

Министерство образования Российской Федерации

**Тамбовский государственный технический университет**

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ**

Лабораторные работы для студентов 4 курса  
дневного и заочного отделений  
специальности 200800

Тамбов • Издательство ТГТУ • 2002

ББК з859я73-5

УДК 621.38 (076)

Б892

Утверждено редакционно-издательским советом университета

**Рецензент**

Доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой  
общей физики ТГУ им. Г. Р. Державина, профессор

*В. А. Федоров*

Б892      **Технология устройств функциональной  
электроники:** Лаб. работы / Сост. Ю. А. Брусенцов,  
И. С. Филатов. Тамбов: Изд-во: Тамб. гос. техн. ун-та,  
2002. 16 с.

Изложена методика проведения лабораторных работ, позволяющих ознакомиться с устройством, принципом работы и технологией устройств функциональной электроники.

Лабораторные работы предназначены для студентов 4 курса дневного и заочного отделения специальности 200800.

з859я73-5

(076)

ББК

УДК 621.38

© Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ), 2002

**ТГТУ**

**КАФЕДРА МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ**



**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ**

Тамбов 2002

Учебное издание

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Лабораторные работы

С о с т а в и т е л и:  
**Брусенцов** Юрий Анатольевич,  
**Филатов** Иван Сергеевич

Редактор В. Н. Митрофанова

Компьютерное макетирование И. В. Евсеевой

ЛР № 020851 от 13.01.99 г. Плр № 020079 от 28.04.97 г.

Подписано к печати 11.03.2002.  
Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага  
газетная. Печать офсетная.  
Объем: 0,93 усл. печ. л.; 0,86 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 165.

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## Лабораторная работа 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОММУТАЦИИ ТРАНЗИСТОРНОЙ ОПТОПАРЫ ОТ ЯРКОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ФОТОТРАНЗИСТОРА

**Цель работы:** ознакомиться с составляющими оптоэлектронных устройств (оптопар), исследовать световые характеристики светоизлучателя (светодиода) и характеристики сопротивления светоприемника (фототранзистора).

**Приборы и принадлежности:** светоизлучающий диод АЛ 307 Б, фототранзистор на базе транзистора МП-25, фотоэкспонетр Фотон-1, омметр, источник постоянного тока.

Оптоэлектроника отличается от других видов электроники (полупроводниковой, вакуумной) наличием в сигнальной цепи оптического звена или оптической (фотонной) связи. Существуют два пути развития оптоэлектроники – оптический (в основе – когерентный излучатель – лазер) и электрооптический, основанный на фотоэлектрическом преобразовании сигнала (оптроника). Сущность оптроники – замена электрических связей оптическими.

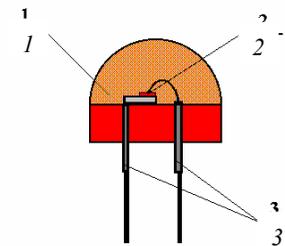
Оптронные устройства выполняют функции элементов коммутации и гальванической развязки. **Оптрон** – устройство, в котором конструктивно объединены светоизлучатель и фотоприемник. Они составляют **оптопару**.

Оптопара состоит из **светоизлучателя, оптической среды и фотоприемника**.

В качестве светоизлучателя могут применяться лампы накаливания, светоизлучающие диоды различного спектра излучения (от красного до синего) (рис.1) или полупроводниковые лазеры малой мощности.

Оптической средой могут служить воздух, вакуум или оптоволоконные линии. При этом светоизлучатель может находиться либо в непосредственной близости от фотоприемника (датчики перемещения, фотодатчики в видеомагнитофонах или компьютерах), либо он отделен от фотоприемника на значительное расстояние – оптоволоконные линии связи.

Оптопары могут иметь в качестве фотоприемника фотодиод, фоторезистор, фототранзистор, фототиристор.



