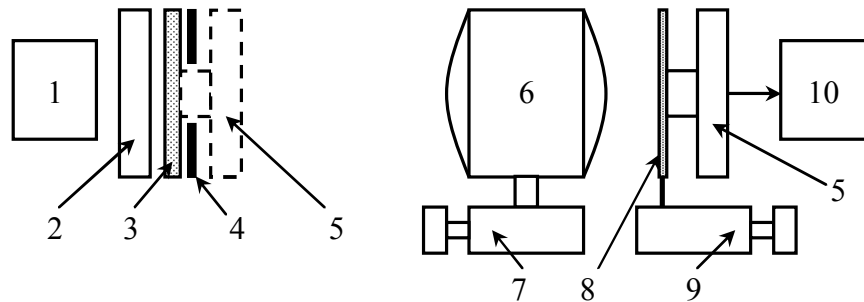


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – источник подсвета; 2 – набор нейтральных светофильтров; матовое стекло; 4 – диафрагма; 5 – фотоприемник; 6 – исследуемый объектив; 7 – механизм перемещения объектива; 8 – экран контроля фокусировки; 9 – механизм перемещения экрана контроля фокусировки; 10 – измерительный прибор

### Порядок выполнения работ

1. Установить исследуемый объектив на платформе крепления объектива на максимальном расстоянии  $L_{max}$  от объекта наблюдения (диафрагмы).
2. Помещаем входное окно фотоприемника в плоскость объекта наблюдения (диафрагмы) и снимаем показание измерительного прибора.
3. Перемещая экран контроля фокусировки в продольном направлении, добиваемся резкого изображения диафрагмы, тем самым, определяем положение плоскости изображения.
4. Помещаем входное окно фотоприемника в плоскость изображения и снимаем показание измерительного прибора.
5. Определяем отношение  $K_E$  величин показаний измерительного прибора в п.4 к величине показания в п.2. Записываем полученное значение  $K_E$  для установленного расстояния  $L_{max}$  по п.1 в таблицу.
6. Уменьшая расстояние  $L$  в интервале  $L_{min} - L_{max}$  на величину  $\Delta L$ , повторяем измерения по п.п. 2 – 6, где  $\Delta L = (L_{max} - L_{min})/n$ ;  $L_{min} = 2f_{об}$ ;  $f_{об}$  – фокусное расстояние исследуемого объектива;  $n$  – число точек положения объекта наблюдения, задаваемого преподавателем.
7. Изменяем размер объекта наблюдения (диафрагмы) и повторяем действия по п.п. 2 – 6.
8. Устанавливаем новый исследуемый объектив. Повторяем действия по п.п. 2 – 7.
9. Для исследуемых объективов строим зависимости  $K_E$  от  $L$ , полученных при разных размерах объекта наблюдения (диафрагмы).

## Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки и ее описание.
2. Таблицы с результатами измерений.
2. Зависимости коэффициент оптической передачи от расстояния до объекта наблюдения.
4. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Объясните понятие глубины резкости и, как она зависит от величины относительного отверстия объектива.
2. На какую характеристику ТВ камеры влияет относительное отверстие объектива?
3. Что нужно знать для определения угла зрения ТВ камеры?

## Литература

1. Кирпиченко Ю.Р., Пустынский И.Н. Датчики телевизионно-вычислительных систем: Учебное пособие для вузов. – Томск: В-Спектр, 2010. – 160 с.



## Лабораторная работа №4

### ИЗМЕРЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЗС КАМЕРЫ

#### Цели работы

1. Дать практические навыки по экспериментальному определению разрешающей способности ТВ камер;
2. Изучить физические и конструктивные факторы, влияющие на индикатрисы излучения ПИД.

#### Краткие теоретические сведения

Как дискретный датчик ПЗС осуществляет двумерную пространственную и одномерную временную выборку отсчетов. Из-за того, что непрерывное распределение освещенности преобразуется в дискретный сигнал распределения зарядов, изображающая система с выборкой оказывается пространственно неинвариантной, то есть изображение точечного источника зависит от его положения относительно двумерной решетки выборки (матрицы) рис. 1.

Как видно из рис. 1, с увеличением размера изображения точечного источника (на рис. сверху вниз, первый и третий столбцы). Размеры изображения точечного источника (первый и третий столбы) равны в порядке сверху вниз 0,5, 1, 2, 3 элемента, соответственно. Во втором и четвертом столбцах показаны распределения освещенности в воспроизводимом изображении ПЗС. Из рис. 1 видно, что даже при размере изображения точечного источника в 3 раза больше размера элемента ПЗС наблюдается зависимость характера распределения освещенности в воспроизводимом изображении от взаимного положения изображения точечного источника и элемента ПЗС.

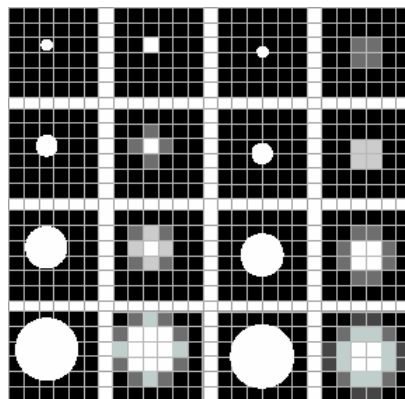


Рис. 1 – Зависимость распределения освещенности в изображении точки от ее положения относительно элементов ПЗС и размеров

На модуляционную передаточную функцию (МПФ) оказывают влияние геометрическая форма светочувствительного элемента, диффузное растекание неосновных носителей заряда в полупроводнике и неэффективность переноса.

Геометрическая составляющая МПФ при размерах светочувствительного элемента  $\Delta x \times \Delta y$ , шаге разложения элементов по горизонтали  $P_x$  и вертикали  $P_y$  (рис. 2) и равномерном распределении чувствительности в пределах элемента равна

$$M_{\text{ПЗС.г}}(\omega_x, \omega_y) = \frac{\sin\left(\frac{\omega_x \Delta x}{2}\right) \sin\left(\frac{\omega_y \Delta y}{2}\right)}{\frac{\omega_x \Delta x}{2} \frac{\omega_y \Delta y}{2}}. \quad (1)$$

Диффузное растекание неосновных носителей изменяет закон распределения чувствительности элемента детектора. Распределение приближается к идеальному, принятому при выводе уравнения (1), на более коротких волнах, поскольку излучение проникает в кремний не так глубоко, как на длинных волнах. Повышение проникающей способности излучения в области длинных волн является причиной размазывания функции пространственного распределения чувствительности (рис. 3).

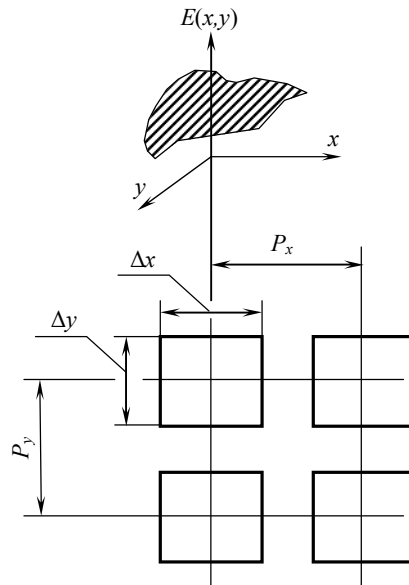


Рис. 2 – Матрица детектора

Соответствующие изменения МПФ с изменением длины волны падающего света показаны на рис. 4.

