

**Министерство образования Иркутской области**

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Иркутской области «Иркутский авиационный техникум»  
(ГБПОУИО «ИАТ»)



**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор ГБПОУИО «ИАТ»  
А.Н. Якубовский

**Комплект методических указаний по выполнению  
лабораторных и практических работ по дисциплине**

**ОП.03 Прикладная электроника**

**по специальности**

**09.02.01 Компьютерные системы и комплексы**

Иркутск 2017

РАССМОТРЕНЫ

ВЦК КС

Протокол № 1 от 25.09.2017 г.

Председатель ВЦК



А.А. Белова

Методические указания

разработаны на основе рабочей  
программы дисциплины

ОП.03 Прикладная электроника,  
учебного плана специальности

09.02.01 Компьютерные системы  
и комплексы

**Разработчик:**

Машукова Людмила Григорьевна

### Перечень лабораторных работ

№ пп	Название работы в соответствии с рабочей программой	Объем часов	Страница
1	Исследование ВАХ полупроводниковых диодов	2	5
2	Снятие ВАХ стабилитрона	2	5
3	Исследование однополупериодной схемы выпрямления	2	6
4	Работа со справочниками, схемами, печатными платами. Конструктивное исполнение полупроводниковых диодов. Расшифровка маркировки.	2	9
5	Снятие статических ВАХ биполярных транзисторов.	2	13
6	Определение $h$ - параметров по статическим характеристикам	2	17
7	Снятие ВАХ униполярных транзисторов с управляющим затвором	2	20
8.	Работа со справочниками, схемами, печатными платами. Конструктивное исполнение транзисторов. Расшифровка маркировки.	2	24
9	Исследование работы тиристора в качестве регулятора мощности	2	27
10	Работа со справочниками, схемами, печатными платами. Конструктивное исполнение тиристорov. Расшифровка маркировки.	2	29
11	Исследование усилителей с разными схемами включения	4	31
12	Исследование дифференциального усилителя	4	38

13	Исследование схем на основе операционного усилителя	4	42
14	Исследование автогенераторов RC - типа.	2	50
15	Исследование работы RC- цепей разных типов.	2	50
16	Исследование работы мультивибратора.	2	54
17	Исследование работы триггеров	2	56
18	Работа со справочниками по определению элементов и компонентов ИМС различных видов.	4	59
19	Применение логических элементов (ИМС) для построения логических схем	4	61
20	Исследование генераторов построенных на логических элементах	2	64
	Всего	50	

## Лабораторная работа № 1

### Исследование ВАХ полупроводниковых диодов

**Цель работы:** углубить знания по полупроводниковым диодам, научиться снимать ВАХ диода и использовать их для расчета параметров.

**Задание:** 1. Пользуясь методическим пособием снять ВАХ диода

2. Построить ВАХ диода.

3. Рассчитать по ВАХ сопротивление диода постоянному току при прямом и обратном включении

**Перечень оборудования:** Специальные стенды, полупроводниковые диоды

**Вопросы для повторения:**

1. Что такое полупроводниковый диод?
2. Из каких материалов изготавливаются диоды?
3. Сколько PN-переходов содержит диод?
5. Нарисуйте условное графическое обозначение (УГО) диода. Как называются его выводы. Запишите название выводов на рисунке.
6. Какие приборы необходимы для снятия ВАХ диодов?
7. Нарисуйте вольтамперную характеристику (ВАХ) диода. Расскажите о процессах, соответствующих характерным участкам ВАХ.
8. Привести основные параметры исследуемого диода. Охарактеризуйте каждый из них.
9. Как рассчитать сопротивление диода при прямом и обратном включении? Пояснить разницу в значениях.

**Ответы на контрольные вопросы:**

1. Сопротивление диода больше при прямом или обратном включении?
2. Какого типа диод использовался в лабораторной работе?
3. Какого типа приборы были использованы в лабораторной работе?

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- технологию изготовления и принципы функционирования полупроводниковых диодов

Уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;

## Лабораторная работа № 2

### Снятие ВАХ стабилитрона

**Цель:** углубить знания по полупроводниковым диодам, научиться снимать ВАХ диода и использовать их для расчета параметров.

**Оборудование:** Специальный стенд, стабилитрон

**Порядок выполнения лабораторной работы:**

1. Собрать схему для снятия обратной ветви ВАХ.  
(схема на стенде).

В схеме:

G2 –генератор тока;

PA2 (Ист) – АВМ1;  
 PU2 (Уст) – АВМ2;  
 G3 – перемычка.

2. Изменяя значения тока  $I_{обр}$ , замерять значения напряжения  $U_{обр}$ .  
 Результаты измерения занести в таблицу.

Таблица 1.

Обратный ток $I_{обр}$ , мА	0.1	0,5	1	2	3	8	10
Обратное напряжение $U_{обр}$ , В							

3. По результатам измерений построить обратную ветвь ВАХ в масштабе. Пояснить полученные результаты (письменно).  
 4. Определить напряжение стабилизации исследуемого стабилитрона, сравнить со справочными данными.

### Контрольные вопросы.

1. Какая ветвь ВАХ является рабочей для стабилитрона, а какая для стабилитора?
2. Какого типа стабилитрон был использован в лабораторной работе?

### Выполнив работу, студент должен:

#### Знать:

- технологию изготовления и принципы функционирования полупроводниковых диодов;

#### Уметь:

- различать полупроводниковые диоды на схемах и в изделиях

### Лабораторная работа № 3

#### Исследование однополупериодной схемы выпрямления

**Цель.** разобраться с принципом работы выпрямителя переменных сигналов.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim

#### Порядок выполнения работы:

1. Запускаем Multisim: Пуск -> Все программы -> National Instruments -> Circuit Design Suite 10.1 -> Multisim 10.1

Откроется окно программы:

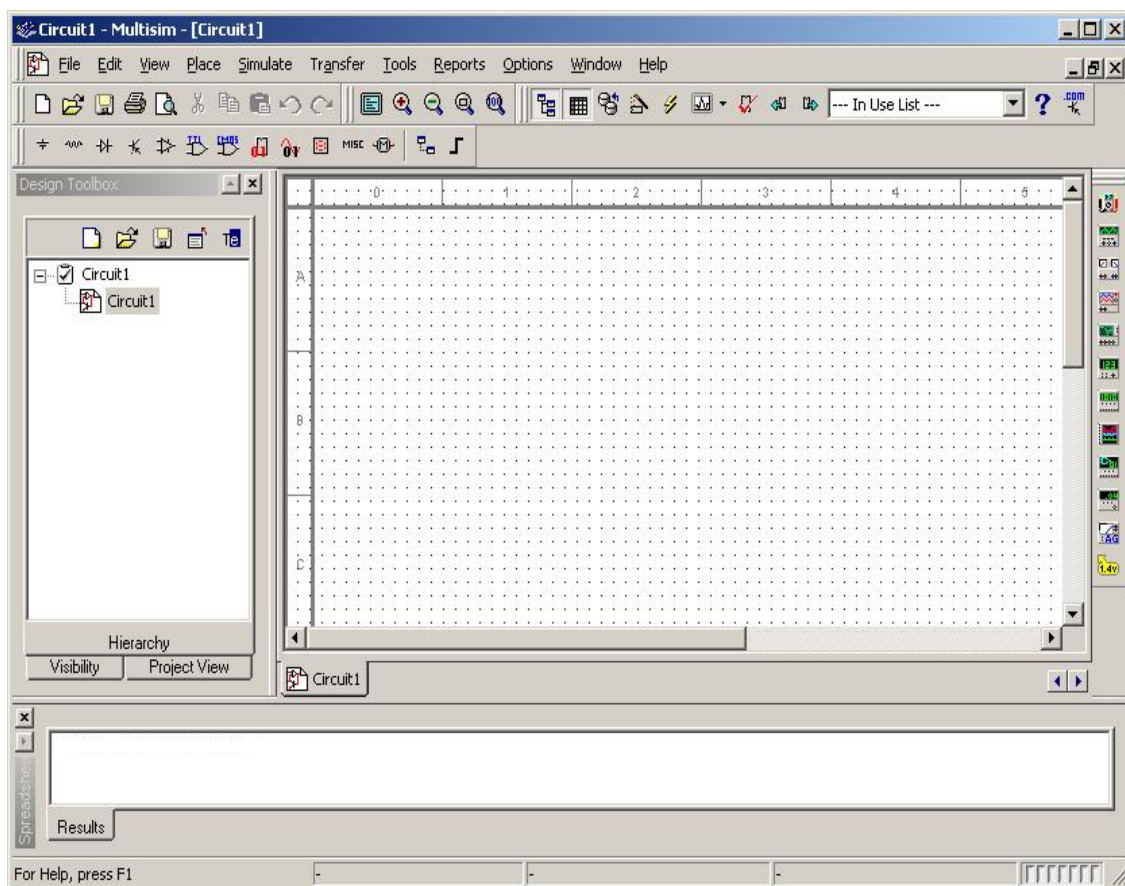


Рисунок 1.1: Окно программы Multisim

### 3. Собрать схему однополупериодного выпрямителя (рис.2)

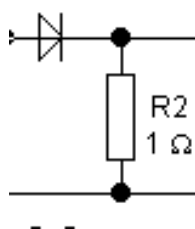


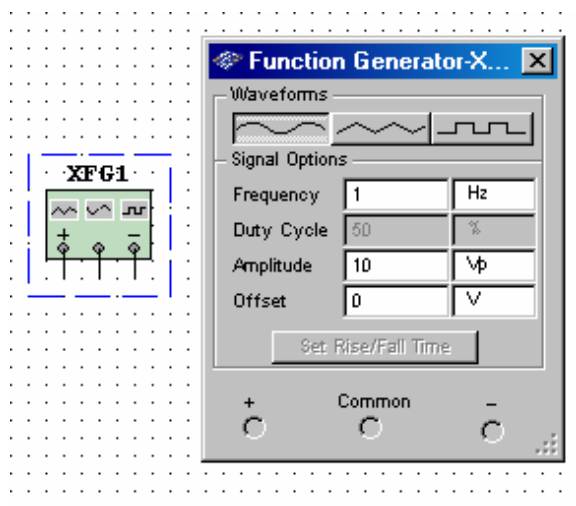
Рисунок 2.

Для этого:

а) на панели инструментов «Components» выбираем третье окно и достаём диод типа BYV95A      б) на панели инструментов «Components» выбираем второе окно и достаём резистор (RESISTOR) номиналом 1 кОм.

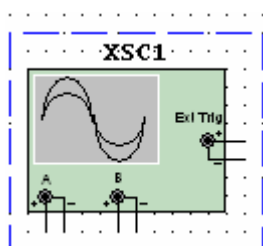
в) на вход схемы подключить генератор сигналов (Function Generator), который можно выбрать из панели приборов, находящихся на вертикальной линейке справа (второе окно сверху).

Генератор сигналов (Function Generator) – это источник напряжения, который может генерировать синусоидальные, пилообразные и прямоугольные импульсы. Можно изменить форму сигнала, его частоту, амплитуду, коэффициент заполнения и постоянный сдвиг. Диапазон генератора достаточен, чтобы воспроизвести сигналы с частотами от нескольких герц до аудио и радиочастотных.



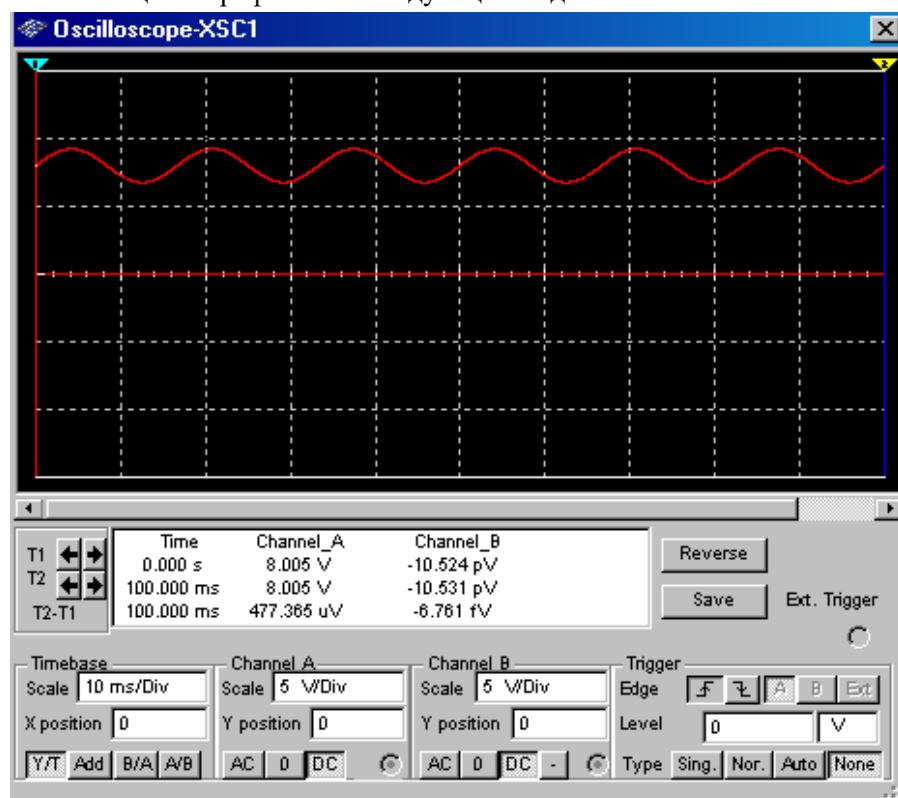
На генераторе установить **частоту** (frequency) синусоидального сигнала **10 Hz**, **амплитуду** (Amplitude) синусоидального сигнала **15 V**.

г) к выходу схемы подключить осциллограф (Oscilloscope), который можно выбрать из панели приборов, находящихся на вертикальной линейке справа (четвертое окно сверху).



На вход А подать сигнал с входа схемы, а на вход В подать сигнал с нагрузки  $R_n$ . Выполнить необходимые соединения в схеме и запустить схему.

Панель осциллографа имеет следующий вид:





Для получения четкого изображения требуется установить :

- **Timebase Scale 50 mc/Div**

- **Channel A Scale 10 V/Div**

- **Channel B Scale 10 V/Div**

Развести изображения сигналов канала А (channel A) и канала В (channel B). Для этого **Y position** channel A установить в 1, а **Y position** channel B установить в -1.

4. Зарисовать в масштабе временные диаграммы входного сигнала и выходного сигнала. Пояснить полученные результаты.

5. Остановить работу схемы. Подключить параллельно нагрузке  $R_n$  фильтр в виде конденсатора номиналом 200 мкФ.

Запустить работу схемы и также в масштабе зарисовать входные и выходные сигналы. Пояснить полученные результаты.

6. Остановить работу схемы. Отключить конденсатор от нагрузки. В схеме на рис.2 повернуть диод на 180 градусов. Включить схему и снова зарисовать в масштабе временные диаграммы входного и выходного сигналов. Пояснить полученные результаты.

#### **Ответить на контрольные вопросы:**

1. Объяснить, почему с помощью полупроводниковых диодов можно производить выпрямление переменных сигналов.
2. Пояснить принцип работы однополупериодного выпрямителя.  
Сопротивление диода в прямом направлении или сопротивление нагрузки должно быть больше и почему?  
Сопротивление диода в обратном направлении или сопротивление нагрузки должно быть больше и почему?
3. Что применяется для сглаживания пульсаций выпрямленного сигнала?
4. Привести схему двух полупериодного выпрямителя. Пояснить принцип действия.