**Рис. 1**

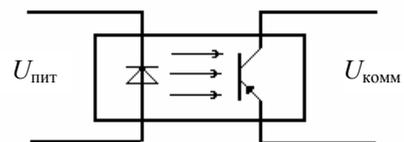
**Светоизлучающий диод:**

1 – компаунд; 2 –

кристалл GaAs;

3 – выводы

Преимущества транзисторной оптопары в том, что транзистор сам выполняет функции усилителя, в то время как для фотодиодов и фоторезисторов требуется применение дополнительных усилительных схем. Электрический аналог транзисторного оптрона – импульсный трансформатор. Структурная схема оптопары представлена на рис. 2.



**Рис. 2 Структурная схема транзисторной оптопары**

В качестве светоизлучателя в работе применен светодиод АЛ 307 Б. Оптической средой является воздух. Фотоприемник – транзистор МП-25 с открытым кристаллом. На светодиод

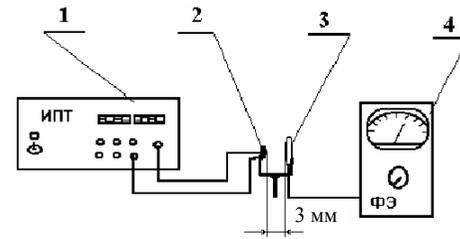
подается напряжение питания  $U_{пит}$ , с фототранзистора снимается напряжение коммутации  $U_{комм}$ , зависящее от свойств оптической среды и от яркости свечения светодиода.

Сопротивление фототранзистора и режим его работы зависят от освещенности его кристалла. Если база не освещена, то фототранзистор работает в режиме усилителя. При освещении базовой области попадающие на нее фотоны выбивают электроны, переход становится проводящим и в коллекторной цепи протекает ток (так называемый **фототок**). Величина фототока зависит от освещенности базы.

### Порядок выполнения работы

1 Собрать установку для определения яркости свечения светодиода (рис. 3).

1                    2                    3                    4



**Рис. 3 Установка для определения характеристики свечения светодиода:**

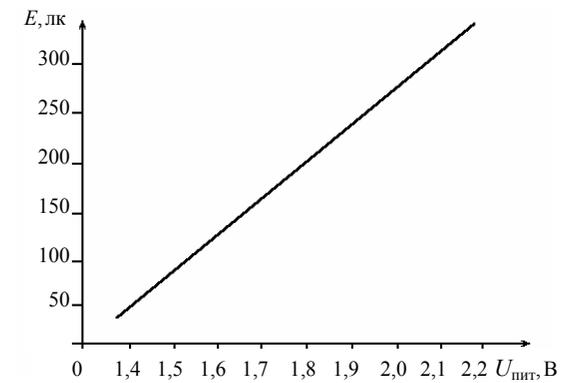
- 1 – источник постоянного тока;
- 2 – светодиод; 3 – фотоэлемент;
- 4 – экспонометр

2 Включить источник постоянного тока и, изменяя напряжение от 1,4 до 2,1 В, по экспонометру получить значения яркости свечения. Результаты занести в табл. 1.

### 1 Зависимость яркости свечения светодиода от напряжения питания

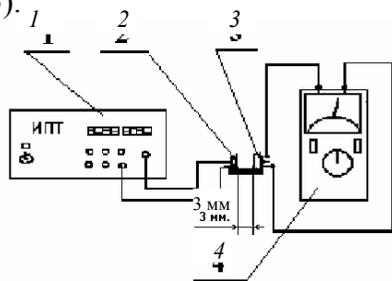
$U_{\text{пит}}$	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
$E$ , лк								

3 Построить график зависимости яркости свечения от напряжения питания (рис. 4).



**Рис. 4 Зависимость яркости свечения светодиода от напряжения питания**

4 Собрать установку для определения свойств транзисторной оптопары (рис. 5).