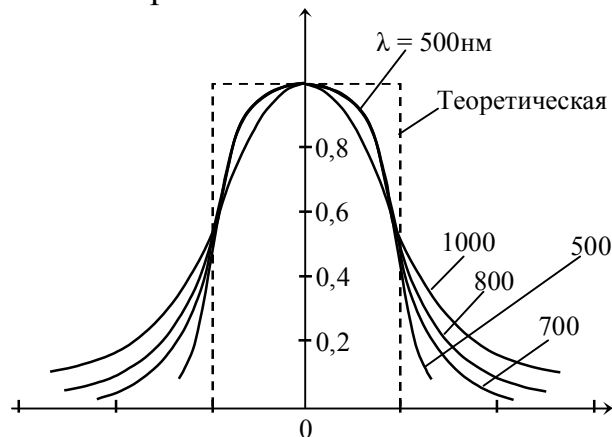


Рис. 3 – Функция распределения чувствительности элемента ПЗС в зависимости от длины волны падающего света

Фоточувствительными элементами ТВ-датчика могут быть ЭОП и (или) ПЗС. Их разрешающая способность при низких уровнях освещенности может ограничиваться не геометрической МПФ, а шумами преобразуемого оптического изображения.

### Описание лабораторной установки

Схема экспериментальной установки для измерения разрешающей способности приведена на рис. 4.

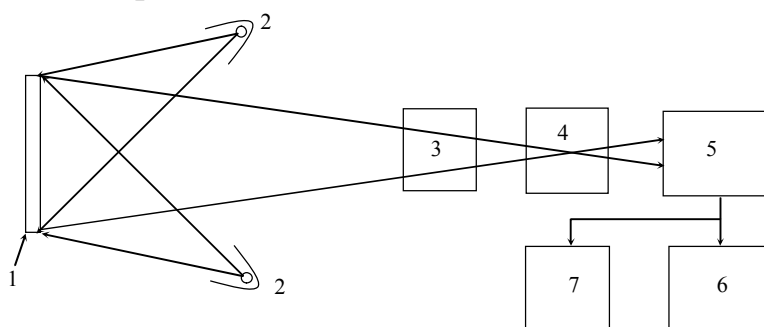


Рис 4. Схема экспериментальной установки: 1 – испытательная таблица; 2 – источник постоянного подсвета испытательной таблицы; 3 – блок нейтральных светофильтров; 4 – объектив; 5 – ТВ камера; 6 – монитор; 7 – осциллограф.

### Порядок выполнения работ

1. Устанавливаем в качестве объекта передачи универсальную таблицу с разрешением 300 TVL (рис. 5)

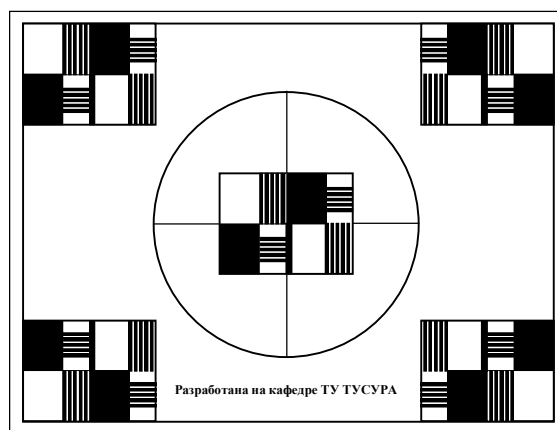


Рис. 5. Универсальная испытательная таблица

2. Вписываем размер таблицы в размер раstra на экране монитора с помощью взаимного перемещения положения испытательной таблицы и приемника излучения, добиваясь при этом оптимальной фокусировки приемника излучения по критерию субъективной оценки качества изображения универсальной испытательной таблицы на экране монитора.

3. Устанавливаем таблицу для измерения разрешающей способности по горизонтали (рис. 6) с разрешением 300 TVL и, регистрируя изображение в

центре таблицы с помощью осциллографа, добиваемся оптимальной фокусировки, т. е. максимальной глубины модуляции на данной пространственной частоте.

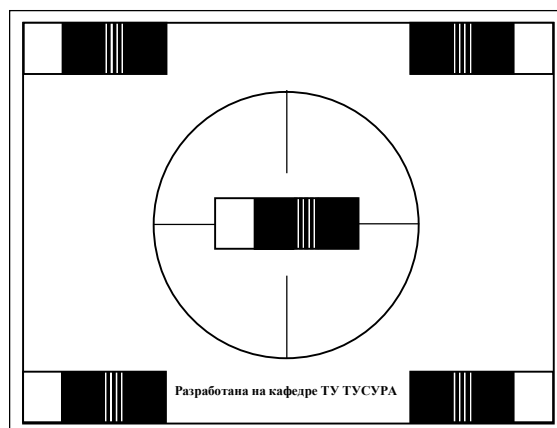


Рис. 6. Испытательная таблица для измерения разрешающей способности по горизонтали

4. Устанавливаем режим запуска осциллографа по ТВ сигналу. Выбирая строку и регулируя время задержки, выбираем нужный участок растра.

5. Измеряем параметры сигнала (рис. 8) и по формуле (1) вычисляем глубину модуляции

$$M = \frac{i_{\max} - i_{\min}}{I_0} \quad (1)$$

5. Вычисленное значение глубины модуляции, измеренные значения величин  $I_0$ ,  $i_{\max}$ ,  $i_{\min}$  и участок растра, где проводится измерение, заносим в таблицу. Форма таблицы приведена на рис 9.

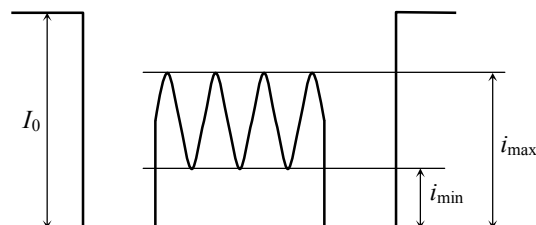


Рис. 8. К измерению разрешающей способности

Участок растра							
Разрешение испытательной таблицы	100	150	225	300	375	450	510
$I_0$							
$i_{\max}$							
$i_{\min}$							
$M$							

Рис. 9. Форма таблицы результатов измерения

6. Устанавливая последовательно испытательные таблицы с разным разрешением, для каждой из них, выполняем действия в соответствии с пунктами 1.2.6 – 1.2.8.

7. Выполняем действия в соответствии с пунктами 1.2.6 - 1.2.9, используя при этом, испытательные таблицы для измерения разрешающей способности по вертикали (рис. 10). Результаты измерений заносим в таблицу (рис. 9).

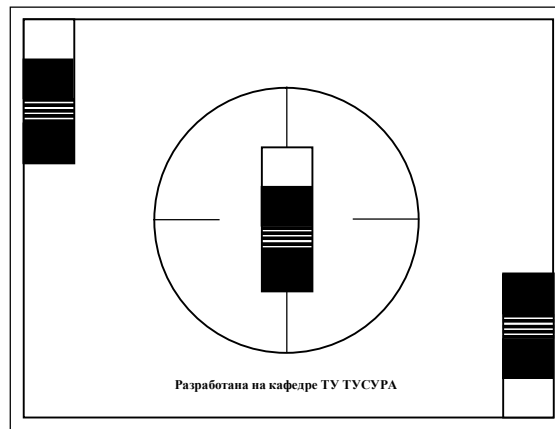


Рис. 10. Испытательная таблица для измерения разрешающей способности по вертикали

### Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки и ее описание.
2. Таблицы с результатами измерений.
2. Зависимости коэффициент глубины модуляции от пространственной частоты.
4. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Объясните причину зависимости разрешающей способности ПЗС от длины волны регистрируемого излучения.
2. Как изменяется разрешающая способность ПЗС при увеличении размера матрицы и неизменном количестве пикселей?
3. Почему размер изображения точечного объекта зависит от его положения относительно элементов матрицы?

