

Министерство высшего и среднего специального образования  
С С С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ  
НА ОСНОВЕ ПРИБОРА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Утверждено редакционным советом  
института в качестве методических  
указаний к лабораторной работе

Куйбышев 1984

УДК 621.382

Приведены принцип действия и конструктивные особенности линий задержки импульсных сигналов на приборах с зарядовой связью и описание лабораторной установки для измерения их основных параметров. Предлагается рассчитать и определить экспериментально зависимость времени задержки от частоты тактирования, определить максимальный динамический диапазон при электрическом вводе сигнала в ПЭС.

Рекомендуется студентам специальности 0705.

Составитель – Г.В.Уваров

Рецензенты: доц.В.Ф.Соколов, доц. В.А.Рожков

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение конструкции и измерение электрических параметров линии задержки импульсных сигналов на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС).

#### ЗАДАНИЯ:

1. Изучить принцип действия ПЗС.

2. Изучить описание и конструкцию лабораторной установки, ознакомиться с электрической принципиальной схемой установки, временной диаграммой напряжения, изучить конструктивные особенности и паспортные данные исследуемой линейки (регистра) ПЗС.

3. По заданным преподавателем данным рассчитать зависимость времени задержки от частоты тактирования. Экспериментально определить зависимость времени задержки от частоты тактирования. Построить расчетные и экспериментальные графики.

4. Снять экспериментальные зависимости амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного при разных величинах напряжений на электродах линейки ПЗС, т.е. показатели линейности ввода и вывода электрического сигнала. Построить графики.

### I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

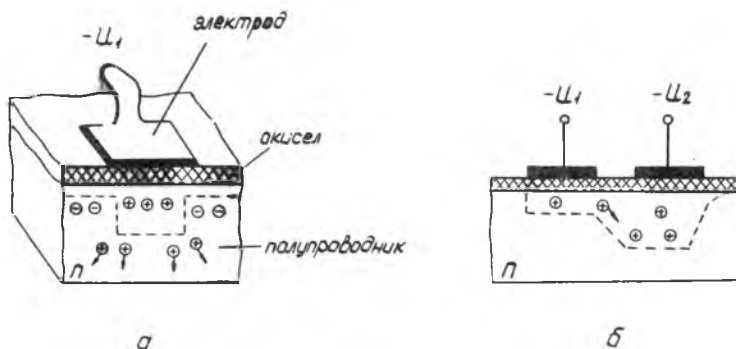
#### I.1. Принцип работы ПЗС

Линии задержки на приборах с зарядовой связью (ПЗС) представляют собой функционально простейшие устройства для дискретно-аналоговой обработки сигнала. К числу основных достоинств ПЗС, обусловивших широкое применение последних, относятся простота и технологичность, наиболее высокая в современной микроэлектронике степень интеграции (свыше  $10^5$  элементов на одном кристалле – на порядок больше, чем в БИС других типов), самая низкая потребляемая мощность, возможность регулирования времени задержки в широких пределах при высоком быстродействии, высокий динамический диапазон (до 90 дБ).

#### I.2. Накопление и перенос зарядов в ПЗС

В ПЗС используется принцип накопления и переноса заряда вдоль полупроводниковой подложки. Если в некоторый момент времени к электроду, изолированному от кремниевой подложки, приложить отрицательное (относительно подложки "n" - типа) напряжение  $U_1$ , то основные носители (электроны) покинут слой, прилегающий к границе с окислом,

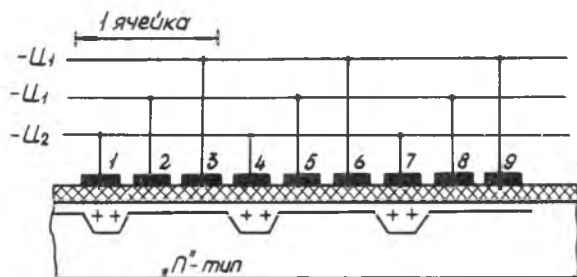
и переместятся в глубь полупроводника (рис.1,а). На границе раздела окисел-полупроводник образуется потенциальная яма неосновных носителей (дырок), которая может быть использована для хранения положительного заряда, пропорционального запоминаемому выборочному значению сигнала. Этот заряд вводится в потенциальную яму путем инжекции неосновных носителей (дырок) за счет фотогенерирования.



