

М 1443

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАД АЛ-ХОРЕЗМИЙ**

**ФАКУЛЬТЕТ РАДИО И МОБИЛЬНЫЕ СВЯЗИ**

**Кафедра “Электроники и радиотехники”**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**по выполнению лабораторных работ по дисциплине**

**ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМЫ 2**

Область знаний:	600 000 – Инфо-коммуникационные технологии
Сфера образования:	610 000 – Инфо-коммуникационные технологии
Направления образования:	60610300 – Информационная безопасность (Инфо-коммуникационные технологии и сервис)
	60610500 – Компьютерные инженеринг (Компьютерные инженеринг, АТ-сервис)
	60611000 – Телекоммуникационные технологии («Телекоммуникации», «Телерадиовещание», «Мобильные системы»)

**Ташкент 2023**

УДК 621.385.1

Авторы: Абдуллаев А.Х., Нурмухамедова Т.У., Мусаджанова Н.А., Тешабоев Х.Н.

Методическое пособие по выполнению лабораторных работы по дисциплине  
«Электроника и схемы 2» ТУИТ, 2023.

Методическое пособие по выполнению лабораторных работ разработано в соответствии с программой дисциплины «Электроника и схемы 2» и способствует закреплению теоретического материала, пройденного на лекционных занятиях. Каждая лабораторная работа имеет следующую структуру: цель, краткий теоретический материал, задание, схемы измерений, таблицы для записи результатов измерений и расчетов, а также контрольные вопросы для самостоятельной подготовки.

Методическое пособие предназначено для студентов очной формы обучения по направлениям образования 60610300 – Информационная безопасность (Инфокоммуникационные технологии и сервис), 60610500 – Компьютерные инженеринг (Компьютерные инженеринг, АТ-сервис), 60611000 – Телекоммуникационные технологии («Телекоммуникации», «Телерадиовещание», «Мобильные системы»).

Методическое пособие предназначено для использования в учебном процессе для студентов Кредитной системы ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Методическое пособие рекомендовано к публикации решением научно-методического совета Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезмий (протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2023 г.).

© Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммеда ал-Хорезмий, 2023

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИМС

**Цель работы:** Разработка структуры, топологии и технологии ИМС по данной принципиальной схеме.

#### 1. Теоритическая часть:

Интегральная микросхема (ИМС) - является результатом попытки создать очень компактный, чрезвычайно прочный, недорогой и маломощный радиоэлемент.

Элемент ИМС — часть ИМС, конструктивно неотделимая от кристалла или основы и выполняющая функции радиоэлектронного элемента (РЭЭ).

Компонент ИМС - это часть ИМС, которая выполняет функцию дискретного элемента, но является самостоятельным ИМС элементом до сборки монтажа.

Современные микросхемы делятся на два типа в зависимости от процесса технологической подготовки и выполнения функций: полупроводниковые (монокристалльные) и слоистые микросхемы.

Полупроводниковая интегральная схема - это интегральная схема, в которой компоненты выполнены на поверхности полупроводниковой пластины.

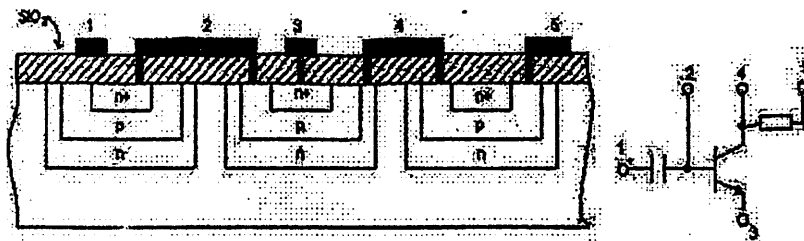
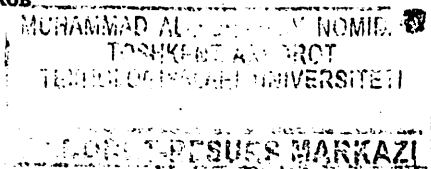


Рисунок 1.1. Принципиальная схема обреза топология ИМС и полупроводников.



В большинстве случаев кристаллы кремния используются при изготовлении интегральных микросхем.

Этот тип интегральной схемы (ИС) состоит из активных (диоды, транзисторы) и пассивных (резисторы, конденсаторы, индуктивные катушки) компонентов.

Слойный ИС - это микросхема, компоненты которые изготавливаются путем обжига различных слоев до базовой поверхности .

В виде диэлектрика используется оксид алюминия, стекла и керамики.

Слойный ИС состоит в основном из пассивных элементов - резисторов, конденсаторов и катушки индуктивности.

В основном из этих элементов будут сформированы RC-фильтров.

Кроме того, существует гибридная ИС, которая также состоит из комбинации пассивных элементов на основе диэлектрика и дискретных активных элементов.

Обычно дискретные активные элементы называются активными элементами в ИС.

В основном эти элементы будут состоять из компактных безоболочных диодов и транзисторов.

Смешанная ИС - это микросхемы активные элементы основано на полупроводниковые материалы и работает как полупроводниковые ИС, а пассивные элементы состоит слойные микросхемы как (резистор, конденсатор, катушка индуктивности).

Они размещены на общем корпусе с изоляцией.

В настоящее время существует два типа полупроводниковых ИМС: биполярные ИС и интегральные схемы металл-оксид-полупроводник (МДП).

Разница между ИМС связана в основном, с функцией активных элементов и технологией производства ИС.

Основа двухполосника ИС основывается p-p-n или p-n-p типовых в двухполосных транзисторах, МДП-тип ИС основывается на полевых транзисторах.

Процесс изготовления интегральной схемы состоит в основном из технологии изготовления транзисторов, все остальные элементы также изготавливаются путем изготовления транзистора, без дополнительных технологических процессов.

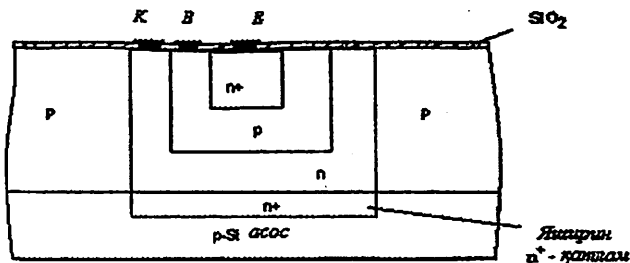


Рисунок 1.2-расм. Интегральные транзисторы

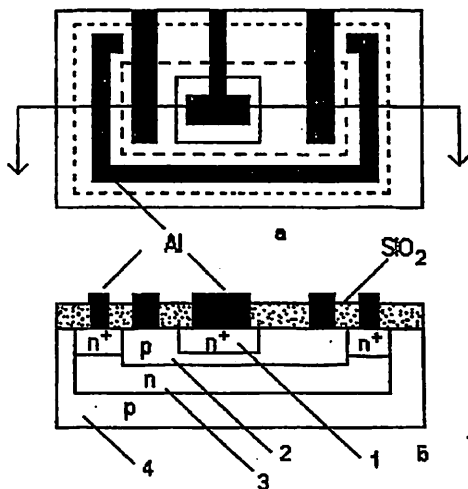


Рисунок 1.3. Типичная геометрия биполярного интегрального транзистора (а) и поперечное сечение (б). 1- эмиттер; 2-база; 3-коллектор; 4- слой.

**2. Подготовка к лабораторным работам:**

2.1. Изучите систему обозначений ИМС и дайте краткое описание каждой ИМС в заданном наборе ИМС : функциональную функцию, тип технологии , область применения, основные параметры и т.д.

3. Задание для лабораторных работ:

3.1. Ознакомьтесь с представляемым макетом и раздаточным материалом.

3.2. Определите название комплекса ИМС, типы классификации и каждый тип ИМС.

3.3. Опишите изучаемую ИМС, по следующим параметрам: функция, область применения и основные электрические параметры.

3.4. Используя основные этапы подготовки ИМС, дайте общее описание последовательности технологических процессов подготовки ИМС и их краткие характеристики.

3.5. Изучаемый рисунок относится к какому этапу технологического процесса.

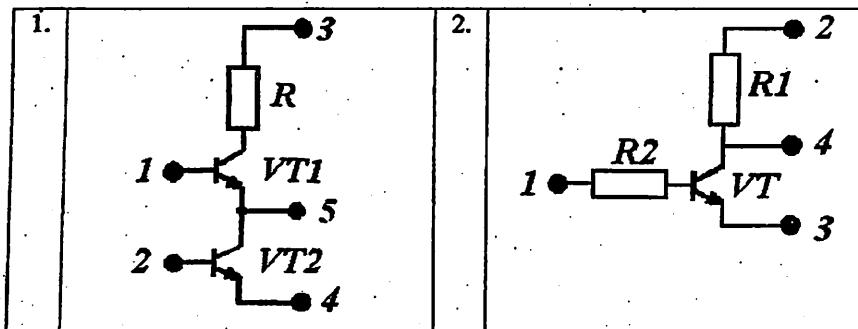
4. Содержание отчета

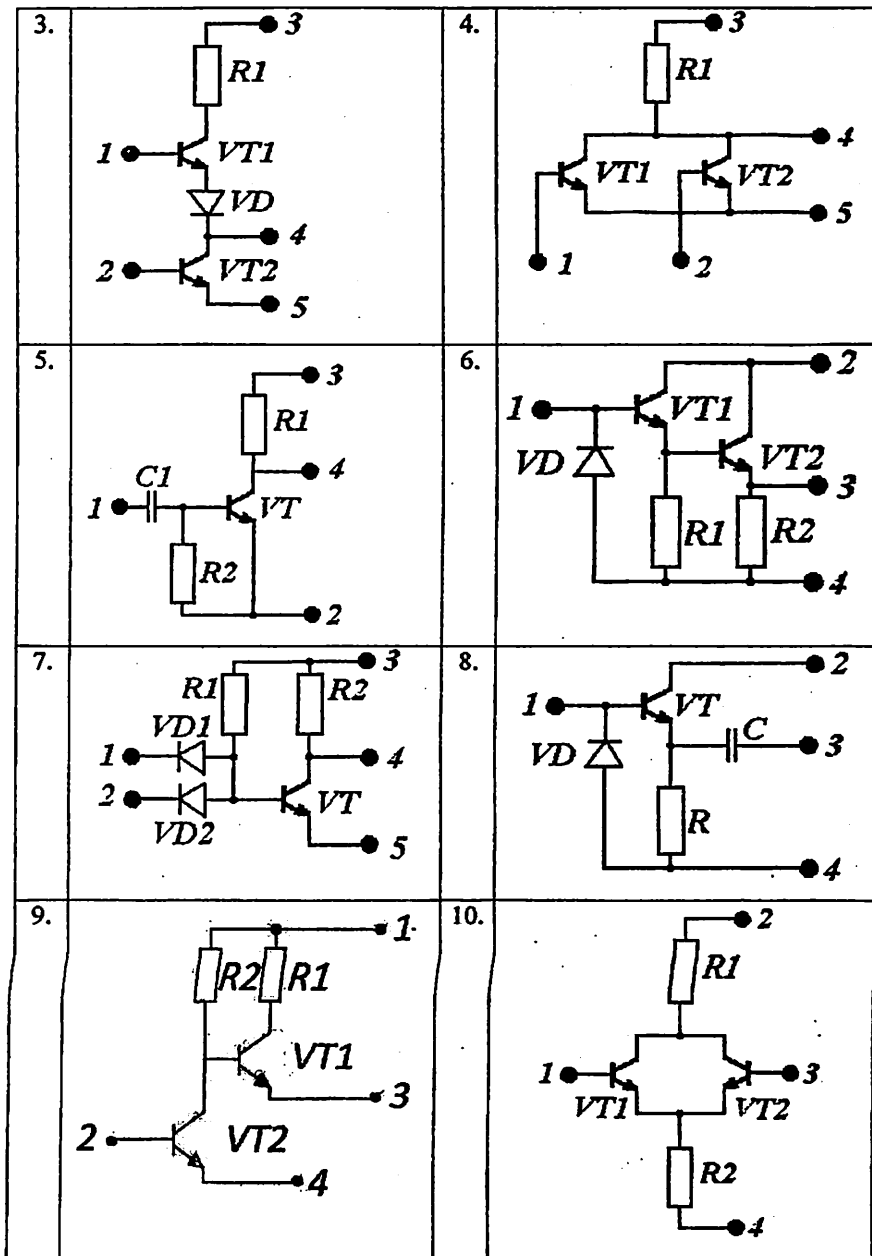
4.1. Основные обозначения ИМС в данном комплексе;

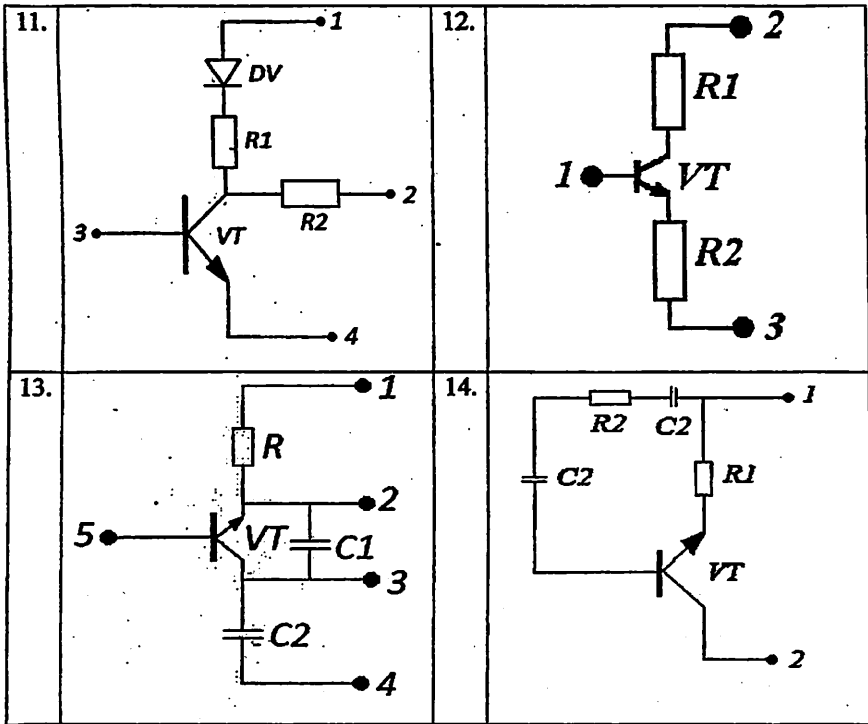
4.2. Краткое описание характеристики для каждой ИМС в данном комплексе;

4.3. Описание технологических этапов подготовки полупроводниковой и гибридной ИМС;

Таблица 2.1







### 5. Контрольные вопросы

1. Что такое интегральная микросхема (ИМС)?
2. Что является основным свойством ИМС?
3. Что такое элементы и компоненты ИМС?
4. В чем разница между гибридной и полупроводниковой ИМС?
5. Почему транзисторная структура является основным для создания различных элементов ИМС?
6. Как осуществляется изоляция элементов интегральной микросхемы?
7. Как определяется уровень сложности (уровень интеграции) цифровой и аналоговой ИМС?
8. Какие сигналы обрабатываются в аналоговом ИМС? Цифрового?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ НА БТ В СХЕМЕ С ОЭ

**Цель работы:** измерить параметры простой усилительной схемы, выполненной на биполярном транзисторе, схему соединением с обобщенного эмиттера.

#### 1. Теоритическая часть:

При решении многих инженерных задач возникает необходимость в усилении электрических сигналов. Для этой цели служат усилители, т.е. устройства, предназначенные для усиления напряжения, тока и мощности. В усилителях обычно используют биполярные и полевые транзисторы и интегральные микросхемы.

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор, является управляемым элементом, который нашел широкое применение в схемах усиления, а также в импульсных схемах. Биполярный транзистор представляет собой трехслойную полупроводниковую структуру с чередующимся типом электропроводности слоев и содержит два р-п перехода. В зависимости от чередования слоев существуют транзисторы типов р-п-р и п-р-п. Функцию усилительного элемента в каскаде выполняет транзистор VT, работающий в активном режиме.

Различают два режима работы усилительного каскада: режим покоя или режим по постоянному току и динамический режим или режим по переменному току. В режиме покоя входной сигнал отсутствует (источник входного сигнала закорочен), в цепях усилительного элемента протекают постоянные токи (постоянные составляющие), при этом конденсаторы заменяются разрывами. Величина постоянных составляющих определяется заданным классом усиления.

**Усилительный каскад с ОЭ** - является одним из наиболее распространенных усилительных каскадов, в котором эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей.

Простейшим усилителем является усилительный каскад.

Состав простейшего усилительного каскада:

- УЭ – нелинейный управляемый элемент (биполярный или полевой транзистор);
- R – резистор;
- E – источник электрической энергии.

Усиление основано на преобразовании электрической энергии источника постоянной э.д.с. E в энергию выходного сигнала за счет изменения сопротивления УЭ по закону, задаваемому входным сигналом.

Основные параметры усилительного каскада:

- Коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}};$$

- Коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}};$$

- Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вых}} I_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}} I_{\text{вх}}} = K_U \cdot K_I.$$

В зависимости от диапазона усиливаемых частот входных сигналов усилители подразделяют:

- УПТ (усилители постоянного тока) - для усиления медленно изменяющихся сигналов;
- УНЧ (усилители низкой частоты) - для усиления сигналов в диапазоне звуковых частот (20-20000 Гц);
- УВЧ (усилители высокой частоты) - для усиления сигналов в диапазоне частот от десятков килогерц до десятков и сотен мегагерц;

- Импульсные/широкополосные - для усиления импульсных сигналов, имеющих спектр частот от десятков герц до сотен мегагерц;
- Узкополосные/избирательные - для усиления сигналов в узком диапазоне частот.

По способу включения усилительного элемента разделяют:

В случае применения биполярного транзистора в качестве усилительного элемента:

- С общей базой
- С общим эмиттером
- С общим коллектором

В случае использования полевого транзистора:

- С общим истоком
- С общим стоком
- С общей базой

## 2. Подготовка к лабораторным работам:

В ходе исследования были измерены параметры простой ступени усилителя, выполненной в биполярном транзисторе, подключенном к общей цепи эмиттера, как показано на рисунке 2.1.