### Литература

1. Кирпиченко Ю.Р., Пустынский И.Н. Датчики телевизионно-вычислительных систем: Учебное пособие для вузов. – Томск: В-Спектр, 2010. – 160 с.

## Лабораторная работа №5

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ КАМЕРЫ НА МАТРИЦЕ ПЗС СО СТРОЧНЫМ ПЕРЕНОСОМ

### Цели работы

1. Изучение принципа организации процесса переноса зарядовых пакетов в матрице ПЗС со строчным переносом.
2. Знакомство с реализацией режима электронного затвора в матрице ПЗС со строчным переносом ICX 255

### Краткие теоретические сведения

**Матрицы со строчным переносом** наиболее широкое распространение получили в прикладном телевидении. Уже в первой камере с твердотельными ПЗС датчиками фирма Sony решительно отказалась от принципа кадрового переноса, как ограничивающего дальнейшие усовершенствования. Специалисты фирмы сочли принцип строчного переноса зарядов более прогрессивным и, главное, содержащим огромные резервы совершенствования.

На рис. 1 изображен простейший вариант матрицы со строчным переносом.

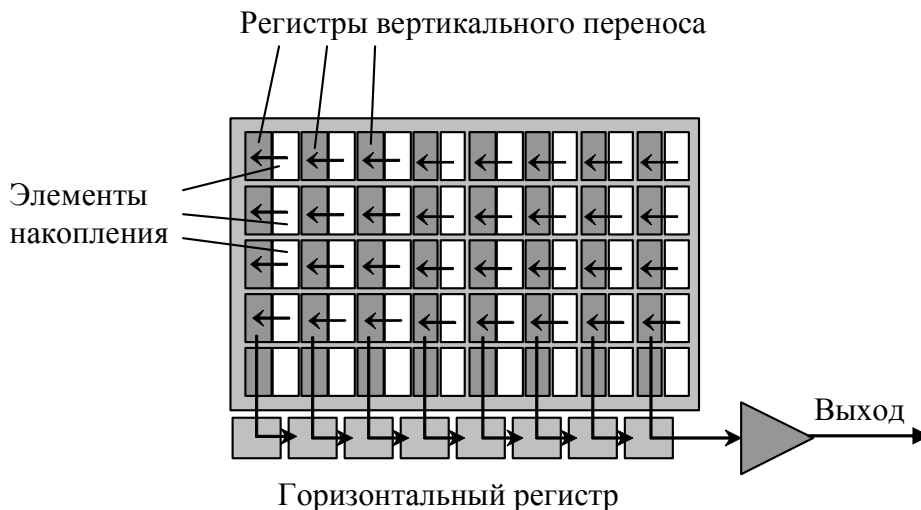


Рис. 1 – Матрица со строчным переносом

Матрица (рис. 1), содержит сгруппированные в столбцы светочувствительные ячейки, представляющие собой обратно смещенные фотодиоды, а также элементы регистров переноса зарядов, то есть секция переноса как бы вставлена в секцию накопления. Чтобы избежать засветки ячеек регистра, они закрыты непрозрачным экраном.

Столбцы фотодиодов могут быть отделены от вертикальных ПЗС-регистров затвором переноса. В конце вертикальных регистров, как и в рассмотренных выше структурах, расположен горизонтальный ПЗС-регистр и

выходное устройство. Во время накопления зарядовых пакетов в фотодиодах на затвор переноса подается потенциал, обеспечивающий потенциальный барьер между столбцами фотодиодов и вертикальными ПЗС-регистрами. По окончании накопления потенциал затвора переноса на короткое время изменяется на величину, достаточную для переноса зарядовых пакетов из фотодиодов в потенциальные ямы вертикальных ПЗС-регистров. Таким образом, перенос зарядовых пакетов происходит за один такт.

В современных матрицах ПЗС со строчным переносом фотозатвор отсутствует, и перенос накопленных зарядовых пакетов из фотодиодов в вертикальный ПЗС-регистр осуществляется подачей повышенного потенциала на один из электродов регистра.

Во время следующего цикла накопления заряды из вертикальных регистров построчно, во время обратного хода по строке, передаются в горизонтальный регистр и затем за время прямого хода по строке передаются в выходное устройство регистра.

Устройство и принцип действия фоточувствительного элемента матричного ПЗС со строчным переносом на примере фотодиода *HAD* (*Hole Accumulated Diode* – диод с аккумуляцией дырок) поясняет рис. 2.

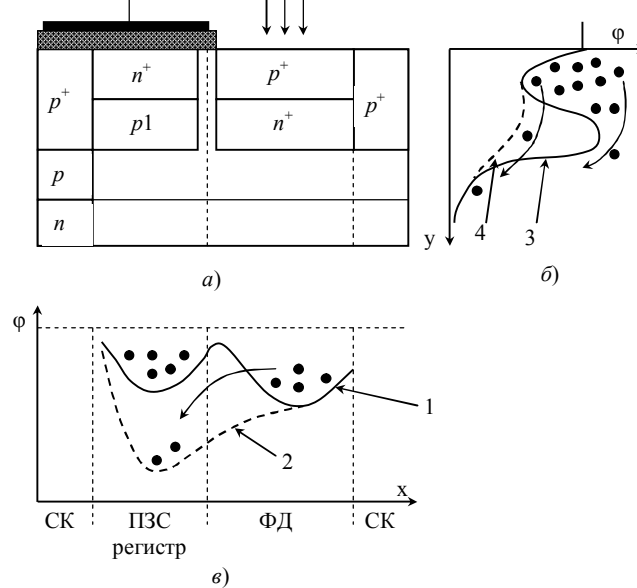


Рис. 2. Фотодиод с аккумуляцией дырок

На рис. 2 представлены также распределения потенциалов  $\phi$  в полупроводнике в направлениях параллельном и перпендикулярном поверхности. Области стоп-каналов обозначены СК, фотодиода – ФД. В процессе накопления профиль потенциала в направлении, параллельном поверхности, соответствует кривой 1, рис. 2, в. Перенос зарядов из фотодиода в ПЗС-регистр осуществляется при увеличении потенциала на фазном электроде. Профиль потенциала изменяется, и зарядовые пакеты перетекают из фотодиода в вертикальный ПЗС-регистр. Профиль потенциала при этом соответствует кривой 2 на рис. 2, в.

Сток антиблуминга, расположенного под фотодиодом, предназначен для устранения избыточных носителей, образующихся в результате пересвечи-

ток. Профиль потенциала в глубине полупроводника соответствует кривой 3 на рис. 2,б. Этот же сток может быть использован для реализации режима электронного затвора – управляемого сброса накопленных зарядовых пакетов с целью уменьшения времени накопления. Профиль потенциала в режиме сброса зарядовых пакетов соответствует кривой 4 на рис. 2б.