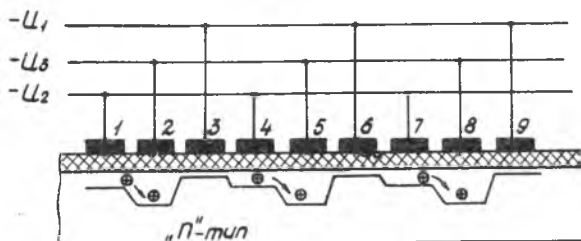
Р и с. 1. Принцип работы ПЭС: а - образование потенциальной ямы; б - перенос заряда

Если на общей полупроводниковой подложке на малом расстоянии расположить второй электрод и приложить к нему более отрицательное напряжение  $U_2$  по сравнению с напряжением на предыдущем электроде, можно создать под вторым электродом область большего обеднения полупроводника. Тем самым в промежутке между электродами образуется электрическое поле, под воздействием которого "информационный" заряд из области под первым электродом диффундирует под соседний электрод (рис.1,б). Этот метод переноса заряда и используется в ПЭС.

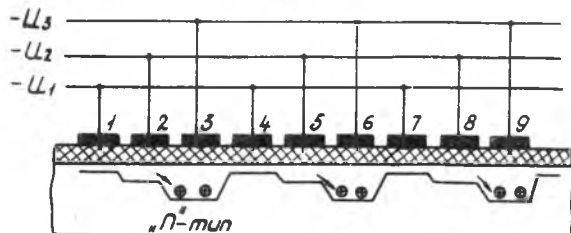
Практически для обеспечения многократного переноса зарядов применяется многотактовая система изменения напряжений на электродах, которая обеспечивает создание "бегущих" потенциальных ям. Чаще применяется трехтактная система питания ПЭС. В исходном состоянии (рис.2,а) на электроды 1,4,7,... подано отрицательное (относительно подложки) напряжение  $U_2$ , а на остальные - отрицательное напряжение  $U_1$  ( $U_2 > U_1$ ), достаточное для того, чтобы обеднить всю поверхность полупроводника.



а



б



в

Р и с. 2. Принцип работы трехтактного ПЭС: а - потенциальная яма под электродами 1,4,7...; б - перетекание зарядов под электроды 2,5,8,...; в - перетекание зарядов под электроды 3,6,9...

Пусть в потенциальных ямах, образующихся под электродами 1,4, 7, ..., присутствуют определенные зарядовые пакеты. На следующем этапе работы схемы (рис.2,б) к электродам 2,5,8,... прикладывается более отрицательное напряжение  $U_3$  ( $U_3 > U_2$ ), под действием которого зарядовые пакеты перемещаются в области электродов 2,5,8... . На третьем этапе (рис.2,в) напряжение  $U_2$  подается на электроды 2,5,8,..., а напряжение  $U_3$  на электроды 3,6,9,... . Заряды перемещаются в области под этими электродами. Такой процесс смены напряжений циклически меняется, образуются "бегущие" потенциальные ямы, и таким образом осуществляется направленное управляемое перемещение зарядовых пакетов вдоль прибора.

Минимальная тактовая частота у существующих ПЭС лежит в пределах десятков герц, на ее значение сильно влияет рабочая температура, поскольку с ростом температуры увеличивается скорость паразитной термогенерации неосновных носителей. Максимальная частота работы ПЭС зависит от времени перемещения заряда между соседними элементами прибора и для современных трехтактных ПЭС с поверхностным переносом зарядов достигает 10 МГц. Для повышения максимальной частоты применяют ПЭС с объемным каналом переноса, в которых заряды перемещаются в специальном канале, формируемом в глубине подложки  $n$ -типа путем легирования тонкого поверхностного  $p$ -слоя. Рабочая частота тактирования таких ПЭС достигает 100 МГц.

