

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа
**«Исследование фотоприемника на приборах
с зарядовой связью»**

Москва, 2006 г.

Фотоприемники на приборах с зарядной связью. Фотоприемники на приборах с зарядной связью относятся к классу интегральных фотоприемников. Интегральным фотоприемником называется прибор, включающий ряд фотоприемников, выполненных в едином монокристалле и объединенных общей системой управления.

Основная характерная особенность фотоприемников класса ПЗС состоит в том, что электрический сигнал в них представлен не током или напряжением, как в большинстве электронных приборов, а зарядом. Причем, если в обычных ПЗС входной электрический сигнал вводится в виде пакета зарядов, то в фотоПЗС входным сигналом является световой поток.

Принцип действия фотоПЗС основан на эффекте собственного поглощения фотонов света в полупроводнике. Конструктивно фотоПЗС выполняется в виде ряда элементарных МДП конденсаторов с прозрачными в рабочей области спектра излучения затворами. Система управления устанавливает на конденсаторах определенный набор управляющих напряжений, создающих в подзатворных областях электрическое поле с определенным распределением напряженности (так называемые потенциальные ямы). Если энергия фотонов падающего света $h\nu > \Delta E_z$ — идет процесс генерации фотоэлектронов и фотодырок. Основные носители выбрасываются полем из потенциальной ямы, а неосновные — скапливаются в ней. Величина пакета заряда неосновных носителей в каждом элементарном МДП конденсаторе будет пропорциональна интенсивности падающего на него света и времени накопления заряда. На величину пакета заряда влияет ряд факторов и концентрация неосновных носителей пакета меняется во времени по закону.

$$\frac{dn}{dt} = G_{\Gamma} + G_T - G_P,$$

где G_{Γ} — скорость генерации фотоносителей; G_T — скорость термогенерации; G_P — скорость рекомбинации.

Очевидно, что термогенерация и рекомбинация - мешающие процессы, ухудшающие качество фотоПЗС. Термогенерация добавляет лишние неосновные носители, не связанные с интенсивностью падающего света, а рекомбинация уменьшает количество фотоносителей. Таким образом, величина пакета заряда в МДП конденсаторе пропорциональна интенсивности света и времени накопления заряда (экспозиции), но храниться пакет может ограниченное время.

Конструктивная особенность ПЗС состоит в том, что элементарные МДП конденсаторы расположены друг от друга на расстоянии меньше 1 мкм. Поэтому соседние потенциальные ямы имеют прозрачные границы между ними, и пакет заряда неосновных носителей переносится в потенциальную яму большей глубины. Тем самым реализуется принцип зарядовой связи. Система управления ПЗС обеспечивает набор управляющих напряжений, позволяющих перемещать пакеты зарядов в нужном направлении и с нужной скоростью.

Основными параметрами интегрального фотоПЗС являются:

- неэффективность переноса заряда;
- неравномерность темнового фона;
- неравномерность чувствительности фотоячеек;
- пороговая чувствительность;
- динамический диапазон по освещенности;
- крутизна свет-сигнальной характеристики.

Основной характеристикой фотоПЗС является семейство свет-сигнальных характеристик $U_C=f(E)$ при $T_H=const$, где U_C - выходной сигнал прибора; E - освещенность фотоячеек; T_H - время накопления заряда.

Описание лабораторной установки.

Функциональная схема лабораторной установки с использованием линейного фотоприемника К1200ЦЛ1 приведена на рисунке 1.

На верхней панели стенда расположено закрытое непрозрачной крышкой окно, под которым в пенале расположены микросхема К120СЦЛ1 и светодиод АЛ107.

Непосредственно перед оптическим входным окном микросхемы К1200ЦЛ1 установлена мирра (непрозрачная пластина с прорезями). Излучаемый светодиодом АЛ107 световой поток с длиной волны около 1 мкм, проходя через мирру, создает в плоскости фотоячеек микросхемы распределение яркости, соответствующее прорезям мирры.

На верхней панели стенда размещены:

- переключатель времени накопления фотосигнала ($T_H = 25, 50, 100, 200$ и 400 мс);
- ручка плавной регулировки освещенности в плоскости фотоячеек микросхемы К120СЦЛ1.