**Рис. 5 Установка для определения сопротивления фототранзистора:**

1 – источник постоянного тока;

2 – светодиод; 3 – фототранзистор;

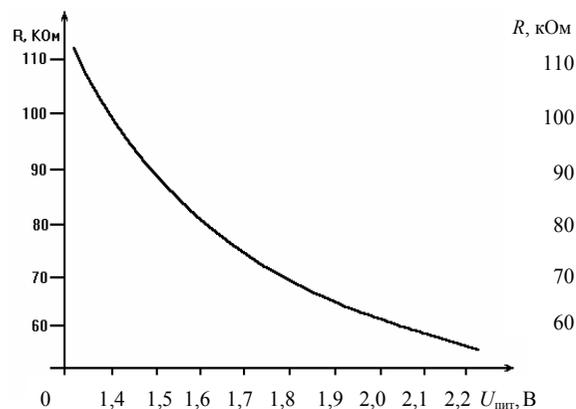
4 – омметр

5 Включить источник постоянного тока и, изменяя напряжение от 1,4 до 2,1 В, по омметру получить значения сопротивления фототранзистора. Полученные данные заносятся в табл. 2.

**2 Зависимость сопротивления фототранзистора от напряжения питания светодиода**

$U_{\text{пит}}$	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
$R$ , кОм								

6 Построить график зависимости сопротивления фототранзистора от напряжения питания светодиода (рис. 6).



**Рис. 6** Зависимость сопротивления фототранзистора от напряжения питания светодиода

## Содержание отчета

- 1 Описание и схемы установок для определения свойств светоизлучателя и фотоприемника.
- 2 Таблица и график зависимости сопротивления фототранзистора от напряжения питания светодиода.
- 3 Таблица и график зависимости сопротивления фототранзистора от напряжения питания светодиода.

## Контрольные вопросы

- 1 Применение оптопар, их достоинства и недостатки.
- 2 Источники света в оптоэлектронных устройствах.
- 3 Фотоприемники, их свойства и особенности.
- 4 Способы управления фототоком транзистора оптопары.

Литература: [ 1, с. 5 – 12; 2 с. 23 – 30]

## Лабораторная работа 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАГРУЗКИ

**Цель работы:** ознакомиться с высокочастотными устройствами на примере реактивной нагрузки, исследовать ее частотные характеристики, получить зависимость гашения сигнала от частоты.

**Приборы и принадлежности:** генератор высокочастотных колебаний, осциллограф, высокочастотная нагрузка.

Высокочастотная нагрузка имеет реактивное сопротивление, то есть ее параметры зависят от рабочей частоты устройства, где она применяется. Обычно ВЧ-нагрузки больших мощностей (5 Вт и более) используют при согласовании выходных цепей передатчиков и антенн. Например, если антенна короче, чем необходимо, то на выбранной частоте сопротивление антенны имеет реактивную составляющую емкостного характера. В случае, когда антенна длиннее, на той же частоте антенна имеет реактивность индуктивного характера. Поэтому при настройке антенны нежелательную реактивность можно компенсировать введением дополнительной реактивности противоположного знака. Например, если антенна длиннее, чем это необходимо, индуктивную составляющую можно компенсировать включением в цепь питания антенны дополнительного высокочастотного сопротивления. Его значение можно рассчитать для нужной частоты, зная значение индуктивной составляющей, либо подобрать экспериментально.

## Порядок выполнения работы

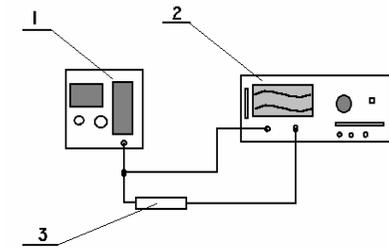
1 Ознакомиться с устройством лабораторной установки (рис. 6).

1

2

3

Сигнал высокой частоты с выхода генератора высокочастотных колебаний 1 поступает на вход А осциллографа 2. С того же выхода на вход В осциллографа поступает сигнал через высокочастотную нагрузку 3. При изменении частоты колебаний уровень сигнала, поступающий на вход А, остается неизменным. Уровень сигнала на входе В обратно пропорционален частоте, так как нагрузка тем более ослабляет сигнал, чем выше частота.



**Рис. 6** Схема лабораторной установки:

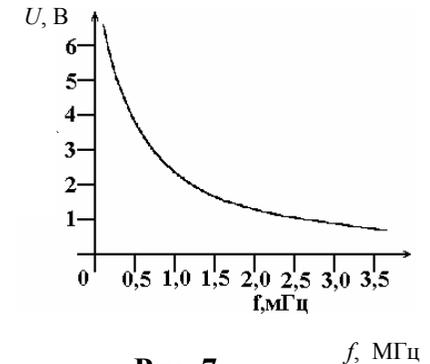
- 1 – генератор; 2 – осциллограф;
- 3 – высокочастотное сопротивление

1 Подключить высокочастотную нагрузку, как показано на схеме.