#### **Выполнив работу, студент должен:**

##### Знать:

- принципы функционирования полупроводниковых диодов;

##### Уметь:

- различать полупроводниковые диоды на схемах и в изделиях;

### **Практическая работа № 4**

Работа со справочниками, схемами, печатными платами. Конструктивное исполнение полупроводниковых диодов. Расшифровка маркировки

**Цель работы:** научиться различать диоды на схемах, печатных платах, получить опыт работы со справочниками.

**Оборудование:** Набор печатных плат и диодов различных видов.

**Порядок выполнения работы:**

- 1. На предложенной плате определить все диоды
- Например:

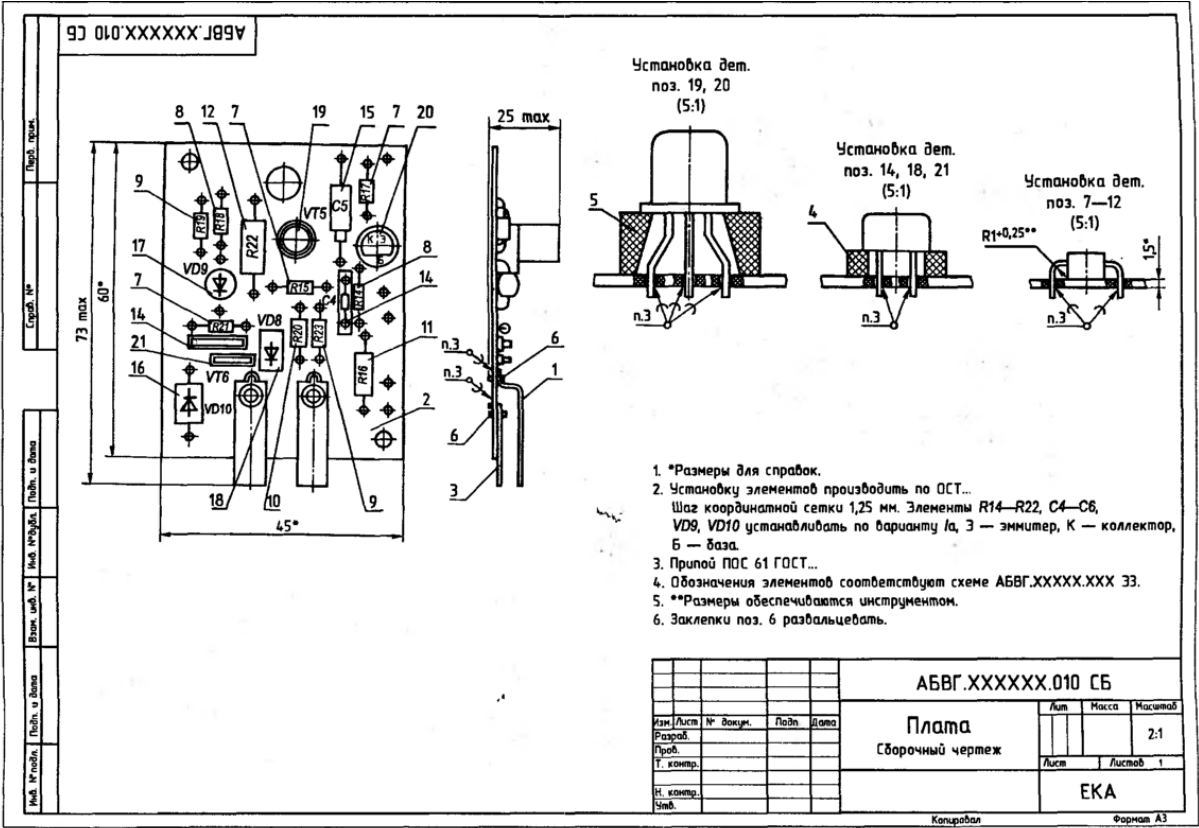


Рис. 4.31. Сборочный чертеж печатной платы

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
Перв. прим.					Прочие изделия		
					Конденсаторы		
			14		КМ-56-Н90-0,068 мкФ±10%		
				... ТУ	2	С4,С6	
			15		К53-14-10В-15 мкФ±20%		
				... ТУ	1	С5	
					Диоды полупроводниковые		
			16		КД 105Б ... ТУ	1	VD10
			17		КД 102А ... ТУ	1	VD9
Справ. №			18		Стабилитрон КС533А		
				... ТУ	1	VD8	
					Транзисторы		
			19		КТ3102Б ... ТУ	1	VT5
			20		КТ3107Б ... ТУ	1	VT4
			21		КТ814Д ... ТУ	1	VT6
Подл. и дата							
Инв. № подл.							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Изм. Лист</span> <span>№ докум.</span> <span>Подп.</span> <span>Дата</span> </div>						<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>АБВГ.ХХХХХХ.010</span> <span>Лист</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span></span> <span>2</span> </div>	
Копировал						Формат А4	

**Рис. 4.33. Продолжение спецификации сборочного чертежа печатной платы**

- По справочнику выписать параметры данных диодов, привести вид конструктивного исполнения диодов. Провести расшифровку маркировки данных диодов.
- На предложенной схеме определить все виды диодов, привести вид конструктивного исполнения диодов. Провести расшифровку маркировки данных диодов.  
Например: схема на рисунке 1, рисунке 2, рисунке 3

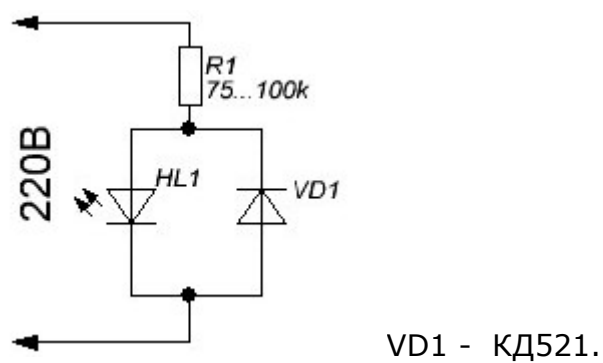


Рисунок 1.

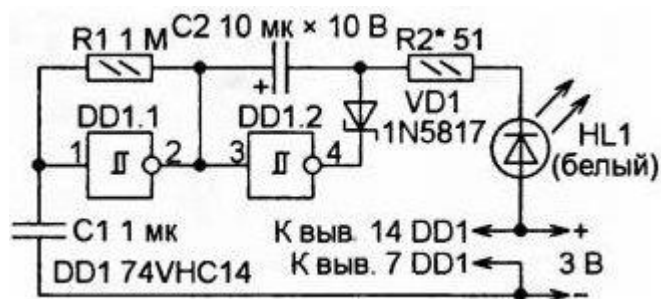


Рисунок 2.

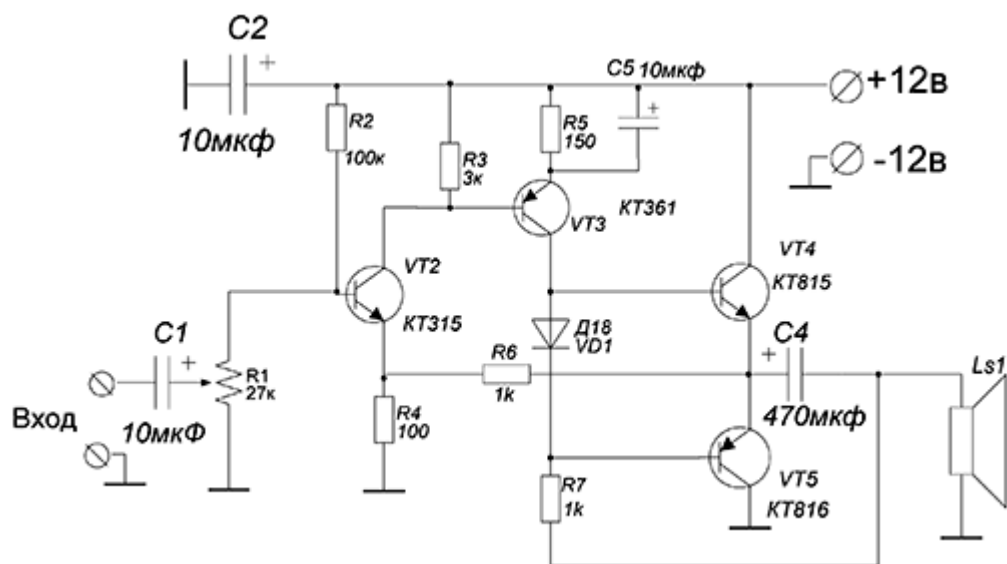


Рисунок 3.

Ответить на контрольные вопросы:

1. Виды полупроводниковых диодов.
2. Маркировка полупроводниковых диодов

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- принципы функционирования полупроводниковых диодов;

Уметь:

- различать полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры на схемах и в изделиях;

## Лабораторная работа № 5

Снятие статических ВАХ биполярных транзисторов.

**Цель работы:** экспериментальное исследование характеристик транзистора включенного по схеме с общей базой

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim

**Порядок выполнения работы:**

1. Запускаем Multisim: Пуск -> Все программы -> National Instruments -> Circuit Design Suite 10.1 -> Multisim 10.1
2. Откроется окно программы:

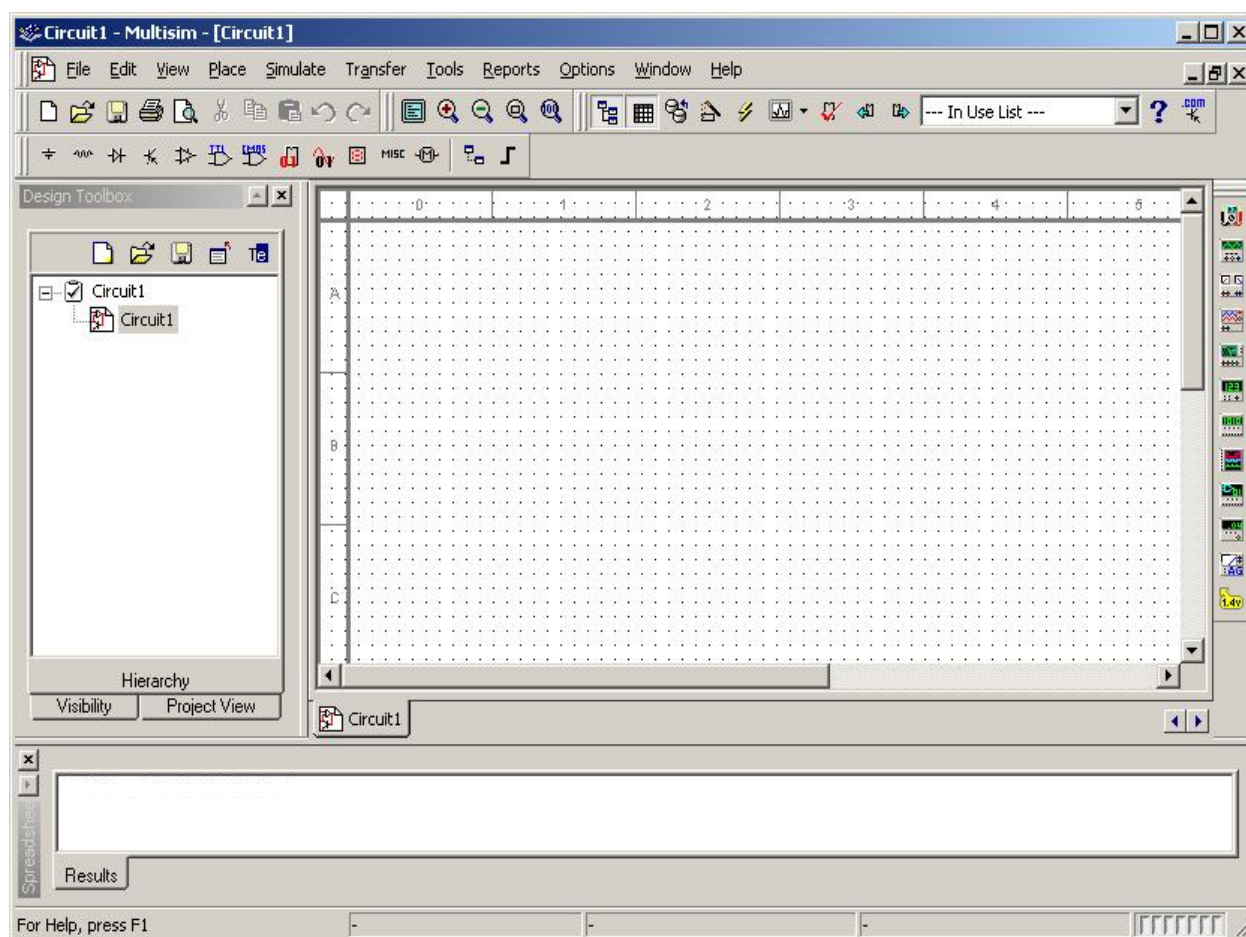


Рисунок 1.1: Окно программы Multisim

Для работы необходимо собрать схему исследования для снятия входных ВАХ:

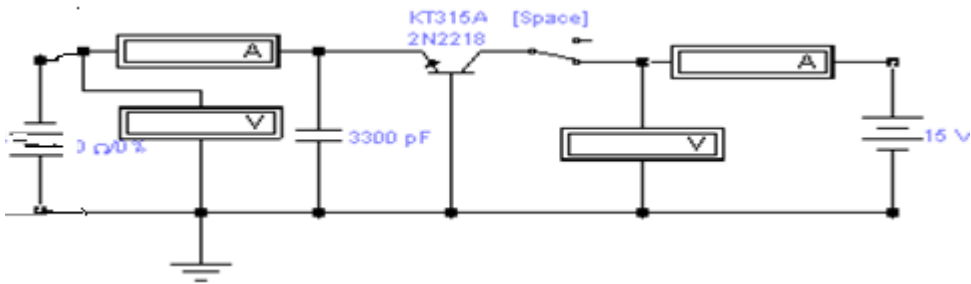


Рисунок 1.

- транзистор 2N2222A (КТ315 А);
  - приборы для измерения тока и напряжения на входе и выходе схемы;
  - генератор напряжения на входе ( $\Gamma N_{вх}$ );
  - генератор напряжения на выходе ( $\Gamma N_{вых}$ );
1. Изменяя входное напряжение ( $U_{эб}$ ) генератором входного напряжения от 0 до 0,9 В, снимите **входные ВАХ** транзистора  $I_э=f(U_{эб})$  при напряжении коллектора ( $U_{кб}$ ) 0; 5; 10 В (устанавливать выходным генератором напряжения)
  2. Результаты измерений занести в таблицу 1

Таблица 1.

		Uэб, В					
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9
Uкб=0 В	Iэ						
Uкб=5 В	Iэ						
Uкб=10 В	Iэ						

5. Собрать схему исследования для снятия выходных ВАХ.

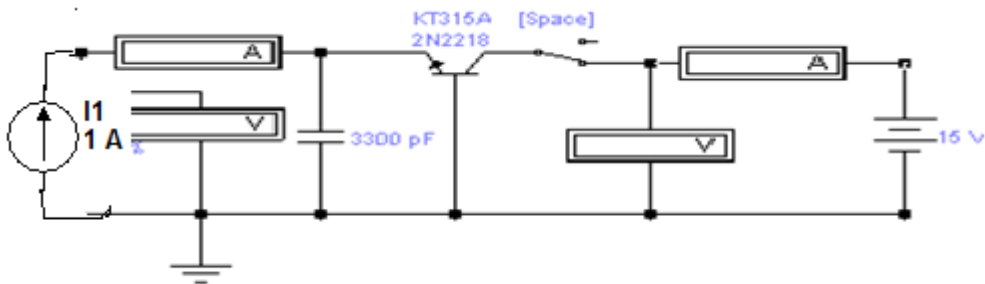


Рисунок 2.

- транзистор 2N2218 (КТ315 А);
- приборы для измерения тока и напряжения на входе и выходе схемы;
- генератор тока на входе ( $ГТ_{вх}$ );
- генератор напряжения на выходе ( $ГН_{вых}$ ).

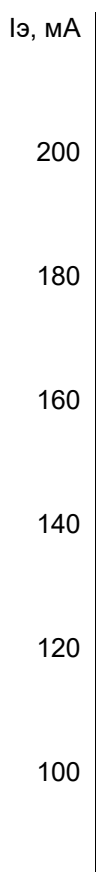
6. Изменяя напряжение коллектора ( $U_{кб}$ ) (регулировать генератором выходного напряжения) от 0 до 10 В снять **выходные ВАХ**  $I_{к}=f(U_{кб})$  при установке эмиттерного тока ( $I_{э}$ ) 10, 20 и 30 мА (ток устанавливать генератором входного тока).

7. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

		U <sub>кб</sub> , В					
		0	0.2	0.5	1	5	10
I <sub>э</sub> =10 мА	I <sub>к</sub>						
I <sub>э</sub> =20 мА	I <sub>к</sub>						
I <sub>э</sub> =30 мА	I <sub>к</sub>						

6. По данным измерений постройте входные и выходные характеристики транзистора.



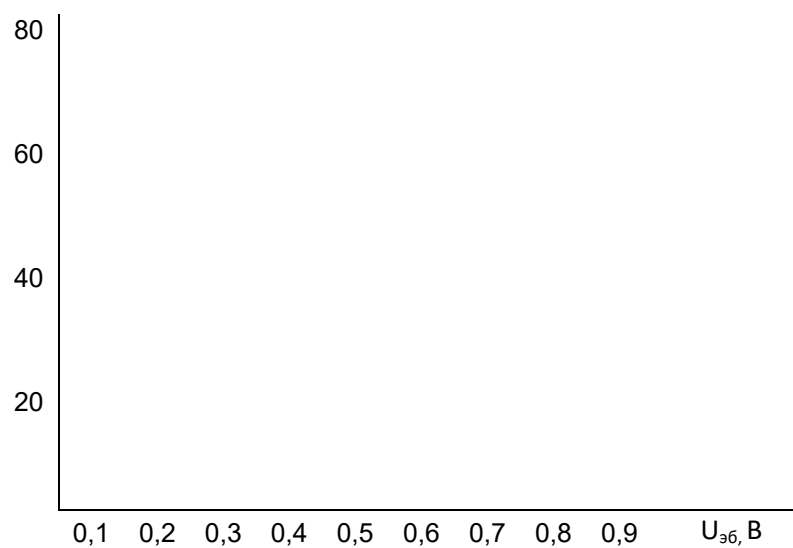


Рисунок 1. Сетка для построения входных ВАХ.





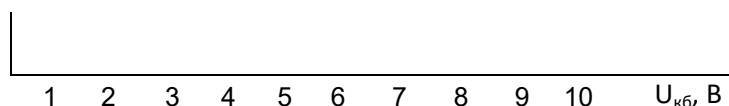


Рисунок 2. Сетка для построения выходных ВАХ.

7. По характеристикам определить параметры транзисторов:

- а) входное сопротивление транзистора  $R_{вх} = \Delta U_{эб} / \Delta I_{э}$ ;
- б) выходное сопротивление транзистора  $R_{вых} = \Delta U_{кб} / \Delta I_{к}$ ;
- в) коэффициент усиления транзистора  $b = \Delta I_{к} / \Delta I_{э}$

### Ответить: на контрольные вопросы:

1. Определение биполярного транзистора.
2. Виды биполярных транзисторов.
3. Принцип действия биполярных транзисторов (пояснить полярности и значения величин приложенных напряжений и виды токов).
4. Схемы включения биполярных транзисторов (зарисовать каждую для транзисторов р-п-п и п-р-п, проставить полярности напряжений и направления протекающих токов).
5. h-параметры биполярных транзисторов, их физическое значение. (в каких диапазонах принимают значения для схемы с ОБ, ОЭ).