Сброс накопленных зарядов за время каждой строки от каждой части ТВ поля может быть реализован путем подачи пачки импульсов. За этот период успевают разрядиться все накопленные заряды. За время второй части каждого поля, а это и есть период открывания электронного затвора, заряды накапливаются в нормальном режиме. Изменяя величину периода открывания затвора, меняют время эффективной экспозиции при съемке.

Для переноса зарядовых пакетов к выходному устройству в матрицах со строчным переносом, в большинстве случаев, используются вертикальные четырехфазные и двухфазный горизонтальный регистры.

Интересным свойством таких двухфазных ПЗС является то, что каждый из электродов может хранить зарядовый пакет при низком уровне приложенного к нему напряжения даже тогда, когда напряжение на соседнем электроде тоже имеет низкий уровень. Такое свойство позволяет импульсам разных фаз либо перекрываться, либо, наоборот, иметь между собой промежуток без серьезного ухудшения работоспособности прибора.

В четырехфазном ПЗС снижаются требования к параметрам тактовых импульсов. В нем передачу зарядового пакета легко осуществить, используя тактовую циклограмму, которую достаточно просто реализовать схемотехнически.

Рассмотрим способ, называемый режимом «накопления поля» (рис. 3). Такой способ широко используется в ТВ камерах охранного телевидения.

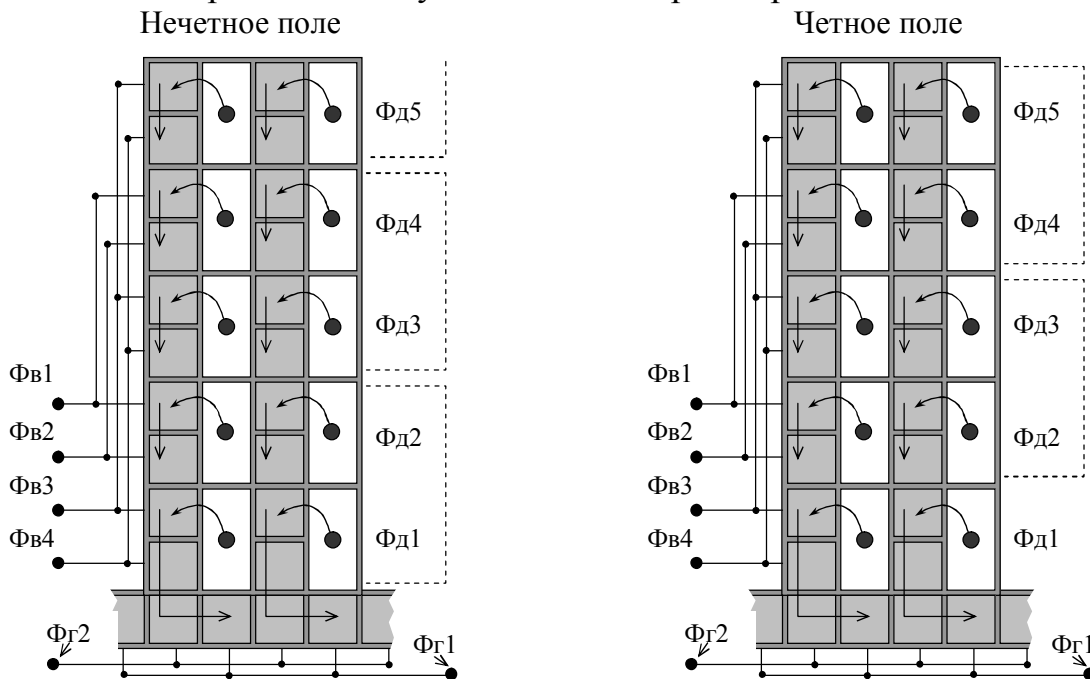


Рис. 3 – Режим накопления поля



В этом режиме все фотодиоды преобразователя опрашиваются одновременно - один раз в течение поля. Поэтому время накопления информации в таком режиме составляет одно ТВ-поле. Причем, два соседних по вертикали фотодиода объединяются в одну ТВ-строку.

Чересстрочность обеспечивается следующим образом: в нечетном поле первой телевизионной строке принадлежат первый и второй фотодиоды, второй - третий и четвертый фотодиоды, третьей - пятый и шестой фотодиоды, и так далее. В четном же поле фотодиоды объединяются в пары со сдвигом на один фотодиод: первая строка - первый фотодиод, вторая строка - второй и третий фотодиод, третья - четвертый и пятый фотодиод и так далее. Такой режим обеспечивает минимальную временную инерционность, но разрешающая способность по вертикали при этом понижена, так как высота элемента накопления равна высоте двух фотодиодов.

### Описание лабораторного макета

Схема лабораторного макета приведена на рис. 4.

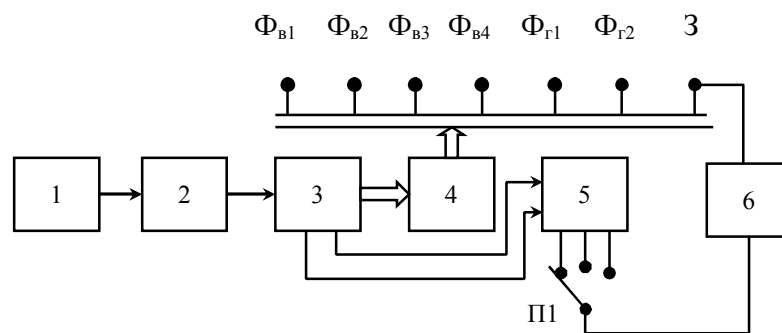


Рис. 4. Схема лабораторного макета: 1 – источник света; 2 – набор нейтральных светофильтров; 3 – матрица ПЗС; 4 – буфер; 5 – формирователь импульсов синхронизации; 6 - осциллограф

### Порядок выполнения работы

1. Источник света выключен. Переключатель «Синхронизация осциллографа» (П1) установить в положение «1». Последовательно подключить вход осциллографа к гнездам  $\Phi_{в1}$ ,  $\Phi_{в2}$ ,  $\Phi_{в3}$ ,  $\Phi_{в4}$ . Зарисовать форму сигнала. Измерить длительность и период повторения. Построить циклограммы сигналов с привязкой к началу синхронизации (рис. 5).

2. Переключатель «Синхронизация осциллографа» (П1) установить в положение «2». Установить скорость горизонтальной развертки такой, чтобы обеспечить наблюдение формы импульса на фазных электродах вертикального ПЗС-регистра ( $\Phi_{в1}$ ,  $\Phi_{в2}$ ,  $\Phi_{в3}$ ,  $\Phi_{в4}$ ) при передаче зарядовых пакетов в вертикальный ПЗС-регрстр. Зарисовать формы импульсов на всех четырех фазах регистра с привязкой к началу синхронизации (рис. 5).