2 Выставить на входе осциллографа чувствительность 0,5 В/мм.

3 Выставить на шкале генератора частоту 100 кГц и синхронизировать осциллограф. По шкале осциллографа определить напряжение, поступаемое с нагрузки. Результаты занести в таблицу.

Далее выставляя по шкале генератора частоты 500 КГц, 1 МГц, 1,5 МГц, 2,0 МГц, 2,5 МГц, 3,0 МГц и синхронизируя на этих частотах осциллограф, получить зависимость



**Рис. 7** Зависимость напряжения от частоты высокочастотной нагрузки

**падения напряжения на ВЧ – нагрузке от частоты.**

5 Построить график зависимости уровня сигнала от частоты (рис. 7).

### **Содержание отчета**

- 1 Формулировка цели и задачи работы.
  - 2 Краткое описание принципа действия и области применения высокочастотных нагрузок.
  - 3 Описание и схема установки для определения частотных свойств нагрузки.
  - 4 Таблица и график зависимости уровня сигнала от частоты.
- Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Применение высокочастотных нагрузок.
- 2 Чем обусловлена неравномерность АЧХ высокочастотной нагрузки?
- 3 Почему кривая АЧХ имеет плавный спад?

Литература: [1, с. 5 – 5].

### **Лабораторная работа 3**

#### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ НА СДВИГ ФАЗЫ СИГНАЛА В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ**

**Цель работы:** ознакомиться с пьезоэлектрическими устройствами на примере ультразвуковых линий задержки УЛЗ 64-5 и УЛЗ 64-8.

**Приборы и принадлежности:** ультразвуковые линии задержки УЛЗ 64-5 и УЛЗ 64-8, микроскоп, двулучевой осциллограф, генератор высокочастотных колебаний.

Пьезокерамические материалы представляют собой неорганические диэлектрики с высокой диэлектрической проницаемостью (до 200). Для них характерна зависимость ДП от напряженности электрического поля и наличие резко выраженного максимума в зависимости ДП от температуры. Такие диэлектрики обладают спонтанной поляризацией и относятся к **сегнетоэлектрикам**. Наиболее распространенным пьезокерамическим материалом является титанат бария  $BaTiO_3$ . Под воздействием внешнего электрического поля в керамике титаната бария происходит переориентация поляризации в доменах. Это приводит к появлению общей результирующей поляризации, которая сохраняется в керамике после прекращения воздействия. Керамика приобретает **пьезоэлектрические** свойства (от слова *pieso* – давление).

Механическое сжатие пьезокерамики приводит к возникновению на поверхности свободных зарядов, что сопровождается возникновением разности потенциалов. Если на поверхность кристалла нанести электроды и замкнуть цепь, то можно получить ток и таким образом превратить механическую энергию в электрическую. При растяжении пьезокерамики заряды на поверхностях будут противоположны по знаку тем, которые были при сжатии.

При приложении к пьезокерамике извне разности потенциалов из-за индуцированной поляризации размеры пьезокерамики будут увеличиваться при увеличении поляризации и уменьшаться при ее уменьшении, то есть получается преобразование электрической энергии в механическую. Это используется в **ультразвуковых линиях задержки (УЛЗ)**.

Скорость распространения звуковых волн на 5-6 порядков меньше, чем электромагнитных. Поэтому отрезок, который пробегает звуковой импульс за определенное время, во столько же раз меньше пути, пройденного электромагнитным импульсом. В превращении электрического импульса в ультразвуковой и затем обратно в электрический, заключается возможность задержки электрического сигнала на коротком отрезке.  $L$

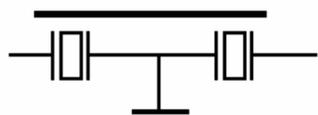
Подлежащий задержке электрический импульс от генератора  $I$  (рис. 8) подводится к первому преобразователю  $2$  и преобразуется в звуковой импульс, пробегающий со скоростью звука  $C_{зв}$  отрезок линии  $L$ . В конце линии с помощью второго преобразователя он снова преобразуется в электрический сигнал и усиливается усилителем  $3$ , имеющим высокое входное сопротивление (не менее 1 МОм).