При использовании ПЭС в качестве линии задержки сигнала максимальная спектральная составляющая которого равна  $W_d$ , необходимая частота тактирования (дискретизации) согласно теореме Шеннона-Котельникова определится как

$$f_T \geq 2W_d \quad (1)$$

При выбранной частоте  $f_T$  время задержки будет

$$t_{3\delta} = N/f_T \quad (2)$$

где  $N$  - количество ячеек в ПЭС.

### 1.3. Неэффективность переноса зарядов

Искажения полезной информации в ПЭС обусловлены термогенерацией неосновных носителей в объеме полупроводника и потерей части зарядов при переносе. Качество переноса оценивается коэффициентом неполного переноса или неэффективностью переноса  $\epsilon$ , показывающим, какая часть зарядового пакета отстает от него за один перенос. Для

существующих ПЭС неэффективность переноса обычно составляет  $\epsilon = 10^{-4} \dots 10^{-5}$ .

На выходе линии задержки на ПЭС, содержащей  $N$  ячеек, выходной сигнал будет соответствовать заряду

$$Q_N = Q(1 - \epsilon \rho N)^N \quad (3)$$

где  $\rho$  - количество фаз, чаще  $\rho = 3$ ;

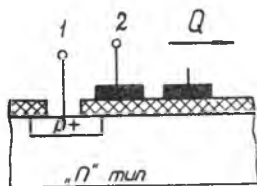
$Q$  - начальный заряд.

Неэффективность переноса зарядов приводит к дополнительной временной задержке. В этом случае, согласно формулы (2), общая задержка будет составлять

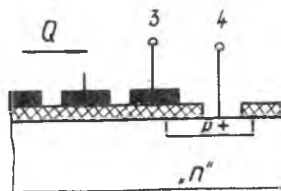
$$t_{зд} = \frac{N}{f_T} (1 + \epsilon \rho N). \quad (4)$$

#### 1.4. Ввод и вывод сигнала

При использовании ПЭС в качестве линии задержки необходимо осуществить линейное (по возможности) преобразование выборочных значений входных сигналов в зарядовые пакеты, а также обратное преобразование на выходе ПЭС. Для этого в ПЭС создают специальные входной и выходной элементы (рис.3), каждый из которых состоит из  $\rho - n$  перехода (1,4) и специального разделительного входного (2) или выходного (3) электродов, частично перекрывающих диффузионную  $\rho - n$  область.



а



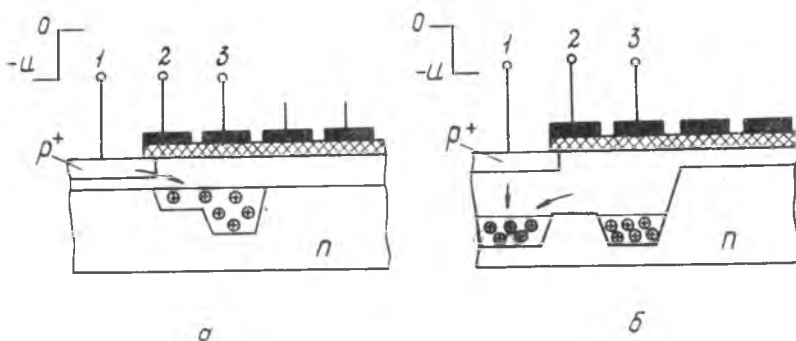
б

Р и с. 3. Входное (а) и выходное (б) устройства

Для ввода информации инжектируют зарядовый пакет и  $\rho - n$  перехода (источка) в область под первым электродом цепочки элементов

ПЭС. Входной электрод находится под постоянным напряжением смещения. Зарядовый пакет модулируют, изменяя напряжение на  $\rho - n$  переходе I. Входной сигнал возможно также подать и на электрод 2, но в этом случае  $\rho - n$  переход I должен находиться под определенным напряжением смещения.