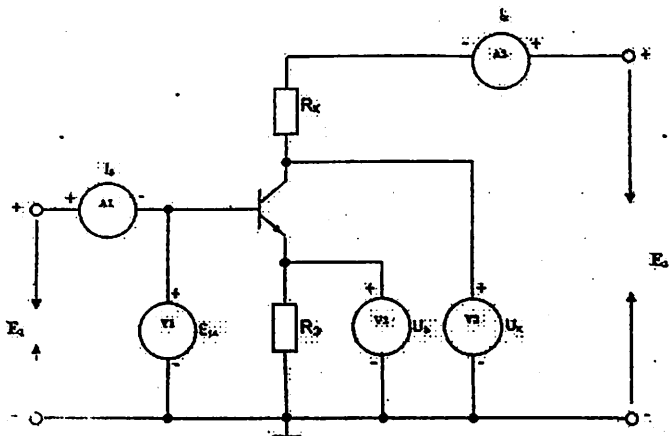


Рисунок 2.1. Схема усилителя выполненной на БТ в схеме ОЭ.

Транзистор работает в активном режиме. Резисторы  $R_{\text{Э}}$  и  $R_{\text{К}}$  обеспечивают рабочий режим переменного тока.  $R_{\text{Б}}$  в это время, отличных от базового текущего компонента конфигурации опасаться в poste.

$$I_{\text{Б}}(0) = \frac{E_{\text{К}} - U_{\text{БЭ}}(0)}{R_{\text{Б}}} \approx \frac{E_{\text{К}}}{R_{\text{Б}}}, \quad (2.1)$$

отсюда ток коллектора

$$I_{\text{К}}(0) = \beta \cdot I_{\text{Б}}(0) + I_{\text{КЭО}} \approx \beta \cdot I_{\text{Б}}(0), \quad (2.2)$$

Резистор  $R_{\text{К}}$  защищает ток коллектора от коротких замыканий через источник напряжения. Рекомендуется, чтобы  $R_{\text{К}} \gg R_{\text{н}}$ . Поскольку величина  $R_{\text{К}}$  одновременно влияет на постоянную напряжения в коллекторе

$$U_{\text{КЭ}}(0) = E_{\text{К}} - I_{\text{К}}(0)R_{\text{К}}. \quad (2.3)$$

При заданных значениях  $E_{\text{К}}$  и  $R_{\text{К}}$  рабочая точка транзистора при постоянном токе задается одним параметром  $I_{\text{Б}}(0)$  или  $I_{\text{К}}(0)$  или  $U_{\text{КЭ}}(0)$ , а не двумя параметрами. В измерениях удобно использовать  $U_{\text{КЭ}}(0)$ .

Разделительные конденсаторы  $S_{\text{В}}$  и  $S_{\text{К}}$  с малым сопротивлением в рабочем диапазоне  $U_{\text{КЭ}}(0)$  должны быть подключены таким образом, чтобы источник сигнала  $u_{\text{Г}}$  и нагрузка не влияли на транзистор в режиме переменного тока.

Следующие формулы могут быть использованы для расчета основных параметров каскада усилителя:

$$\begin{cases} R_{\text{а}} = r'_{\text{Б}} + h_{21\text{Э}} r_{\text{Э}} \\ K_{\text{У}} = -h_{21\text{Э}} \frac{R_{\text{Ю}}}{R_{\text{а}}} \\ K_{\text{I}} \approx h_{21\text{Э}} \\ R_{\text{а}} \approx R_{\text{К}} \end{cases}; \quad (2.4)$$

Здесь

$$R_{\text{нЭ}} \approx \frac{R_{\text{К}} R_{\text{н}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{н}}}; \quad r_{\text{Э}} = \frac{u_{\text{Г}}}{I_{\text{Э}}(0)} \approx \frac{26 \text{ мВ}}{I_{\text{К}}(0)}.$$

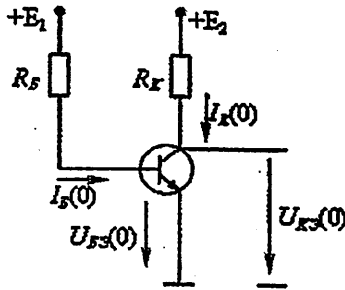
Когда в цепи эмиттера имеется резистор  $R_e$ , который вызывает отрицательную обратную связь

$$R_{вх\text{oc}} = h_{21} R_e$$

$$K_{уoc} = R_H / R_e \quad (2.5)$$

### 3. Задание для лабораторных работ:

1. Установить режим транзистора по постоянному току.
2. Соберите схему, показанную на рисунке 2.2 (это часть схемы каскада усилителя, показанная на рисунке 2.1, которая определяет рабочую точку транзистора).



2.2 Рисунок. Схема настроек усилителя режима работы.

$$E_2 = 10\text{В}$$

$$R_1 = 0,1 \sim 1 \text{ кОм}$$

$$R_2 = 3,3 \sim 56 \text{ кОм}$$

$U_{БЭ}(0)$ ,  $U_{КЭ}(0)$  Убедитесь в том, чтобы измерить напряжение вольтметр.

3. Измените значение  $E_1$  и выберите рабочую точку,

$$U_{КЭ}(0) = \frac{E_2}{2} = 5\text{В} \text{ транзистора для случая, где (*)}$$

$U_{БЭ}(0)$  измерить напряжение и определить переменные компоненты.

Базовый ток 
$$I_B(0) = \frac{E_1 - U_{ЭЭ}(0)}{R_B} \quad (2.6)$$

ток коллектора 
$$I_K(0) = \frac{E_2 - U_{КЭ}(0)}{R_K} \quad (2.7)$$

и статический коэффициент передачи базового тока 
$$\beta = \frac{I_K(0)}{I_B(0)} \quad (2.8)$$

(\*) В реальных схемах  $E_1 = E_2$  и соответствующие размеры  $R_B$  выбраны

Варианты для выполнения :

Таблица - 2.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R_B(\text{кОм})$	0.1	0.33	0.15	0.1	0.7	0.8	0.25	0.1	1	1	0.5	0.5	0.6	1	1
$R_K(\text{кОм})$	1	3.3	1.5	1	6	1.6	2.5	1	3.3	6.6	3.3	1	1.2	3.3	6.6
$I_B(\text{мА})$	6	4	5	4.5	4	1	1.2	5	5	3	3.5	5	5	3	2.5
$E_2(\text{В})$	12	15	15	12	12	15	12	15	16	15	12	13	15	14	15

Предварительные расчеты

$$E_{1A}(\omega t) = E_{10}(1 + 0,2 \sin(\omega t))$$

Таблица - 2.2.

$\omega t, \text{grad}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$E_{1A}(\omega t), \text{V}$													
$I_B(\omega t), \text{mA}$													
$I_K(\omega t), \text{mA}$													
$U_B(\omega t), \text{V}$													
$U_K(\omega t), \text{V}$													

Обработка результатов измерений:

– Усиление напряжения:

$$K_U = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_B}$$

– Текущее усиление:

$$K_I = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_G}$$

– Усиление мощности :

$$K_P = K_U \times K_I$$

– Динамическое входное сопротивление :

$$R_{\text{дин.вх}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta I_{\text{вх}}}$$

– Динамическое выходное сопротивление :

$$R_{\text{дин.вых}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta I_{\text{вых}}}$$

**Нарисуйте следующие графики на основе результатов расчета:**

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| 1. $E_{1A} = f(\omega t);$ | 2. $U_K = f(\omega t);$ |
| 3. $I_G = f(\omega t);$    | 4. $I_K = f(I_G);$      |
| 5. $I_K = f(\omega t);$    | 6. $I_K = f(U_K);$      |
| 7. $U_3 = f(\omega t);$    | 8. $U_K = f(I_G).$      |

#### 4. Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Параметры исследуемого транзистора.
3. Принципиальная схема лабораторной работы.
4. По каждому этапу выполненных работ - наименование этапа и полученные результаты (в виде таблиц, графиков и осциллограмм).
5. Краткий вывод по полученным результатам.

## **5. Контрольные вопросы**

- 1. Поясните принцип работы простого усилителя каскада с БТ.**
- 2. Какие параметры определяют рабочую точку простого усилителя каскада с БТ?**
- 3. Дайте дифференциальные параметры усилителя. Как эти параметры измеряются экспериментально?**
- 4. Какие параметры схемы зависят от входного и выходного сопротивлений простой фазы усилителя на низких частотах?**
- 5. От чего зависят ток, напряжение и усиление мощности простой ступени усилителя с БТ?**



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ НА БТ В СХЕМЕ С ОБ

**Цель работы:** экспериментальный анализ каскадов усилителей, выполненных в виде общей (ОБ) базы биполярного транзистора (БТ) в цепях; изучить влияние значения сопротивления нагрузки (омического) на параметры усилителя.

#### 1. Теоритическая часть

При решении многих инженерных задач возникает необходимость в усилении электрических сигналов. Для этой цели служат усилители, т.е. устройства, предназначенные для усиления напряжения, тока и мощности. В усилителях обычно используют биполярные и полевые транзисторы и интегральные микросхемы.

Простейшим усилителем является усилительный каскад.

Состав простейшего усилительного каскада:

- УЭ – нелинейный управляемый элемент (биполярный или полевой транзистор);
- R – резистор;
- E – источник электрической энергии.

Усиление основано на преобразовании электрической энергии источника постоянной э.д.с. E в энергию выходного сигнала за счет изменения сопротивления УЭ по закону, задаваемому входным сигналом.

Основные параметры усилительного каскада:

- Коэффициент усиления по напряжению

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}};$$

- Коэффициент усиления по току:

$$K_I = \frac{I_{вых}}{I_{вх}};$$

- Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = \frac{U_{вых} I_{вых}}{U_{вх} I_{вх}} = K_U \cdot K_I.$$

В зависимости от диапазона усиливаемых частот входных сигналов усилители подразделяют:

- УПТ (усилители постоянного тока) - для усиления медленно изменяющихся сигналов;
- УНЧ (усилители низкой частоты) - для усиления сигналов в диапазоне звуковых частот (20-20000 Гц);
- УВЧ (усилители высокой частоты) - для усиления сигналов в диапазоне частот от десятков килогерц до десятков и сотен мегагерц;
- Импульсные/широкополосные - для усиления импульсных сигналов, имеющих спектр частот от десятков герц до сотен мегагерц;
- Узкополосные/избирательные - для усиления сигналов в узком диапазоне частот.

По способу включения усилительного элемента разделяют:

В случае применения биполярного транзистора в качестве усилительного элемента:

- С общей базой
- С общим эмиттером
- С общим коллектором

В случае использования полевого транзистора:

- С общим истоком
- С общим стоком
- С общей базой

## 2. Подготовка к лабораторным работам:

В цепях источник сигнала может быть подключен к основанию или эмиттерному электроду БТ, а нагрузка к коллектору или эмиттерному электроду. В этих случаях третий электрод БТ остается общим для входной и

выходной цепей. Схема которой транзистор сигнального электрода (стенки) из общности транзистора, Э, Б, и К, как говорят, имеют соединение. Такие схемы называются общим эмиттером (ОБ), общей базой (УВ) и общим коллектором (Великобритания) (рисунок 3. 1) .

Для анализа электронных схем необходимо знать, как токи и напряжения между электродами БТ связаны друг с другом, то есть с его вольт-амперной характеристикой (ВАХ).

При анализе каскадов усилителей нас интересуют следующие параметры: усиление мощности  $K$ , усиление напряжения  $K_U$ , усиление тока  $K_I$ , входное сопротивление  $R_{вх}$  и выходное сопротивление  $R_{вых}$  в низкочастотном диапазоне каскада усилителей . На низких частотах (квазистатический режим) усиление тока переходов БТ и  $\gamma$ - $n$  не учитывает изменения частоты паразитных емкостей. Емкости конденсаторов  $S_1, S_2$  и  $S_3$  получены настолько большими (мкФ), что их сопротивление на рабочих частотах не может быть принято во внимание. Это также относится к источнику питания  $E_K$ , потому что источник питания конденсатора  $S_f$  шунтируется от переменного тока.

Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  на рисунке 3.1 подключены параллельно как резисторы  $R_K$  и  $R_э$

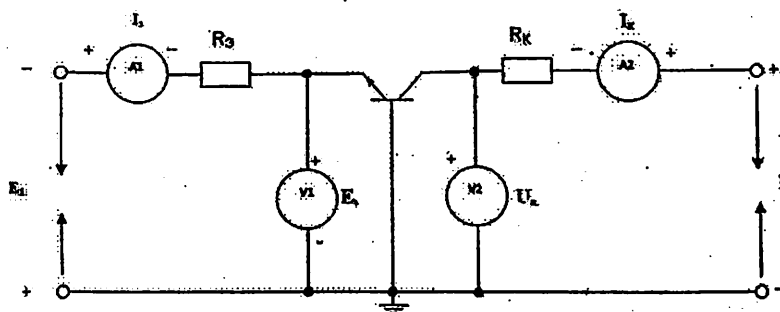


Рисунок 3.1. Схема усилителя на БТ схемы ОБ .

**Описание модели.** В модели используется немецкий маломощный низкочастотный транзистор МР37Б. По своим параметрам рабочее напряжение  $U = (30 \dots 50) \text{ В}$ , максимальная мощность  $R_{\text{MAX}} = 200 \text{ мВт}$ .

Параметры остальных элементов схемы следующие:

$R_1, R_2 = 1$  дешево, дешево,  $11 = R_3 = 5,1$  дешево,  $R_4 = 3,6$  дешево,  $R_5, R_6 = 3,6$  Ком,  $6 = 47$ ,  $R_7 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_8$  и  $R_9 = 510 \text{ Ом} = 3,6$  дешево,  $R_{10} = 10 \text{ кОм}$ .

Таблица 3.1.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R_E(\text{кОм})$	1	0,5	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,8	0,7	0,8	0,5	0,6	0,65	0,55
$R_K(\text{кОм})$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$I_B(\text{мА})$	5	4	6	5,5	4,5	6,7	6,5	7	4,5	4,8	3,7	3,5	7,5	7,7	8
$E_2(\text{В})$	10	8	9	12	12	15	12	15	10	10	12	13	14	14	15

Таблица 3.2

$\omega t, \text{grad}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$I_B(\omega t), \text{мА}$													
$U_B(\omega t), \text{В}$													
$I_K(\omega t), \text{мА}$													
$U_K(\omega t), \text{В}$													

Определите параметры состояния покоя транзистора, подключив прибор для измерения напряжения переменного тока к контрольным точкам. Найти коллектор, эмиттер и базовые токи покоя, учитывая измеренные потенциалы контрольных точек и значения резисторов  $R_E = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_K = 1 \text{ кОм}$ .

### 3. Обработка экспериментальной результатов

Определить режим покоя транзистора при каждом рекомендуемом значении напряжения питания по результатам измерения постоянного

напряжения в контрольных точках. Определить параметры транзистора в каждом заданном состоянии покоя.

Транзистор 4.1. определяют напряжение ( $K_U$ ), коэффициенты усиления ( $K_P$ ) усилителя каскада, а также входное и выходное сопротивления, основываясь на параметрах, определенных в пункте, и известных параметрах других элементов схемы.

Сравните различные схемы подключения транзистора на основе результатов экспериментов и h расчетов.

- Усиление напряжения:

$$K_U = \frac{\Delta U_{КБ}}{\Delta U_{ЭБ}}$$

- Текущее усиление:

$$K_I = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_3}$$

- Усиление мощности:

$$K_P = K_U \times K_I$$

- Динамическое входное сопротивление:

$$R_{\text{дин.вх}} = \frac{\Delta U_3}{\Delta I_3}$$

- Динамическое выходное сопротивление:

$$R_{\text{дин.вых}} = \frac{\Delta U_K}{\Delta I_K}$$

**Нарисуйте следующие графики на основе результатов расчета:**

1.  $I_K = f(\omega t)$ ;

2.  $U_K = f(\omega t)$ ;

3.  $I_3 = f(\omega t)$ ;

4.  $I_K = f(U_K)$ ;

5.  $U_3 = f(\omega t)$ ;

6.  $U_K = f(I_3)$ .

**Описание модели.** В модели используется немецкий маломощный низкочастотный транзистор МР37Б. По своим параметрам рабочее напряжение  $U = (30 \dots 50) \text{ В}$ , максимальная мощность  $R_{\text{MAX}} = 200 \text{ мВт}$ .

Параметры остальных элементов схемы следующие:

$R_1, R_2 = 1$  дешево, дешево,  $11 = R_3 = 5,1$  дешево,  $R_4 = 3,6$  дешево,  $R_5, R_6 = 3,6$  Ком,  $6 = 47$ ,  $R_7 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_8$  и  $R_9 = 510 \text{ Ом} = 3,6$  дешево,  $R_{10} = 10\text{kОм}$ .

Таблица 3.1.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R_2(\text{kОм})$	1	0,5	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,8	0,7	0,8	0,5	0,6	0,65	0,55
$R_3(\text{kОм})$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$I_2(\text{mA})$	5	4	6	5,5	4,5	6,7	6,5	7	4,5	4,8	3,7	3,5	7,5	7,7	8
$E_2(\text{В})$	10	8	9	12	12	15	12	15	10	10	12	13	14	14	15

Таблица 3.2

$\omega t, \text{grad}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$I_2(\omega t), \text{mA}$													
$U_2(\omega t), \text{V}$													
$I_x(\omega t), \text{mA}$													
$U_x(\omega t), \text{V}$													

Определите параметры состояния покоя транзистора, подключив прибор для измерения напряжения переменного тока к контрольным точкам. Найти коллектор, эмиттер и базовые токи покоя, учитывая измеренные потенциалы контрольных точек и значения резисторов  $R_E = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_K = 1 \text{ кОм}$ .

### 3. Обработка экспериментальной результатов

Определить режим покоя транзистора при каждом рекомендуемом значении напряжения питания по результатам измерения постоянного

напряжения в контрольных точках. Определить параметры транзистора в каждом заданном состоянии покоя.

Транзистор 4.1. определяют напряжение ( $K_U$ ), коэффициенты усиления ( $K_P$ ) усилителя каскада, а также входное и выходное сопротивления, основываясь на параметрах, определенных в пункте, и известных параметрах других элементов схемы.

Сравните различные схемы подключения транзистора на основе результатов экспериментов и расчетов.