Пьезоэлектрические устройства выполняют роль линий задержки в блоках обработки цветных сигналов в телевизорах, акустоэлектронных усилителях, фильтрах, устройств акустической памяти и др.

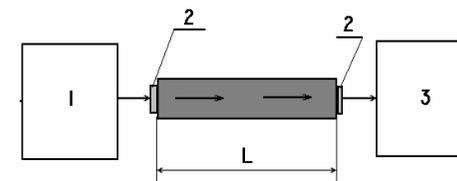
Линии задержки УЛЗ 64-5 и УЛЗ 64-8 выполнены в виде керамической пластины с нанесенными на его края пьезоэлектрическими преобразователями. Вид УЛЗ под микроскопом показан на рис. 9.

В ультразвуковых линиях задержки используется как прямой, так и обратный пьезоэффект. Сигнал с частотой 1 – 7 МГц подается на пьезоизлучатель, который возбуждает

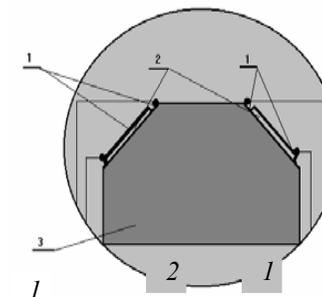
колебания в керамической пластине. Эти колебания улавливаются пьезопреобразователем, на выводах которого возникают электрические колебания той же частоты, но с задержкой на время прохождения акустической волны в кристалле.



**Рис. 10** Изображение ультразвуковых линий задержки на принципиальных схемах



**Рис. 8** Схема УЛЗ:  $1$  – источник сигнала;



**Рис. 9** Ультразвуковая линия задержки:  $1$  – напыленные контакты;  $2$  – пьезопреобразователи;  $3$  – керамическая пластина

На принципиальных электрических схемах УЛЗ обозначаются как связанные между собой кварцевые фильтры (рис. 10).

В зависимости от частоты на экране осциллографа будет наблюдаться сдвиг фазы задержанного сигнала.

### Порядок выполнения работы

1 Изучить устройство и принцип работы лабораторной установки для определения параметров УЛЗ (рис. 11).

2 Подключить генератор высокой частоты ко входу 1 осциллографа.

3 Подключить к выходу генератора вход ультразвуковой линии задержки, а ее выход подключить ко входу 2 осциллографа.

4 Выставить чувствительность на входе 1 равной 0,5 В/см, а на входе 2 – 0,01 В/см.

5 Включить генератор ВЧ и осциллограф.

6 Выставить по шкале генератора частоту 500 кГц и синхронизировать осциллограф.

7 Плавно увеличивая частоту и одновременно синхронизируя осциллограф, определить сдвиг фаз сигналов.

8 Результаты занести в табл. 3.

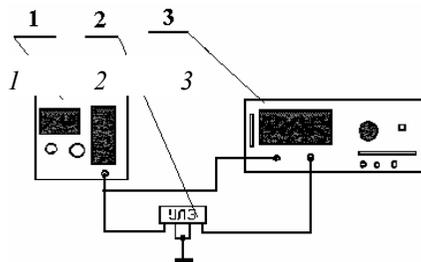


Рис. 11 Лабораторная

### 3 Зависимость угла сдвига фазы от частоты сигнала

Частота, МГц								
Угол сдвига фазы, рад.								

Содержание отчета

- 1 Название, цель работы, приборы и принадлежности.
- 2 Краткое описание принципа работы УЛЗ.
- 3 Порядок выполнения работы.
- 4 Рисунок установки.
- 5 Рисунок ультразвуковой линии задержки.
- 6 Таблица зависимости сдвига фазы сигнала от частоты.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Составные части пьезоэлектрических устройств функциональной электроники.
- 2 Применение пьезоэлектрических устройств функциональной электроники.
- 3 Принцип работы ультразвуковых линий задержки.