Для повышения линейности при вводе информации применяют более сложные методы ввода, например: метод инъекции - экстракции, обладающий и низкими шумами. При этом добавляется еще один электрод - электрод сравнения 3 (рис.4).



Р и с. 4. Устройство ввода заряда в ПЭС методом инъекции-экстракции: а - процесс заполнения ямы зарядами; б - процесс слива лишних зарядов

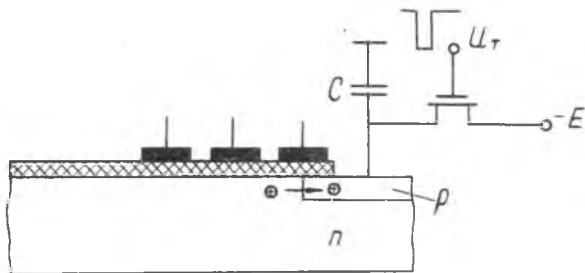
Между входным разделительным затвором 2 и электродом сравнения 3 устанавливают регулируемую разность потенциалов; входной заряд будет пропорционален этой разности. Подчеркнем, что под разделительным затвором потенциальная яма должна быть мельче, чем под электродом сравнения. Сначала на исток I подают такое смещение, при котором носители заполняют обе потенциальные ямы (рис.4,а). Затем переключают смещение истока так, чтобы носители обратно перетекали в исток (рис.4,б). В результате в более глубокой яме под электродом 3 останется часть заряда, соответствующая поданной разности потенциалов. Эту разность можно изменять, подавая входное напряжение на входной электрод сравнения 3.

При считывании полезной информации с ПЭС в момент поступления управляющего импульса (импульса считывания) на выходной электрод 3 (см.рис.3) под ним образуется потенциальная яма, в которую затем



перемещается зарядовый пакет из предыдущей ячейки ПЗС. Обратносмещенный  $p-n$  переход экстрагирует неосновные носители (дырки) из потенциальной ямы под выходным электродом, и в выходной цепи возникает импульс тока, амплитуда которого определяется зарядом.

Как и при осуществлении методов ввода сигнала, в реальных ПЗС получили распространение более сложные методы вывода, например метод плавающей диффузионной области. Выходная диффузионная  $p$ -область является одновременно истоком МОП-транзистора, сток которого подключен к источнику напряжения  $E$ , а затвор управляется тактовыми импульсами  $U_T$  (рис.5). Перед моментом считывания диффузион-



Р и с. 5. Выходное устройство с плавающей диффузионной областью

ная область через открытый транзистор заряжается до высокого отрицательного потенциала, после чего импульс напряжения  $U_T$  закрывает транзистор и диффузионная область оказывается оторванной от источника напряжения ("плавающей"). Заряд, поступающий с предыдущего элемента ПЗС под выходной электрод, экстрагируется диффузионной областью, в результате чего потенциал области уменьшается на значение, пропорциональное информационному заряду. Этот потенциал подается на загрузочную емкость  $C$ , являющуюся входной для каскада считывания (например, затвор истокового повторителя).

## 2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для экспериментального исследования используются выходные регистры фотоприемных телевизионных матриц ФПЗС-3М "Коллекция" или ФПЗС-2М "Кванттел", в которых возможен электрический ввод сигнала. подлежащего задержке.