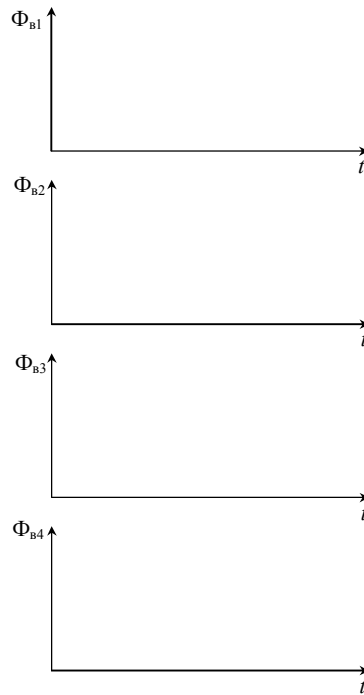


Рис. 5

3. Переключатель «Синхронизация осциллографа» (П1) установить в положение «3». Последовательно подключить вход осциллографа к гнездам ( $\Phi_{г1}$ ,  $\Phi_{г2}$ ) зарисовывая при этом форму сигнала и измеряя период, длительность импульсов. (рис.6).

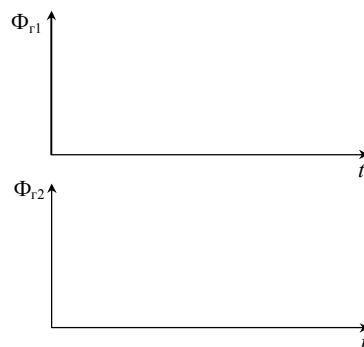


Рис. 6

4. Переключатель «Синхронизация осциллографа» (П1) установить в положение «1». Подключить вход осциллографа к гнезду «3». Зарисовать осциллограмму. Включить источник света и, подбирая светофильтры, добиться случая, когда осциллограмма сигнала с гнезда «3» будет соответствовать случаю отсутствия засветки фоточувствительного слоя ПЗС. Последовательно увеличивая освещенность фоточувствительного слоя ПЗС изменением набора нейтральных светофильтров измеряем длительность промежутка осциллограммы свободного от последовательности импульсов. Строим зависимость длительности импульса от относительной величины коэффициента пропускания наборов светофильтров (рис. 7).



Рис. 7

5. Установить с помощью набора нейтральных светофильтров такую освещенность фоточувствительной поверхности ПЗС, при которой длительность промежутка свободного от последовательности импульсов измеряем период и длительность импульсов последовательности.

Примечание: Длительности и периоды повторения импульсов по п.1, п.3, п.5 занести в таблицу 1

Таблица 1

Гнездо	Длительность	Период	Частота
$\Phi_{в1}$			
$\Phi_{в2}$			
$\Phi_{в3}$			
$\Phi_{в4}$			
$\Phi_{г1}$			
$\Phi_{г2}$			
3			

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные схемы организации матричных ПЗС.
2. Каковы достоинства и недостатки матричных ПЗС с кадровым переносом.
3. Перечислите достоинства и недостатки матричных ПЗС со строчным переносом.
4. Назовите достоинства и недостатки матричных ПЗС с кадрово-строчным переносом.
5. Охарактеризуйте варианты организации чересстрочного разложения в ПЗС со строчным переносом.
6. Дайте сравнительную характеристику вариантов построения регистров переноса зарядовых пакетов.

### Литература

1. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники: учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 399 с.
2. Кирпиченко Ю.Р., Пустынский И.Н. Датчики телевизионно-вычислительных систем: Учебное пособие для вузов. – Томск: В-Спектр, 2010. – 160 с.

## Лабораторная работа №6

# ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ АДАПТАЦИИ ПЗС КАМЕР К ИЗМЕНЕНИЮ ОСВЕЩЕННОСТИ

### Цель работы

1. Ознакомиться с работой средств расширения диапазона рабочих освещенностей

### Краткие теоретические сведения

ПЗС сенсор, преимущественно используемый в качестве фотоэлектрического преобразователя телевизионных камер (ТК) систем телевизионного наблюдения, имеет линейную световую характеристику чувствительности до освещенности насыщения. Насыщение наступает вследствие заполнения потенциальной ямы светочувствительного элемента неосновными носителями полупроводниковой подложки. Далее, при увеличении освещенности наступает резкий излом световой характеристики, так как увеличивающийся заряд растекается по подложке.

Рабочую точку на световой характеристике выбирают таким образом, чтобы максимальная освещенность в кадре была бы на 20-30 % ниже освещенности насыщения для конкретного экземпляра ПЗС сенсора, а усиление в видеотракте ТК при этом обеспечивало получение полного видеосигнала 1 В (0,7 В собственно видеосигнал) на нагрузке 75 Ом.

ПЗС сенсор обеспечивает работу ТК в весьма ограниченном диапазоне освещенностей. Естественные же освещенности изменяются в очень широких пределах, от 0,005 до 100000 люкс, и для обеспечения работоспособности видеокамеры в таких условиях в ТК предусмотрены технические средства изменения чувствительности. Типичная структура электронно-оптических средств адаптации чувствительности ТК к изменениям освещенности представлена на рис. 1.

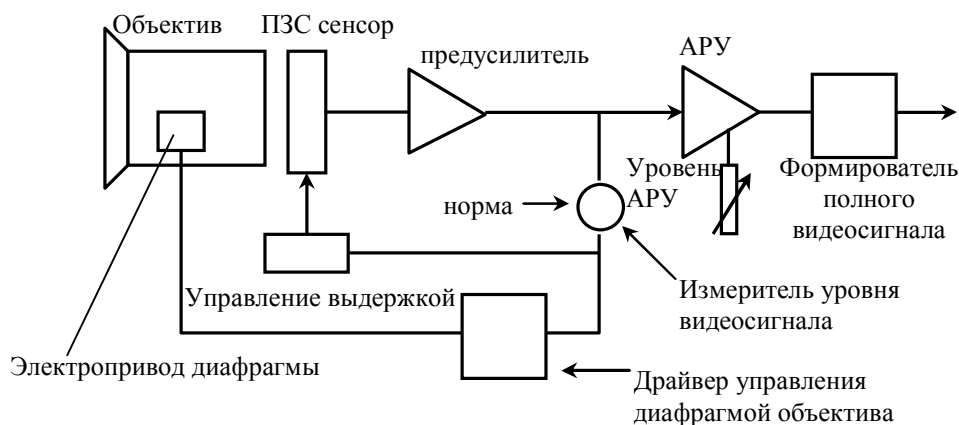


Рис.1. Структура электронно-оптических средств адаптации чувствительности ТК к изменениям освещенности

Изменение освещенности в сторону уменьшения от рабочей точки приводит к снижению величины выходного сигнала и в видеотракте ТК (рис. 1), это снижение парируется схемой автоматической регулировки усиления (АРУ). В связи с тем, что собственный уровень шума ТК практически не зависит от освещенности, то при уменьшении последней на выходе схемы АРУ происходит снижение С/Ш приблизительно на столько же дБ на сколько повышается коэффициент усиления в видеотракте усилителем АРУ. В связи с этим, глубину усиления АРУ закладывают не высокой, порядка 14 -17 дБ, все зависит от запасов предоставляемых ПЗС сенсором. Как правило, этот запас определяется размером светочувствительного элемента, то есть у ПЗС сенсоров размером 1" он самый высокий. Если глубину усиления АРУ выбрать значительно больше, то при закрытом объективе ТК на экране монитора будет наблюдаться неприятная для глаза шумовая картинка.

В целях стабилизации величины видеосигнала на выходе ТК при изменении освещенности в сторону увеличения от рабочей точки, в ТК предусматривают средства управления чувствительностью (в сторону ее ослабления) или же средства ослабления светового потока. Ослабление светового потока возможно различными оптическими средствами, лучшим из них, по видимому, является обычная диафрагма.