- Усиление напряжения:

$$K_U = \frac{\Delta U_{КБ}}{\Delta U_{ЭБ}}$$

- Текущее усиление:

$$K_I = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_Э}$$

- Усиление мощности:

$$K_P = K_U \times K_I$$

- Динамическое входное сопротивление:

$$R_{\text{дин.вх}} = \frac{\Delta U_Э}{\Delta I_Э}$$

- Динамическое выходное сопротивление:

$$R_{\text{дин.вых}} = \frac{\Delta U_K}{\Delta I_K}$$

Нарисуйте следующие графики на основе результатов расчета:

1.  $I_K = f(\omega t)$ ;

2.  $U_K = f(\omega t)$ ;

3.  $I_Э = f(\omega t)$ ;

4.  $I_K = f(U_{КБ})$ ;

5.  $U_Э = f(\omega t)$ ;

6.  $U_K = f(I_Э)$ .

#### **4. Содержание отчета:**

- 1. Цель работы.**
- 2. Параметры исследуемого транзистора.**
- 3. Принципиальная схема лабораторной работы.**
- 4. По каждому этапу выполненных работ - наименование этапа и полученные результаты (в виде таблиц, графиков и осциллограмм).**
- 5. Краткий вывод по полученным результатам.**

#### **5. Контрольные вопросы**

- 1. Каковы различия (схемы, параметры и характеристики) между каскадами усилителей ОБ, ОЭ и ОК?**
- 2. Нарисуйте эквивалентную схему транзистора, фазу усилителя транзистора.**
- 3. Измерьте (определите) входное и выходное сопротивление усилителя, коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности.**
- 4. Причины искажения сигнала в каскаде транзисторного усилителя.**
- 5. Как вы понимаете частоту среза?**



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

**Цель работы:** Изучить схему усилителя на ПТ и измерять их динамические характеристики и дифференциальные параметры.

#### 1. Теоритическая часть

Полевым транзистором (ПТ) называется полупроводниковый радиокомпонент, используемый для усиления электрического сигнала. В цифровых устройствах схемы на основе ПТ исполняют функции ключей, управляющих переключениями логических элементов. В последнем случае использование полевых транзисторов оказывается крайне выгодным с точки зрения миниатюризации аппаратуры. Это обусловлено тем, что для цепей управления этими радиокомпонентами требуются небольшие мощности, вследствие чего на одном кристалле полупроводниковой микросхемы можно размещать десятки тысяч транзисторов.

ПТ состоит из трёх элементов – истока, стока и затвора. Функции первых двух очевидны и состоят соответственно в генерировании и приёме носителей электрического заряда, то есть электронов или дырок. Предназначение затвора заключается в управлении током, протекающим через полевой транзистор.

В момент подачи напряжения на затвор возникает электрическое поле, изменяющее ширину р-п-переходов и влияющее на величину тока, который протекает от истока к стоку. При отсутствии управляющего напряжения ничто не препятствует потоку носителей заряда. С повышением управляющего напряжения канал, по которому движутся электроны или дырки, сужается, а при достижении некоего предельного значения закрывается вовсе, и ПТ входит в так называемый режим отсечки. Как раз это

свойство полевых транзисторов и позволяет использовать их в качестве ключей.

Усилительные свойства радиокомпонента обусловлены тем, что мощный электрический ток, протекающий от истока к стоку, повторяет динамику напряжения, прикладываемого к затвору. Другими словами, с выхода усилителя снимается такой же по форме сигнал, что и на управляющем электроде, только гораздо более мощный.

Виды полевых транзисторов.

1. ПТ управляющий p-n переход
2. Изолированным затвором.
3. Шоттки барьерный ПТ

Дано структурная поперечная сечения схема условно графическая обозначения управляющий p-n-переходом и n – каналный ПТ рис-4.1.

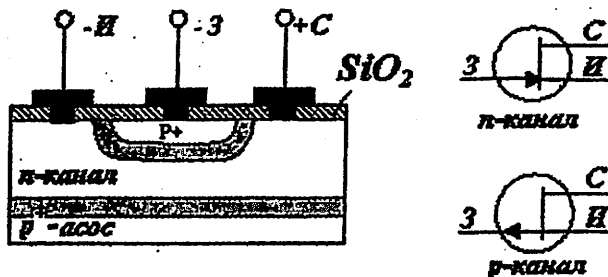


Рисунок - 4.1. Структурная поперечная сечения схема условно графическая обозначения управляющий p-n-переходом и n – каналный ПТ

#### Схемы включения полевых транзисторов.

В зависимости от того, каким образом ПТ включается в усилительный каскад, существует три схемы – с общим истоком, с общим стоком и с общим затвором. Способы различаются тем, на какие электроды подаются питающие напряжения, и к каким цепям присоединяются источник сигнала и нагрузка.

Схема с общим истоком используется чаще всего, так как именно в этом случае достигается максимальное усиление входного сигнала. Способ включения ПТ с общим стоком используется, главным образом, в устройствах согласования, поскольку усиление здесь небольшое, но входной и выходной сигналы совпадают по фазе. И, наконец, схема с общим затвором находит применение, в основном, в высокочастотных усилителях. Полоса пропускания при таком включении полевого транзистора гораздо шире, чем при других схемах.

## 2. Задание выполнения лабораторных работ

- Ознакомление с теоритическом материалом;
- Найти значения  $U_{СН}$ ,  $R_C$  и  $U_{3И}(\omega t)$  по таблица - 4.1;
- Собрать схему NI Multisim на рис - 4.2 и установить значение по вариантам;
- В программе NI Multisim полученные результаты записать в таб - 4.2;
- По полученным результатом с таблицы - 4.2 нарисовать графики;

### Параметры полевого транзистора 2N4416 в программе NI Multisim

- Название транзистора: 2N4416;
- Вид транзистора: полевой транзистор (JFET);
- Тип транзистора: n - типный
- Максимальная мощность рассеивания (power dissipation): 0,3 Вт;
- Максимальная  $U_{СН}(U_{ds})$ : 30В;
- Максимальная  $U_{3И}(U_{gs})$ : 30В;
- Максимальная  $I_C(I_d)$ : 0.03А;
- Максимальная температура канала (Tj): 200 °С;
- Максимальная сопротивления встроенный источник сток-истока 150 Ом;
- Вид корпуса: TO18, TO72

Таблица-4.1

№ вариантов	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
I <sub>C</sub> , mA	0,5	3	1	1,5	2	2	0,5	1
E <sub>π</sub> =E2 (В)	15	15	12	13	10	15	15	15

№ вариантов	9	10	11	12	13	14	15	16
A	0,8	0,6	0,9	0,8	0,6	0,6	0,7	0,3
I <sub>C</sub> , mA	1	1,3	3	2,5	1,4	1,5	2,4	1,5
E <sub>π</sub> =E2 (В)	12	13	12	10	14	13	11	15

### 3. Предварительный расчет

Найти напряжение стока U<sub>СИ</sub> для этого выполнить условия:

$$U_{СИ} \approx 0,5E_{\pi}$$

Найти сопротивление стока R<sub>C</sub>:

$$R_C = \frac{U_{СИ}}{I_C}$$

Найти напряжение U<sub>ЗИ</sub> рассчитайте по следующей формуле:

$$U_{ЗИ}(\omega t) = -(E_1 - A \sin(\omega t)); \quad (4,2)$$

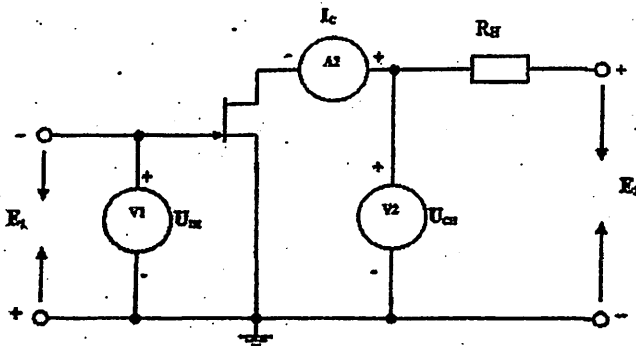


Рисунок - 4.2. Схема усилителя на ПТ.

На основании результатов измерений в лабораторный работ заполнить таблицу - 4.2.

Таблица - 4.2

$\omega t, grad$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$U_{зи}(\omega t), V$													
$I_C(\omega t), mA$													
$U_{си}(\omega t), V$													

Нарисовать графики .

1.  $U_{зи} = f(\omega t)$ ;

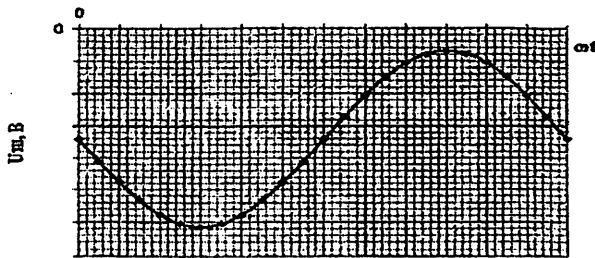
2.  $I_C = f(\omega t)$ ;

3.  $U_{си} = f(\omega t)$ ;

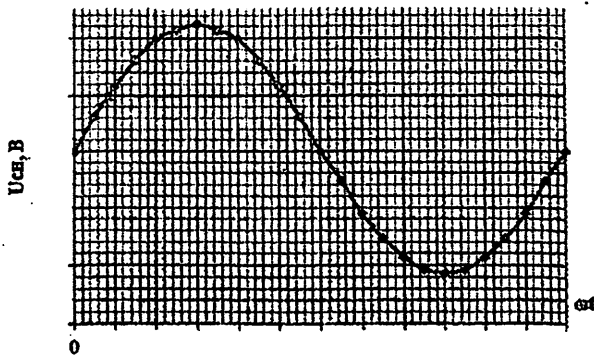
4.  $I_C = f(U_{зи})$ ;

5.  $I_C = f(U_{си})$ ;

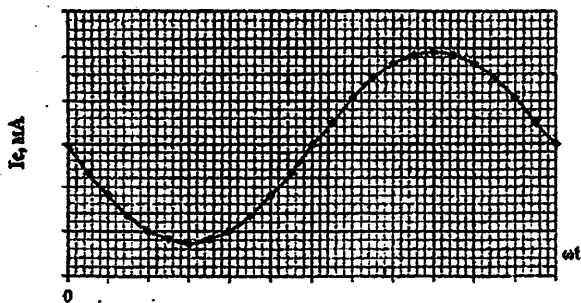
6.  $U_{си} = f(U_{зи})$ ;



$U_{зи} = f(\omega t)$



$U_{си} = f(\omega t)$



$$I_C = f(U_{зи})$$

На основании полученных графиков рассчитываются значения следующих коэффициентов:

Крутизна характеристическая

$$U_{СН} = \text{const} \quad \text{где} \quad S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{зи}};$$

Внутреннее (дифференциальное) сопротивление

$$U_{зи} = \text{const} \quad \text{где} \quad R_i = \frac{\Delta U_{СН}}{\Delta I_C};$$

Коэффициент усиления по напряжению

$$I_C = \text{const} \quad \text{где} \quad \mu = \frac{\Delta U_{СН}}{\Delta U_{зи}} \quad \text{или} \quad \mu = SR_i.$$

#### 4. Содержание отчета

1. Параметры изучаемого транзистора
2. Принципиальная схема макетов лабораторных работ
3. По каждому этапу выполняемых работ - название этапа и полученное результаты (в виде таблиц, графиков и в осциллограмме).
4. Вывод

## 5. Контрольные вопросы

1. Опишите полевой транзистор, управляемый затвором р-п перехода и объясните механизм его работы.
2. Опишите режимы работы полевого транзистора. Какое соотношение напряжения между током транзистора и запасом в каждом режиме?
3. Какая система дифференциальных параметров используется в полевых транзисторах и почему?
4. Опишите и объясните передаточные характеристики полевого транзистора, с управляемым р-п-переходом.
5. Опишите и объясните семейство выходных характеристик полевого транзистора, управляемых затвором р-п-перехода.
6. Опишите характеристику передачи полевого транзистора, управляемого р-п-переходом измеряемого объекта при различных температурах. Чем объясняется наличие температурных стабильных точек в этих характеристиках?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СТАБИЛЬНОГО ТОКА НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

**Цель работы:** Исследовать характеристики и параметры двухтранзисторного и трехтранзисторного (Уильсона) генератора стабильного тока на биполярном транзисторе. Изучить моделирования в программной среде NI Multisim.

#### 1. Теоретический часть

Электронное устройство обеспечивающее заданное значение протекания тока от произвольной цепи называется *генератором стабильного тока (ГСТ)*. Величина тока протекающего через нагрузку, не зависит от изменений источника напряжения, параметров цепи и температуры.

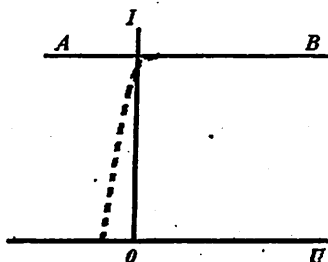


Рисунок - 5.1. ВАХ идеальный генератора стабильного тока.

Функция ГСТ заключается в поддержании постоянного значения выходного тока при изменении входного напряжения и значения нагрузки, и они используются в аналоговых и цифровых микросхемах, которые выполняют различные функциональные функции.



Только идеальный источник тока с бесконечно большим динамическим сопротивлением может обеспечить постоянное значение тока. ВАХ идеальный источник тока состоит АВ горизонтальной прямой линии (рис.5.1). Выходная характеристика БТ схема подключения ОБ, близко к ВАХ идеальному генератора тока. Это означает, что транзистор схема подключения ОБ, может практически функционировать как генератор тока. Но для обеспечения температурной стабильности и широкого динамического диапазона, на практике используются два или более транзистора.

Простейшая схема ГСТ показана на рисунке 5.2. На схеме транзистор VT1, называемый базовым транзистором, подключен к цепи тока  $I_1$  подключенного сдвиг по прямой линии с помощью диода. У него очень маленькое сопротивление. Поэтому VT1 функционирует как генератор напряжения. Он обеспечивает напряжением транзистор VT2 на переход эмиттер-базы, соединено последовательно к цепи с управляемой  $R_n$ .

В связи с тем, что транзистор VT2 управляется напряжением базы-эмиттера, его характеристики соответствуют характеристикам схемы подключения ОБ. Известно, что схема подключения ОБ в активном режиме в цепи ток коллектора практически не зависит от напряжения на коллекторе (рис. 5.2). Поэтому ток  $I_2$  проходящий через произвольный  $R_n$ , определяется базовым напряжением  $U_{ЭБ2}$ . Покажем на практике, что равны  $I_2 = I_1$ .

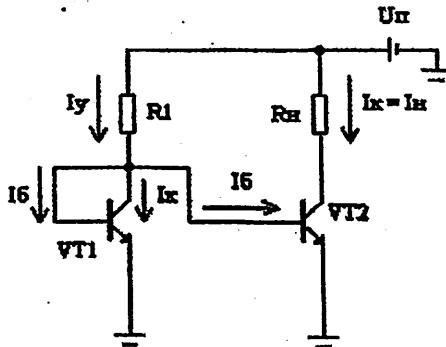


Рисунок 5.2. двухтранзисторный схема ГСТ.

выражение уместно.

Используя идеализированный ВАХ переход (5.1),

$$U_{\text{БЭ1}} = \varphi_T \ln(I_1 / I_0) \quad ; \quad U_{\text{БЭ2}} = \varphi_T \ln(I_2 / I_0) \quad (5.4)$$

можно написать.

Из выражений (5.3) и (5.4) и получим следующее выражение

$$I_2 = \frac{\varphi_T}{R_3} \ln \frac{E_M - U_{\text{БЭ1}}}{I_2 R} \quad (5.5)$$

Исходя из заданного значения тока  $I_2$  (5.5), можно найти сопротивление эмиттера  $R_3$  :

$$R_3 = \frac{\varphi_T}{I_2} \ln \frac{E_M - U_{\text{БЭ1}}}{I_2 R} \quad (5.6)$$

Несмотря на простоту этой схемы, она обеспечивает хорошую температурную стабильность, потому что через резистор  $R_3$  имеет отрицательную обратную связь. Из расчетов известно, что нестабильность тока при изменении температуры на один градус составляет  $\Delta I_2 = 2,5$  мкА. Кроме того, при  $R_3 = 1$  кОм (статическое сопротивление) динамическое сопротивление ГСТ близко к 1 МОм.

## 2. Подготовка к лабораторным работам

### 1 часть. Исследование принцип работы двухтранзисторного ГСТ.

#### Порядок выполнения лабораторных работ

Таблица - 5.1.

№ варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$E_{\text{п}}, \text{В}$	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	10	11
$I_{\text{э}}, \text{мА}$	5	5.5	6	4	5	4	5	2	3	4	5.5	5	3.5	4.5	4	5

## Предварительные расчеты

### Расчет сопротивления $R_1$ для двухтранзисторного ГСТ.

Транзисторы которые изготовлены из кремния напряжение база-эмиттера равно  $U_{БЭ}=0,6\dots 0,8В$ .

$R_1$  можно рассчитать по следующей формуле.

$$R_1 = \frac{U_{п} - U_{БЭ}}{I_y};$$

Выполнения работ.

Собрать схему, показанную на рисунке 5.2. на основе заданных параметров в программе NI Multisim, изменив значения  $R_2=R_n$ , и заполните таблицу 5.2:

Таблица - 5.2.

$R_{н,кОм}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$U_{RH}, В$																
$I_{н}, мА$																
$\delta$																

### Обработка результатов

Расчет отклонения значения от управляющего тока:

$$\delta = \frac{I_y - I_n}{I_y} * 100\%.$$

Нарисовать графики по полученным результатам

2)  $I_n=f(R_n)$ ; 2)  $I_n=f(U_{RH})$ ; 3)  $\delta=f(R_n)$ .

### 2 часть. Предварительные расчеты

#### Расчет сопротивления $R_1$ для трехтранзисторного (Уилсон) ГСТ.

Транзисторы которые изготовлены из кремния напряжение база-эмиттера равно  $U_{БЭ}=0,6\dots 0,8В$ .

$R_1$  можно рассчитать по следующей формуле.

$$R1 = U_{к VT1} / I_y$$

Здесь,  $U_{к VT1} = U_{п} - U_{бс VT2} - U_{бс VT3} = U_{п} - 2U_{бс}$  т.е.  $U_{к VT1} = U_{п} - 2U_{бс}$ .

### Выполнения работ.

Собрать схему, показанную на рисунке 5.3. на основе заданных параметров в программе NI Multisim, изменив значения  $R_2=R_n$ , и заполните таблицу 5.3:

Таблица - 5.3.