### Выполнив работу, студент должен:

#### Знать:

-технологию изготовления и принципы функционирования транзисторов,;

#### Уметь:

- различать биполярные транзисторы на схемах и в изделиях;

## Практическая работа № 6

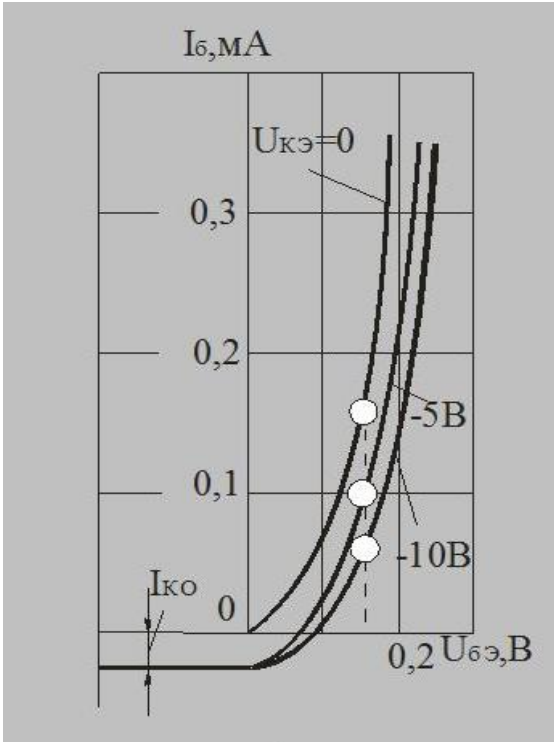
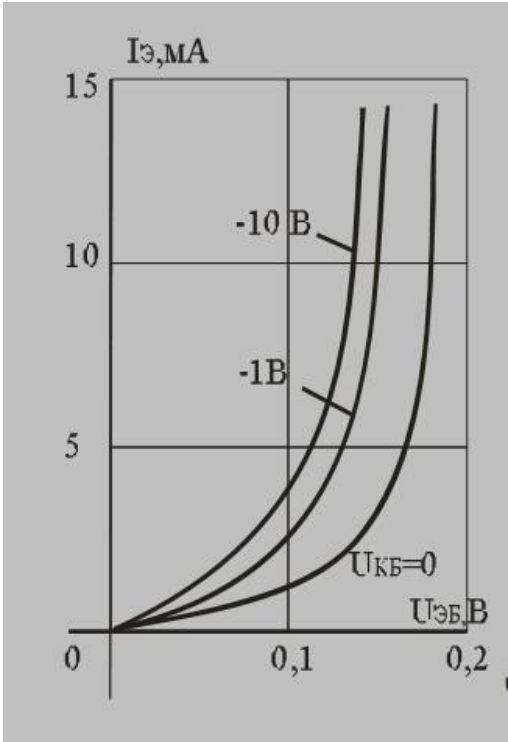
Определение h- параметров по статическим характеристикам.

**Цель работы:** закрепить знания о параметрах транзисторов.

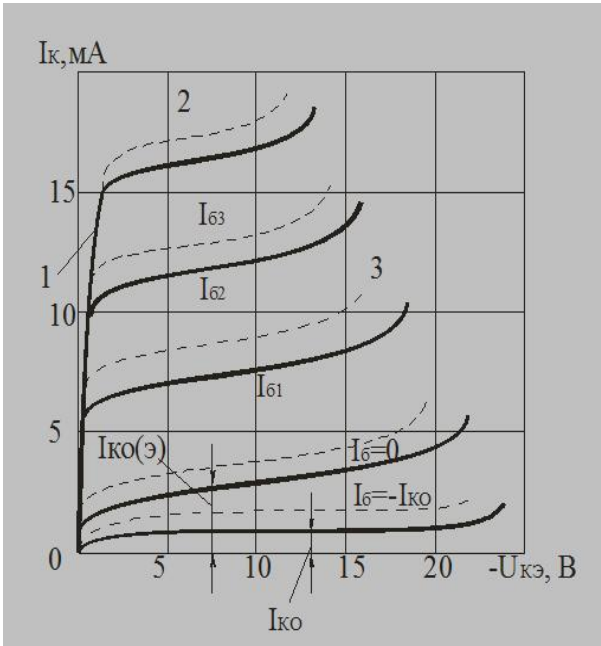
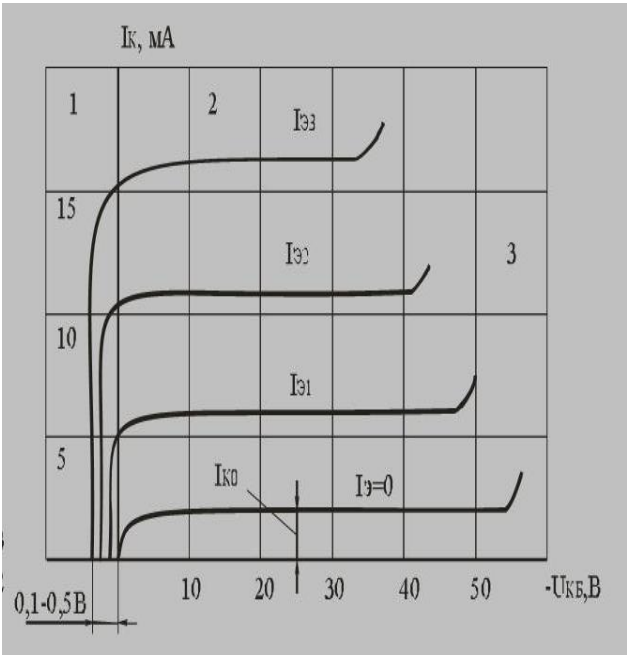
**Оборудование:** раздаточный материал с ВАХ транзисторов, методическое пособие по расчетам h-параметров

### Порядок выполнения работы

1. По входным ВАХ для схемы с ОБ и схемы с ОЭ рассчитать параметры  $h_{11}$ ,  $h_{12}$



2. По выходным ВАХ для схемы с ОБ и схемы с ОЭ рассчитать параметры  $h_{21}$ ,  $h_{22}$ .



3. Заполнить таблицы.

Таблица 1.

Схема с ОБ			
Параметр	Физический смысл	Формула для расчета	Диапазон принимаемых значений.
h11	Входное сопротивление	$h_{11э} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_{бэ}$ $U_{кэ} = \text{const}$	
h12	Коэффициент обратной связи по напряжению	$h_{12э} = dU_1 / dU_2 \approx \Delta U_{бэ} / \Delta U_{кэ}$ при $I_{э} = \text{const}$	
h21	Коэффициент усиления тока базы	$h_{21э} = \beta = \Delta I_{кэ} / \Delta I_{бэ}$ при $U_{кэ} = \text{const}$	
h22	Выходная проводимость	$h_{22э} = \Delta I_{кэ} / \Delta U_{кэ}$ при $I_{э} = \text{const}$	

Таблица 2.

Схема с ОЭ			
Параметр	Физический смысл	Формула для расчета	Диапазон принимаемых значений.
h11	Входное сопротивление	$h_{11э} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_{бэ}$ $U_{кэ} = \text{const}$	
h12	Коэффициент обратной связи по напряжению	$h_{12э} = dU_1 / dU_2 \approx \Delta U_{бэ} / \Delta U_{кэ}$ при $I_{э} = \text{const}$	
h21	Коэффициент усиления тока базы	$h_{21э} = \beta = \Delta I_{кэ} / \Delta I_{бэ}$ при $U_{кэ} = \text{const}$	

h <sub>22</sub>	Выходная проводимость	$h_{22э} = \Delta I_k / \Delta U_{кэ}$ при $I_э = \text{const}$	
-----------------	--------------------------	--	--

### Ответить: на Контрольные вопросы

1. Пояснить назначение h-параметров для транзисторов.
2. Сравнить h-параметры схем с ОБ и ОЭ. Пояснить разницу.

### Выполнив работу, студент должен:

#### Знать:

- технологию изготовления и принципы функционирования транзисторов.

#### Уметь:

- различать биполярные транзисторы на схемах и в изделиях;

## Лабораторная работа №7

### Снятие ВАХ униполярных транзисторов с управляющим затвором

**Цель работы:** углубить знания о полевых транзисторах. Экспериментально исследовать статические ВАХ и рассчитать дифференциальные параметры полевых транзисторов в заданной рабочей точке.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему исследования транзистора, изображенную на рисунке 1.

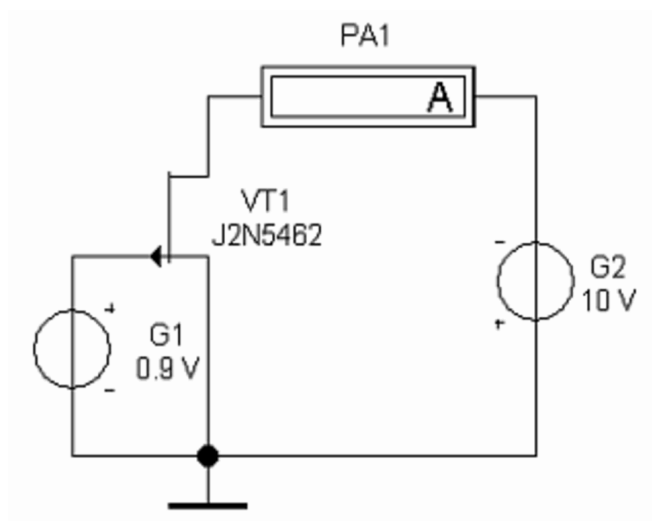


Рисунок 1 – Схема для исследования полевого транзистора.

2. Произвести измерения и занести результаты в таблицу1 (для ВАХ стоко-затворной).

Таблица 1 – Данные для построения стоко - затворных характеристик.

Напряжение затвор - исток <b>U<sub>зи</sub></b> , В		0	0,5	1	1,5	2	2,5
Ток стока <b>I<sub>ст</sub></b> , мА	U <sub>си</sub> = 2 В						
	U <sub>си</sub> = 10 В						

3. Произвести измерения и занести результаты в таблицу 2 (для ВАХ стоковых)

Таблица 2 – Данные для построения стоковых характеристик.

Напряжение сток - исток <b>U<sub>си</sub></b> , В		1	2	3	5	8	9	10
Ток стока <b>I<sub>ст</sub></b> , мА	U <sub>зи</sub> = 0 В							
	U <sub>зи</sub> = 0,6 В							
	U <sub>зи</sub> = 1,2 В							

3. Построить стоко - затворные характеристики в координатных осях.

I<sub>ст</sub>,  
А

10

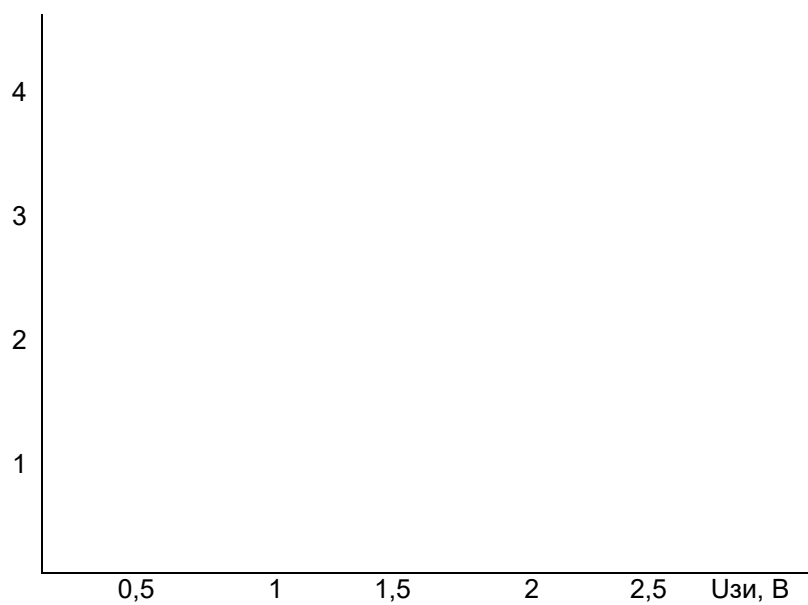
9

8

7

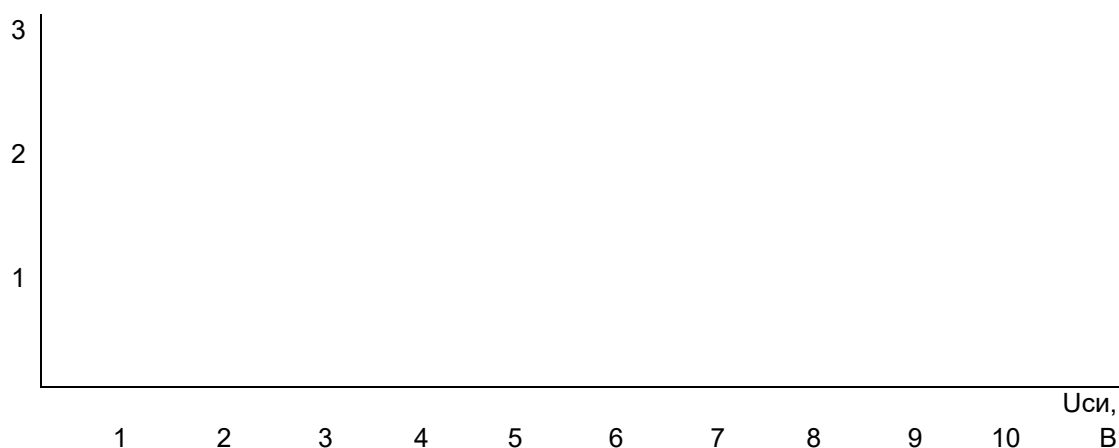
6

5



4. Построить стоковые характеристики в координатных осях.





5. Рассчитать.

а) внутреннее (выходное) сопротивление  $r_i$  – представляет собой сопротивление транзистора между стоком и истоком (сопротивление канала) для переменного тока:

$$r_i = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c} \quad \text{при } U_{зи} = 0,6 \text{ В;}$$

б) крутизну стоко-затворной характеристики:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \quad \text{при } U_{си} = 2 \text{ В,}$$

отображает влияние напряжения затвора на выходной ток транзистора;

Учесть.

$$r_{вх} = \frac{\Delta U_{зи}}{\Delta I_з}$$

входное сопротивление при  $U_{си} = \text{const}$  транзистора определяется сопротивлением р-п-переходов, смещенных в обратном направлении. **Входное сопротивление полевых транзисторов с р-п- переходом довольно велико (достигает единиц и десятков мегаом), что выгодно отличает их от биполярных транзисторов.**

### Ответить на контрольные вопросы:

1. Какого типа ПТ применен в лабораторной работе. Пояснить принцип действия данного транзистора.
2. Какого типа ПТ еще существуют. Пояснить принцип действия этих транзисторов, привести их УГО и ВАХ.
3. Перечислите области применения ПТ.
4. Почему ПТ обладает усилительными свойствами?
5. Параметры ПТ.

### Выполнив работу, студент должен:

#### **Знать:**

-технологию изготовления и принципы функционирования полупроводниковых транзисторов;

#### **Уметь:**

- различать полупроводниковые биполярные и полевые транзисторы на схемах и в изделиях;

Практическая работа №8

Работа со справочниками, схемами, печатными платами. Конструктивное исполнение транзисторов. Расшифровка маркировки.

**Цель работы:** научиться различать транзисторы на схемах, печатных платах, получить опыт работы со справочниками.

**Оборудование:** Набор печатных плат и транзисторов различных видов.

**Порядок выполнения работы:**

- 1. На предложенной плате определить все транзисторы
- Например:

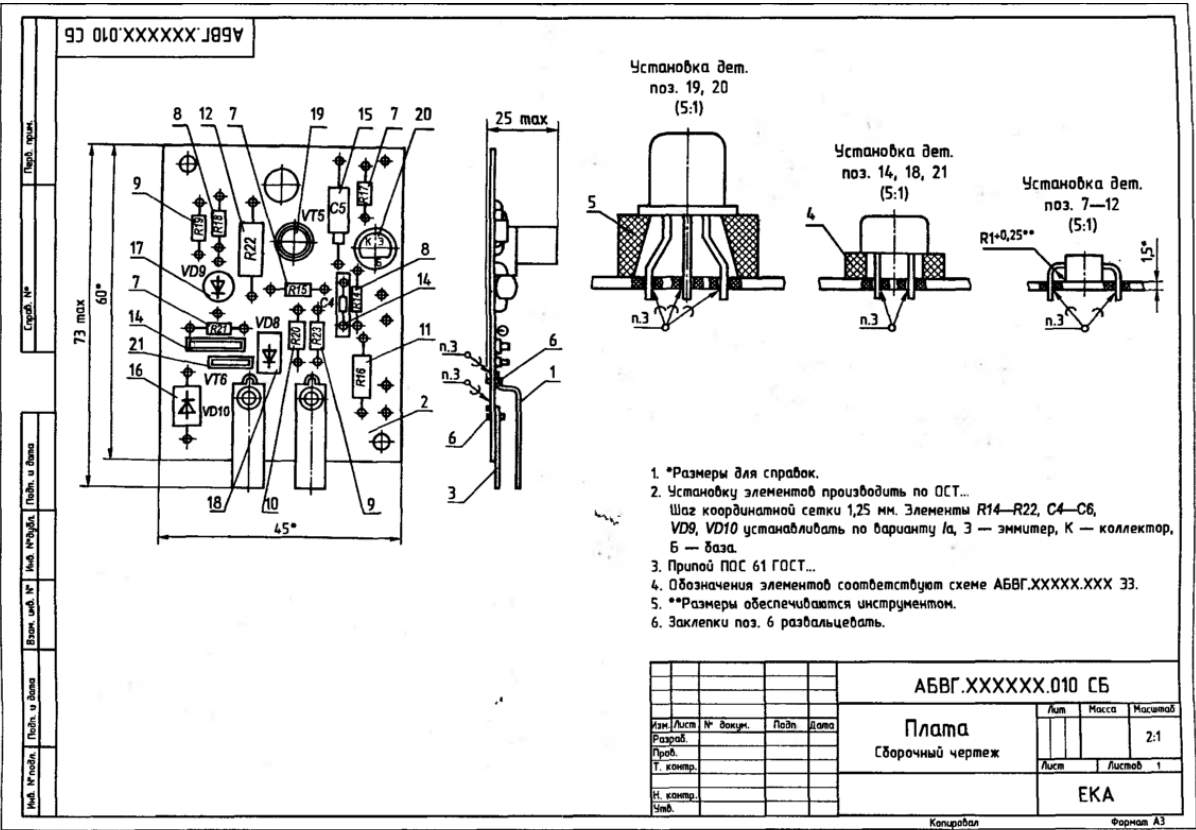


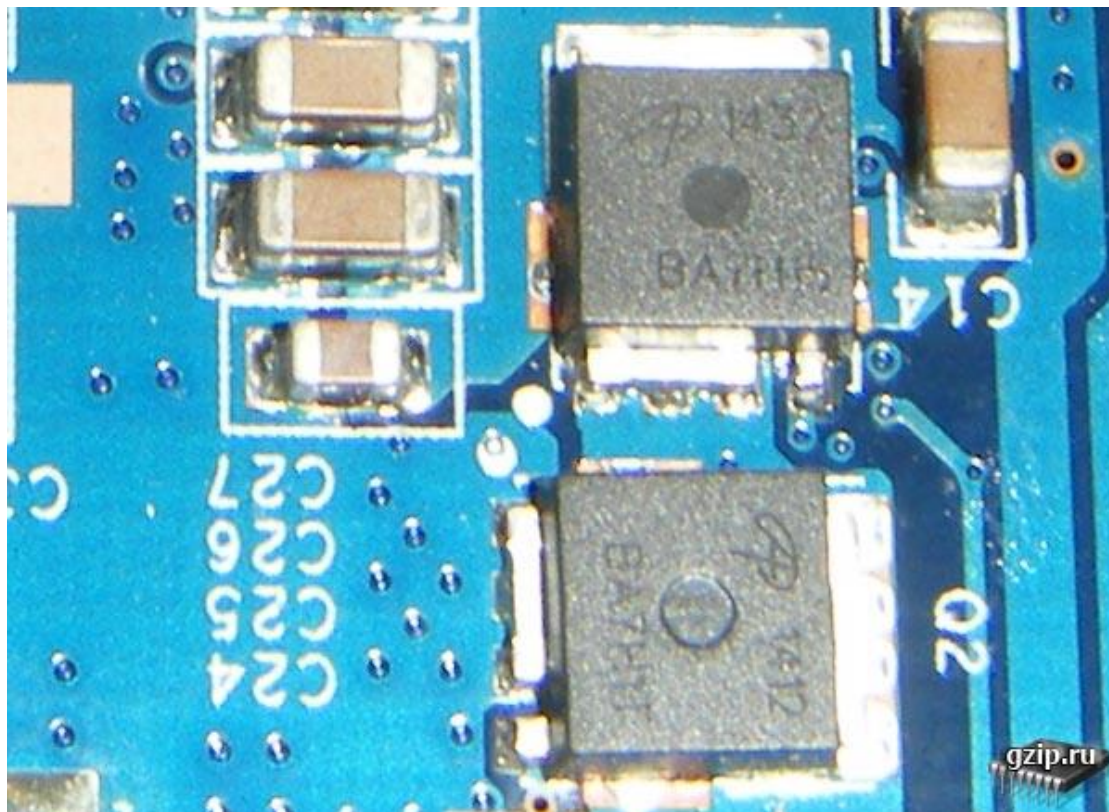
Рис. 4.31. Сборочный чертеж печатной платы



Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
Перв. прим.	Справ. №				Прочие изделия		
					Конденсаторы		
			14		КМ-58-Н90-0,068 мкФ±10%		
					... ТУ	2	C4,C6
			15		К53-14-10В-15 мкФ±20%		
					... ТУ	1	C5
					Диоды полупроводниковые		
			16		КД 105Б ... ТУ	1	VD10
			17		КД 102А ... ТУ	1	VD9
Подл. и дата	Справ. №		18		Стабилитрон КС533А		
					... ТУ	1	VD8
					Транзисторы		
			19		КТ3102Б ... ТУ	1	VT5
			20		КТ3107Б ... ТУ	1	VT4
			21		КТ814Д ... ТУ	1	VT6
Инв. № подл.							
	АБВГ.ХХХХХХ.010						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист		
					2		

Копировал \_\_\_\_\_ Формат А4

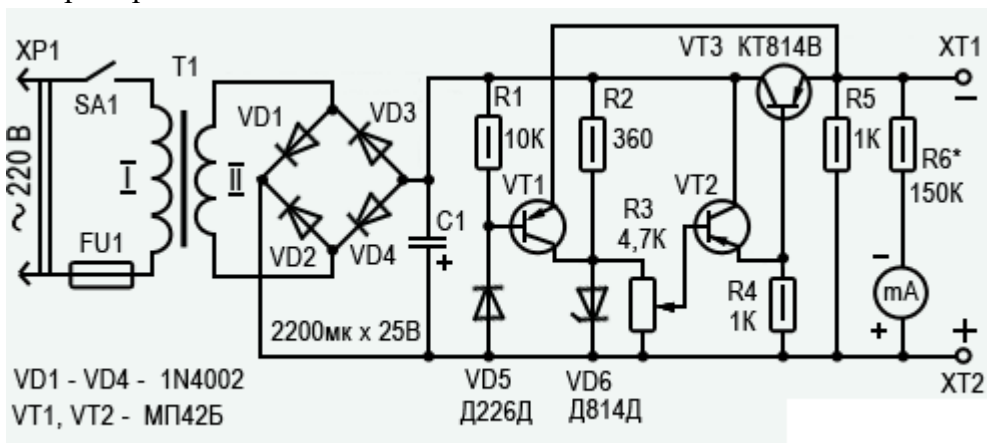
Рис. 4.33. Продолжение спецификации сборочного чертежа печатной платы



На плате транзисторы с маркировкой 1412 и 1432 это полевые транзисторы марки AOL1412 и AOL1432 в корпусах LFPAK/

2. По справочнику выписать параметры данных транзисторов, привести вид конструктивного исполнения транзисторов. Провести расшифровку маркировки данных транзисторов.
3. На предложенной схеме определить все виды транзисторов, привести вид конструктивного исполнения этих транзисторов. Провести расшифровку маркировки данных транзисторов.

Например:



Ответить на контрольные вопросы:

1. Виды транзисторов.
3. Маркировка транзисторов

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- принципы функционирования транзисторов;

Уметь:

- различать биполярные и полевые транзисторы на схемах и в изделиях;

### Лабораторная работа №9

#### Исследование работы тиристора в качестве регулятора мощности

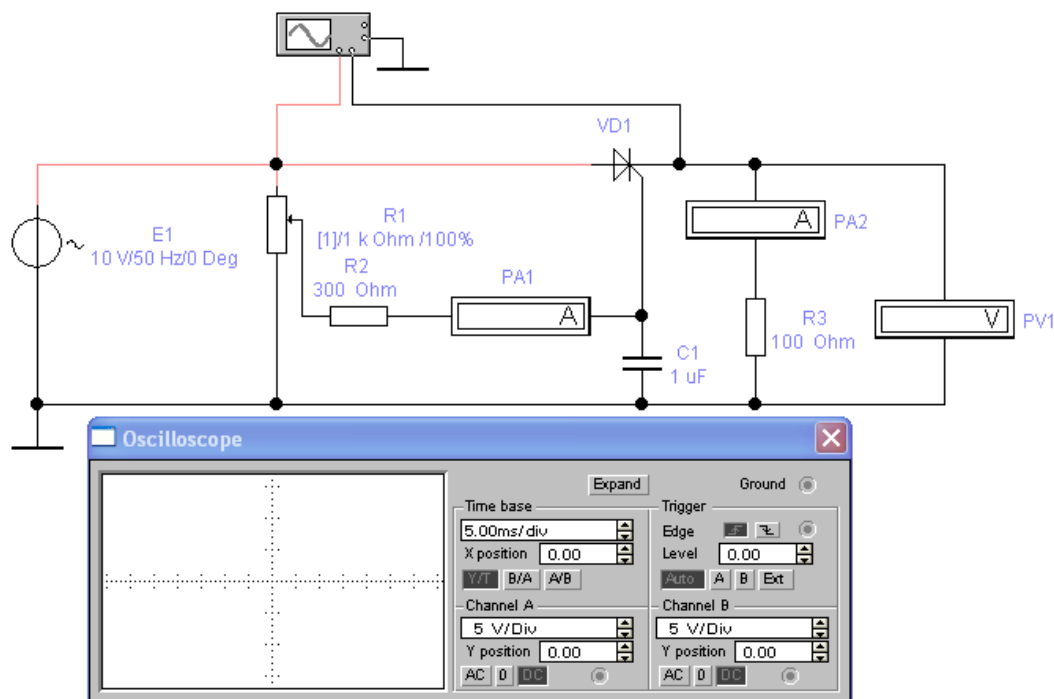
**Цель работы:** Изучение особенностей работы тиристорных цепей постоянного и переменного тока.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim

**Порядок выполнения работы:**

**Задание 1:** Исследовать работу тиристора в качестве регулятора мощности.

Схема для исследования приведены на следующем рисунке



Принцип работы схемы.

При положительной полуволна питающего 10-вольтного напряжения ток проходит через электрическую цепь R1, R2, А и заряжает конденсатор C1. Как только U превысит напряжение включения тиристора VD1, последний откроется и пропустит часть положительной полуволны в нагрузку R3.

Изменяя общее сопротивление  $R_1$ , можно получить регулируемое выходное напряжение, для непосредственного измерения которого предназначен стрелочный вольтметр PV1.

Изменение положение движка переменного резистора  $R_1$  (величина значения процентов) выполняется нажатием клавиши Ctrl+ F3 для уменьшения значения.

### Порядок выполнения задания

1. Включить питание схемы исследования при положении движка переменного резистора  $R_1$  - 100 % (измерение 1)

На осциллографе установить все значения как на рисунке. С помощью **Y position**

разнести эпюры напряжения на входе и выходе тиристора на экране осциллографа для удобства наблюдения эпюр напряжений.

2. Уменьшать сопротивление резистора  $R_1$  (нажатием клавиши Ctrl+ F3) до состояния включения тиристора, - появления эпюры напряжения на выходе тиристора (измерение 2).

3. По эпюре выходного напряжения определить величину напряжения включения тиристора  $U_{T1}$  и время задержки включения тиристора  $T_z$ , а по показаниям приборов ток управления на момент включения  $I_{упр1}(PA1)$ , ток в нагрузке  $I_n$  (PA2) и напряжение на нагрузке  $U_n(PV1)$ .

4. Уменьшать сопротивление резистора  $R_1$  до 85% и повторить измерения согласно п.3 (измерение 3)

5. Уменьшать сопротивление резистора  $R_1$  до состояния, когда  $T_z = 0$ , - ток в нагрузке не изменяется:  $I_n = \text{const}$ , и по показаниям приборов определить максимальный ток управления, обеспечивающий постоянно открытое состояние тиристора  $I_{упр.max.}(PA1)$  и максимальный действующий ток в нагрузке  $I_n.max$  (PA2) и максимальное действующее напряжение на нагрузке  $U_n.max$  (PV1). (измерение 4)

7. Рассчитать мощность отдаваемую тиристором в нагрузку для выполненных измерений.

8. Результаты измерений свести в таблицу 1.

9. Построить график зависимости передаваемой в нагрузку мощности от тока управления тиристора.

Таблица 1

Измерение	$R_1$ , %	$U_T$ , В	$T_z$ , ms	$I_{упр}$	$I_n$ , мА	$U_n$ , В	$P_n$ , ВА
1	100%						
2							
3							
4							

### Контрольные вопросы

1. Устройство тиристоров.
2. Пояснить ВАХ тиристоров.
3. Устройство и применение динисторов, тринисторов, симисторов

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- принципы функционирования тиристоров;

Уметь:

- различать тиристоры на схемах и в изделиях;

### Практическая работа №10

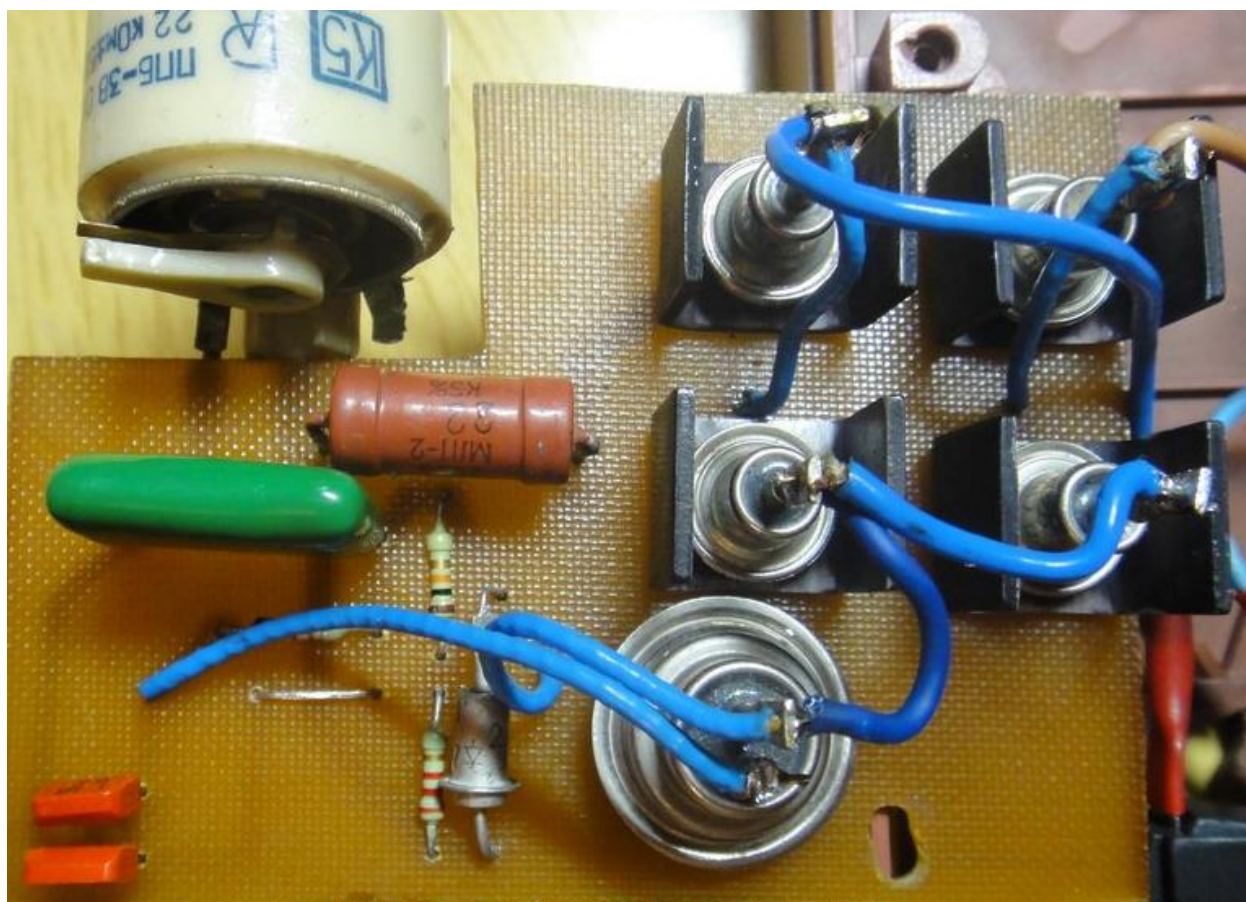
Работа со справочниками, схемами, печатными платами. Конструктивное исполнение тиристоров. Расшифровка маркировки.