Литература: [3, с. 33 – 37].

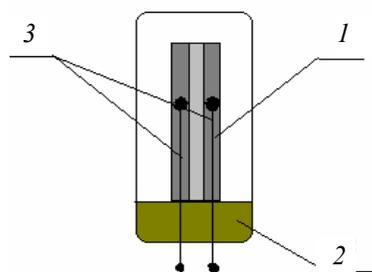
### **Лабораторная работа 4**

#### **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ФАКТОРОВ НА ЧАСТОТНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ КВАРЦЕВОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО РЕЗОНАТОРА**

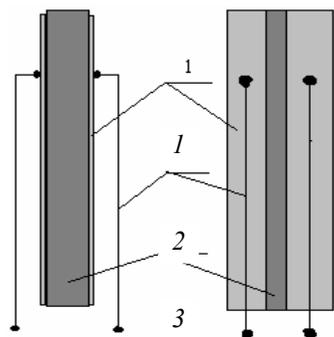
**Цель работы:** ознакомиться с устройством и технологией изготовления кварцевых резонаторов и получить их амплитудо-частотную характеристику.

**Приборы и материалы:** осциллограф, кварцевые резонаторы, генератор низкой частоты.

Кварцевые резонаторы – устройства, использующие пьезоэлектрический эффект для возбуждения электрических колебаний заданной частоты. При совпадении частоты приложенного напряжения с одной из собственных механических частот кварцевого вибратора в приборе



**Рис. 12 Кварцевый резонатор для низкочастотной**



**Рис. 13 Пластина резонатора:**

**1 – контакты; 2 – выводы;  
3 – кварцевая пластина**

возникает явление резонанса, приводящее к резкому увеличению амплитуды. Обладая среди резонаторов самой высокой добротностью  $Q \sim 10^5 - 10^7$  (добротность колебательного LC-контура не превышает  $10^2$ , пьезокерамики  $-10^3$ ), кварцевые резонаторы имеют также высокую температурную стабильность и низкую долговременную нестабильность частоты ( $10^{-6} - 10^{-8}$ ). Кварцевые резонаторы применяются в генераторах опорных частот, в управляемых по частоте генераторах, селективных устройствах: фильтрах, частотных дискриминаторах и т.д.

Резонаторы для низкочастотной радиоаппаратуры имеют вид, представленный на рис. 12.

Кварцевая пластина 1 закреплена в стеклянном корпусе 2. Сигнал подводится по проводникам 3. На рис. 13 показана пластина резонатора.

На основе пластины 3 напылены контактные площадки 1, к которым припаяны проводники. Электрический сигнал подводится к паре контактов, расположенной на одной стороне пластины (первая пара). Из-за того, что кварц обладает пьезоэлектрическими свойствами, это вызывает колебания пластины. Вследствие прямого пьезоэффекта на контактных площадках, расположенных на обратной стороне пластины (вторая пара) возникает разность потенциалов.

На определенной частоте, определяемой геометрическими параметрами пластины, возникает резонанс и амплитуда сигнала, снимаемого со второй пары контактов, резко возрастает. Данная частота называется **частотой резонанса**. Это свойство используется для стабилизации частоты в генераторах радиостанций, работающих в диапазоне длинных и средних волн.

## Порядок выполнения работы

1 Собрать лабораторную установку для получения частотных характеристик резонатора (рис. 14).

С выхода генератора 1 сигнал подается на вход 1 двулучевого осциллографа 3. На вход 2 подается сигнал, прошедший через кварцевый резонатор 2. При неизменной амплитуде сигнала (на входе 1) с изменением частоты изменяется амплитуда сигнала на входе 2, что фиксируется осциллографом. На частоте резонанса амплитуда сигнала значительно превышает первоначальную. Дальнейшее увеличение частоты приводит к падению амплитуды.

2 Включить осциллограф и генератор, дать им прогреться в течение 2 – 3 мин.

3 Изменяя частоту колебаний, подаваемых на вход резонатора, определить его резонансную частоту. Результаты занести в табл. 4.