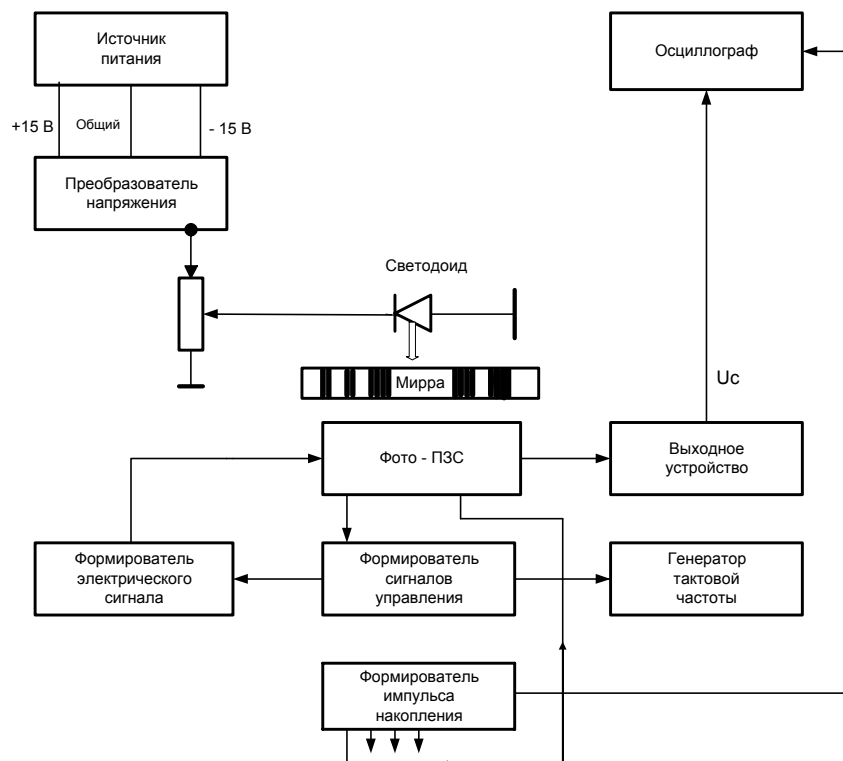


Рисунок 1. Функциональная схема лабораторной установки.

На задней стенке стенда расположены унифицированный разъем СШ-5 для подключения источника питания 15 В и клеммы для подключения осциллографа ("**Выход**", "**Синхронизация**", "**Корпус**").

Лабораторная установка позволяет исследовать следующие характеристики и параметры фотоПЗС:

- неэффективность переноса зарядов;
- неравномерность чувствительности фотоячеек;
- зависимость пороговой чувствительности от времени накопления;
- зависимость динамического диапазона освещенности от времени накопления;
- семейство свето-сигнальных характеристик;
- зависимость чувствительности по напряжению от времени накопления.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

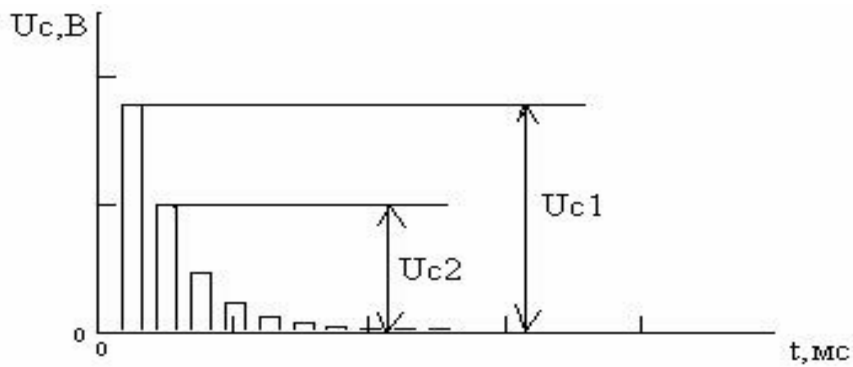
1. Изучите расположение и назначение измерительных приборов и органов управления стенда.

2. Установите напряжение источника питания ± 15 В. Включите питание осциллографа, установите его в режим внешней синхронизации. Время прогрева стенда - не менее 5 минут.

3. Исследуйте неэффективность переноса зарядов фотоПЗС. Для этого на лицевой панели стенда установите:

- регулировку освещенности фотоприемника в положение $E = 0$ лк;
- регулировку времени накопления фотозарядов $T_H = 25$ мс;
- переключатель режима ввода информационного сигнала "Электрический - Оптический" ("Эл - Опт") в положение "Эл".

При включении тумблера управления режимом ввода сигнала в положение "Эл" на вход К1200ЦЛ1 поступает периодический, короткий положительный импульс, создающий одиночный зарядовый пакет. Этот пакет, перемещаясь к выходному затвору микросхемы, уменьшается за счет неэффективности переноса заряда. Зарисуйте полученную осциллограмму.