$R_n, \text{кОм}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$U_{RH}, \text{В}$																
$I_n, \text{мА}$																
$\delta$																

### Обработка результатов

Расчет отклонения значения от управляющего тока:

$$\delta = \frac{I_y - I_n}{I_y} * 100\%.$$

Нарисовать графики по полученным результатам

1)  $I_n=f(R_n)$ ; 2)  $I_n=f(U_{RH})$ ; 3)  $\delta=f(R_n)$ .

### 4. Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Параметры исследуемого транзистора.
3. Принципиальная схема лабораторной работы.
4. По каждому этапу выполненных работ наименование этапа и полученные результаты (в виде таблиц, графиков и осциллограмм).
5. Краткий вывод по полученным результатам.

### 5. Контрольные вопросы

1. Определение генератора стабильного тока.
2. Функция генератора стабильного тока?
3. Определение токового зеркала Уилсона.
4. Почему на практике используется ГСТ на БТ ?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СТАБИЛЬНОГО ТОКА НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

**Цель работы:** изучить и измерить параметры генератора постоянного тока выполненного на полевом транзисторе.

#### 1. Теоретическая часть

Усилители на базе ПТ или канальных МДП-транзисторов, управляемых  $p$  -  $n$ - переходом, в основном используются в качестве входных каскадов. Это связано со следующими характеристиками ПТ:

- Высокое входное сопротивление с высоким входным сопротивлением облегчает адаптацию к источнику сигнала;
- малый коэффициент шума имеет преимущество в усилении слабых сигналов;
- высокая стабильность в рабочей точке термодпары.

*Каскад усилителя подключен в цепи пользовательского интерфейса.* Принципиальная схема шлема усилителя, подключенного к интерфейсу пользователя, подключенному к  $n$ - канальному переключателю  $p$ - $n$ , показана на рисунке 6.1.

В этой лабораторной работе мы будем использовать модель полевого транзистора 2N6660. Параметры и характеристики каждого транзистора будут указаны в его паспорте. Исходя из этих параметров, на практике выбирают транзисторы в зависимости от функции устройства. Характеристики и параметры транзистора модели 2N6660 показаны на рисунке 6.1.

# 2N6660

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS†

Drain-to-source voltage	.....	$V_{DS}$	6V
Drain-to-gate voltage	.....	$V_{DGS}$	6V
Gate-to-source voltage	.....	$V_{GSS}$	±20V
Operating and Storage Temperature	.....		-65 to 150 °C

† Notes: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational ratings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise specified, for all specifications  $V_A = +25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units	Conditions
DC Parameters (Note 1, unless otherwise specified)						
Drain-to-source breakdown voltage	$V_{DS(BR)}$	60	-	-	V	$V_{GS}=0V, I_D=10\mu A$
Gate threshold voltage	$V_{GS(th)}$	0.8	-	-2.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=1.0mA$

Рисунок - 6.1. технические характеристики транзистора в марке 2N6660

## 2. Задание для лабораторную работу.

Построить и проанализировать графики  $I_n=f(R_H)$ ,  $I_n=f(U_{RH})$ ,  $\delta=f(R_H)$  на основе схемы двух транзисторного и трех транзисторного токовых зеркал (рис. 6.2 и 6.3), выполненных в полевом транзисторе.

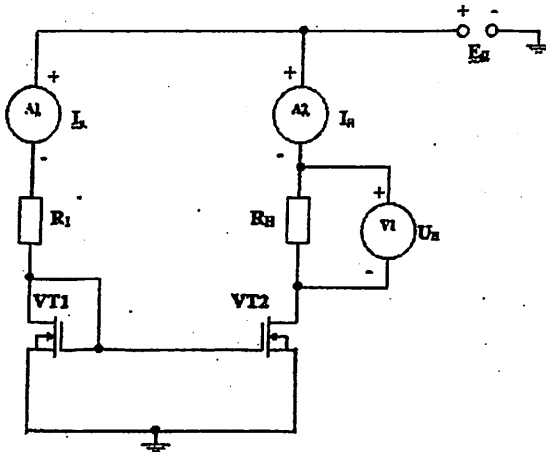


Рисунок - 6.2. Схема двухтранзисторного токового зеркала, выполненного на полевом транзисторе

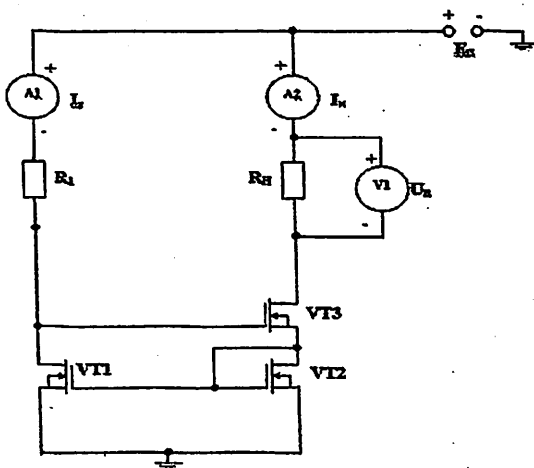


Рисунок - 6.3. Схема трех транзисторного токового зеркала, выполненного на полевом транзисторе

$$\delta = \frac{I_y - I_H}{I_y} * 100\%$$

Определить максимальное значение сопротивления нагрузки  $R_H$  для приведенных выше цепей, где значение тока выхода зеркала тока отличается на 5 процентов от значения тока входа, и показать эту точку на графиках.

Параметры для выполнение лабораторной работы:

Таблица - 6.1.

вар. №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$E_{п}, В$	14	15	16	13	14,5	14	10	15	11	9	11,5	14	15	16	17
$I_y, мА$	12	12,5	14	11	12,5	12	7	13	9	7	9,5	12,5	13,5	14,5	15
$U_{zn}, В$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

### 3. Подготовка выполнения лабораторных работ

Двух транзисторное токовое зеркало выполненное на полевом транзисторе.

- Скопировать схему, показанную на рисунке 6.2. в программе NI Multisim для выполнения лабораторной работы.

- Установите значение источника напряжения  $E_{п}$  исходя из заданных параметров (например:  $E_{п} = V1 = 12В$ ,  $I_y = 10мА$ ,  $U_{zn} = 2В$ .) в вашем

варианте указанном в таблице 6.1. и рассчитайте значение сопротивления R1 по следующим формулам:

$$R1 = (E_{\Pi} - U_{зд}) / I_y$$

$$R1 = 1000 \text{ Ом}$$

По предварительному результату расчета настроить схему, запустить программу рисунок 6.4.

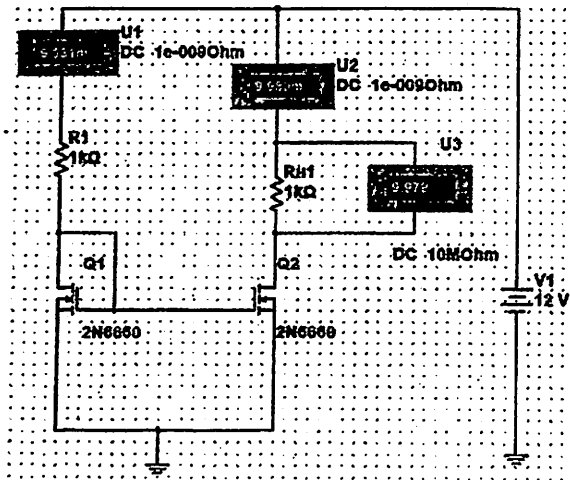


Рисунок - 6.4. . принципиальная схема двухтранзисторного токового зеркала выполненного на полевом транзисторе в программе NI Multisim

В результате амперметр U1 показывает управляющий ток  $I_y = 9,981 \text{ мА}$ , но по вариантам должен быть  $10 \text{ мА}$ . При этом погрешность текущего расхода составила  $0,19\%$ . При первом запуске ошибка управляющего тока  $I_y$  может составлять до  $3\%$ .

$$\frac{I_y - I_{из}}{I_y} * 100\%$$

Здесь,  $I_y$  по вариантам а ток  $I_{из}$  измеряется.



$$\frac{(10 - 9,981) * 10^{-3}}{10 * 10^{-3}} * 100\% = 0,19\%$$

Увеличьте значение сопротивления нагрузки от  $R_n = 0$  Ом до  $R_n = 1,5$  кОм по 0,1 кОм и запишите результаты в табл. 6.2.

Таблица - 6.2.

$R_n, \text{кОм}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$U_{RH}, \text{В}$																
$I_n, \text{мА}$																
$\delta$																

Определить максимальное значение сопротивления нагрузки  $R_n$  для схемы выше показанной на рис. 6.2. где значение выходного тока токового зеркала отличается на 5 % от значения входного тока, и показать эту точку на графиках.

На основании полученных результатов построить графики по функциям  $I_n = f(R_n)$ ,  $I_n = f(U_{RH})$ ,  $\delta = f(R_n)$

Трёх транзисторное токовое зеркало, выполненное на полевом транзисторе.

- Собрать схему, показанную на рис. 6.3. в программе NI Multisim для выполнения лабораторной работы.

- Установите значение  $E_{п}$  источника напряжения исходя из заданных параметров в указанном вами варианте (например:  $E_{п} = V_1 = 12\text{В}$ ,  $I_y = 10\text{мА}$ ,  $U_{zn} = 2\text{В}$ .) и вычислите значения резистора R1 по следующей формуле :

$$R1 = (E_{п} - 2U_{zn}) / I_y$$

**$R1 = 800$  Ом**

По предварительному результату расчета настройте схему, запустите симулятор, рисунок 6.5.

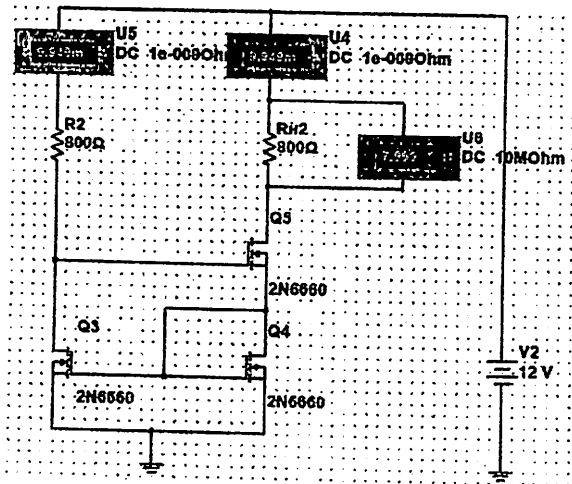


Рисунок - 6.5.

В результате амперметр U1 показывает ток управления  $I_y = 9,949$  мА, но вариант должен быть 10 мА. При этом погрешность текущего расхода составила 0,51%. При первом запуске моделирования ошибка управляющего тока  $I_y$  может составлять до 3%.

$$\frac{I_y - I_{из}}{I_y} * 100\%$$

Здесь,  $I_y$  по вариантам а ток  $I_{из}$  измеряется.

$$\frac{(10 - 9,949) * 10^{-3}}{10 * 10^{-3}} * 100\% = 0,51\%$$

Увеличьте значение сопротивления нагрузки от  $R_n = 0$  Ом до  $R_n = 1,5$  кОм по 0,1 кОм и запишите результаты в табл. 6.3.

$$\delta = \frac{I_y - I_n}{I_y} * 100\%$$

Определить максимальное значение сопротивления нагрузки  $R_n$  для схемы выше показанной на рис. 6.3. где значение выходного тока токового

зеркала отличается на 5 % от значения входного тока, и показать эту точку на графиках.

Таблица - 6.3.

$R_{н}, \text{кОм}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$U_{RH}, \text{В}$																
$I_H, \text{мА}$																
$\delta$																

На основании полученных результатов построить графики по функциям  $I_H=f(R_H)$ ,  $I_H=f(U_{RH})$ ,  $\delta=f(R_H)$

#### 4. Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Параметры исследуемого транзистора.
3. Принципиальная схема лабораторной работы.
4. По каждому этапу выполненных работ наименование этапа и полученные результаты (в виде таблиц, графиков и осциллограмм).
5. Краткий вывод по полученным результатам.

#### 5. Контрольные вопросы.

1. Что такое полевой транзистор (ПТ) и почему его также называют униполярным транзистором?
2. Перечислите виды ПТ.
3. Какие схемы подключения ПТ вы знаете?
4. Основные режимы работы ПТ.
5. Каковы характеристики электронных усилителей?
6. Опишите основные характеристики и параметры усилителей. Каковы их особенности?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИТТЕРНОГО ПОВТОРИТЕЛЯ

**Цель работы:** изучить схему эмиттерного повторителя, выполненную в биполярном транзисторе, и измерить ее динамические характеристики и дифференциальные параметры.

#### 1. Теоретическая часть

Эмиттерный повторитель – частный случай повторителей напряжения на трёхэлектродных активных приборах на основе биполярного транзистора.

Характеризуется высоким коэффициентом усиления по току, коэффициент передачи по напряжению близок к единице. При этом входное сопротивление повторителя относительно велико, а выходное сопротивление мало. Обладает широким диапазоном усиливаемых частот.

В эмиттерном повторителе транзистор включён по схеме с общим коллектором (ОК). То есть, потенциал коллектора при работе каскада неизменен относительно «земли» и коллектор обычно подключается к источнику питания. Входной сигнал подаётся на базу, а выходной сигнал снимается с эмиттера. В схеме образуется 100 % отрицательная обратная связь по напряжению, это существенно уменьшает нелинейные искажения сигнала. Фазы входного и выходного сигнала совпадают, то есть усилитель является не инвертирующим.

*Достоинства* : Большое входное сопротивление, малое выходное сопротивление, широкий частотный диапазон.

*Недостатки* : Коэффициент усиления по напряжению немного меньше 1.

Эмиттерный повторитель используется для согласования источников сигнала с высоким внутренним сопротивлением с низкоомной нагрузкой, например, для построения входных усилителей, как буферный усилитель, в

каскадах с дифференциальным входом, а также в выходных каскадах усилителей мощности.

Схема эмиттерного повторителя показана на рисунке 7.1. цепь состоит из  $E_1$  - источника переменного напряжения с управляемым напряжением,  $E_2$  - источника постоянного потенциал напряжения,  $R_Э$  - резистор эмиттера, биполярного транзистора и измерительных устройств для измерения величин.

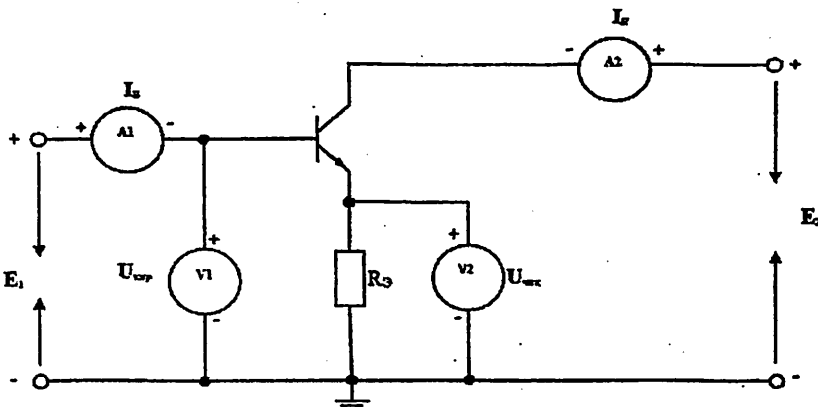


Рисунок 7.1— гасм. Принципиальная схема эмиттерного повторителя

Таблица - 7.1.

вар. №	1	2	3	4	5	6	8	7	9	10
A	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0,7	0,4
$R_Э$ (кОм)	1000	510	1000	620	750	820	1000	910	820	750
$I_K$ (мА)	1	1,8	2	3	3,5	2	3	2,5	1,5	1
$E_2$ (В)	14	13	15	16	15	15	15	14,5	14	15

вар. №	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	0,3	0,5	0,5	0,3	0,55	0,55	0,45	0,3	0,75	0,45
$R_Э$ (кОм)	820	820	620	620	750	1000	1000	910	820	750
$I_K$ (мА)	3	2	2,5	1,5	2	3	3	2,5	1,5	1
$E_2$ (В)	15	13	14	14	15	16	15	14,5	14	15

## 2. Подготовка к лабораторным работам

### Предварительные расчеты

$E_1$  - Расчет значения источника постоянного напряжения с управляемым напряжением:

$$E_1 = E_0 (1 + A \sin(\omega t))$$

Таблица - 7.2.

$\omega t, \text{grad}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$E_1(\omega t), V$													
$I_6(\omega t), \text{мкА}$													
$I_k(\omega t), \text{мА}$													
$U_s(\omega t), V$													

### 3. Задание для лабораторных работ

Обработка результатов измерений:

- Усиление напряжения:

$$K_U = \frac{\Delta U_B}{\Delta U_s} \quad \text{здесь} \quad U_{\text{б.вх}} = E_1$$

- Текущее усиление:

$$K_I = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_6}$$

- Усиление мощности :

$$K_P = K_U \times K_I$$

- Динамическое входное сопротивление :

$$R_{\text{дин.вх}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta I_{\text{вх}}} \quad \text{здесь} \quad U_{\text{б.вх}} = E_1$$

- Динамическое выходное сопротивление :

$$R_{\text{дин.вых}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta I_{\text{вых}}}$$

Нарисовать графики по полученным результатам:

1.  $E_1 = f(\omega t)$ ;

2.  $I_6 = f(\omega t)$ ;

3.  $I_k = f(\omega t)$ ;

4.  $U_9 = f(\omega t)$ .

#### 4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Параметры исследуемого транзистора.
3. Принципиальная схема лабораторной работы.
4. По каждому этапу выполненных работ - наименование этапа и полученные результаты (в виде таблиц, графиков и осциллограмм).
5. Краткий вывод по полученным результатам.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Каковы различия (схемы, параметры и характеристики) между каскадами усилителей ОБ, ОЭ и ОК?
2. Нарисуйте эквивалентную схему транзистора, фазу усилителя транзистора.
3. Измерьте (определите) входное и выходное сопротивление усилителя, коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности.
4. Причины искажения сигнала в каскаде транзисторного усилителя.
5. Как вы понимаете частоту среза?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ИСТОКОВОГО ПОВТОРИТЕЛЯ

**Цель работы:** Исследование схемы истокового повторителя на полевом транзисторе, измерение дифференциальных параметров в программе NI Multisim и анализ динамических характеристики.