4 Зависимость амплитуды сигнала от его частоты

Частота $F$ , кГц							
Амплитуда $U$ , В							

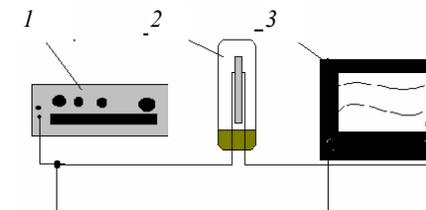


Рис. 14 Установка для получения АЧХ резонатора 1

4 Построить график зависимости амплитуды колебаний на выходе резонатора от частоты (рис. 15).

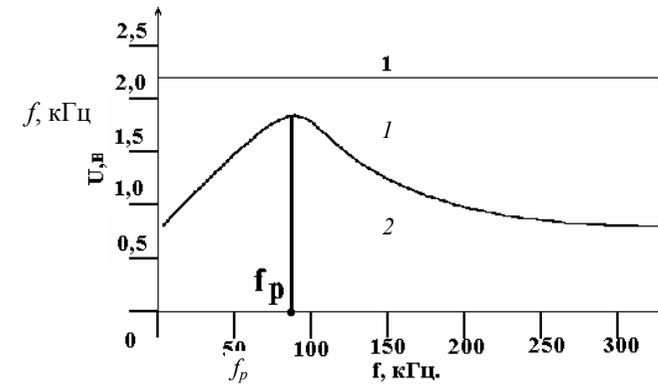


Рис. 15 График зависимости амплитуды сигнала от частоты.  
 $f_p$  – резонансная частота

### Содержание отчета

- 1 Рисунок установки с пояснениями к принципу ее работы.
- 2 Заполненная таблица зависимости амплитуды от частоты с отмеченной резонансной частотой.
- 3 График зависимости амплитуды от частоты.

### Контрольные вопросы

- 1 Принцип работы кварцевого резонатора.
- 2 Применение кварцевого резонатора.
- 3 От чего зависит резонансная частота.

4 Принцип работы установки для определения АЧХ.

Литература: [3, с. 33 – 37; 4, с. 23 – 30].

## Лабораторная работа 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЕМКОСТИ ВАРИКАПА ОТ ПРИЛОЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

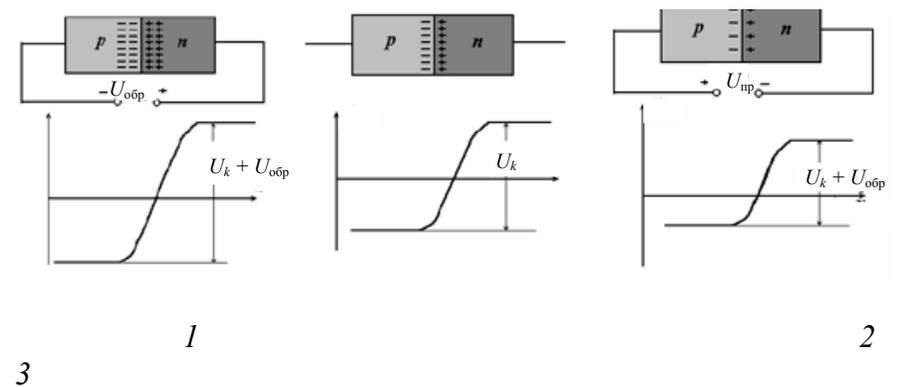
**Цель работы:** ознакомиться с технологией изготовления, применением и характеристиками полупроводниковых емкостных устройств.

**Приборы и принадлежности:** измеритель емкости, источник постоянного тока, варикап.

В настоящее время в радиоэлектронной аппаратуре все большее распространение получают полупроводниковые емкостные устройства. Они применяются в радиопередатчиках и радиоприемниках в цепях настройки контуров вместо конденсаторов переменной емкости. Эти устройства получили название варикапов (англ. **V**ariable **cap**acitance – изменяемая емкость). Преимущество варикапов перед конденсаторами переменной емкости в том, что они нечувствительны к механическим воздействиям и имеют значительно меньшие габариты. Недостатком является их высокий ТКЕ (т.е. они чувствительны к изменению температуры), для компенсации которого применяют специальные схемы подключения.