**Цель работы:** научиться различать тиристоры на схемах, печатных платах, получить опыт работы со справочниками.

**Оборудование:** Набор печатных плат и тиристоров различных видов.

**Порядок выполнения работы:**

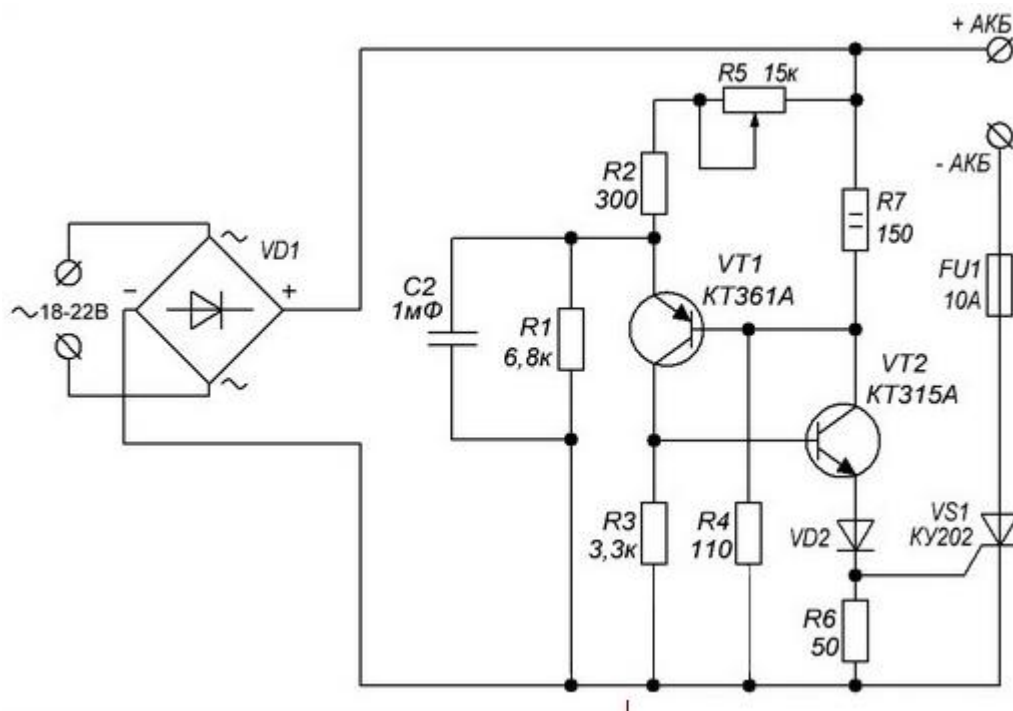
1. На предложенной плате определить все тиристоры  
Например:



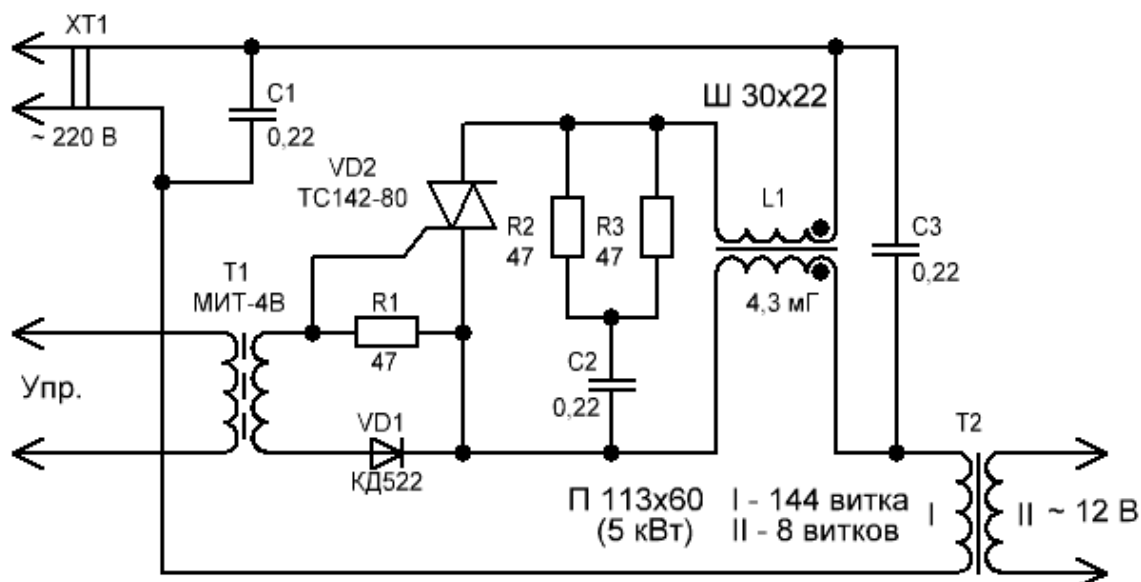
тиристор КУ202, Т122

2. По справочнику выписать параметры данных тиристоров, привести вид конструктивного исполнения тиристоров. Провести расшифровку маркировки данных тиристоров.

3. На предложенной схеме определить все виды тиристоров, привести вид конструктивного исполнения этих тиристоров. Провести расшифровку маркировки данных тиристоров.



или



Ответить на контрольные вопросы:

1. Виды тиристоров.
4. Маркировка тиристоров



**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- принципы функционирования тиристорных;

Уметь:

- различать тиристоры на схемах и в изделиях;

## Лабораторная работа №11

### Исследование усилителей с разными схемами включения

**Цель работы:** исследование усилительных свойств транзисторов.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim.

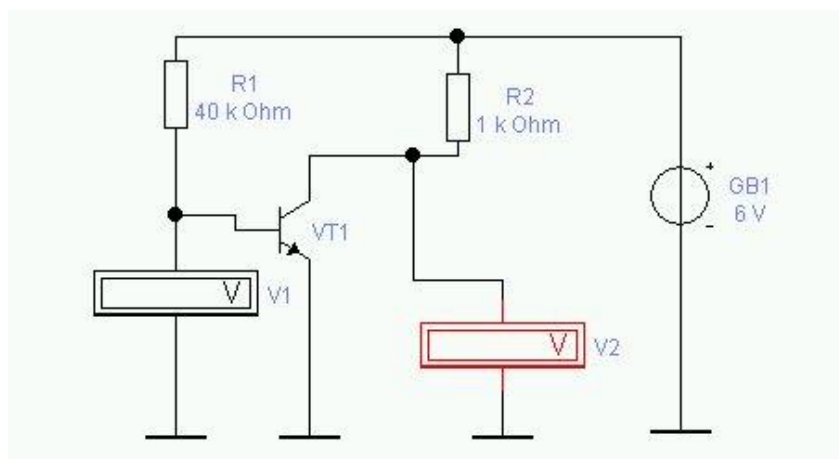
#### Порядок выполнения работы:

По определению транзистора, малый ток базы управляет большим током в цепи коллектор - эмиттер (в схеме с ОЭ).

Для создания усилительного каскада по схеме с ОЭ, следует создать начальный ток базы, такой, чтобы транзистор находился в рабочем режиме. В нашей схеме транзистор сначала находится в одном крайнем режиме, называемом режим отсечки (сопротивление К - Э стремится к бесконечности). Второй крайний режим называется режимом насыщения, то есть когда на базу поступает максимальный ток, который уже никак не влияет на ток проходящий в цепи К-Э (ток коллектора). В этом случае говорят, что транзистор открыт и коллекторный ток определяется сопротивлением нагрузки, а сопротивление перехода К - Э можно принять равным 0. Между двумя этими точками, посередине находится рабочий ток (**рабочая точка**) базы транзистора.

На практике, для определения рабочего режима транзистора используют измерение не тока, а напряжения на базе и на участке К-Э. Включение вольтметра не требует разрыва цепи.

**I.** Для определения **рабочей точки** следует собрать схему, показанную на рисунке:

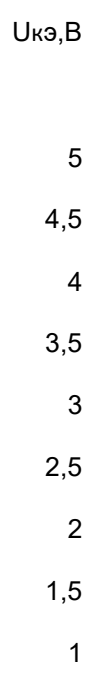


Через резистор R1 подаётся напряжение смещения, которое создаёт ток базы. Сопротивление R1, в процессе эксперимента, мы будем изменять от 40 до 300 кОм, с шагом 20 кОм. Вольтметром V1 будем измерять напряжение база - эмиттер, а вольтметром V2, напряжение коллектор - эмиттер.

Результаты измерений лучше заносить в таблицу 1,

<b>R1. кОм</b>	<b>Uбэ, мВ</b>	<b>Uкэ, В</b>	<b>№ изм.</b>
<b>40</b>			
<b>60</b>			
<b>80</b>			
<b>100</b>			
<b>120</b>			
<b>140</b>			
<b>160</b>			
<b>180</b>			
<b>200</b>			
<b>220</b>			
<b>240</b>			
<b>260</b>			
<b>280</b>			
<b>300</b>			

По результатам измерений построим график для изменения напряжения коллектор - эмиттер (КЭ):







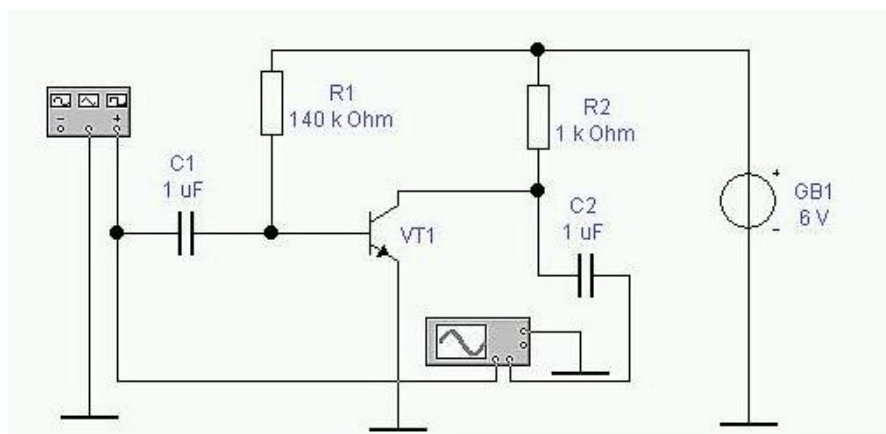
Определить:

А) при каких номерах измерения напряжение КЭ практически не меняется и близко к 0. Этот режим называется **режим насыщения**. В таком режиме каскад усилителя будет работать с сильными искажениями сигнала, так как усиление будет производиться только отрицательных полуволн сигнала.

Б) при каких номерах измерения напряжение на коллекторе максимально и практически не меняется. Такой режим называется **режимом отсечки**. В этом режиме усиление сигнала будет производиться, так же с большими искажениями, так как усиливаться будут только положительные полуволны сигнала. Каскады с режимом отсечки используются в цифровой технике как ключ с инверсией - логический элемент "НЕ".

Для выбора рабочей точки транзистора в качестве усилителя следует рассчитать рабочую точку **В** на графике. Для этого, следует напряжение базы в точке, соответствующей заканчивающемуся участку насыщения **А** сложить с напряжением базы в точке **С**, соответствующей началу режима отсечки и поделить пополам (найти среднее арифметическое). Это напряжение на базе транзистора и **соответствует рабочей точке В** каскада с общим эмиттером.

## II. Собрать схему для исследования усилителя с ОЭ.



Пояснения:

Подключим ко входу усилителя генератор, а ко входу и выходу осциллограф. Вход усилителя соединим с каналом А, осциллографа, а выход усилителя с каналом В. Для развязки усилительного каскада по переменному току на входе каскада установим конденсаторы C1 и C2.

**На генераторе установим:**

- частоту генератора **1000 Гц (1 кГц)**, а амплитуду сигнала **10 мВ**.

**На осциллографе установим:**

-Time base (время развёртки) **0,5 миллисекунд на деление;**

-Channel A (чувствительность канала А) - **10 mV/Div** (10 милливольт на деление);

- Channel B (чувствительность канала В) - **1 V/Div** (1 вольт на деление).

Включить схему.

Для удобного считывания показаний осциллографа, следует синусоиду входного сигнала опустить **ниже оси Y** (Y position установить -2), а синусоиду выходного сигнала **выше оси Y** аналогичным образом (Y position установить +2).

Зарисовать в масштабе полученные осциллограммы.

**Обратить внимание** на то, что выходной сигнал перевёрнут относительно входного на 180 градусов.

Измерить амплитудные значения входного и выходного сигналов.

Отношение выходного напряжения сигнала к входному называется коэффициентом усиления по напряжению транзистора. Рассчитаем усиление нашего транзистора  $K_u = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$

Результаты исследования занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Осциллограмма входного сигнала ОЭ (в масштабе)	Амплитуда входного сигнала $U_{\text{мвх}}$	Коэффициент усиления каскада по напряжению $K_u = U_{\text{мвых}}/U_{\text{мвх}}$
Осциллограмма выходного сигнала ОЭ (в масштабе)	Амплитуда выходного сигнала $U_{\text{мвых}}$	

--	--	--

Для транзисторного каскада с ОЭ справедливы следующие значения:  
Ки - от 50 до 1500

Ки (коэффициент усиления тока) - 10-20

Кр (коэффициент усиления мощности) - 1000-10000

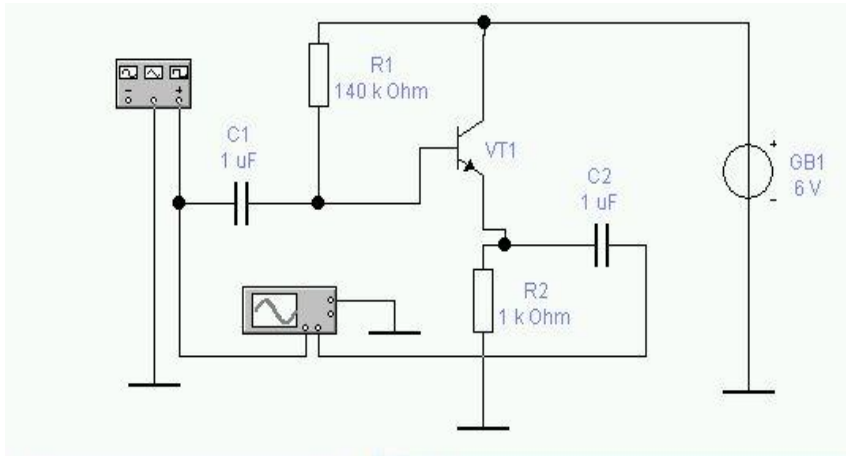
Rвх (входное сопротивление) - 100 ом - 10 ком

Rвых (выходное сопротивление) - 100 ом - 100 ком

Каскад с ОЭ используется, обычно, как усилитель низко- и высокочастотных сигналов.

**Схема включения транзистора с общим коллектором (ОК).**

**III.** Используя те же элементы, переделаем немного схему, включив сопротивление нагрузки в эмиттер транзистора.



**Каскад по схеме с ОК, практически не усиливает по напряжению**, поэтому Чувствительность канала В устанавливаем такую же, как и у канала А:  
-Channel В (чувствительность канала В) - **10 mV/Div** (10 милливольт на деление);  
Все остальное как и в предыдущей схеме.  
Результаты исследования занести в таблицу 2.

Таблица 2.

Осциллограмма входного сигнала ОК (в масштабе)	Амплитуда входного сигнала Umвх	Коэффициент усиления каскада по напряжению $K_u = U_{m\text{вых.}}/U_{m\text{вх}}$
--	---------------------------------------	---

Осциллограмма выходного сигнала ОК (в масштабе)	Амплитуда выходного сигнала $U_{\text{вых}}$	

Для каскада с ОК справедливы следующие значения:

$K_i$  - 10-200

$K_u$  - <1

$K_p$  - 10-200

$R_{\text{вх}}$  - 100 ком - 1 мОм

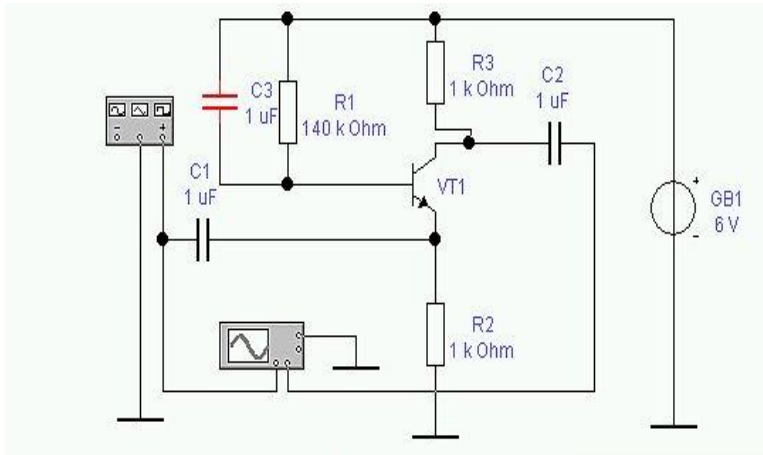
$R_{\text{вых}}$  - 10 ом - 200 ом

Каскад по схеме с ОК, практически не усиливает по напряжению.

Обычно, каскад с ОК используется в электрических схемах, в качестве согласующего, так как имеет высокое входное сопротивление (не шунтирует входной сигнал) и низкое выходное сопротивление. Часто используется в усилителях мощности НЧ, где нагрузку (акустическую систему) можно включить непосредственно в цепь эмиттера.

### **Схема включения транзистора с общей базой (ОБ).**

Переделаем нашу схему для работы каскада с общей базой. В этой схеме база подключается к положительному проводу источника питания через сопротивление смещения. Для корректной работы каскада в цепи переменного тока, базу так же следует "заземлить" через дополнительный конденсатор - СЗ. Сигнал подаётся на эмиттер и снимается с коллектора. В цепи коллектора следует установить дополнительный резистор нагрузки ( $R_3$  величиной 1 кОм).



Установим чувствительность канала В осциллографа равной 50 милливольт на деление:  
-Channel В (чувствительность канала В) - **50 mV/Div** (50 милливольт на деление);  
Остальные настройки прежние.  
Результаты исследования занести в таблицу 3.

Таблица 3.

Осциллограмма входного сигнала ОБ (в масштабе)	Амплитуда входного сигнала $U_{mvx}$	Кoeffициент усиления каскада по напряжению $K_u = U_{mвых.}/U_{mvx}$
Осциллограмма выходного сигнала ОБ (в масштабе)	Амплитуда выходного сигнала $U_{mвых}$	

--	--	--

Реально, каскады с ОБ имеют следующие характеристики:

 $K_i < 1$ 
 $K_u = 5 - 100$ 
 $K_p = 10 - 100$ 
 $R_{вх} = 10 \text{ Ом} - 100 \text{ Ом}$ 
 $R_{вых} = 100 \text{ ком} - 1000 \text{ ом}$ 

Каскады по схеме с ОБ имеют хорошие частотные характеристики и используются в качестве усилителей и генераторов в ВЧ и СВЧ диапазонах.

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- принципы функционирования аналоговых электронных устройств;

Уметь:

- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

## Лабораторная работа №12

### Исследование дифференциального усилителя

**Цель работы:** Изучение принципа действия дифференциального усилительного каскада.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim.

**Порядок выполнения работы:**

#### 1. Собрать схему дифференциального усилительного каскада, изображенную на рисунке 1.

Схема для исследования ДУ программным пакетом Multisim показана на рис. 1. Она содержит элементы задания статического режима, блокировочный конденсатор в цепи питания, источники входного сигнала с внутренними сопротивлениями, а также контрольно-измерительные приборы. Изменяя фазу источников входных сигналов, можно имитировать чисто синфазные входные сигналы (фаза обоих источников выбирается одинаковой, амплитуда — не более напряжения питания  $U_{cc}$ ), дифференциальные сигналы (параметры источников показаны на рис.1), смешанный режим (фазы отличаются на несколько градусов, амплитуда — несколько меньше  $U_{cc}$ ).