#### 1. Теоретическая часть

В ПТ ток генерируется за счет дрейфового действия свободных носителей заряда под воздействием продольного электрического поля. Токопроводящий проводник слой называется каналом, и он может быть  $n$ -каналом и  $p$ -каналом. Электроды установлены по краям канала, один из которых называется исток, а другой сток.

Неважно, какой из электродов называется стоком или истоком. Электрод, от которого в канал поступают носители заряда, называется истоком, а электрод, принимающий носители заряда из канала, называется стоком. Величина тока в канале регулируется поперечным электрическим полем с помощью третьего электрода называется - затвором.

Существует два типа ПТ, которые отличаются друг от друга структуры и способа управления проводимостью области канала.

*Каскад усилителя подключен к схеме ОИ.* Принципиальная схема каскада усилителей на основе ПТ с подключенным ОИ показана на рис. 8.1. В схеме используется ПТ, управляемый  $n$ -канальным  $p$ - $n$  переходом.

В схеме электрод стока подключен к общему источнику напряжения шины через очень маленький резистор  $E_M$ , то есть базовый электрод стока является общим для входной и выходной цепей.

Амплитуда выходного сигнала в выходном отражателе возвращает амплитуду и фазу входного сигнала. Эти два фактора привели к тому, что



каскад называют регулятором напряжения. Вместе значение усиления близко к 100% отрицательного п.

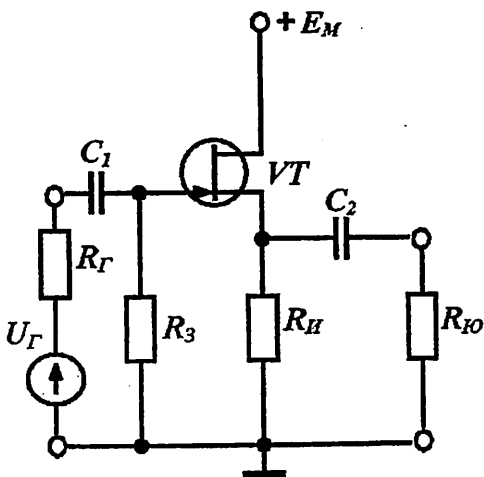


Рисунок 8.1. Схема каскада усилителей на базе ПТ в

Входное сопротивление МТ-понижителя напряжения, управляемого г-п-переходом, складывается из дифференциального сопротивления инвертированного управляющего г-п-перехода.

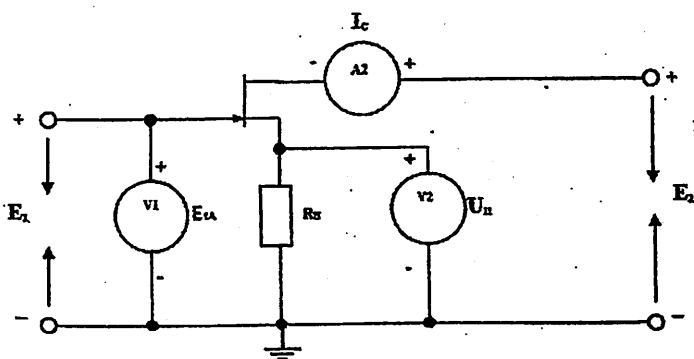


Рисунок - 8.2. схема истокового повторителя

МДЯ - входное сопротивление понизителя напряжения на основе транзистора будет еще больше, т.к. оно определяется сопротивлением диэлектрической завесы под барьером, которое составляет ~100 МОм.

Таблица - 8.1.

№ варианты	1	2	3	4	5	6	8	7	9	10
A	0,8	0,5	0,3	0,8	0,7	0,3	0,6	0,4	0,3	0,35
R <sub>н</sub> (кОм)	3,3	1,3	1,2	1,5	1,6	1,8	2	1,1	1	1,3
I <sub>с</sub> (мА)	2	2,5	3	1,5	2	2,7	2	3	2,8	2,2
E <sub>п</sub> = E <sub>2</sub> (В)	15	12	13	10	11	13	14	12	9	12

№ варианты	11	12	13	14	15	16
A	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
R <sub>н</sub> (кОм)	2,2	2,4	3,3	1,6	1	2
I <sub>с</sub> (мА)	2,7	1,5	2	2,5	3	1,5
E <sub>п</sub> = E <sub>2</sub> (В)	12	13	13	10	12	10

Схема истока показана на рисунке 8.1 ниже, а схема эмиттера состоит из Э1 - источника переменного напряжения, E2 - источника постоянного напряжения, РИ - резистора, полевого транзистора и измерительных приборов для измеряемые значения.

## 2. Подготовка к лабораторным работам

### Предварительные расчеты

E<sub>1</sub>- расчет значения источника постоянного напряжения с управляемым напряжением:

$$E_1(\omega t) = E_{1_0}(1 + A \sin(\omega t));$$

Таблица - 8.2.

$\omega t, \text{grad}$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
E <sub>1A</sub> ( $\omega t$ ), V													
I <sub>с</sub> ( $\omega t$ ), mA													
U <sub>н</sub> ( $\omega t$ ), V													
U <sub>зи</sub> ( $\omega t$ ), V													
U <sub>си</sub> ( $\omega t$ ), V													

## 3. Задание для лабораторных работ

Обработка результатов измерений:

- Расчет напряжения затвор - истока :

$$U_{3И} = E_{1А}(\omega t) - U_{И}(\omega t);$$

- Расчет напряжения сток - истока :

$$- U_{СИ} = E_{П} - U_{И}(\omega t);$$

- Расчет коэффициент усиление по напряжению:

$$K_U = \frac{\Delta U_{И}}{\Delta E_{1А}};$$

- Динамический выходное сопротивление:

$$R_{\text{дин.вых}} = \frac{\Delta U_{И}}{\Delta I_{С}}.$$

**Нарисовать графики по полученным результатам:**

1.  $E_{1А} = f(\omega t)$ ;
2.  $U_{И} = f(\omega t)$ ;
3.  $I_{С} = f(\omega t)$ ;
4.  $U_{СИ} = f(\omega t)$ ;
5.  $U_{3И} = f(\omega t)$ ;
6.  $I_{С} = f(U_{3И})$ ;
7.  $U_{СИ} = f(U_{3И})$ .

#### 4. Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Параметры исследуемого транзистора.
3. Принципиальная схема лабораторной работы.
4. По каждому этапу выполненных работ - наименование этапа и полученные результаты (в виде таблиц, графиков и осциллограмм).
5. Краткий вывод по полученным результатам.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Нарисуйте эквивалентную схему транзистора, фазу усилителя транзистора.
2. Измерьте (определите) входное и выходное сопротивление усилителя, коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности.
3. Причины искажения сигнала в каскаде транзисторного усилителя.
4. Как вы понимаете частоту среза?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

**Цель работы:** Изучение методов измерения характеристик и параметров интегрального усилителя, исследование параметров неинвертирующей ОУ.

#### 1. Теоретическая часть

Наиболее распространенной усилительной интегральной микросхемой (ИМС) является операционный усилитель (ОУ). Операционным усилителем называют усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и одноканальным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления. Усилитель постоянного тока (УПТ) - электронный усилитель, рабочий диапазон частот которого включает нулевую частоту (постоянный ток). На верхнюю границу частотного диапазона усилителя никаких особых ограничений не накладывается, то есть она может находиться в области высоких частот. Таким образом, термин УПТ можно применять к любому усилителю, способному работать на постоянном токе. В подавляющем большинстве случаев УПТ является усилителем не только тока, но и напряжения.

ОУ предназначен для выполнения различных операций с аналоговыми сигналами: усиление и ослабление, сложение и вычитание, интегрирование и дифференцирование, логарифмирование и потенцирование, фильтрация и другие. ОУ в цифровой электронике используется реже. Операции ОУ выполняет за счет вариации цепей положительной и отрицательной обратной связи. Данные цепи могут включать сопротивления, емкости и другие элементы. На элементы накладывается требование приближать параметры ОУ к идеальному источнику напряжения. Идеальный ОУ обладает

следующими свойствами: коэффициент передачи ОУ без обратной связи равен бесконечности:

- входной ток равен нулю;
- напряжение смещения и ток смещения нуля на входе ОУ равны нулю;
- входное сопротивление ОУ равно бесконечности;
- выходное сопротивление ОУ равно нулю.

В настоящее время ОУ получили широкое применение, как в виде отдельных чипов, так и в виде функциональных блоков в составе более сложных интегральных схем. Такая популярность обусловлена тем, что ОУ является универсальным блоком с характеристиками, близкими к идеальным, на основе которого можно построить множество различных электронных узлов. На рисунке 9.1. показано схематичное изображение операционного усилителя.

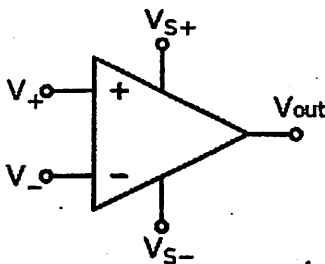


Рисунок.9.1. схематичное изображение операционного усилителя

Выходы имеют следующие значения:

- $V_+$  - неинвертирующий вход
- $V_-$  - инвертирующий вход
- $V_{out}$  - выход
- $V_{S+}$  - плюс напряжения питания
- $V_{S-}$  - минус напряжения питания

Основными схемами на ОУ являются неинвертирующий (рис.9.2) и инвертирующий (рис.9.3) усилители, режим работы которых осуществляется в пределах линейного участка передаточной характеристики.

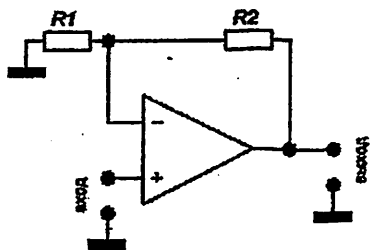


Рисунок.9.2. Неинвертирующий усилитель на ОУ

Данная схема позволяет использовать в качестве неинвертирующего усилителя ОУ, схема обладает высоким полным входным сопротивлением, причем коэффициент усиления всей схемы по напряжению может быть задан с помощью сопротивлений R1 и R2.

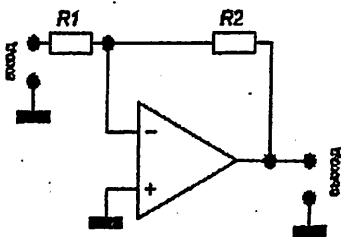


Рисунок.9.3. Инвертирующий усилитель на ОУ

Входной и выходной сигналы инвертирующего усилителя сдвинуты по фазе на  $180^\circ$ . Изменение знака выходного сигнала относительно входного создается введением по инвертирующему входу ОУ с помощью резистора R2 параллельной обратной связи по напряжению. Неинвертирующий вход

связан с общей точкой входа и выхода схемы (заземляется). Входной сигнал подается через резистор R1 на инвертирующий вход ОУ.

## 2. Исследование неинвертирующего усилителя

### Порядок выполнения работы

Для выполнения лабораторной работы необходимо собрать схему приведенную на рис.9.4 в программе NI Multisim.

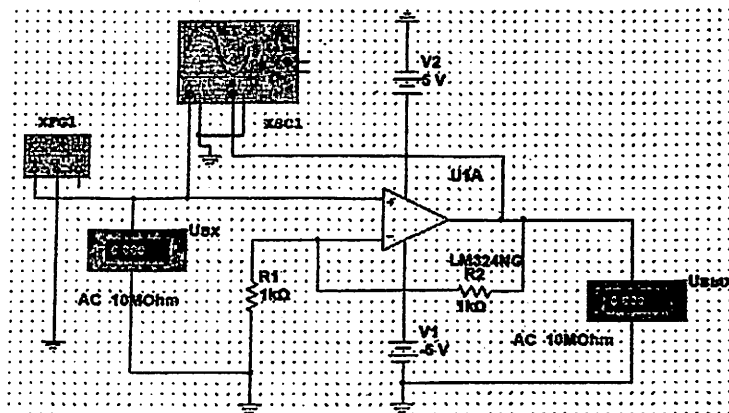


Рисунок.9.4. Неинвертирующий усилитель на ОУ в программе NI Multisim.

Далее по варианту (Например:  $R1=1\text{ КОм}$ , частота  $f=1\text{ КГц}$ , амплитуда  $A=100\text{ мВ}$ ) необходимо установить значение резисторов источников питания и функционального генератора (XFG1), а также настроить измерительные приборы рис.9.5.

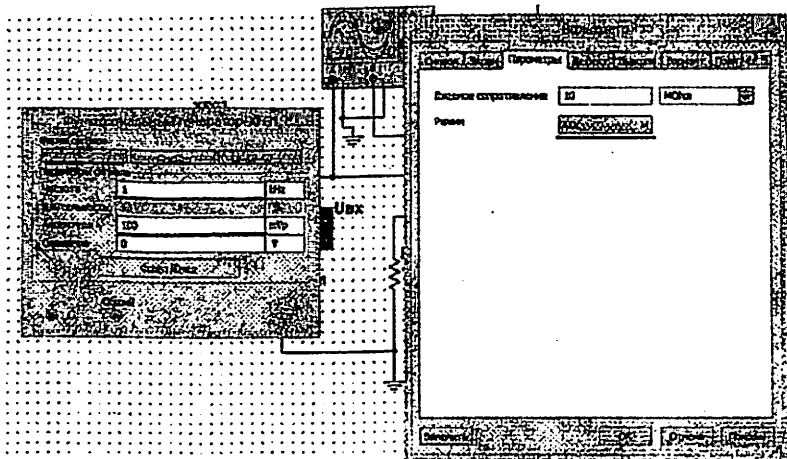


Рисунок.9.5. Установить значение резисторов и источников питания и функционального генератора (XFG1) в программа NI Multisim.

### 3. Предварительный расчёт

Для схемы неинвертирующего усилителя (см. рис.2) определить коэффициент усиления  $K$  при трёх значениях  $R_2 = (1, 2, 3)$  кОм по формуле (1). Значение  $R_1$  задаётся по варианту. Результаты расчётов занести в табл. 1.

$$K = (1 + R_2/R_1) = (1 + 1/1) = 2 \quad (1)$$

Зарисовать временную диаграмму (осциллограмму) значений напряжений на входе и выходе усилителя при трёх значениях сопротивлений  $R_2 = 1, 2, 3$  кОм. Рассчитать коэффициенты усиления по напряжению усилителя по формуле (2) при трёх значениях сопротивлений  $R_2$ , указанных выше. Измеренные значения  $K$  записать в табл.9.1.

$$K = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} \quad (2)$$



Таблица -9.1.

R2, кОм		1	2	3	4
Расчёт	Коэффициент усиления, K				
Измерения		Uвх, В			
		Uвых, В			

На рисунке 9.6 показан пример симуляции схемы неинвертирующего усилителя и её временная диаграмма (осциллограмму).

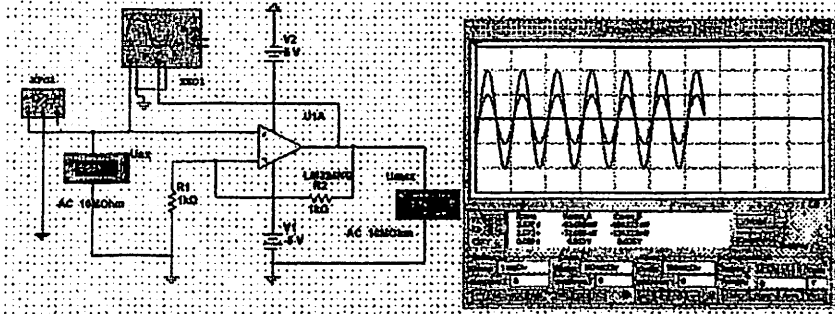


Рисунок.9.6. Неинвертирующего усилителя и её временная диаграмма (осциллограмму) в программе NI Multisim.

#### 4. Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Параметры исследуемого транзистора.
3. Принципиальная схема лабораторной работы.
4. По каждому этапу выполненных работ - наименование этапа и полученные результаты (в виде таблиц, графиков и осциллограмм).
5. Краткий вывод по полученным результатам.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Как статические и динамические характеристики затвора однополярного транзистора отличаются друг от друга?
2. Какова нагрузочная характеристика транзистора и как он построен?

3. Каковы причины искажений низких и высоких частот в усилителе?
4. Как расширить полосу пропускания усилителя?
5. Какова взаимосвязь между предельными частотами диапазона передачи усилителя и искажением прямоугольных форм импульсов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ (ОУ)

**Цель работы:** Изучение методов измерения характеристик и параметров интегрального усилителя, исследование параметров неинвертирующей ОУ с использованием микросхемы LM324(N).

#### 1. Теоретическая часть

Операционный усилитель (ОУ; англ. operational amplifier, OpAmp) — усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и, как правило, единственным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления. ОУ почти всегда используются в схемах с глубокой отрицательной обратной связью, которая, благодаря высокому коэффициенту усиления ОУ, полностью определяет коэффициент усиления/передачи полученной схемы.

В настоящее время ОУ получили широкое применение, как в виде отдельных чипов, так и в виде функциональных блоков в составе более сложных интегральных схем. Такая популярность обусловлена тем, что ОУ является универсальным блоком с характеристиками, близкими к идеальным, на основе которого можно построить множество различных электронных узлов.

Интегрированный усилитель (ОУ) представляет собой универсальный аналоговый чип. Это широкополосный усилитель переменного тока, выполненный на двухходовом дифференциальном усилителе, сигнал, генерируемый на выходе, равен разности входных сигналов.

Он также называется операционным усилителем из-за способности выполнять различные математические операции над входными сигналами, используя цепочку обратной связи на его выходе. В зависимости от выбора выходной цепочки, ОУ может использоваться для выполнения сложения, умножения, умножения, усреднения, интегрирования, дифференцирования,

логарифмизации и других операций. Точность операций выше, чем выше коэффициент усиления ОУ, тем больше входное сопротивление и тем меньше выходное сопротивление.

В прошлой 9-й лабораторной работе мы исследовали передаточные характеристики неинвертирующего ОУ. В данной работе мы будем исследовать передаточные характеристики и параметры инвертирующего ОУ используя схему, изображенную на рисунке 10.1.