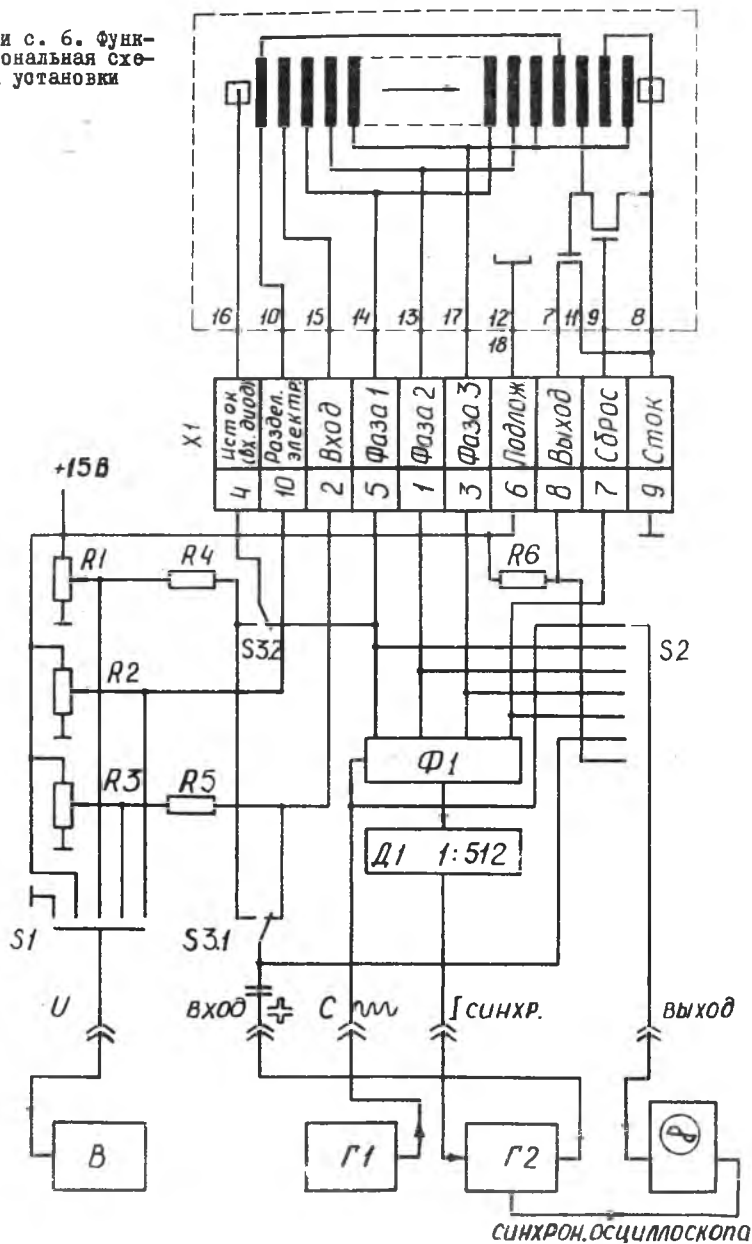
ФПЗС-3М "Коллекция" подключается к установке с помощью электрического разъёмного соединителя XI (рис.6). С помощью переменных резисторов  $R_1, R_2, R_3$  на электродах ПЗС устанавливают постоянные смещения в пределах 0...+15 В. Контроль за напряжениями смещения и напряжением питания осуществляется подключаемым с помощью переключателя  $S_1$  внешним вольтметром В с высоким входным сопротивлением ( $R_{вх} \geq 1 \text{ мОм}$ ). Создание фазных напряжений для обеспечения переноса зарядов происходит в специальном формирователе  $\Phi$ , на выходе которого образуются прямоугольные фазные импульсы, сдвинутые на одну треть их длительности относительно друг друга. Кроме этого, на выходе формирователя образуются импульсы сброса, подаваемые на затвор сбросового транзистора. На вход формирователя через разъем С с внешнего генератора  $\Gamma_1$  поступает синусоидальный сигнал ( $U_c = 2 \text{ В}$ ) переменной частоты  $f_c$ . При этом частота тактирования фазных напряжений  $f_T = \frac{1}{6} f_c$ .