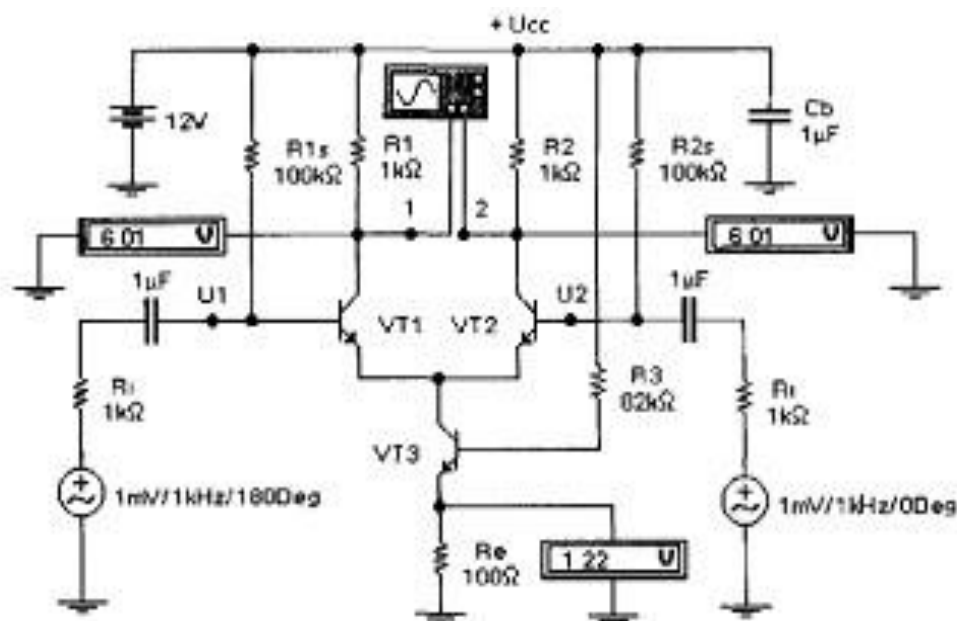


Рисунок 1.

2. Установить вольтметры измеряющие выходные напряжения в режим измерения переменного напряжения.

3. Установить параметры источников входных сигналов в соответствии со схемой.

Для изменения фазы сигнала в диалоговом окне AC Voltage Source Properties (Свойства источника переменного напряжения) установите

фазу сигнала  $\Phi$  на входе 1 =(Phase) сигнала  $180^\circ$ , а фазу сигнала  $\Phi$  на входе 2  $=0^\circ$  (Phase) (Рисунок 2).

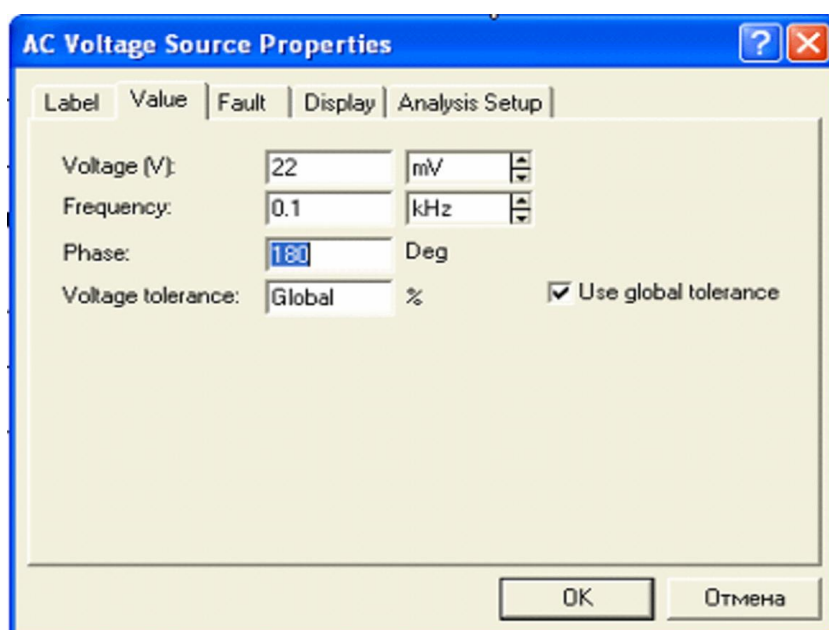


Рисунок 2 – Свойства источника переменного напряжения

#### 4. Включить схему.

На осциллографе установить:

- Time base (время развёртки) 0,5 миллисекунд на деление;
- Channel A (чувствительность канала А) - 50 мВ/дел
- Channel B (чувствительность канала В) - 50 мВ/дел

Для удобного считывания показаний осциллографа, следует сигнал с выхода транзистора

VT1 опустить ниже оси Y (с помощью Y position), а сигнал с выхода транзистора VT2 поднять выше оси Y аналогичным образом с помощью Y position).

5. Наблюдать значение выходного сигнала на вольтметре включенном между коллекторами транзисторов (на схеме не установлен - установить) при поступлении противофазных сигналов одинаковой амплитуды и частоты.

#### 6. Зарисовать полученные осциллограммы.

Данные результатов измерений занести в **таблицу 1**

9. Установить одинаковые значения входных сигналов по амплитуде, частоте и фазе

$U_{вх1} = U_{вх2} = 1 \text{ мВ}$ ;  $F_{вх1} = F_{вх2} = 1 \text{ кГц}$ ;  $\varphi_{вх1} = \varphi_{вх2} = 0^\circ$

10. Включить схему.

11. Записать выходное напряжение и рассчитать коэффициент усиления, зарисовать осциллограммы.

Данные результатов измерений занести в **таблицу 2**

7. Изменить амплитуду одного из сигналов  $U_{вх1} = 0 \text{ мВ}$ ,  $U_{вх2} = 1 \text{ мВ}$

8. Записать значение выходного напряжения и рассчитать коэффициент усиления.

Зарисовать полученные осциллограммы.

12. Результаты измерений занести в **таблицу 3**.

13. Сделать выводы.

Таблица 1

$U_{вх1} =$	
$U_{вх2} =$	
$F_{вх1} =$	
$F_{вх2} =$	



Фаза сигнала $\varphi_{vx1} =$	
Фаза сигнала $\varphi_{vx2} =$	
Коэффициент усиления K	
Осциллограммы в масштабе	

Таблица 2

$U_{vx1} =$	
$U_{vx2} =$	
$F_{vx1} =$	
$F_{vx2} =$	
Фаза сигнала $\varphi_{vx1} =$	
Фаза сигнала $\varphi_{vx2} =$	
Коэффициент усиления K	
Осциллограммы в масштабе	

Таблица 3

$U_{vx1} =$	
$U_{vx2} =$	
$F_{vx1} =$	
$F_{vx2} =$	
Фаза сигнала $\varphi_{vx1} =$	
Фаза сигнала $\varphi_{vx2} =$	
Коэффициент усиления K	

Осциллограммы в масштабе	
--------------------------	--

### Контрольные вопросы.

1. Определение усилителя.
2. На какие виды делятся усилители **по виду усиливаемых сигналов**
3. На какие виды делятся усилители **по типу усиливаемой величины)**
4. На какие виды делятся усилители **по диапазону усиливаемых частот**
5. Что собой представляет простейший дифференциальный усилитель?
6. Понятие симметричности плеч каскада.
7. Понятие усиления синфазного сигнала. Какова при этом будет разность потенциалов между коллекторами транзисторов?
8. Назначение резистора в эмиттерной цепи ДУ .
9. Понятие противофазных сигналов. Какова при этом будет разность потенциалов между коллекторами транзисторов? (стр. 3).

### Выполнив работу, студент должен:

#### Знать:

- принципы функционирования аналоговых электронных устройств;

#### Уметь:

- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

## Лабораторная работа №13

### Исследование схем на основе операционного усилителя

**Цель работы:** Изучение возможностей операционного усилителя.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim.

**Порядок выполнения работы:**

## I. ЭКСПЕРИМЕНТ.

**Собрать схему инвертирующего усилителя на ОУ, изображенную на рисунке 1.**

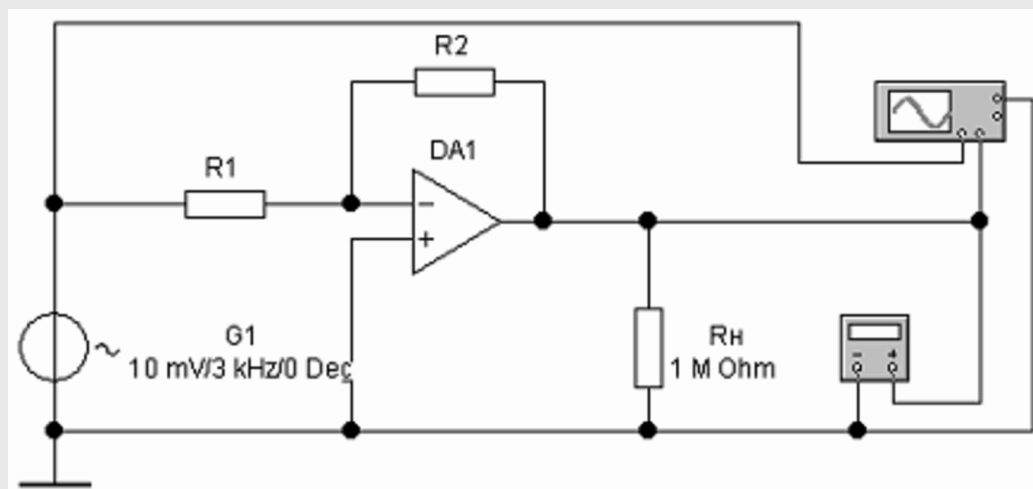


Рисунок 1 – Схема для исследования инвертирующего усилителя на ОУ

2. Установить значение сопротивления резистора  $R1=1\text{кОм}$ .
3. Рассчитать значение сопротивления резистора  $R2$  для коэффициента усиления  $K_u = 100$ . (формулу взять из теории).
4. Установить значение сопротивления резистора  $R2$ .
5. Установить мультиметр на измерение переменного напряжения.
6. Включить схему.
7. Записать показания мультиметра и рассчитать коэффициент усиления.
8. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки. На экране можно наблюдать входной и выходной сигналы

### На осциллографе установить:

- Time base (время развёртки) **0,1 миллисекунд на деление;**
- Channel A (чувствительность канала A) - **выбрать 20 мВ/дел**
- Channel B (чувствительность канала B) - **выбрать 5 В/дел**

Для удобного считывания показаний осциллографа, следует сигнал с входа ОУ опустить **ниже оси Y** (с помощью Y position ), а сигнал с выхода ОУ поднять **выше оси Y** аналогичным образом с помощью Y position).

### Зарисовать полученные осциллограммы.

Экспериментально определить коэффициент усиления ( $K_u$ ) инвертирующего усилителя, где  $K_u = U_{m_{\text{вых}}} / U_{m_{\text{вх}}}$ .

Полученные результаты занести в т

	инвертирующий усилитель
Рассчитанный коэффициент усиления $K_u$	
Экспериментально определенный коэффициент усиления	
Осциллограммы	

## II. ЭКСПЕРИМЕНТ.

9. Собрать схему неинвертирующего усилителя на ОУ, изображенную на рисунке 2.

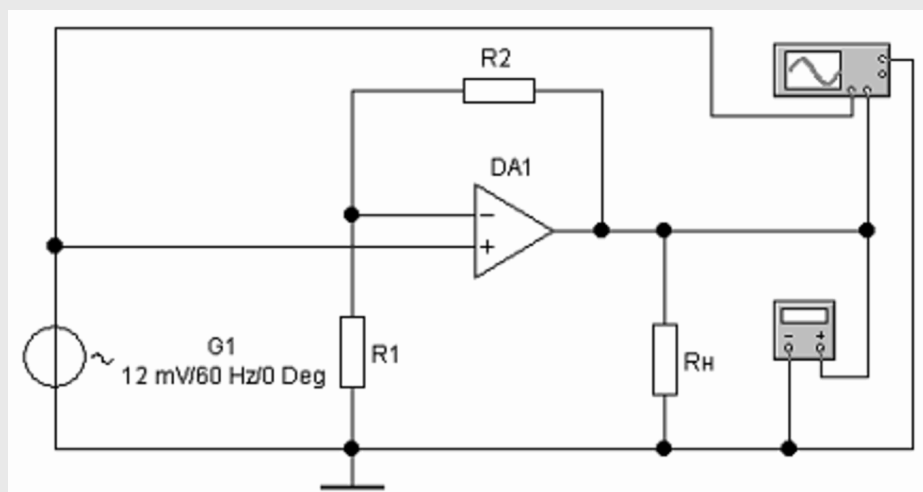


Рисунок 2 – Схема для исследования неинвертирующего усилителя на ОУ

10. Установить значение сопротивления резистора  $R_1 = 2 \text{ кОм}$ .

11. Рассчитать значение сопротивления резистора  $R_2$  для коэффициента усиления,

предложенного в пункте 3.

12. Установить значение сопротивления резистора R2.

13. Установить мультиметр на измерение переменного напряжения.

14. Включить схему.

15. Записать показания мультиметра и рассчитать коэффициент усиления.

16. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.

На экране можно наблюдать входной и выходной сигналы.

### На осциллографе установить:

-Time base (время развёртки) **5 миллисекунд на деление;**

-Channel A (чувствительность канала A) - **выбрать 20 мВ/дел**

- Channel B (чувствительность канала B) - **выбрать 1 В/дел**

Для удобного считывания показаний осциллографа, следует сигнал с входа ОУ опустить **ниже оси Y** (с помощью Y position ), а сигнал с выхода ОУ поднять **выше оси Y** аналогичным образом с помощью Y position).

### Зарисовать полученные осциллограммы.

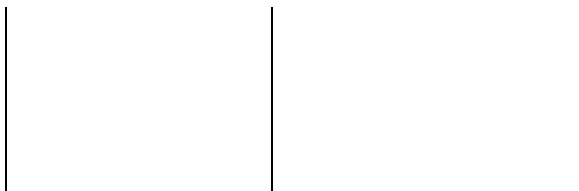
Экспериментально определить коэффициент усиления ( $K_u$ ) инвертирующего усилителя,

где  $K_u = U_{m_{\text{вых}}} / U_{m_{\text{вх}}}$ .

Полученные результаты занести в таблицу

Таблица 2

	неинвертирующий усилитель
Рассчитанный коэффициент усиления $K_u$	
Экспериментально определенный коэффициент усиления	
Осциллограммы	



### Суммирующе-вычитающее устройство

Такое устройство получается объединением сумматора и разностного усилителя. Также как в сумматоре и разностном усилителе для каждого входного напряжения существует свой коэффициент усиления, причем напряжения на неинвертирующем входе имеют положительные коэффициенты усиления, а на инвертирующем — отрицательные.

$$U_{\text{вых}} = \sum K_n U_n - \sum K_m U_m$$

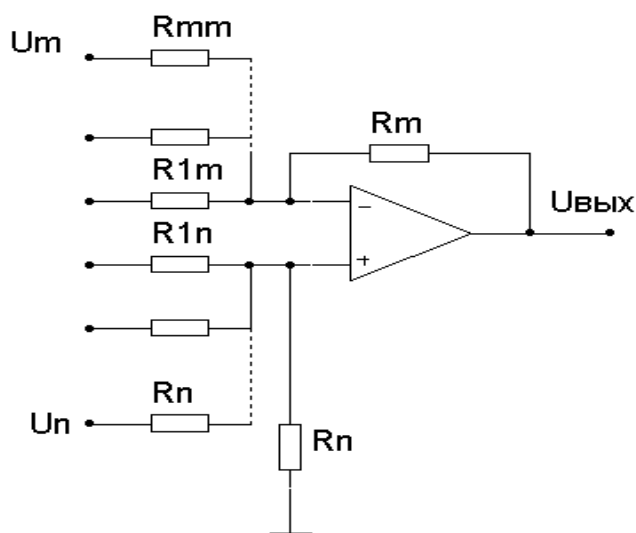
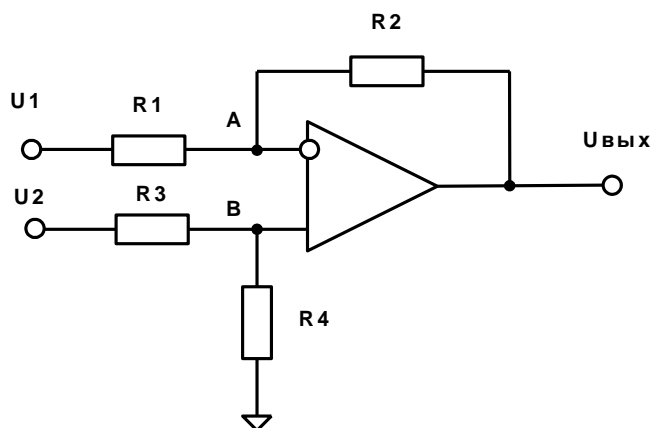


Рисунок 3.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ (ДУ) ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ УСИЛЕНИЯ РАЗНОСТИ ДВУХ ВХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ. СТАБИЛИЗАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ДУ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ С ПОМОЩЬЮ ООС. ДУ НА ОДНОМ ОУ ПРИВЕДЕН НА РИСУНКЕ 4.



## РИСУНОК 4

ПОЛЬЗУЯСЬ ПРИНЦИПОМ СУПЕРПОЗИЦИИ И ФОРМУЛАМИ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСИЛЕНИЯ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО И НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЕЙ, ПОЛУЧИМ ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДУ В ВИДЕ

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_1 \frac{R_2}{R_1}.$$

При выполнении условия  $R_2 R_3 = R_1 R_4$  получаем

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_2 - U_1) \frac{R_2}{R_1}.$$

Необходимо обеспечить точное согласование резисторов  $R_1 - R_4$ , поэтому в ДУ используются прецизионные резисторы.