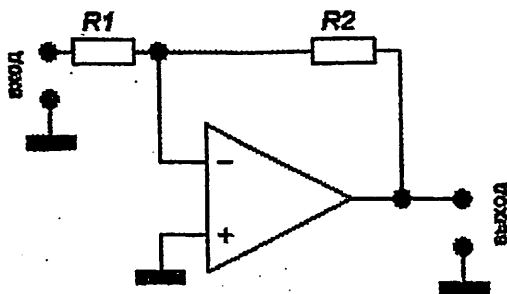


Рисунок.10.1. Инвертирующий усилитель на ОУ

## 2. Исследование инвертирующего усилителя

### Порядок выполнения работы

Необходимо собрать схему приведенное на рис.10.3. в мультисиме. Далее по варианту (Например:  $R1=1$  КОм, частота  $f=1$  КГц, амплитуда  $A=100$  мВ) необходимо установить значения резисторов источников питания и функционального генератора (XFG1), а также настроить измерительные приборы рис.10.2.

Для схемы инвертирующего усилителя (см. рис. 10.3) при  $R1$  (по варианту) и трёх значениях  $R2=(1,2,3,4)$  КОм определить коэффициент усиления  $K$  по формуле (3). Результаты расчёта занести в табл. 10.1.

$$K=-(R2/R1) \quad (3)$$

Зарисовать временную диаграмму (осциллограмму) значений напряжений на входе и выходе усилителя при трёх значениях сопротивлений  $R_2 = 1, 2, 3$  кОм. Рассчитать коэффициенты усиления по напряжению усилителя по формуле (2) при трёх значениях сопротивлений  $R_2$ , указанных выше. Измеренные значения  $K$  записать в табл.10.1

Таблица – 10.1.

$R_2$ , кОм		1	2	3	4
Расчёт	Коэффициент усиления, $K$				
	$U_{вх}$ , В				
Измерения	$U_{вх}$ , В				
	$U_{вых}$ , В				

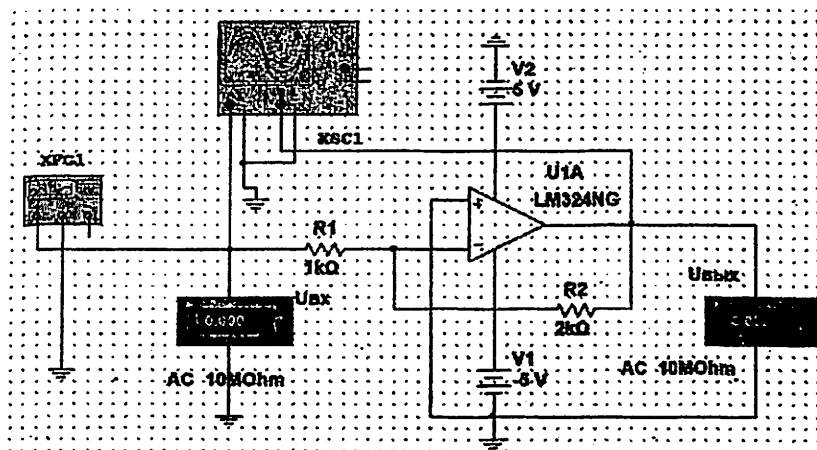


Рисунок.10.2.

На рисунке 10.3. показан пример симуляции схемы инвертирующего усилителя и её временная диаграмма (осциллограмму).

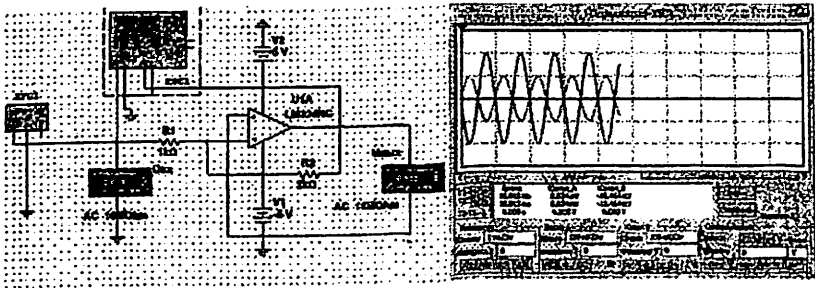


Рисунок.10.3. инвертирующего усилителя и её временная диаграмма (осциллограмму)

### 3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрические схемы исследуемых цепей и их исходные данные.
3. Расчетные формулы.
4. Таблицы с результатами предварительного расчета и эксперимента.
5. Выводы по результатам исследований.

### 4. Контрольные вопросы

1. Какие требования к параметрам «Идеал» ОУ?
2. Почему ОУ не может работать без анализа частотных характеристик?
3. Объясните значение параметра напряжения сдвига ОУ.
4. ОУ. Объясните физический смысл параметров среднего значения входного тока и разности входных токов. На каких входных сигналах они измеряются?
5. Объясните физический смысл параметра скорости увеличения выходного напряжения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

### ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ОУ

**Цель работы:** Измерить параметры аналоговых устройств на базе операционного усилителя и исследовать их характеристики.

#### 1. Теоретическая часть.

Компаратор аналоговых сигналов - устройство сравнения (компаратор): электронное устройство, которое принимает на свои входы два аналоговых сигнала, и если сигнал на неинвертирующем входе больше, чем на инвертирующем входе, формируется сигнал высокого уровня. на выходе (логическая "1"), если сигнал на неинвертирующем входе, если сигнал меньше, чем на инвертирующем входе, на выходе формируется сигнал низкого уровня (логический "0"). Условие равенства входных напряжений не определено.

Компаратор используется для преобразования аналоговых сигналов в цифровые и цифровых сигналов в аналоговые сигналы.

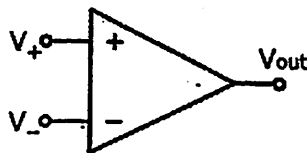


Рисунок. 11.1. УГО компаратора.

- 1 – неинвертирующий вход;
- 2 - инвертирующий вход;
- 3 – выход;

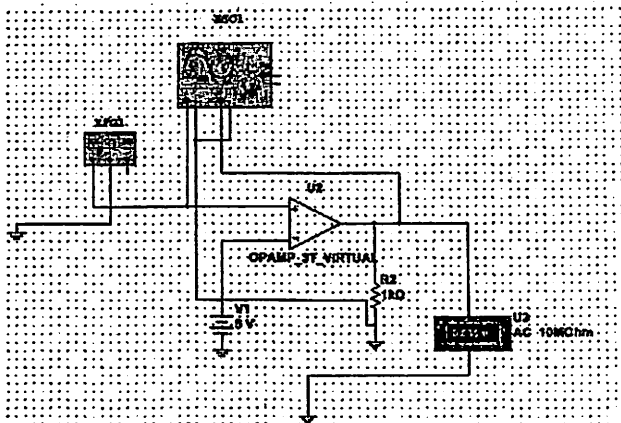


Рисунок. 11.2. Схема компаратора, собранного в программе NI Multisim.

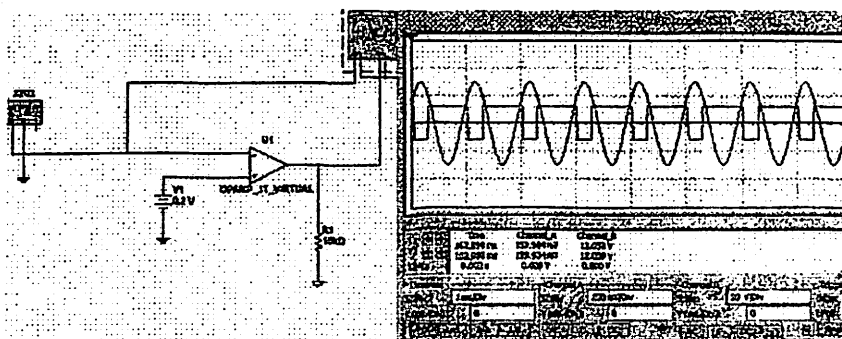


Рисунок. 11.3. Передаточного характеристика компаратора.

### Сумматор

Сумматор – это электронное устройство, преобразующее информационные сигналы (аналоговые или цифровые) в эквивалентный сигнал, равный сумме этих сигналов.

Они широко используются в аналоговых вычислениях, обработке сигналов, телевидении, электроакустике, связи и других областях.



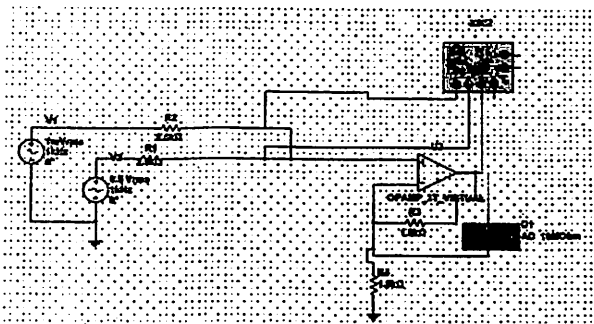


Рисунок. 11.4. Схема неинвертирующего сумматора в программе NI Multisim.

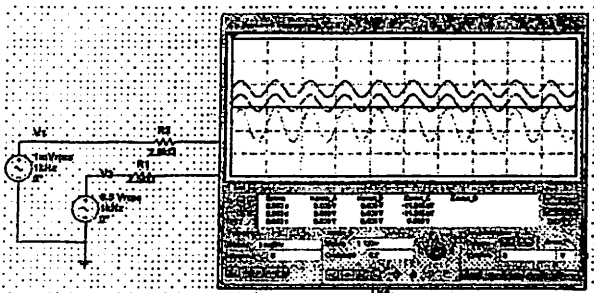


Рисунок. 11.5. Передаточные характеристики схема неинвертирующего сумматора в программе NI Multisim.

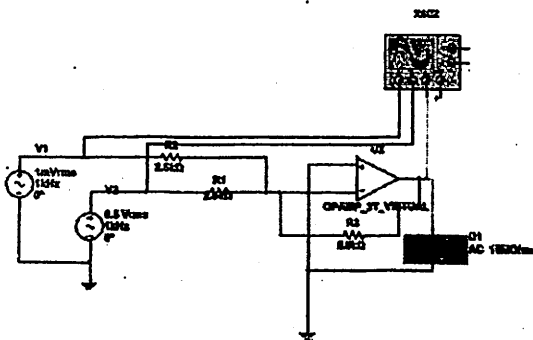


Рисунок. 11.6. Схема инвертирующего сумматора в программе NI Multisim.

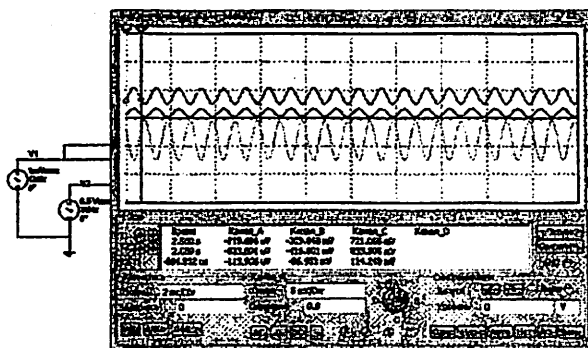


Рисунок. 11.7. Передаточные характеристики схема инвертирующего сумматора в программе NI Multisim

## 2. Порядок выполнения лабораторных работ:

2.1. Собрать схему показанную на рисунке 11.2. и 11.3 в программе Multisim.

### Варианты для компоратора

(OK – OPAMP\_3T\_VIRTUAL), Напряжение генератора – 1 kGs, 100mV

Таблица - 11.1.

№ варианта	Входная напряжения, V	R <sub>2</sub> , kOm
1	0,5	10
2	0,4	10
3	0,3	10
4	0,2	10
5	0,1	10
6	0,5	5
7	0,6	5
8	0,7	5
9	0,8	5
10	0,9	5
11	1	5
12	0,5	8
13	0,4	8
14	0,3	8
15	0,5	7
16	0,8	6
17	0,7	8
18	0,7	4

2.2. На выходе генератора (1) подать синусоидальный сигнал с амплитудой  $U_g=0,1\pm 2$  В и частотой  $f=1\pm 10$  кГц. В это время на экране осциллографа должен наблюдаться двухформенный неискаженный сигнал. Зафиксируйте сигналы на экране осциллографа при высоком и низком уровне напряжения на выходе компаратора.

### Варианты для сумматора

(OK - OPAMP\_3T\_VIRTUAL)

Таблица - 11.2.

№ варианты	1 входная напряжения	2 входная напряжения	$R_1$ , kOm	$R_{2(3)}$ , kOm
1	1 kGs, 50mV	1 kGs, 100mV	10	3
2	2 kGs, 30mV	1 kGs, 110mV	9	
3	3 kGs, 40mV	1 kGs, 120mV	8	
4	4 kGs, 60mV	2 kGs, 100mV	7	
5	5 kGs, 70mV	1 kGs, 150mV	6	
6	4 kGs, 80mV	2 kGs, 100mV	5	
7	3 kGs, 90mV	3 kGs, 100mV	4	
8	4 kGs, 100mV	2 kGs, 50mV	5	
9	5 kGs, 110mV	1 kGs, 60mV	6	
10	2 kGs, 120mV	4 kGs, 70mV	8	
11	1 kGs, 130mV	1 kGs, 100mV	10	
12	3 kGs, 140mV	5 kGs, 80mV	4	
13	2 kGs, 150mV	1 kGs, 100mV	9	
14	1 kGs, 160mV	4 kGs, 80mV	5	
15	2 kGs, 170mV	2 kGs, 60mV	7	
16	2 kGs, 200mV	4 kGs, 80mV	8	
17	2 kGs, 150mV	1 kGs, 120mV	5	
18	3 kGs, 240mV	5 kGs, 100mV	8	

### 3. Структура отчета:

1. Название работы ;
2. Цель работы;
3. Схемы измерение;
4. Расчеты;
5. Графики из осциллографа ;
6. Вывод.

#### **4. Контрольные вопросы.**

- 1. Аналоговые устройства и их типы?**
- 2. Компаратор его функция, назначение и УГО компаратора?**
- 3. Сумматор его функция, назначение и УГО сумматора?**
- 4. Объясните значение ОК ТА.**

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОГО КЛЮЧА НА ОСНОВЕ БТ

Цель работы: экспериментальное исследование статических режимов и переходных процессов в простой схеме электронного ключа на биполярном транзисторе.

#### 1. Теоретические сведения

Режим работы транзистора, при котором он находится в установившемся состоянии либо в области отсечки, либо в области насыщения, называется ключевым. Качество транзисторного ключа определяется минимальным падением напряжения на нем в замкнутом состоянии, минимальным током в разомкнутом состоянии, а также скоростью перехода из одного состояния в другое. В отличие от усилительных, в ключевых схемах транзистор работает в нелинейном режиме.

В зависимости от назначения транзисторного ключа и режимов его работы схема ключа видоизменяется.

Некоторые типы транзисторных ключей имеют самостоятельное назначение и применяются в качестве бесконтактных прерывателей. Транзисторный ключ является основным элементом более сложных импульсных устройств регенеративного типа. Например, два транзисторных ключа, охваченных положительной обратной связью, образуют мультивибратор или триггер.

В импульсных и цифровых (логических) устройствах электронный ключ является основным элементом. Электронный ключ подключается к цепи нагрузки периодически подключается и отключается под действием внешнего управляющего сигнала. В это время сигнал на выходе ключа будет иметь два дискретных значения, которые существенно отличаются друг от

друга. Это свойство позволяет использовать его в качестве базового логического элемента (ЛЭ), выполняющего функции алгебры Буля.

Ключ состоит из двух элементов: элементов повторного подключения (ЭП) и элемент нагрузки (ЭН). Обобщенная структурная схема ключа (инвертора) показано на рисунке 12.1.а.

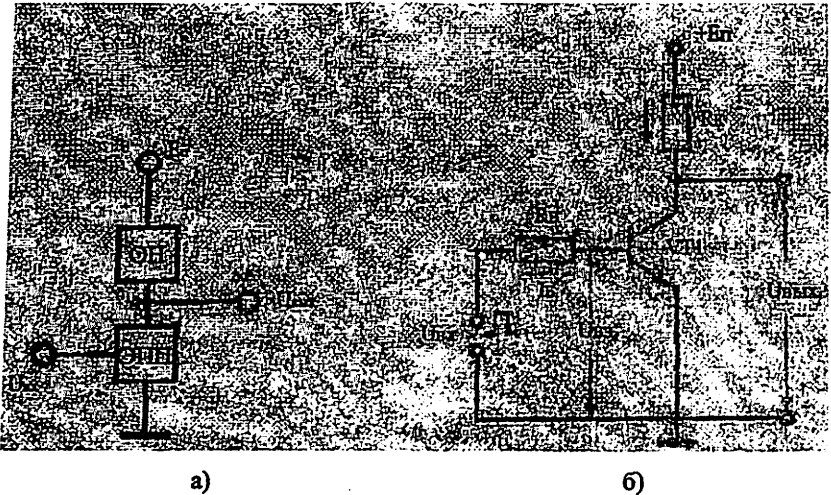


рис.-12.1. схема ключа на БТ: а) ключ (инвертор) обобщенная схема; б) простая схема ключа на БТ

ЭП имеет двух стабильных состояние: подключенная и отключенная. Этим условиям удовлетворяют некоторые типы биполярных и токовых транзисторов. ЭН служит для ограничения тока, потребляемого источником.

Технологическая совместимость - ключевой критерий в ИМС при выборе типа ключа. Технологическая совместимость означает возможность изготовления различных элементов схемы в едином технологическом процессе. Схемы, состоящие из одинаковых элементов, предпочтительны. Переключатели, состоящие из нагрузочного и переключающего элементов МДЯ-транзисторов, высокотехнологичны и универсальны.

Простая электронная схема с ВТ показана на рисунке 10.1.б. Он состоит из каскада усилителей, выполненного в ВТ, включенного в схему УЕ. Источник напряжения представляет собой управляемую цепь,

состоящую из нагрузочного резистора в виде ЭМ и РК. Схема управления (база) состоит из источника управляющего сигнала УКИР и последовательно подключенного к нему резистора РБ. БТ должен работать в замкнутом режиме или в режиме насыщения, в зависимости от состояния электронного переключателя. Только при подаче на вход сигнала отрицательной полярности транзистор перейдет в закрытый режим. Известно, что в закрытом режиме он равен токам транзистора.

$$I_E \approx 0; I_K = I_{K0}; I_B = -I_{K0};$$

Здесь знак «-» указывает, что ток базы течет в направлении, противоположном активному току базы. В режиме ключа ток  $I_{K0}$  называется остаточным током. Поскольку оно такое маленькое, выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  будет близко к значению НН напряжения источника.

$$E_{\text{вых}} = E_{\Pi} - I_{K0}R_K \approx E_{\Pi};$$

т.е. соответствует прерыванию нагрузки от цепи источника (ключ отключен).