Диапазон изменения диафрагмы, обычно составляет от  $F/1,4$  до  $F/64$ , то есть диаметр зрачка объектива изменяется в 45 раз, а освещенность ПЗС сенсора в 2000 раз. Большого диапазона добиться не просто по двум причинам. Во-первых, технически сложно реализовать дальнейшее уменьшение диаметра отверстия. Во-вторых, по мере уменьшения диаметра дифракционный кружок рассеяния увеличивается, и разрешающая способность объектива соответственно уменьшается. Очевидно, что ослабление светового потока в 2000 раз не достаточно, поэтому действия диафрагмы по уменьшению диаметра зрачка совмещают с одновременным уменьшением прозрачности оптики объектива. Для этого в объективе устанавливают нейтральный фильтр с переменной плотностью. У таких оптических например элементов светопоглощение увеличивается к центру, а периферийная часть прозрачна.

В результате удается существенно увеличить ослабление светового потока объективом до  $10^4$  раз. Системы автоматического диафрагмирования, выполненные на этих объективах, обладают одним существенным недостатком - они потенциально неустойчивы на крайних значениях максимальных освещенностей. Дело в том, что при незначительных углах поворота кольца диафрагмы происходит значительное изменение величины освещенности на ПЗС сенсоре, то есть резко возрастает крутизна по управлению диафрагмой. Это обстоятельство, в свою очередь, приводит к изменению петлевого коэффициента усиления в системе автоматического регулирования, а, следовательно, к неустойчивости системы в целом. На практике это случается довольно редко, в основном на резко контрастных сюжетах типа "шахматного поля", и проявляется в виде мельканий средней яркости изображения на мониторе.

Другой способ управления чувствительностью связан с изменением времени экспонирования, точнее, времени накопления зарядов в ПЗС сенсоре, посредством управления задержкой момента начала интервала накопления. В широких пределах это управление возможно только в ПЗС сенсорах со строчно-кадровой организацией структуры. К сожалению даже для таких структур пределы сохранения работоспособности при повышенной освещенности ограничены затеканием возникших неосновных носителей заряда под затемненные столбцы переноса. Поэтому время экспонирования, в лучшем случае изменяется от  $1/50$  до  $1/100000$  сек, то есть достижимое перекрытие по освещенности составляет 2000 раз.

На практике, как правило, системы автоматического/управления чувствительностью с помощью диафрагмы и электронного экспонирования используются преимущественно раздельно. Предпочтение отдается диафрагме с нейтральным оптическим фильтром переменной плотности, имеющей более широкие пределы регулирования. Однако, обеспечение работоспособности при максимальной естественной освещенности  $10^5$  лк требует изменение чувствительности ТК (особенно для высокочувствительных камер) на шесть порядков. В (таких случаях прибегают к совместному управлению и диафрагмой, и экспонированием, при этом важно распределение функций между взаимодействующими контурами регулирований, обеспечивающими оптимальные параметры системы в целом. Теоретически контуры могут взаимодействовать нелинейно, так что сигнал управления в одном из контуров вырабатывается лишь при исчерпывании динамического диапазона в другом. Достигается это путем рассовмещения порогов независимых измерителей уровней видеосигнала обеих контуров. При этом в начале будет работать тот контур, чей порог ниже. Когда он выработает свой ресурс, появится статическая ошибка, превышающая второй порог и начнет работать второй контур.

При совместном действии контуров, динамика системы получается лучше при линейном взаимодействии контуров, обладающих различным порядком астатизма, причем более инерционный оптико-механический контур должен иметь более высокого порядка. В условиях адаптации, когда динамический диапазон перекрывается диафрагмой, быстро действующий электрический контур регулирования в значительной мере "скрашивает" недостатки оптико-механической системы, вызванные наличием люфтов и трения в механических узлах, а также существенно уменьшает время переходных процессов. Такая система в целом ведет себя как астатическая и допускает наличие статической ошибки регулирования лишь тогда, когда оптико-механический контур исчерпает свой динамический диапазон; сигнал ошибки при этом будет управляющим для электрического контура регулирования.

### **Описание лабораторной установки**

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из источника подсвета 1, блока нейтральных светофильтров 2, mirrors 3, объектива ТВ камеры 4, матри-

цы ПЗС 5, блока коммутации средств адаптации 6, осциллографа 7 и монитора 8.

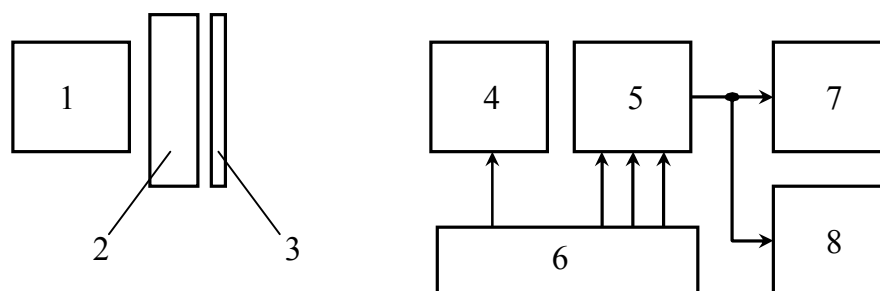


Рис.2. Схема экспериментальной установки

### Порядок выполнения работы

1. Отключить в ТВ камере режим автоматической регулировки усиления, электронный затвор и автоматическую регулировку освещенности. Установить величину  $\gamma = 1$ .

2. Включить источник подсвета. Наблюдая на экране монитора изображение миры, убедиться в том, что изображение сфокусировано.

3. Включить осциллограф в режим синхронизации ТВ сигналом и получить на экране осциллографа осциллограмму миры.

4. Изменяя освещенность фоточувствительной поверхности матрицы ПЗС с помощью нейтральных светофильтров, снять зависимость величины сигнала от освещенности (величина сигнала измеряется с помощью осциллографа).

5. Включить режим автоматической регулировки усиления и повторить измерения по п.4.

6. Включить электронный затвор, повторить измерения по п.4.

7. Включить автоматическую регулировку освещенности, повторить измерения по п.4.

### Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки и ее описание.
2. Графические зависимости
3. Выводы

### Вопросы для подготовки

1. Назовите известные вам способы расширения диапазона рабочих освещенностей ПЗС камер.

2. Какие дополнительные преимущества дает использование электронного затвора?

3. Назовите основные недостатки расширения диапазона рабочих освещенностей с помощью автоматической регулировки освещенности.

4. Вызовет ли компенсация уменьшения освещенности путем изменения усиления изменение отношение сигнал/шум в выходном сигнале?

### **Литература**

1. Уваров Н. Средства управления чувствительностью ТВ камер / Алгоритм безопасности, 2003, № 1.
2. Дамьяновски В. ССТV. Библия охранного телевидения / Пер. с англ. – М.: ООО «Ай-Эс-Эс Пресс», 2003. - 344 с.



## Лабораторная работа №7

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

### Цели работы

1. Изучить принцип действия, основные параметры и характеристики электронно-оптического преобразователя (ЭОП).
2. Измерить пороговую освещенность и шумы ЭОП.

### Краткие теоретические сведения

Основными элементами простейшего ЭОП являются полупрозрачный фотокатод, фокусирующая и ускоряющая электроны электронно-оптическая система и люминесцентный экран. Схематически принцип действия ЭОП показан на рис. 1.