### III. ЭКСПЕРИМЕНТ.

**Для практического задания** собрать схему по рис. 3, но использовать по два входа прямых и один инверсный, установить все  $R_m$  и  $R_n$  равными 100 кОм.

На вход  $Un1$  подать постоянное напряжение 4 мВ, на вход  $Un1$  постоянное напряжение 1 мВ на вход  $Um$  подать 0 мВ.

На выходе установить вольтметр для измерения постоянного напряжения.

Включить схему.

Измерить выходное напряжение. Результаты эксперимента занести в таблицу 3.

Таблица 3

	1-ый опыт	2-ой опыт
$Un1=$		
$Un2=$		
$Um1=$		
$U_{\text{ВЫХ}}=$		

Остановить работу схемы.

На прямых входах оставить прежние значения напряжений, а на  $Um1$  подать 2 мВ постоянного напряжения.

Включить схему. Измерить выходное напряжение, результаты занести в таблицу 3.

Сделать выводы.

#### **Контрольные вопросы**

1. Достоинства операционного усилителя.
2. Привести УГО ОУ

## 3. Основные применения ОУ

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- свойства идеального операционного усилителя;

Уметь:

- использовать операционные усилители для построения различных схем;

### Лабораторная работа №14

#### Исследование автогенераторов RC - типа.

**Цель работы:** Экспериментальная проверка основных положений теории RC -генераторов.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim.

**Порядок выполнения работы:**

Создайте в multisim для моделирования схему генератора с фазосдвигающей цепочкой (рисунок 1). Рассчитайте параметры генератора для использованных значений параметров элементов RC- цепи. Измерьте период генерации, передвигая мышью вертикальные маркерные линии осциллографа (в режиме Expand). Измените параметры фазовращающей цепочки. Проведите измерения и расчеты периода генерации. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 1.

1. Создайте в multisim схему генератора с фазосдвигающей цепочкой (рисунок 1).

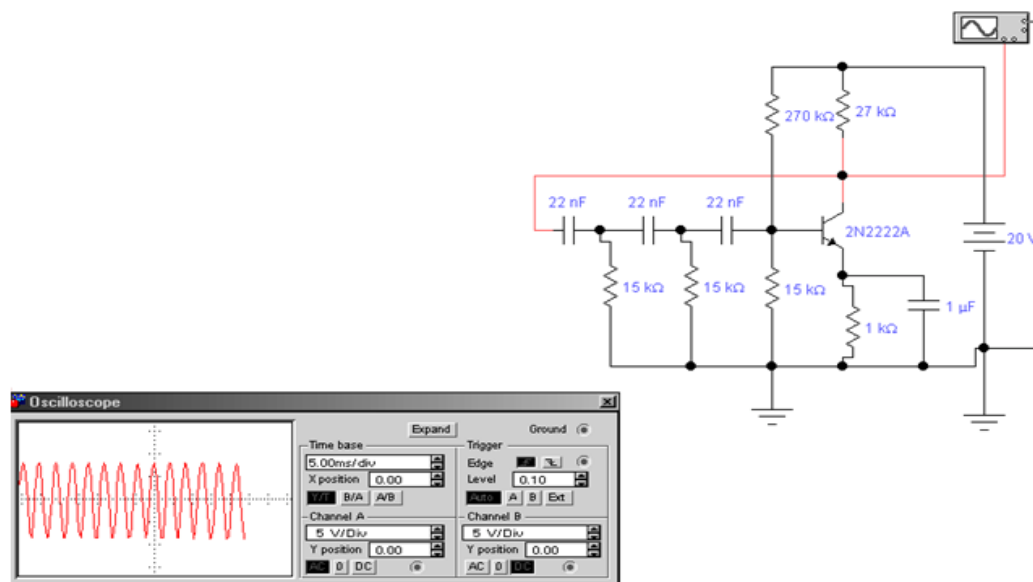


Рисунок 1.

2. Включите схему. Настройте осциллограф.
3. Зарисуйте осциллограмму в масштабе (занесите рисунок в таблицу 1).



4. Измерьте период генерации, передвигая мышью вертикальные маркерные линии осциллографа (в режиме Expand). Результат измерения занести в таблицу 1.

5. Рассчитать частоту сигнала генератора по формуле:

$$F = 1 / T$$

Результат занести в таблицу 1.

6. В схеме изменить значения C, установить C = 50 нФ.

Повторить для данного случая пункты 2- 5.

7. В схеме изменить значения R, установить R=30 кОм.

Повторить для данного случая пункты 2- 5.

8. Произвести расчет частоты генератора для разных значений емкостей  $C_1$ ,  $C_2$  по формуле идеальной частоты генерации для данной схемы:

$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC} = \frac{0.39}{RC}$$

где

-  $f_0$  частота в Гц.

- R величина сопротивлений в Омах (Ом)

- C величины конденсаторов в Фарадах (Ф).

Таблица 1.

	1-ый опыт	2-ой опыт	3-ий опыт
	R= 15 кОм	R= 15 кОм	R= 30 кОм
	C = 22 нФ	C = 50 нФ	C = 50 нФ
Период T (из опыта)			
Частота F (из опыта)			
Частота $f_0$ (из расчета по формуле)			
Осциллограмма			

### Контрольные вопросы.

1. На чем основана работа генераторов сигналов синусоидальной формы?

2. Привести структурную схему генератора.
3. Привести формулы с пояснениями двух условий самовозбуждения генераторов (баланса фаз и баланса амплитуд)
4. Привести принципиальную схему RC-генератора с фазосдвигающей цепочкой и пояснить назначения каждого элемента схемы. Как рассчитывается частота вырабатываемая данным генератором?
5. Какие виды генераторов синусоидальной формы существуют? Привести их схемы и формулы для расчета частоты.

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- принципы функционирования, аналоговых электронных устройств;

Уметь:

- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах

### Лабораторная работа №15

Исследование работы RC- цепей разных типов.

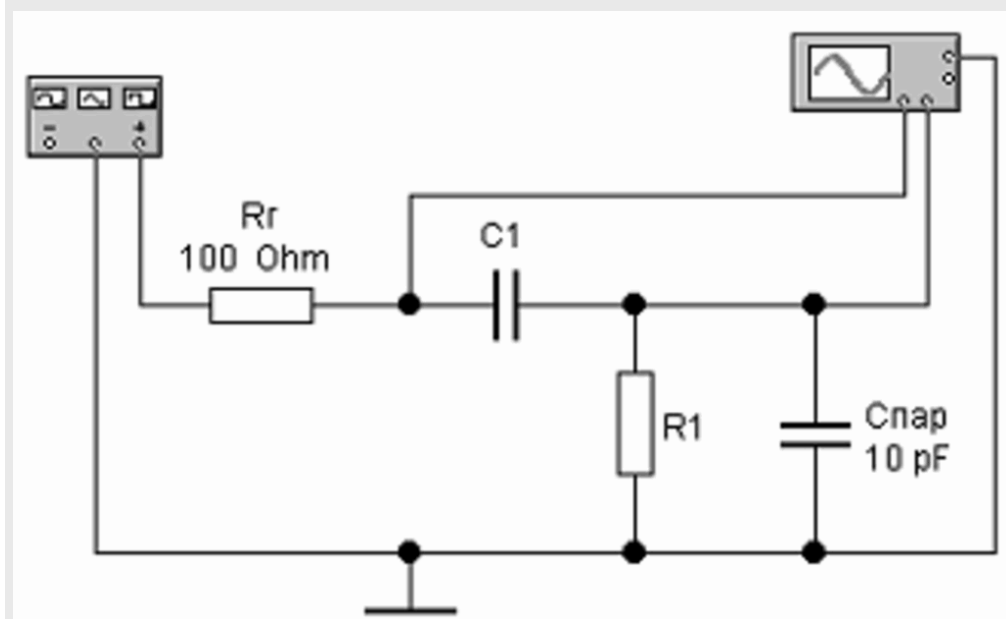
**Цель работы:** Экспериментальная проверка основных положений теории RC -цепей.

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim.

**Порядок выполнения работы:**

**1. Собрать схему дифференцирующей цепи, изображенную на рисунке 1.**

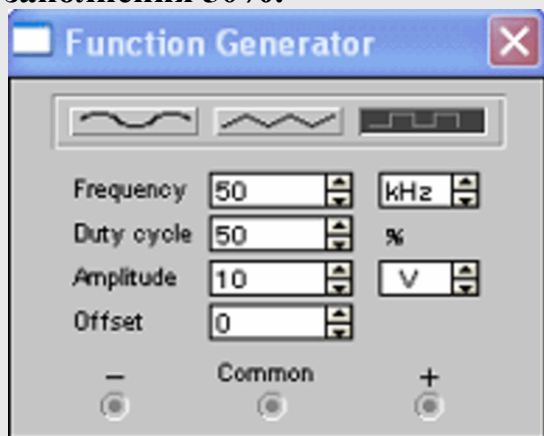
**Из схемы исключить  $R_{г}$  и  $C_{пар}$ .**



### Рисунок 1 – Схема для исследования дифференцирующей RC-цепи

2. Установить номиналы элементов дифференцирующей цепи для условия дифференцирования (расчет приведен ниже)

3. Настроить функциональный генератор в соответствии с рисунком 2. Частота 50 кГц соответствует длительности импульса  $t_{\text{ИВХ}} = 10$  мкс при коэффициенте заполнения 50%.



### Рисунок 2 – Установка параметров выходного сигнала функционального генератора.

Для  $R1 = 63$  кОм, рассчитать  $C1$  из условия  $t_{\text{ИВХ}} = 3\tau$  для  $t_{\text{ИВХ}} = 10$  мкс.

4. Включить схему.

5. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.

На осциллографе установить:

- Time base (время развертки) 5 микросекунд на деление;

- Channel A (чувствительность канала A) - выбрать 10 В/дел

- Channel B (чувствительность канала B) - выбрать 10 В/дел

Для удобного считывания показаний осциллографа, следует сигнал с входа ОУ опустить **ниже оси Y** (с помощью Y position), а сигнал с выхода ОУ поднять **выше оси Y** аналогичным образом (с помощью Y position).

Зарисовать полученные осциллограммы в масштабе

6. Изменить емкость цепи для условия  $t_{\text{ИВХ}} = \tau$  и проследить за изменениями выходного сигнала.

Зарисовать полученные осциллограммы.

7. Установить емкость цепи 1000 пФ для условия  $t_{\text{нвх}} \gg \tau$  и проследить за изменениями выходного сигнала.

Зарисовать полученные осциллограммы.

Сделать выводы.

8. Собрать схему интегрирующей цепи, изображенную на рисунке 3.

Из схемы исключить  $R_r$ , не учитывать  $R_{\text{н}}$

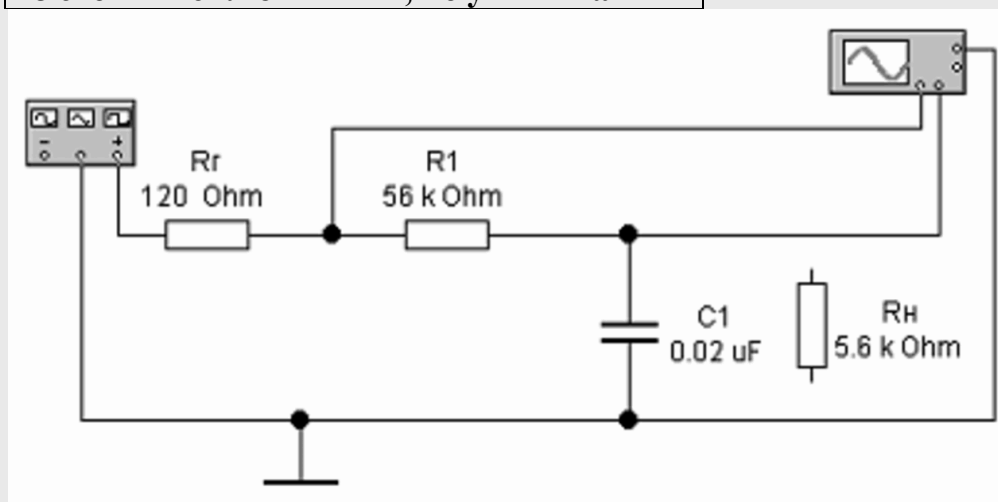


Рисунок 3 – Схема для исследования интегрирующей RC-цепи

9. Настроить функциональный генератор в соответствии с рисунком 4.

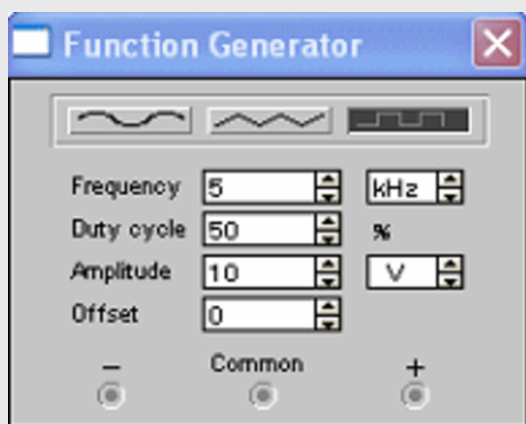


Рисунок 4 – Установка параметров выходного сигнала функционального генератора

10. Установить параметры схемы, как на рисунке 4 в соответствии с условием интегрирования  $\tau \gg t_{\text{нвх}}$ . Частота 5 кГц соответствует длительности импульса  $t_{\text{нвх}} = 1$  мкс при коэффициенте заполнения 50%.

**Включить схему.**

**12. Развернуть и настроить осциллограф, изменяя чувствительность и длительность развертки.**

**На осциллографе установить:**

- Time base (время развёртки) 0,02 миллисекунды на деление;
- Channel A (чувствительность канала A) - **выбрать 10 В/дел**
- Channel B (чувствительность канала B) - **выбрать 1 В/дел**

Для удобного считывания показаний осциллографа, следует сигнал с входа ОУ опустить **ниже оси Y** (с помощью Y position ), а сигнал с выхода ОУ поднять **выше оси Y** аналогичным образом с помощью Y position).

**12. Зарисовать полученные осциллограммы.**

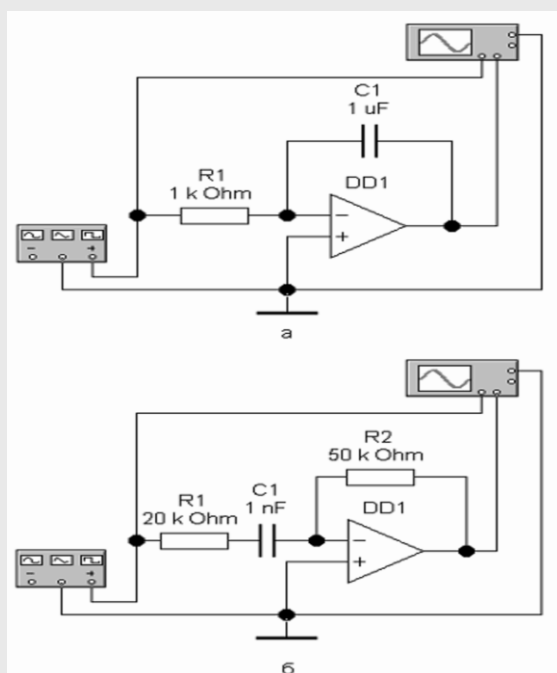
**14. Уменьшить значение резистора R1 в 2 раза.**

**Зарисовать полученные осциллограммы. Сравнить с предыдущими, сделать выводы.**

**14. Уменьшить значение резистора R1 в 10 раз по сравнению с начальным значением.**

**Зарисовать полученные осциллограммы. Сравнить с предыдущими, сделать выводы.**

**15. Повторите исследования для схем, изображенных на рисунке 5, для интегратора частоту прямоугольных импульсов генератора установить 500 Гц, амплитуду 10 В.**



## Рисунок 5 – Интегратор (а) и дифференциатор (б) на операционном усилителе

Для дифференциатора частоту прямоугольных импульсов генератора установить 1 кГц, амплитуду 10 В.

16. Зарисовать осциллограммы, сделать выводы.

### Контрольные вопросы.

1. Привести схему дифференцирующей цепи .
2. Привести формулу зависимости выходного напряжения от входного .
3. Понятие постоянной времени цепи .
4. Пояснить принцип работы дифференцирующей цепи при подаче на вход прямоугольных периодических импульсов. Условие дифференцирования.
5. Привести временные диаграммы работы цепи при дифференцировании прямоугольных импульсов для условия дифференцирования и для условия, когда условие дифференцирования не выполняются
6. За какое время конденсатор зарядится до значения  $0,95 U_{\text{вх}}$  ?
7. Привести схему интегрирующей цепи .
8. Привести формулу зависимости выходного напряжения от входного.
9. Пояснить принцип работы интегрирующей цепи при подаче на вход прямоугольных периодических импульсов. Условие интегрирования.
10. Привести временные диаграммы работы цепи при интегрировании прямоугольных импульсов для условия интегрирования и для условия, когда условие интегрирования не выполняются .
11. Какая из рассмотренных цепей является удлиняющей, а какая укорачивающей?
12. Привести схему интегратора на операционном усилителе и формулу зависимости выходного напряжения от входного .
13. Привести схему дифференциатора на операционном усилителе и формулу зависимости выходного напряжения от входного .

### Выполнив работу, студент должен:

#### Знать:

-свойства идеального операционного усилителя;

#### Уметь:

-использовать операционные усилители для построения различных схем;

## Лабораторная работа №16

### Исследование работы мультивибратора

#### Цель работы:

- 1.Изучить принцип работы мультивибратора
- 2.Выявить зависимость между параметрами схемы и параметрами выходного сигнала

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim.

#### Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему изображенную на рисунке 1. Установить  $E_{\text{пит}}=9\text{В}$ .  $R_k=680\text{ Ом}$ .