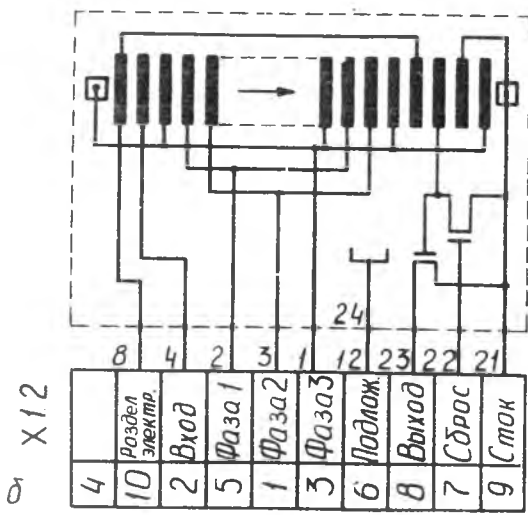
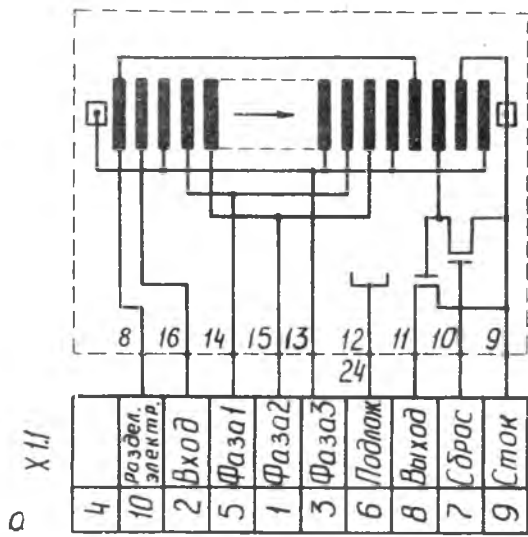
Источником сигнала, подлежащего задержке, служит генератор импульсов  $\Gamma_2$ . Выходные импульсы этого генератора (с напряжением  $U \leq 10 \text{ В}$ ) через разъем "Вход" и через переключатель  $S_{3,1}$  поступают на исток ПЗС (входной диод) или на входной электрод. Во втором случае исток ПЗС через переключатель  $S_{3,2}$  подключается к первой фазе. Генератор импульсов работает как в автономном режиме с устанавливаемой на нем частотой следования импульсов, так и в режиме с внешним запуском. В последнем случае генератор выдает импульс через период времени больший, чем время переноса заряда в регистре (время задержки) в два раза. Это достигается запуском генератора  $\Gamma_2$  положительным импульсом синхронизации, поступающим через разъем "СИНХР" от формирователя через делитель Д с коэффициентом деления 1:512 (число ячеек в регистре ПЗС равно 256).

Наблюдение и измерение задержанного выходного импульса и других импульсных сигналов установки производится с помощью осциллоскопа С в ждущем режиме. Вход осциллоскопа через разъем "Вых" и переключатель  $S_2$  подключается к различным точкам схемы. Запуск развертки осциллоскопа производится с помощью сигналов синхронизации, поступающих с генератора импульсов  $\Gamma_2$ .

Подключение ФПЗС-2М "Квантел" поясняется рис.7. В этой матрице имеется два идентичных выходных регистра: нижний и верхний. Плата с расположенной на ней матрицей имеет две вилки разъема: XI.1 и XI.2. Отличительной особенностью является то, что исток выходных регистров в этой матрице подключен к одной из фаз, поэтому электрический ввод возможен только в одном режиме - при подаче сигнала на входной электрод.

Р и с. 6. Функ-  
циональная схе-  
ма установки





Р и с. 7. Схема подключения ФПС-2М "Квантел": а-нижнего, б - верхнего регистров

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Подключить к установке внешние прибора (см.рис.6). С помощью внешнего вольтметра и переменных резисторов на передней панели установки выставить напряжения:

- на входном диоде  $+10\text{ В}$  (относительно подложки  $-5\text{В}$ );
- на входном затворе  $+7\text{ В}$  (относительно подложки  $-8\text{В}$ );
- на разделительном электроде  $+8\text{В}$  (относительно подложки  $-7\text{В}$ ).