Если  $U_{\text{вх}}$  имеет положительный полус и достаточно большое значение, то транзистор переключается в активный режим или режим насыщения, т.е. открывается (ключ включен).

По цепи нагрузки протекает ток,

$$I_K = \frac{(E_{\Pi} - U_{КЭ})}{R_K};$$

и напряжение на выходе переключателя равно  $U_{\text{вых}} = U_{КВ} = U_{\text{ост}}$  называемое остаточным напряжением. Остаточное напряжение в режиме насыщения равно разнице между  $U_{ЕВ}$  и  $U_{КВ}$  всегда меньше остаточного напряжения в активном режиме. Поэтому нежелательно, чтобы транзистор работал в активном режиме в качестве переключателя, так как он будет рассеивать дополнительную мощность  $P_K = I_K U_{КЭ}$  и схема КПД будет уменьшаться.

Для кремниевых транзисторов в режиме насыщения составляет  $V_{OH} \approx 0,25V$  что близко к нулю.

Очевидно, что рассматриваемый ключ является инвертором, то есть увеличение входного сигнала от отрицательных до положительных значений вызывает снижение выходного напряжения с  $U_{КЭ}$  на  $E_{П}$  до остаточного напряжения.

В общем, этот ключ-инвертор предназначен для работы с положительными сигналами в правильной логике. Следовательно, условие  $U_{ВХ} < 0$  здесь не выполняется. Однако кремниевый р-п-переход остается практически постоянным даже при положительных напряжениях, если  $U_{ВХ} < 0,6 V$ . В это время трехэлектродные токи транзистора обычно не превышают доли микроамперов.



Рисунок-10.2. Расположение ключа рабочих точек в статических характеристиках транзистора

Основными статическими параметрами ключа являются остаточный ток и остаточное напряжение. Режим переключения БТ обеспечивается изменением импульсов тока и напряжения в большом диапазоне (режим большого сигнала). По этой причине, статические параметры переключателя определены графоаналитическим методом. Для этого требуются выходные (рисунок 10.2, а) и входные (рисунок 10.2, б) характеристики транзистора, используемого в переключателе. В семействе выходных характеристик мы соединяем точку В (где  $U_{КЭ} = E_{П}$ ) и точку А (где  $I_{К} = E_{К} / R_{К}$ ) и проводим



линию нагрузки АВ. Затем точка D дает предел насыщения, а точка C дает предел закрытого режима, который начинается, когда  $U_{КБ} = 0$ .

Исходя из вышеизложенного, каскад транзисторов должен располагаться либо слева от точки D, либо справа от точки C, чтобы работать в режиме переключения. В этот момент каскад возникает, когда транзистор переключается из режима насыщения в твердотельный или наоборот. Чем короче транзистор остается в этом положении, тем быстрее переключается. О 'состояния зубцов определяются временем разряда неосновных носителей заряда от базы и процессами перезарядки барьерной емкости.

В статическом режиме зависимость тока базы от напряжения  $U_{вх}$  при заданных значениях сопротивления можно определить с помощью входной характеристики (10.1, рис. а). Для этого нужно запустить строку EF нагрузка. Точка E определяется  $U_{БЭ} = U_{вх}$ , а точка F —  $U_{вх}/R_B$ . Точка K, где линия нагрузки пересекает входную характеристику, определяет рабочие значения тока базы и напряжения  $U_{БЭ}$ . Изменение  $U_{вх}$  во времени приводит к параллельному смещению прямой EF и, соответственно, к смещению точки K (штриховые линии).

Чтобы переключиться в режим насыщения, определенный точкой D, входной ток  $I_B$  должен быть увеличен до значения  $I_{B \text{ насыщ}}$  называемого базовым током насыщения. В это время соответствующий ток коллектора - это ток насыщения коллектора  $I_{К \text{ насыщ}}$ , а напряжение - это напряжение насыщения  $U_{КЭ \text{ насыщ}}$  или остаточное напряжение равно :

$$U_{КЭ \text{ насыщ}} = U_{ост} = E_{н} - I_{К \text{ насыщ}} R_K$$

Известно, что схема транзисторного ключа должна иметь два стабильных статических состояния, в которых транзистор находится в режиме насыщения (открытое состояние) или в закрытом состоянии (закрытое состояние). В схемах кремниевых транзисторного ключа начальное состояние активного режима соответствует закрытому состоянию транзистора. При переключении из одного устойчивого состояния в другое транзистор работает в активном или инвертированном режимах.

Параметры статических состояний транзисторного ключа следующие:

$t_u$  – время соединения

$t_f$  – длительность фронта при подключении и  $t_{sof}$  при отключении

Напряжение насыщения

$I_{k0b}$  – обратный ток.

Закрытый режим транзистора характеризуется высоким значением выходного напряжения ( $U_{выход} = -E_k + I_k R$ ).

В режиме насыщения ток коллектора  $I_{k_{насыщ}} = (E_k - U_{насыщ}) / R_k$ , а выходное напряжение  $U_{вых} = U_{насыщ}$ .

Параметры подключения транзисторного переключателя:

$t_u$  – время соединения

$t_f$  – длительность фронта в связи,

$t_{ор}$  – время поглощения накопленного заряда в базе,

$t_{обр}$  – продолжительность задней передней секции.

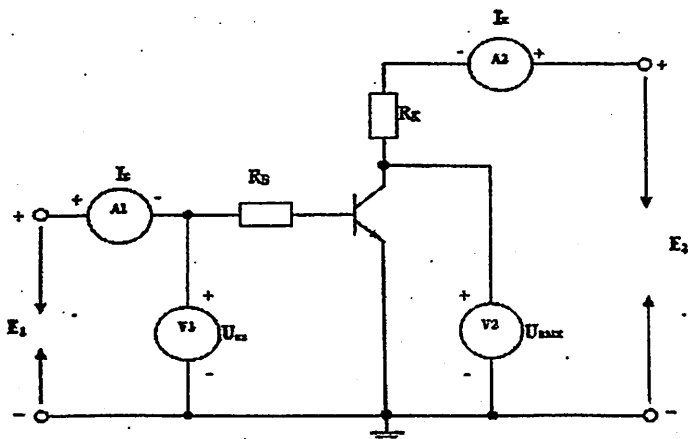


Рисунок 12.3. Принципиальная схема измерения характеристик передачи электронного ключа, выполненная в БТ

Процесс поглощения заряда характеризуется временем от момента, когда входное напряжение  $E_b$ , закрывающее транзистор, достигает предельного значения  $Q_{пред} - I_{bм}$ , которое переводит накопленные в базе

заряды из состояния насыщения в активный режим. Если коллекторный переход транзистора закрыт перед эмиттерным переходом ( $T_k < T_e$ ), то транзистор переходит в нормальный активный режим, в противном случае ( $T_e < T_k$ ) транзистор остается в инвертированном режиме. На рисунке 12.3 представлена принципиальная схема измерения характеристик передачи электронного ключа на основа БТ.

**Параметры для выполнение лабораторных работ:**

*Таб. -10.1.*

№ варианты	Маркировки БТ	$R_B, \text{кОм}$	$R_K, \text{кОм}$	$E_M = E_2, \text{В}$
1	2N3392	10	3,3	5В
2	2N3393	11	3,6	
3	2N3414	10	3	
4	2N3416	56	10	
5	2N3439	5	2,1	
6	2N3441	3,3	1	
7	2N3501	10	3,3	
8	2N3700	20	6,2	
9	2N3707	15	4,3	
10	2N3858A	17	5	
11	2N3859A	10	3,1	
12	2N3860	20	6,6	
13	2N3904	3	0,5	
14	2N4265	15	4	
15	2N4400	30	9,9	

Процесс включения (выключения) транзистора заканчивается на участке выходного напряжения (задний фронт). Во время этого процесса можно оценить, что образование задних передних концов, когда безосновные поглотители заряда, накопленные в основе, полностью поглощаются ( $Q_{YU} = 0$ ). В реальных схемах большая часть выходного напряжения генерируется в закрытом режиме транзистора.

Конденсатор в цепи базы транзисторного ключа называется ускоряющим конденсатором. Он служит для увеличения базового тока до высокого значения за короткое время. Скорость транзисторного переключателя также

можно увеличить, подключив диод между коллектором и базой, который определяет их потенциал относительно друг друга и сохраняет транзистор в состоянии глубокого насыщения. Эти транзисторные ключи называют ненасыщенными.

## 2. Порядок выполнения работ

1. Соберите принципиальную схему для измерения характеристик электронного переключения на основе биполярного транзистора, показанного на рисунке 10.3, в программной среде NI Multisim;

2. Настройте параметры в соответствии с вариантом, приведенным в Таблице 10.1;

3. На основании таблицы 10.2 увеличьте напряжение  $E1 = U_{вх}$  в соответствии с заданным значением и запишите в таблицу значения выходного напряжения ( $U_{вых}$ ), тока базы ( $I_B$ ) и тока коллектора ( $I_K$ );

4. Полученные результаты основаны на Таблице №10.2. Создавайте графики с  $U_{вых} = f(U_{вх})$ ;  $I_K = f(I_B)$ ;  $I_B = f(U_{вх})$ ;  $I_K = f(U_{вх})$ .

Таб.№ 10.2.

$U_{вх}$ , В	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	3	4	5
$U_{вых}$ , В										
$I_B$ , мА										
$I_K$ , мА										

## 3. Структура отчетов:

- название лаб работ.
- принципиальная схема макеты практической работы.
- название этапа и результаты, полученные по каждому этапу выполненной работы (таблица, график).
- вывод по полученным результатам .

## 4. Контрольные вопросы

1. Для чего нужен транзисторный ключ?
2. Определите параметры транзисторного ключа.

3. Объясните, что параметры перехода зависят от уровня насыщения транзистора.
4. Что такое инверсионное замыкание ТЗ.
5. Каков эффект разгонной способности?
6. Влияние грузоподъемности на переходный процесс.
7. Влияние амплитуды входного сигнала на параметры ТК.
8. Объясните процесс включения транзисторного ключа на временной диаграмме.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО КЛЮЧА НА ОСНОВЕ

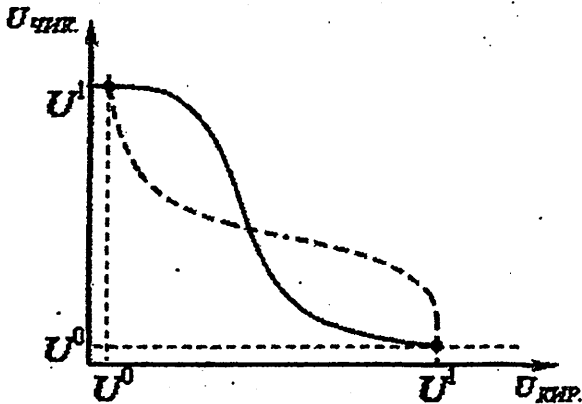
#### ПТ

**Цель работы:** Исследование характеристик полевых транзисторов (ПТ) в режиме переключения. Изучить применение ПТ в качестве нагрузочного резистора.

#### 1. Подготовка к лабораторным работам

При этом изучите влияние значения сопротивления на цепь постоянного тока на появление характеристики передачи. Обратите внимание, что характеристики сигнала будут варьироваться, когда в качестве квазилинейных нагрузок используются разные полевые транзисторы.

Обратите внимание, что передаточная характеристика ЭК  $U_{вых} = f(U_{вх})$  при определении уровней логических сигналов. (Рисунок 2.1).



2.1 - рисунок. Передаточные характеристики ЭК на ПТ

Передаточная характеристика логического нуля  $U^0$  и логического уровня  $U^1$  и его зеркальное отражение (пунктирная линия) определяются из точек пересечения.

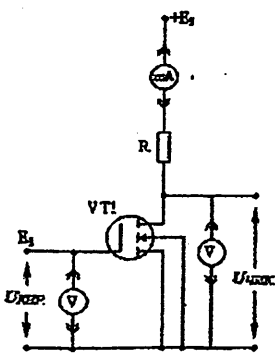
$\Delta U = U^1 - U^0$  называется разностью уровней логических сигналов.

## 2. Задание для выполнения лабораторных работ

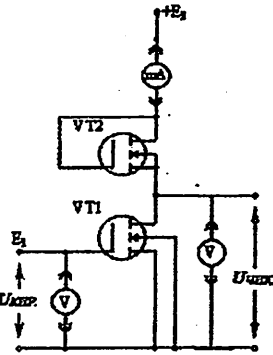
2.1. Изучите влияние сопротивления на нагрузки  $U_{\text{ex}} = f(U_{\text{ax}})$  на передаточную характеристику ЭК, выполненную на ПТ.

Дано 3. 2- рис. ЭК каналы индуцирующего МДЯ транзистора *n*-ного типа. Схема питания  $E2 = 9\text{В}$ . Входное напряжение  $U_{\text{ax}}$  подается от регулируемого источника напряжения  $E1$ . Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  и для измерения потребляемый ток используется цифровой вольтметр и амперметра. Возьмите один из *n*-канальных транзисторов в чипе K176LP1 как VT1. Для удобства эксплуатации нарисуйте принципиальную схему микросхемы в приложении и отметьте номера электродов.

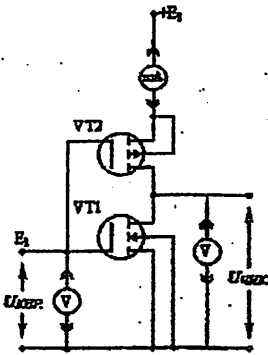
Рекомендуется проводить эксперимент в следующем порядке:



13.2 - рисунок. Схема *n*- планировщика реализована в транзисторах -МДП. (Нагрузочный резистор)



13.3 - рисунок. Схема *n*- планировщика реализована в транзисторах -МДП. (Транзистор в нагрузке)



13.4 - рисунок. Дополнительная пара дополнительных транзисторов или отдельная схема переключения в микросхеме K176LP1 как VT1 и VT2

Подключите линейный резистор  $R = 51 \text{ кОм}$  к цепи запаса транзистора МДП;

- установить значение источника напряжения  $E_2 = 9 \text{ В}$ ;
- Измерить соотношение между  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  и  $I_{\text{ист}} = f(U_{\text{вх}})$ , изменяя входное напряжение от 0 до 9 В ;
- сопротивление  $R = 10$  дешево и 3,5 дешево повторить значение измерений ;
- Используя результаты эксперимента, построим графики зависимости  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ .

2.2. *n* - Исследование коммутационных характеристик, выполненных в транзисторах МДЯ.

Принципиальная электрическая схема переключателя, выполненного в *n*- MDA-транзисторах, показана на рисунке 13.3. В качестве транзисторов VT1 и VT2 возьмите дополнительные транзисторы на микросхеме K176LP1 или отдельную схему переключения.

Повторите эксперименты в пункте 2.1.

2.3. Исследование коммутационных характеристик выполнено в транзисторах КМДП.

Принципиальная схема коммутатора, выполненного в транзисторах КМДП, приведена на рис. 2.4. В качестве транзисторов VT1 и VT2 выберите дополнительную пару дополнительных транзисторов на микросхеме K176LP1 или отдельную схему переключения.

Повторите эксперименты в пункте 2.1.

3. Обработка экспериментальных результатов.

3.1. Построить характеристики передачи, полученные на шаге 2.

3.2. Определить разницу между уровнями логического сигнала  $U^0$  и  $U^1$  и уровнями логического сигнала  $I U = U^1 - U^0$  для каждого коммутатора.

Введите результаты, полученные в таблице 2.1.



Таблица 2.1

$U_{вх}, В$	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{вых}, В$												
$I_{ист}, мА$												

3.3. Определите среднее значение потребляемой мощности от источника в логическом нуле и логическом тесте:

$$P_{cp} = \frac{1}{2}(P^0 + P^1); \quad P^{0,1} = I_{ист}^{0,1} E_M.$$

≡

### 3. Содержание отчета.

- Схемы измерений;
- Таблицы и графики полученных зависимостей;
- Анализ результатов измерений и расчетов.

### 4. Контрольные вопросы.

1. Объясните, что параметры переключателя, подключенного к резистору в качестве нагрузки, зависят от значения сопротивления на нагрузке.

2. Почему переключатель в транзисторах КМДП не потребляет энергию от источника в статических условиях?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИМС НА ОСНОВЕ ТТЛ

**Цель работы:** изучить электрические параметры транзисторно-транзисторной логической интегральной схемы.

#### 1. Подготовка к лабораторным работам:

Транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ, TTL) — разновидность цифровых логических микросхем, построенных на основе биполярных транзисторов и резисторов. Название транзисторно-транзисторный возникло из-за того, что транзисторы используются как для выполнения логических функций (например, И, ИЛИ), так и для усиления выходного сигнала (в отличие от резисторно-транзисторной и диодно-транзисторной логики).

Простейший базовый элемент ТТЛ выполняет логическую операцию И-НЕ, в принципе повторяет структуру ДТЛ-микросхем и в то же время за счёт использования многоэмиттерного транзистора объединяет свойства диода и транзисторного усилителя, что позволяет увеличить быстродействие, снизить потребляемую мощность и усовершенствовать технологию изготовления микросхемы.

Биполярные транзисторы могут работать в режимах: отсечки, насыщения, нормально активный, инверсно активный. В инверсно активном режиме эмиттерный переход закрыт, а коллекторный переход открыт. В инверсном активном режиме коэффициент усиления транзистора по току значительно меньше, чем в нормальном режиме, из-за несимметричности конструктивного исполнения переходов база-коллектор и база-эмиттер, в частности, из-за разницы в их площадях и степени легирования коллекторного и эмиттерного слоёв полупроводника (подробнее о режимах работы биполярного транзистора см. Биполярный транзистор).