2. Вычислить частоту следования импульсов  $F$  по формуле  $F = 1/T$ , где  $T \approx 1,4 R_6 * C$  для данных из таблицы 1.
3. С помощью осциллографа (канал А подключить к базе VT2, а канал В подключить к коллектору VT2) получить осциллограммы соответствующих сигналов.
4. Зарисовать осциллограммы в масштабе.
5. Изменяя параметры схемы в соответствии с таблицей 1, измерять и рассчитывать длительность импульсов выходных сигналов, периоды следования импульсов и частота выходных сигналов. Результаты измерений занести в таблицу 1

Таблица 1.

		R6=15 кОм C=0,2 мкФ	R6=10 кОм C=0,2 мкФ
ti – длительность импульсов	рассчитанная		
	измеренная		
Ti – период следования импульсов	рассчитанный		
	измеренный		
Fi- частота сигнала	из расчета		
	из измерения		

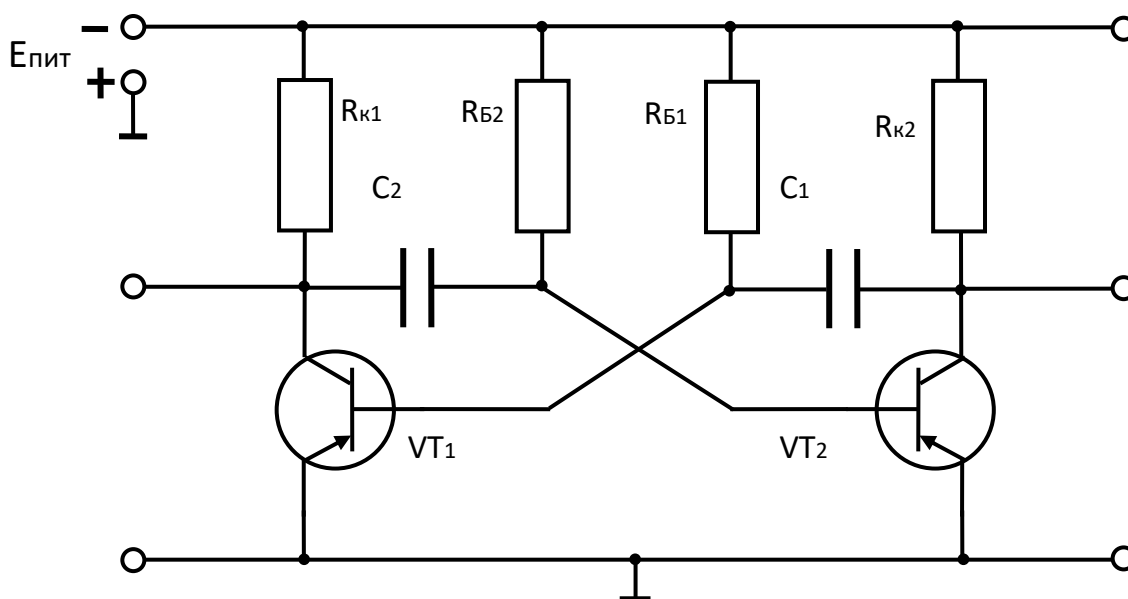


Рисунок. 1.

**Контрольные вопросы.**

1. Назначение автоколебательного мультивибратора.
2. Привести схему автоколебательного мультивибратора с пояснением назначения каждого элемента схемы.
3. Построить временные диаграммы работы мультивибратора.
4. Как рассчитать длительность импульса мультивибратора, пояснить от каких элементов она зависит?
5. Привести формулу для расчета периода колебаний мультивибратора
6. Привести схему мультивибратора на ОУ.
7. Привести формулу для расчета периода колебаний данного
8. Привести схему несимметричного мультивибратора на ОУ /

**Выполнив работу, студент должен:****Знать:**

- принципы действия генераторов прямоугольных импульсов, мультивибраторов;

**Уметь:**

- определять назначение и свойства основных функциональных узлов аналоговой электроники: усилителей, генераторов в схемах;

**Лабораторная работа №17****Исследование работы триггеров**





В единичном или нулевом состоянии установлен триггер? Пояснить.

б) подать  $U_{зап1} = 0В$ ,  $U_{зап2} = 1В$ . Результаты измерений занести в таблицу 1.

В единичном или нулевом состоянии установлен триггер? Пояснить.

Таблица 1

Значение сигналов запуска	Показания приборов			
	U <sub>ВЫХ1</sub> ,	U <sub>ВЫХ2</sub> ,	ОС = I <sub>Б</sub>	I <sub>Э</sub>
U <sub>ЗАП1</sub> =1,  U <sub>ЗАП2</sub> =0	-	-	-	-
U <sub>ЗАП1</sub> =0,  U <sub>ЗАП2</sub> =1				

Пояснить, какой вход триггера является S, а какой R?

II. Собрать схему триггера Шмита.  $E_k = 10 В$  (рисунок 2)

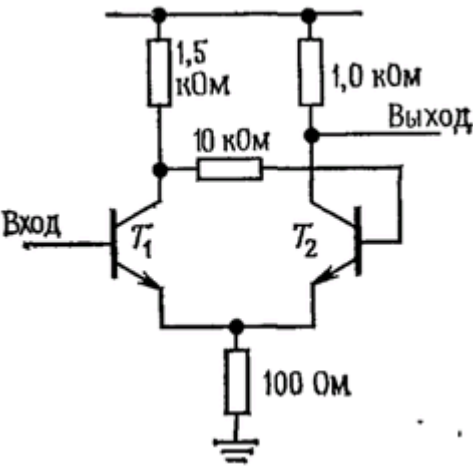


Рисунок 2.

2. На вход подать синусоидальный сигнал частотой 1 Гц, амплитудой 10 В. Подключить канал «А» осциллографа к входу схемы, а канал «В» к выходу схемы.

3. Включить схему.

4. Получить изображения входного и выходного сигнала.

Зарисовать осциллограммы в масштабе. Пояснить полученный результат.

### Контрольные вопросы.

1. Изобразить схему симметричного триггера на транзисторах.

2. Пояснить, что происходит в схеме при включении питания (установка исходного состояния)

4. Понятие прямого и инверсного выхода триггера.

Какое состояние триггера называется единичным, а какое нулевым?

Какой вход триггера называется S (set), а какой R (reset)?

5. Определение триггера

6. Привести схему несимметричного триггера с эмиттерной связью (стр. 5)

Пояснить принцип работы данного триггера.

### Выполнив работу, студент должен:

#### Знать:

- принципы действия генераторов прямоугольных импульсов, мультивибраторов;

#### Уметь:

- определять назначение и свойства основных функциональных узлов электроники: усилителей, генераторов в схемах;

## Практическая работа №18

Работа со справочниками по определению элементов и компонентов ИМС различных видов

**Цель работы:** научиться определять интегральные микросхемы, получить опыт работы со справочниками

**Оборудование:** набор ИМС различных видов.

### Порядок выполнения работы:

1. Для предложенных ИМС заполнить таблицу 1

Таблица 1

	ИМС1	ИМС2	ИМС3	ИМС 4	ИМС 5	Пример ИМС
Наименование микросхемы (расшифровка обозначения)	K176JE	K561JC2	K500JM105	K155JE4	K555JI6	K155ЛА1
Функциональное назначение						И-НЕ
Тип логики (используемые компоненты)						ТТЛ

Параметры: 1.Уровень логического нуля $U^0$ ; 2.Уровень логической единицы $U^1$ ; 3.Средняя потребляемая мощность $P$ ; 4.Коэффициент разветвления по выходу $K_{разв}$ ; 5.Быстродействие $t_{з,ср}$ ; 6.Помехоустойчивост ь $\Delta U$ .						1. $U^0 = (0-0,8)V$ ; 2. $U^1 = (2,4-5)V$ ; 3. $P = 10 мВт$ ; 4. $K_{разв} = 8$ ; 5. $t_{з,ср} = 10 нс$ ; 6. $\Delta U = 3,5 В$ .
Конструктивно- технологическое исполнение						Полупроводникова я
Степень интеграции						Малая

*Пример маркировки микросхем.*

Маркировка: дешифратор на три входа и восемь выходов.

КР 555 ИД 3 (буквы от А до Я)

КР – характеризуют: материал, область применения, тип корпуса.

555 – серия МС.

Первая цифра характеризует ИМС по конструктивно - технологическому признаку.

1,5,6,7 – полупроводниковые ИМС.

2,4,8 – гибридные схемы.

3 – прочие (например: вакуумные, плёночные и др.).

Вторая и третья цифры показывают номер разработки серии.

Две буквы (в нашем случае ИД) обозначают функциональную группу ИМС (например: ИД – дешифратор; ЛА – двухвходовый вентиль «И-НЕ» К1555ЛА3).

Следующая цифра (3) – порядковый номер разработки МС внутри серии.

Последние буквы (А-Я) могут быть введены при необходимости и определяют допуски и разброс параметров микросхемы.

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- особенности построения диодно-резистивных, диодно-транзисторных и транзисторно-транзисторных схем реализации булевых функций;
- цифровые интегральные схемы: режимы работы, параметры и характеристики, особенности применения при разработке цифровых устройств;
- этапы эволюционного развития интегральных схем: БИС, СБИС, МП СБИС.

Уметь:

- применять логические элементы, для построения логических схем, грамотно выбирать их параметры и схемы включения

### Лабораторная работа №19

Применение логических элементов (ИМС) для построения логических схем

**Цель работы:** научиться использовать логические элементы для построения логических схем

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim

**Порядок выполнения работы:**

1. Экспериментально построить таблицу состояний для предложенной комбинационной схемы.

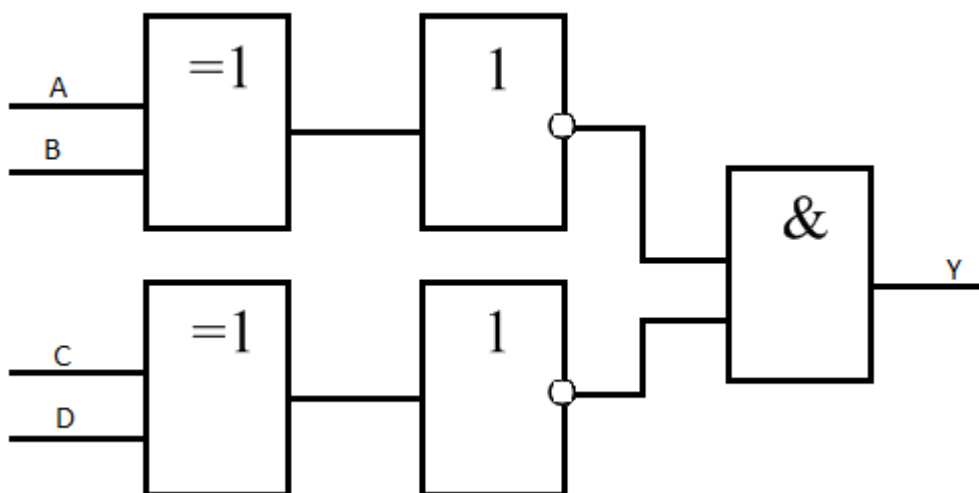


Таблица состояний.

A	B	C	D	Y
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	

0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

2. Провести исследование RS-триггера на логических элементах ИЛИ-НЕ.

### Краткие теоретические сведения.

#### RS-триггер

Основным триггером, на котором базируются все остальные триггеры является RS-триггер. RS-триггер имеет два логических входа:

- R - установка 0 (от слова reset);
- S - установка 1 (от слова set).

RS-триггер имеет два выхода:

- Q - прямой;
- $\bar{Q}$  - обратный (инверсный).

Состояние триггера определяется состоянием прямого выхода. Простейший RS-триггер состоит из двух логических элементов, охваченных перекрёстной положительной обратной связью (рисунок 1).

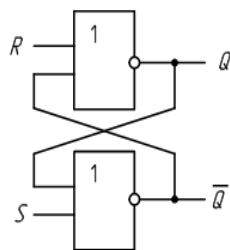


Рисунок 1 - Схема простейшего RS- триггера

Рассмотрим работу триггера:

Пусть  $R=0, S=1$ . Нижний логический элемент выполняет логическую функцию ИЛИ-НЕ, т.е. 1 на любом его входе приводит к тому, что на его выходе будет логический ноль  $Q=0$ . На выходе  $Q$  будет 1 ( $Q=1$ ), т.к. на оба входа верхнего элемента поданы нули (один ноль - со входа  $R$ , другой - с выхода). Триггер находится в единичном состоянии. Если теперь убрать сигнал установки ( $R=0, S=0$ ), на выходе ситуация не изменится, т.к. несмотря на то, что на нижний вход нижнего логического элемента будет поступать 0, на его верхний вход поступает 1 с выхода верхнего логического элемента. Триггер будет находиться в единичном состоянии, пока на вход  $R$  не поступит сигнал сброса. Пусть теперь  $R=1, S=0$ . Тогда  $Q=0, \bar{Q}=1$ . Триггер переключился в "0". Если после этого убрать сигнал сброса ( $R=0, S=0$ ), то все равно триггер не изменит своего состояния.

Для описания работы триггера используют таблицу состояний (переходов). Обозначим:

- $Q(t)$  - состояние триггера до поступления управляющих сигналов (изменения на входах  $R$  и  $S$ );
- $Q(t+1)$  - состояние триггера после изменения на входах  $R$  и  $S$ .

Таблица 2.1 - Таблица переходов RS триггера в базисе ИЛИ-НЕ

R	S	Q(t)	Q(t+1)	Пояснения
0	0	0	0	Режим хранения информации $R=S=0$
0	0	1	1	
0	1	0	1	Режим установки единицы $S=1$
0	1	1	1	
1	0	0	0	Режим установки нуля $R=1$
1	0	1	0	
1	1	0	*	$R=S=1$ запрещённая комбинация
1	1	1	*	

Собрать схему в соответствии с рисунком 2.

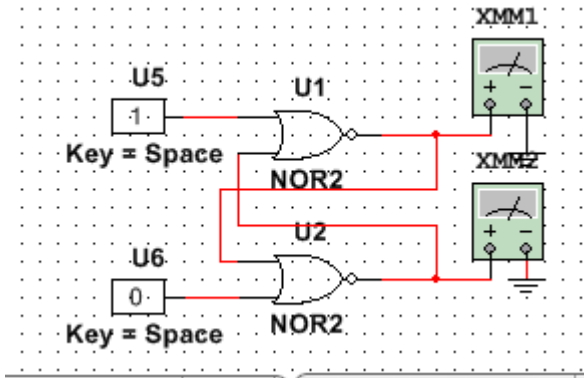


Рисунок 2 - RS-триггер на основе логических элементов "ИЛИ-НЕ"

Устанавливая с помощью переключателей U5 и U6 различные комбинации логических уровней и, наблюдая за показаниями приборов, заполнить таблицу 3.1

Таблица 3.1 - Таблица переходов для асинхронного RS триггера на элементах "ИЛИ-НЕ"

R	S	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

- особенности построения диодно-резистивных, диодно-транзисторных и транзисторно-транзисторных схем реализации булевых функций;
- цифровые интегральные схемы: режимы работы, параметры и характеристики, особенности применения при разработке цифровых устройств;

Уметь:

- применять логические элементы, для построения логических схем, грамотно выбирать их параметры и схемы включения.

## Лабораторная работа №20

Исследование генераторов построенных на логических элементах

**Цель работы:** научиться использовать логические элементы для построения генераторов

**Оборудование:** ПК с установленной программой Multisim

**Порядок выполнения работы:**

1. Собирать последовательно схемы генераторов, представленных на рисунках 1-6, измерять с помощью осциллографа период сигналов генераторов, рассчитывать частоту.

Используя формулы для расчета, приведенные на рисунках 1-6 проверить соответствие теории и практики.

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1.



	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5	Схема 6
Период сигнала, измеренный с помощью осциллографа Т						
Частота сигнала $f=1/T$						
Частота сигнала, рассчитанная по формуле F						
Период сигнала, $t=1/F$						

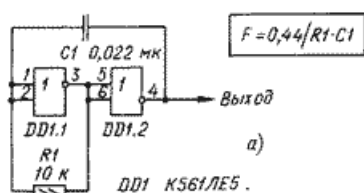


Рисунок 1

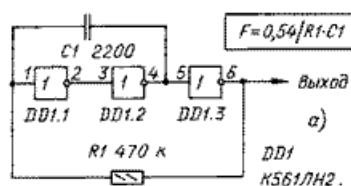


Рисунок 2.

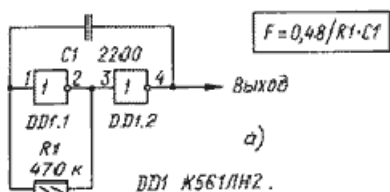


Рисунок 3.

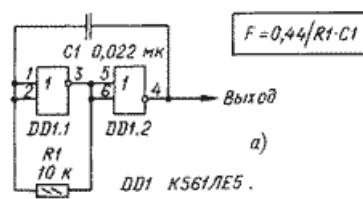


Рисунок 4.

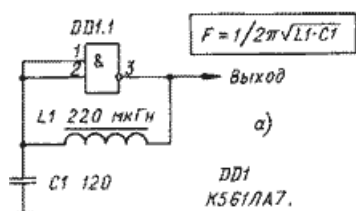


Рисунок 5.

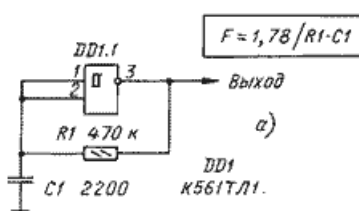


Рисунок 6.

**Выполнив работу, студент должен:**

Знать:

-цифровые интегральные схемы: режимы работы, параметры и характеристики, особенности применения при разработке цифровых устройств;

Уметь:

- применять логические элементы, для построения логических схем, грамотно выбирать их параметры и схемы включения.