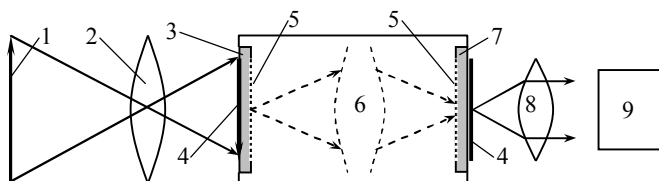


Рис. 1 – Принцип действия электронно-оптического преобразователя: 1 – объект наблюдения; 2 – объектив; 3 – фотокатод; 4 – оптическое изображение объекта наблюдения; 5 – электронное изображение; 6 – электронно-оптическая система; 7 – люминесцентный экран; 8 – согласующая оптика; 9 – фотоприемник

Электромагнитное излучение отраженное, либо излучаемое объектом наблюдения *1* фокусируется с помощью оптической системы (объектива) *2* в плоскости фотокатода *3*, образуя оптическое изображение *4* объекта наблюдения. В результате взаимодействия квантов электромагнитного излучения с материалом фотокатода образуется электронное изображение *5* объекта наблюдения, которое ускоряется и фокусируется с помощью электронно-оптической системы *6* в плоскости люминесцентного экрана *7*. На люминесцентном экране электронное изображение *5* вновь преобразуется в оптическое изображение объекта наблюдения *4*, которое с помощью согласующей оптики *8* передается на вход фотоприемника *9* (глаз, датчик изображения и т. д.).

Современные ЭОП представляют собой малогабаритные приборы с микроканальными пластинами в качестве эффективного усилителя яркости изображения (рис. 2).

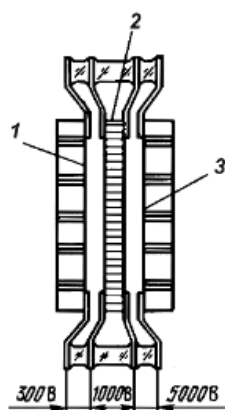


Рис. 2 – Конструкция плоского ЭОП: 1 – фотокатод; 2 - микроканальная пластина; 3 - экран

ЭОП оценивается рядом общих и специфических параметров.

**Спектральная чувствительность фотокатода**  $s_\lambda$  – это отношение величины потока фотоэлектронов (фототока  $I_\lambda^{\text{фк}}$ ) к величине потока излучения  $\Phi_\lambda$  от источника монохроматического излучения

$$s_\lambda = \frac{I_\lambda^{\text{фк}}}{\Phi_\lambda}.$$

Интегральная чувствительность фотокатода  $S_\Sigma^{\text{фк}}$  – это отношение величины фототока к величине падающего лучистого (или светового) потока от источника типа А (лампа накаливания, нить которой имеет цветовую температуру  $T = 2854 \text{ K}$ ).

$$S_\Sigma^{\text{фк}} = \frac{I_\Sigma^{\text{фк}}}{\Phi_\Sigma^{\text{А}}},$$

где  $I_\Sigma^{\text{фк}}$  – суммарный фототок в спектральном диапазоне чувствительности фотокатода;  $\Phi_\Sigma^{\text{А}}$  – поток излучения источника типа А.

Интегральная чувствительность фотокатода для случая лучистого потока выражается в амперах на ватт (А/Вт), а для светового потока – в амперах на люмен (А/лм).

**Коэффициент преобразования** светового потока излучения  $\eta_\Phi$  – это отношение величины светового потока, излучаемого экраном ЭОП  $\Phi_{\text{вэ}}$ , к световому потоку излучения, пришедшему на фотокатод от источника типа А  $\Phi_{\text{вА}}$ . Величина коэффициента преобразования определяется выражением

$$\eta_\Phi = \frac{\Phi_{\text{вэ}}}{\Phi_{\text{вА}}}.$$

**Разрешающая способность** является одной из основных характеристик, определяющих качество изображения. В технической документации ЭОП разрешающая способность оценивается *максимальной разрешающей способностью* и *частотно-модуляционной* или *частотно-контрастной характеристикой*.

*Максимальная разрешающая способность* определяется числом пар линий в одном миллиметре изображения черно-белой миры на фотокатоде, различаемых в соответствующем изображении на экране ЭОП в четырех направлениях, при оптимальной для наблюдателя яркости экрана и окулярной оптике достаточного увеличения.

Значительно лучше характеризует качество изображения пространственно-частотные характеристики ЭОП, определяющие зависимость глубины модуляции изображения на экране ЭОП синусоидальной миры (частотно-модуляционная характеристика) или контраста изображения на экране прямоугольной миры (частотно-контрастная характеристика) от пространственной частоты этих мир  $\nu_{\text{п}}$ .

**Отношение сигнал/шум** – один из основных параметров, определяющих качество изображения. Предельным значением отношения сигнал/шум будет отношение сигнал/шум входного изображения.

Можно выделить параметры ЭОП оказывающие заметную роль на величину отношения сигнал/шум. К таким параметрам относятся:

- квантовый выход фотокатода;
- потери фотоэлектронов в промежутке «фотокатод-МКП», зависящая от конструкции ЭОП (наличие или отсутствие ионно-барьерной пленки, прозрачность структуры МКП и т. д.);
- увеличение шума в процессе умножения фотоэлектронов в МКП;
- шумы люминофорного экрана;
- уровень темного свечения экрана, обусловленный электронными потоками в темновом режиме и оптической и оптической обратной связью.

**Яркость темного фона** – это яркость свечения экрана ЭОП в отсутствии освещения входного фотокатода. К физическим процессам, рождающим электронные потоки в ЭОП в темновом режиме, относятся термо- и автоэмиссия, темновая эмиссия МКП и электролюминесценция поверхности корпуса.

В технической документации на ЭОП часто вместо яркости темного фона ЭОП приводится величина эквивалентной освещенности фотокатода EBI (Equivalent Background Illumination).

### Описание лабораторной установки

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из источника подсвета 1, блока нейтральных светофильтров 2, миры 3, коллиматора 4, фотоприемной головке 5, исследуемого ЭОП 6, АЦП 7 и блока обработки 8.

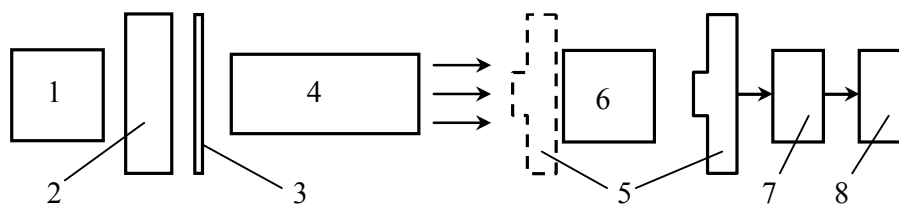


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

## Порядок выполнения работ

1. Измерение пороговой освещенности.
  - 1.1. Перекрыть поток излучения непрозрачным экраном. По величине сигнала фотоприемника оценить темновую яркость свечения экрана ЭОП.
  - 1.2. Установить с помощью нейтральных светофильтров минимальный коэффициент пропускания. Включить источник подсвета. Измерить среднее значение и дисперсию величины сигнала фотоприемника. Определить отношение сигнал/шум.
  - 1.3. Изменяя набор светофильтров и, определяя каждый раз отношение сигнал/шум, добиться значения отношения сигнал/шум близким к 10.
  - 1.4. Установить фотоприемник в плоскость фотокатода ЭОП. Убирая светофильтры, добиться уверенной регистрации величины потока излучения. Регистрируем освещенность  $E_{изм}$ . Освещенность на фотокатод, соответствующую пороговой  $E_{пор}$ , определяем, как  $E_{пор} = E_{изм} \times \tau_1$ , где  $\tau_1$  – суммарный коэффициент ослабления удаленных светофильтров из блока светофильтров.
2. Измерение шумов ЭОП
  - 2.1. Выполнить п. 2.
  - 2.2. Уменьшая коэффициент ослабления с помощью нейтральных светофильтров, измеряем среднее значение и дисперсию.
  - 2.3. Вычисляя освещенность, создаваемую источником подсвета  $E_{и}$ , как  $E_{и} = E_{изм} / \tau_2$ , где  $\tau_2$  – коэффициент ослабления оставшихся светофильтров (п. 1.4).
  - 2.4. Записываем измеренные значения величины сигнала, дисперсии и соответствующие измеренным значениям освещенности в таблицу. Строим график зависимостей среднего значения и дисперсии от освещенности фотокатода ЭОП.

## Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения о принципе действия, основных параметрах и характеристиках ЭОП.
2. Схема лабораторной установки и ее описание.
3. Результаты измерений в табличной и графической форме.
4. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Перечислите основные элементы простейшего ЭОП. Сформулируйте их назначение.
2. Перечислите основные характеристики ЭОП.
3. Объясните назначение и принцип работы МКП. потока излучения ЭОП?
4. Перечислите основные параметры и характеристики, влияющие на интегральную чувствительность.

5. Назовите основные параметры и характеристики ЭОП, оказывающие влияние на величину отношения сигнал/шум.

### **Литература**

1. Кирпиченко Ю.Р., Пустынский И.Н. Датчики телевизионно-вычислительных систем: Учебное пособие для вузов. – Томск: В-Спектр, 2010. – 160 с.

## Лабораторная работа №8

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДИКАТРИС ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

### Цели работы

- изучить устройство и принцип действия полупроводниковых излучающих диодов (ПИД);
- дать практические навыки по экспериментальному определению индикатрис источников излучения;
- изучить физические и конструктивные факторы, влияющие на индикатрисы излучения ПИД.

### Краткие теоретические сведения

Принцип действия ПИД (светодиодов) основан на явлении электролюминесценции при протекании тока в структурах с  $p-n$ -переходом. ПИД преобразуют электрическую энергию в энергию излучения. При протекании тока через  $p-n$ -переход значительная часть неосновных носителей заряда рекомбинирует, излучая при этом фотоны. Вводимые в исходный материал при создании  $p-n$ -перехода примеси являются активаторами люминесценции.

Основными параметрами ПИД являются квантовая эффективность, мощность излучения (яркость), время нарастания и спада импульса излучения, угол излучения. К основным характеристикам ПИД относятся спектральная характеристика излучения, яркостная характеристика, вольт-амперная характеристика, индикатриса излучения.

Спектр электролюминесценции определяется шириной запрещенной зоны исходного полупроводникового материала и механизмом рекомбинации.

**Квантовая эффективность** – это отношение числа испускаемых квантов к количеству прошедших через  $p-n$ -переход электронов.

**Внутренняя квантовая эффективность** определяется коэффициентом инжекции в область эффективной люминесценции и соотношением скоростей излучательной и безызлучательной рекомбинации.

**Внешняя квантовая эффективность** зависит также от формы кристалла с  $p-n$ -переходом, конструкции ПИД и от поглощения излучения при его выводе из кристалла.

**Индикатриса излучения** (диаграмма направленности излучения) **источника излучения**  $L(\varphi, \theta)$  или  $I(\varphi, \theta)$  – это распределение яркости или силы излучения источника в пространстве или плоскости (рис. 1).

**Угол излучения**  $\theta_{\text{ПИД}}$  – угол между направлениями, где относительная сила излучения ПИД превышает уровень 0,5.

Индикатриса излучения ПИД, в основном, определяется его материалом и конструкцией.

Значительную концентрацию потока излучения вдоль какого-либо направления удастся получить лишь за счет использования дополнительных внешних фокусирующих элементов или отражающих покрытий, нанесенных на кристалл (рис. 2, а).

### Описание лабораторной установки

Установка (рис. 3) состоит из фотоприемной головки, в состав которой входят фотодиод 3 и диафрагма 4, набора испытываемых ПИД 5, устанавливаемых на поворотной платформе 6.

Питание на ПИД 5 подается от блока питания 7. Сигнал от фотодиода 3 поступает через усилитель 2 на измерительный прибор 1.

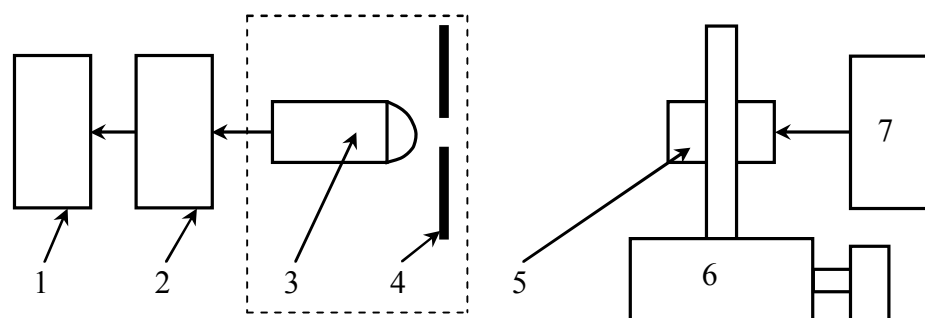


Рис. 3. Схема лабораторной установки: 1 – измерительный прибор; 2 – усилитель; 3 – фотодиод; 4 – диафрагма; 5 – полупроводниковый излучающий диод (ПИД); 6 – поворотная платформа; 7 – источник питания ПИД

### Порядок выполнения работы

1. Включить источник питания ПИД. Установить номинальный ток испытуемого ПИД. Включить источник питания фотоприемника.
2. Установить поворотный столик с ПИД таким образом, чтобы оптические оси фотоприемника и ПИД примерно совпадали. Для изменения величины сигнала фотоприемника следует использовать набор нейтральных светофильтров.
3. Задавая шаг изменения угла поворота ПИД равным  $15^\circ$  снять показания измерительного прибора в интервале  $-90^\circ - +90^\circ$ .
4. Повторить действия п.3 заданное преподавателем число раз.
5. Отключить источники питания ПИД и фотоприемника. Заменить ПИД. Повторить п.п. 1-4.
6. После каждой замены ПИД повторить п.п. 1-4.
7. Результаты измерений по п.3 и п.4 занести в таблицу.
8. Построить индикатрисы излучения исследованных ПИД используя усредненные данные результатов измерений по п.3

## Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения (принцип действия, конструкции, основные параметры и характеристики ПИД).
2. Схема лабораторной установки и ее описание.
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Графики индикатрис излучения ПИД.
5. Выводы по работе.

## Вопросы для подготовки

1. Принцип действия ПИД.
2. Основные параметры и характеристики ПИД.
3. Конструкции ПИД.
4. Схема включения ПИД.
5. Факторы, влияющие на вид индикатрисы излучения ПИД.

## Литература

1. Шрайбер Г. Инфракрасное излучение в электронике. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 240 с. Режим доступа:  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=25&p11\\_id=843](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=843).