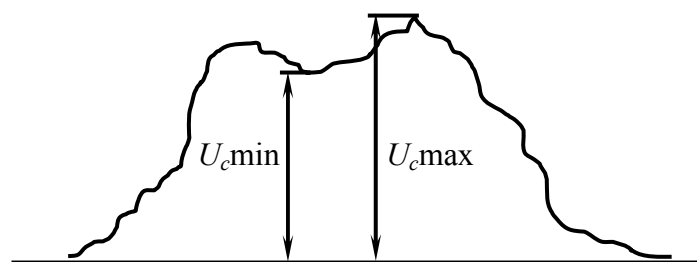
Измерьте по экрану осциллографа величину первого (входного U_{c1}) и второго (выходного U_{c2}) зарядовых пакетов и рассчитайте неэффективность переноса зарядов фотоПЗС:

$$e = U_{c2} / (U_{c1} \cdot N)$$

где $N = 1032$ - количество ячеек в регистре сдвига данного типа ПЗС, равное общему числу переносов заряда.

4. Вычислите неравномерность чувствительности фотоячеек. Для этого переведите тумблер управления режимом ввода сигнала в положение "Onn".

При средней освещенности фотоячеек ($E = 2 - 5$ лк) установите время накопления $T_H = 25$ мс и зафиксируйте по экрану осциллографа минимальное и максимальное значения выходного сигнала $U_{c\max}$ и $U_{c\min}$.



По результатам измерений вычислите неравномерность чувствительности фотоячеек:

$$\Delta U_c = (U_{c\max} - U_{c\min}) / U_{c\max} \cdot 100, \%$$

при $E = \text{const}$.

5. Измерьте пороговую чувствительность $E_{ПОР}$ фотоприемника. Для этого при каждом T_H необходимо плавно увеличивать освещенность фотоячеек от 0 до такой освещенности, когда на экране осциллографа появятся на фоне шумов центральные сигнальные "полоски". Эта освещенность, считанная по шкале регулировки освещенности, и есть пороговая чувствительность фотоприемника. Результаты измерений занесите в таблицу.

T_H , мс	25	50	100	200	400
$E_{ПОР}$, лк					

По данным таблицы постройте зависимость $E_{ПОР}=F(T_H)$.

6. Измерьте динамический диапазон фотоприемника. Для этого необходимо при каждом значении времени накопления T_H плавно увеличивать освещенность фотоячеек до ограничения наибольшего пика выходного сигнала. Это значение освещенности соответствует $E_{МАКС}$. По полученным значениям освещенностей E_{max} и соответствующим значениям пороговой чувствительности $E_{ПОР}$, рассчитайте динамический диапазон D , значение которого выразите в дБ по формуле:

$$D=10 \cdot \lg(E_{МАКС}/E_{ПОР}).$$

Результаты расчетов занесите в таблицу.

T_H , мс	25	50	100	200	400
D , дБ					

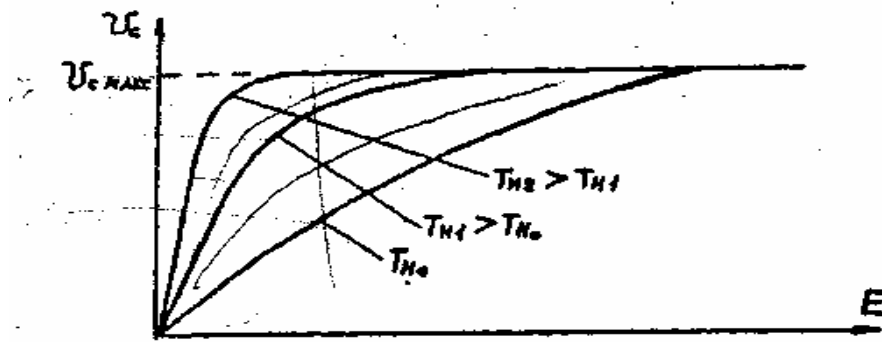
По данным таблицы постройте зависимость $D=f(T_H)$.

7. Постройте семейство свет-сигнальных характеристик фотоприемника. Для этого необходимо при каждом значении времени накопления T_H измерить по экрану осциллографа уровень выходного сигнала U_C , последовательно изменяя освещенность фотоячеек E . В пределах $E= 0,1...1$ лк брать значения освещенности с шагом 0,1 лк, далее - с шагом 2 лк.

Результаты измерений занесите в таблицу.

T_H , мс	25	50	100	200	400
E , лк					

По данным таблицы постройте семейство свет-сигнальных характеристик $U_c=f(E)$ при $T_H=const$.



Для фиксированного значения освещенности $E=const$, соответствующей линейной части всех свет-сигнальных характеристик при малых освещенностях, отметьте на семействе свет-сигнальных характеристик рабочие точки. В каждой точке рассчитайте чувствительность по напряжению $S=U_c/E$ при $T_H=const$. Результаты расчетов занесите в таблицу:

T_H , мс	25	50	100	200	400
S , В/лк					

12. По данным таблицы постройте зависимость $S=f(T_H)$ при $E=const$.

Видно, что чувствительность прибора растет с увеличением времени накопления T_H . Предельный уровень выходного напряжения определяется эффектом заполнения потенциальных ям фотоносителями.