Емкостные свойства варикапа обусловлены наличием внутреннего электрического поля в  $p-n$ -переходе. При скачкообразном изменении концентрации донорных ( $N_d$ ) и акцепторной ( $N_a$ ) примесей (так называемый резкий  $p-n$ -переход) концентрация электронов в области  $n$  намного

больше, чем в  $p$ -области. Электроны движутся в область  $p$ . Концентрация дырок в области  $p$  больше, чем в  $n$ -области, и дырки движутся в область  $n$ . Таким образом, область  $n$  заряжается положительно а область  $p$ -отрицательно (рис. 16, поз. 2). Между областями  $p$  и  $n$  возникает **контактная разность потенциалов**  $U_k$  (потенциальный барьер) и электрическое поле. Это поле направлено так, что оно отталкивает электроны внутрь области  $n$ , а дырки – в  $p$ -область. В результате этого образуется тонкий переходной слой, в котором отсутствуют свободные электроны и дырки.



**Рис. 16  $p$ - $n$ -переход варикапа:** 1 – при приложении обратного напряжения;

2 – при отсутствии внешнего напряжения; 3 – при приложении прямого напряжения

При приложении к варикапу обратного напряжения  $U_{обр}$  высота потенциального барьера возрастает на величину приложенного напряжения (рис. 16, поз. 1). Переходной слой расширяется, и через варикап течет только малый обратный ток. Под действием прямого напряжения  $U_{пр}$  высота

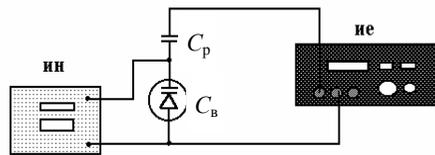
потенциального барьера уменьшается на величину этого напряжения (рис. 16, поз. 3). Переход открывается и через него идет прямой ток, толщина  $p$ - $n$ -перехода уменьшается.

Таким образом, изменение напряжения, прикладываемого к  $p$ - $n$ -переходу варикапа приводит к изменению его толщины и заряда в нем, т.е.  $p$ - $n$ -переход действует как емкость.

Емкость данного вида связана с образованием потенциального барьера между  $p$ - $n$ -областями, и поэтому она называется *барьерной емкостью*.

### Порядок выполнения работы

1 Собрать установку для определения зависимости емкости варикапа от приложенного напряжения (рис. 17).



**Рис. 17 Установка для определения емкостных характеристик варикапа:** ИН – источник напряжения;  $C_p$  – разделительная емкость;  $C_v$  – емкость варикапа; ИЕ – высокочастотный измеритель емкости (Е7 – 9)

2 Включить источник постоянного напряжения и измеритель емкости.

3 Установив на нулевую отметку индикатор, уравновесить измерителем емкости разделительную емкость  $C_p$ .

4 Подать на варикап изменяемое напряжение и провести измерение емкости варикапа. Результаты занести в табл. 5.

5 Зависимость емкости от приложенного напряжения

$U_{и}$							
$C_{в}$							

5 Построить график зависимости  $C_{в}$  от  $U$ .

### Содержание отчета

- 1 Название и цель работы.
- 2 Принцип действия варикапа.
- 3 Методика измерения емкости, схема лабораторной установки.
- 4 Таблица и график зависимости емкости варикапа от напряжения.

### Контрольные вопросы

- 1 Применение варикапов, их достоинства и недостатки.
- 2 Физика полупроводниковой емкости варикапа.
- 3 Емкость варикапа при отсутствии внешнего напряжения.
- 4 Изменение емкости при подаче прямого напряжения.
- 5 Изменение емкости при подаче обратного напряжения.

Литература: [5, С. 7 – 19].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щука А. А. Функциональная электроника: Учеб. для вузов: М.: МИРЭА, 1998.
- 2 Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987.
- 3 Викторов И. А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981.
- 4 Кравченко А. Ф. Физические основы функциональной электроники: Учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2000.
- 5 Волков В. М., Иванько А. А., Латий В. Ю. Микроэлектроника. Киев: Техника, 1983.