3.2. С помощью осциллоскопа проверить наличие и зарисовать форму переменных импульсных сигналов:

- на входе  $S$  формирователя;
- фазные напряжения  $\Phi 1, \Phi 2, \Phi 3$ ;
- импульсы сброса  $ЗР$  ;
- импульсы на разъеме "Вход".

3.3. Переключатель  $S_3$  поставить в левое положение (ввод сигнала на входной диод), переключатель  $S_2$  в положение "Вых" (наблюдение выходного сигнала с ПЭС). Меняя напряжение импульсов положительной полярности на выходе генератора  $\Gamma_2$  в пределах до  $3\text{ В}$ , обнаружить и зафиксировать появление выходного задержанного сигнала на выходе ПЭС. С помощью калиброванной развертки осциллоскопа измерить величины задержки выходного сигнала при различных частотах генератора  $\Gamma_1$  (в пределах  $0,1 \dots 5,0$  Гц). Построить график  $t_{30} = f(f_1)$ .

3.4. Снять зависимость амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного. Определить максимальный динамический диапазон. Построить график  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ . Сделать выводы о линейности.

3.5. Повторить эксперименты (см.п.3.4) при изменении напряжения на входном затворе  $+7+1\text{В}$  и при изменении напряжения на входном диоде  $+10+1\text{В}$ . Построить графики.

3.6. Переключатель  $S_1$  поставить в правое положение (ввод сигнала на входной затвор). Меняя напряжение импульсов отрицательной полярности на выходе генератора  $\Gamma_2$  в пределах до  $10\text{ В}$ , обнаружить и зафиксировать появление выходного сигнала. Повторить эксперименты пункта 3.4 при напряжении на входном затворе  $+10\text{В}$  и при его изменении  $\pm 3\text{В}$ . Построить графики и сделать выводы о линейности.

### 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Функциональная схема экспериментальной установки.
3. Осциллограммы переменных напряжений в различных точках схемы.

4. Расчетные значения и экспериментальные значения задержки выходного сигнала в зависимости от частоты тактирования. Графики  $t_{zd} = f(f_T)$ .

5. Графики  $U_{вых} = f(U_{вх})$  при вводе сигнала на входной диод.

6. Графики  $U_{вых} = f(U_{вх})$  при вводе сигнала на входной затвор.

7. Выводы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип работы приборов с переносом заряда?

2. Как можно осуществить ввод информации в прибор с зарядовой связью (ПЗС)?

3. Что такое неэффективность переноса, отчего она зависит, какие меры можно принять для ее снижения?

4. Как можно осуществить вывод информации с ПЗС?

5. Чем определяется время задержки сигнала в ПЗС?

6. Как изменяются параметры линии задержки на ПЗС с изменением температуры?

7. Как можно повысить частоту тактирования ПЗС?

8. Чем предопределяется динамический диапазон ПЗС, какие меры можно применить для его повышения?

#### Л и т е р а т у р а

Носов Ю.Р., Шилин В.А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью. -М.: Сов. радио, 1976. -144с.

Секен К., Томпсет М. Приборы с переносом заряда: Пер.с англ./ Под ред. В.В.Поспелова и Р.А. Суриса. -М.: Мир, 1978. -327с.

Пресс Ф.П. Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью. -М.: Радио и связь, 1981. -136с.

Приборы с зарядовой связью: Пер.с англ./Под ред. Д.Ф.Барба.-М.: Мир, 1982. - 240 с.

Приборы с зарядовой связью: Пер.с англ./Под ред. М.Хоувза и Д.Моргана. -М.: Энергоиздат, 1981. -376с.

Составитель- Геннадий Викторович Уваров

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ НА ОСНОВЕ  
ПРИБОРА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Редактор Е.Д.А н т о н о в а  
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к  
Корректор С.С.Рубан

Подписано в печать 1.06.84. Формат 60x84 1/16.

Бумага оберточная белая. Печать оперативная.

Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 500 экз.

Заказ 5734 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Моло-  
догвардейская, 151.

Областная типография имени В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.