При нулевом потенциале на любом эмиттере многоэмиттерного транзистора VT1 он работает в нормальном режиме насыщения, так как в базу втекает ток резистора R1, поэтому потенциал коллектора VT1 и базы VT2 близок к нулю ( $V_{\text{бс1}} = (A|B=0) + 0,7\text{В} \approx V_{\text{бс1}} + V_{\text{бс2}}$ ), что переводит VT2 в режим отсечки, поэтому на коллекторе VT2 потенциал близок к потенциалу источника питания  $V_{\text{сц}}$  — на выходе элемента логическая 1. В этом состоянии изменение потенциала другого эмиттера не изменяет состояние элемента. Через эмиттер (вход), присоединённый к «земле» на землю вытекает ток  $I = (V_{\text{сц}} - 0,7)/R1$ , 0,7 В — падение напряжения на прямосмещённом эмиттерном переходе VT1.

Если отключить все эмиттеры, или подать на них напряжения логической 1 (более 2,4 В), то через прямосмещённый коллекторный переход VT1 в базу VT2 будет втекать ток резистора R1,  $I = (V_{\text{сц}} - 1,4)/R1$ , 1,4 В — сумма падений напряжений на прямосмещённом эмиттерном переходе VT2 и прямосмещённом коллекторном переходе VT1, при этом VT2 переходит в состояние насыщения, его коллекторный потенциал становится близок к нулю (логический 0).

### Интегральная микросхема K155ЛА3

Интегральная микросхема серии ТТЛ. Микросхемы K155ЛА3 представляют собой 4 логических элемента 2И-НЕ. Предназначены для использования в радиоэлектронной аппаратуре общего назначения. Выпускаются в 14-выводном прямоугольном пластмассовом корпусе с выводами для монтажа на печатную плату через отверстия. Маркировка нанесена цифро-буквенным кодом на корпусе микросхемы.

Содержат 56 интегральных элементов. Корпус K155ЛА3 типа 201.14-1, масса не более 1 г. Категория качества: «ОТК». Технические условия: БК0.348.006-01ТУ. Зарубежный аналог: SN7400 Texas Instruments, Inc.

Предельно допустимые режимы эксплуатации:

- Напряжение питания ..... 4,75 - 5,25 В;
- Входное напряжение низкого уровня ..... < 0,4 В;

- Входное напряжение высокого уровня .....  $> 2,4 \text{ В}$ ;
- Входной ток низкого уровня .....  $< 16 \text{ мА}$ ;
- для К155ЛЕ5, К155ЛЕ6 .....  $< 48 \text{ мА}$ ;
- Выходной ток высокого уровня .....  $< -0,8 \text{ мА}$ ;
- для К155ЛЕ6 при  $U_{\text{он}} = 2 \text{ В}$  .....  $< -42,4 \text{ мА}$ ;
- Емкость нагрузки .....  $< 15 \text{ пФ}$ ;
- Длительность фронта и среза входного импульса .....  $< 150 \text{ нс}$ ;
- Температура окружающей среды .....  $-10 + 70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

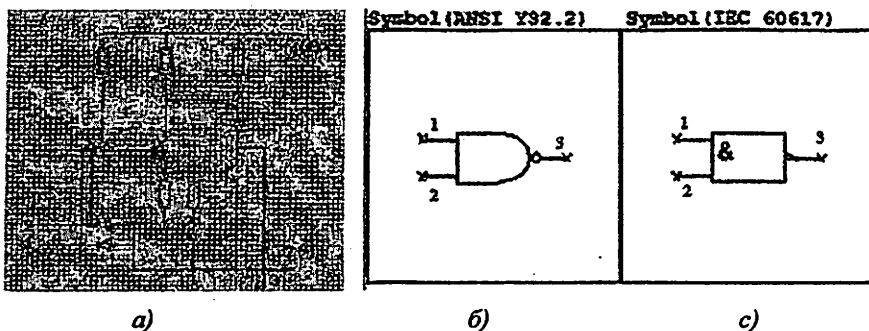


Рисунок. 14.1. ЛЭ 2 И-НЕ: а) структуры ТТЛ; б) виды в симулятор Multisim; в) рисование в схемах



Рисунок. 14.2. Интегральная микросхема К155ЛА3 а) цоколевка, б) внешний

вид

При этом необходимо обратить внимание на физический смысл и методы измерения основных электрических параметров логических микросхем, а также на схематические свойства транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Статические параметры могут быть определены с использованием графика характеристики передачи ( $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ ) (рис. 14.3).

Из исходной характеристики сигнала (рис. 14.3) определяются логический ноль  $U^0$  и логическая поверхность  $U^1$  (характеристика определяется по точкам А и В, связанным с ее зеркальным отображением), затем из графика на рис. 14.4  $I_{0\text{вых}}$  и  $I_{1\text{вых}}$  получается.

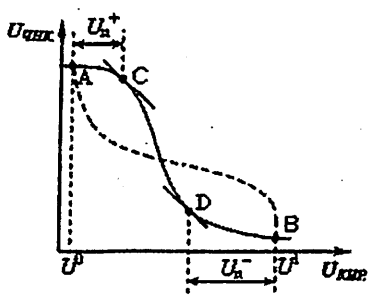


Рисунок 14.3. Характеристики передачи логического элемента ТТЛ

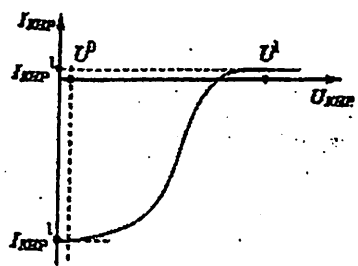


Рисунок 14.4. Определение значений  $I_{0\text{вых}}$  и  $I_{1\text{вых}}$  по характеристике передачи

Используя график (рис. 14.3), определяется допуск ИМС к статическому шуму  $U_n = \min(U_n^+, U_n^-)$ . (Обратите внимание, что в точках С и D эксперимент проходит под углом 45°).

Скорость чипа определяется средним временем распространения сигнала:

$$t_{\text{рпн.квч}} = \frac{1}{2} (t_{\text{квч}}^{0,1} + t_{\text{квч}}^{1,0}),$$

где  $t$  *определяет на*  $0,1$ , а  $t$  *определяет на*  $1,0$  - среднее время задержки переднего и заднего фронтов импульса, измеренное при  $0,5$  амплитуды импульса.

Эффективность чипа измеряется средней потребляемой мощностью (ноль и один случай):

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(P^0 + P^1).$$

Внутреннее качество чипа определяется искусственным параметром работы подключения:

$$A_{\text{устройства}} = t_{\text{ср}} \cdot \text{кеч} \cdot P_{\text{ср}}.$$

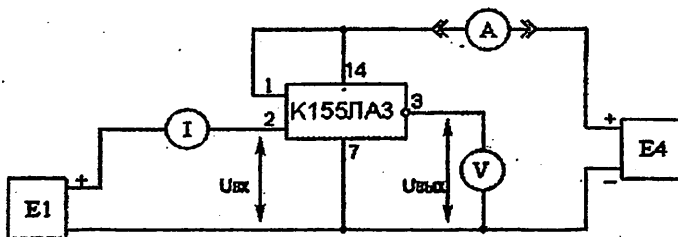
В лабораторных работах используются микросхемы K155LA3 или K555LA3 с 4 цепями 2NO -NOT . Принципиальная схема исследуемой микросхемы, расположение выходов и основные электрические параметры приведены в приложении.

При подготовке к работе в отчет должны быть включены схема и параметры МСМ, приведенные в приложении.

## 2. Задание для лабораторных работ:

### 2.1. Измерение передачи и входных характеристик чипа.

2.1.1. Используя любой из четырех элементов 2 ИЛИ-НЕ, имеющихся в микросхеме K155LA3 б, соберите схему, показанную на рисунке 14.3 (в качестве примера показан порядок вывода схемы).



14.5 - рисунок. Схема измерения

Подайте на один из входов ИМС входное напряжение и подключите полюс «+» источника к другому (не используется).  $E1$  входного напряжения

0 ... 5В, чтобы изменить  $I_{\alpha} = f(U_{\alpha})$  и передачи характеристикой  $U_{\text{вых}} = f(U_{\alpha})$  мера. Введите результаты измерений в таблицу №14.1.

таб. 14.1 .

$U_{\alpha}, \text{В}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$I_{\alpha}, \text{мкА}$											
$U_{\text{вых}}, \text{В}$											

2.1.2. Когда  $U_{\alpha} = U^0 \approx 0,4 \text{ В}$  и когда  $U_{\alpha} = U^1 \approx 2,4 \text{ В}$ , соответствующий расход составляет  $I^0_{\text{ист.}}$  и  $I^1_{\text{ист.}}$  измерять токи ( значения шага  $U^0$  и  $U^1$  взяты из паспортных инструкций).

### 2.2. Измерение грузоподъемности чипа.

Используйте схему, изученную в предыдущем абзаце. ИМС , инструкции по паспорту ввести логическое значение нулевого  $U = 0,4 \text{ В}$  . Сопротивление нагрузки на выходе ИМС: Измерьте выходную характеристику нагрузки  $U_{\text{вых}} = f(R_H)$ , задав  $R_H = 10 \text{ кОм}$ ,  $1 \text{ кОм}$ ,  $470 \text{ Ом}$ ,  $100 \text{ Ом}$ .

таб. 12.2 .

$R_H, \text{кОм}$	0	0,1	0,47	1	10	56
$U_{\text{вых}}, \text{В}$						

### 2.3. Изучение скорости логического чипа.

14 .6 - Соберите схему, показанную на рисунке. Чтобы продлить задержку и упростить измерение, четыре чипа соединены последовательно (помните, что результат должен быть разделен на четыре).

Подключите осциллограф к входу (точка А) и выходу (точка В). В это время выход ИМС должен быть подключен через делитель напряжения 1:10, установленный на панели осциллографа. Это позволяет уменьшить емкость соединительного кабеля и эффект осциллографа в 10 раз. (Поскольку входная цепочка имеет низкий коэффициент, здесь это не требуется).

Для того, чтобы ввести амплитуду 5 В и Часте АСИ 1 кГц прямоугольные импульсы. Определите время задержки переднего и заднего фронтов ( $t^{0,1}$  *подин*,  $t^{1,0}$  *подин*).

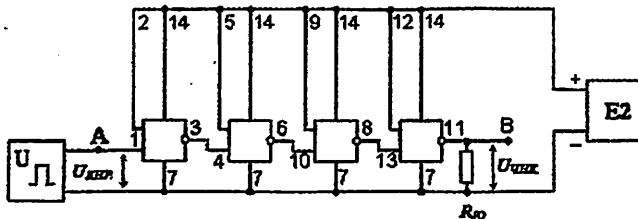


рис. 1 4 .6. Схема измерения.

### 3. Обработка экспериментальных результатов.

3.1. Построить графики зависимости  $I_{\text{сх}} = f(U_{\text{сх}})$  и  $U_{\text{сх}} = f(U_{\text{вх}})$  от результатов измерений в п. 2.1 и определить основные параметры:  $U^0$ ,  $U^1$ ,  $I^0_{\text{сх}}$ ,  $I^1_{\text{сх}}$ ,  $U_{M^+}$ ,  $U_{M^-}$ ,  $U_{M..}$ . Рассчитать среднюю потребляемую мощность  $R_{\text{орт}}$

3.2. Рассчитать среднее время задержки  $t$  при распространении сигнала  $t$  *подин* и работу пересоединения  $A_{\text{ил}}$ .

3.3. Построить график зависимости нагрузки от выходного напряжения, измеренного в 2,2 -  $U^1_{\text{сх}} = f(R_H)$ . На графике определения величины падения напряжения в паспортной инструкции  $U^1_{\text{ВЫХ}} = 2,4$  В значение нагрузки  $R_{H.\text{мин}}$ .

Содержание отчета.

- Инструкции по паспорту чипа K155LA3, приведенные в приложении ;
- Таблицы результатов измерений и графики зависимостей;
- Значения полученных параметров МСМ.

#### Контрольные вопросы

1. Для каких целей используется сложный инвертор в цепях ТТЛ?
2. В чем преимущество схемы ТТЛ над схемой диодно-транзисторной логики (ДТМ)?
3. Что такое логическая схема с тремя состояниями?
4. Какова функция диодов, которые шунтируют выходные цепи ИМС?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПТРОНОВ

**Цель работы:** изучить методы измерения производительности и параметров оптронов.

#### 1. Подготовка к лабораторным работам

Оптроны - одно из современных направлений функциональной электроники - являются основным структурным элементом оптоэлектроники.

Простейший диодный оптрон (рис.15.1.а) состоит из трех элементов: фотонный осветитель 1, передатчик света 2 и фотоприемник 3, размещенные в герметичном корпусе, который не принимает свет. Когда на вход подается электрический сигнал, включается фотонная подсветка. Луч света проходит через проводник света к фотоприемнику, где генерируется выходной электрический сигнал. Главная особенность оптрона состоит в том, что элементы в нем связаны светом, а входы и выходы электрически отделены друг от друга. Благодаря этой особенности высоковольтные и низковольтные цепи легко согласовываются друг с другом. Условный признак диодного оптрона рис.15.1.б, и его конструкция составляет 15.1.в показано на рис.

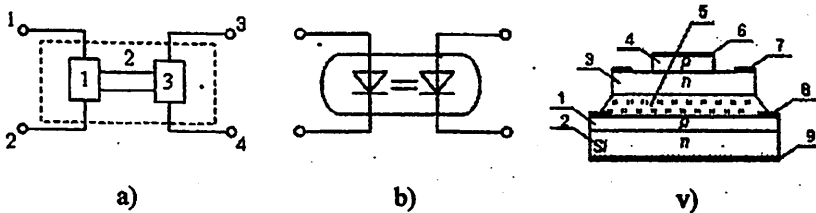


Рис.15.1. Диод с оптроном (а), его символом (б) и строительством si (в).

1, 2 - фото диоды g и n фотодиода; 3,4 - p и g области светодиода; 5 - селеновый стеклянный светопроводник; 6,7 - светодиодные контакты; 8,9 - фотодиодные контакты.

Фотодиоды в основном используются для преобразования световых сигналов в электрические сигналы (а также фоторезисторы, фототранзисторы и фототиристоры).

Фотодиод представляет собой простой  $p-n$  переход и часто изготавливается из кремния или германия. Обратный ток в нем определяется скоростью генерации носителей заряда, возникающих в результате падающего светового падения. Это явление называется внутренним фотоэффектом.

Существует два режима применения фотодиода: без внешнего источника - вентильный или фотоэлектрический и внешнего источника - режим фотодиодного. Фотодиоды, которые преобразуют свет от внешнего источника в электричество, называются вентилируемыми фотоэлементами. Образование фотоэлектрической силы  $U_f$  происходит за счет разделения генерируемых светом пар электрон-полость через  $p-n$ -переход. Фото ЕУуК Размер  $U_f$  зависит от уровня оптического сигнала  $R_f$  и величины сопротивления нагрузки. Выходная характеристика фотоэлемента клапана показана на рисунке 9.2.

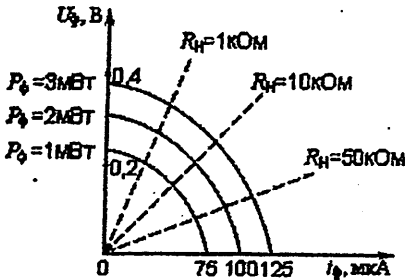


Рисунок 15.2. Загрузка фотоэлемента ВАХ.

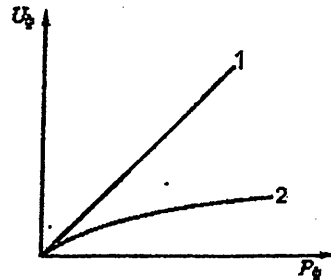


Рисунок 15.3. Напряжение сигнала  $U_f$  при заданном значении сопротивления нагрузки является зависимостью мощности оптического излучения  $R_f$  для фотодиода (1) и вентильного элемента (2).

В режиме фотодиодов фототок  $i_f$  из-за внешнего источника напряжения приблизительно равен току короткого замыкания вентиляльного элемента, в то время как падение напряжения  $U_f$  возникающее при сопротивлении нагрузки из-за фототока, велико. Зависимость напряжения сигнала  $U_f$  при одном и том же значении сопротивления нагрузки от мощности оптического излучения  $R_f$  для фотодиода (1) и вентиляльного элемента (2) показана на рисунке 15.3. Эффективность фотоэлектрического преобразования выражается в вольт-ваттах  $S_U = U_\phi / R_f$  и ампер-ваттах  $S_I = I_\phi / R_f$  (чувствительность).

Другое преимущество фотодиодов состоит в том, что световые характеристики  $I_f$ ,  $U_f = f(R_f)$  имеют линейный вид, что позволяет использовать их в оптических линиях связи. Клапанные элементы в основном используются в качестве преобразователей энергии (солнечных элементов).

Контроль тока с помощью света также может быть выполнен с помощью биполярных транзисторов. Они имеют высокую чувствительность к фотодиодам из-за увеличения базового тока. Оптическая генерация носителей заряда в базе фототранзистора эквивалентна введению носителей заряда от внешнего источника в базу. В результате фототок транзистора усиливается в  $\beta$  раз относительно фотодиода. Где  $\beta$  - статическое усиление тока базы фототранзистора.

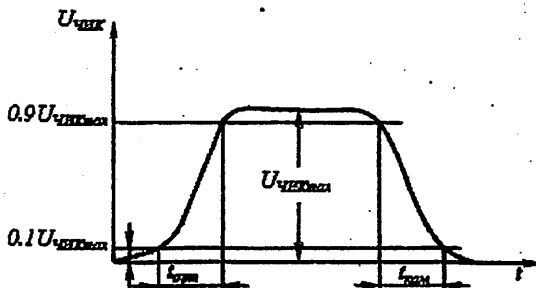


Рисунок 15.4. Временная диаграмма выходного сигнала.

Инерция оптрона связана с процессами в светоизлучающем диоде и приемнике света и определяется с помощью (рис. 15.4).

Могут быть указаны следующие основные параметры диодного оптрона :

максимальный входной ток  $I_{кр\ m\ топор}$  ;

максимальное входное напряжение  $U_{кр\ m\ ax}$  ;

Максимальное выходное обратное напряжение  $U_{чик.тестк..м\ топор}$  ;

постоянное входное напряжение, соответствующее заданному току  $I_{кр}$  ;

обратная темнота при выходном токе  $I_{чик\ тестк.\ \kappa}$  ;

увеличение выходного сигнала  $I_{opt}$  и уменьшить  $m_{меньше}$  раз (сигнал на оптическом выходе данного диода изменяется от максимального значения в диапазоне 0,1–0,9 и 0,9–0,1) ( рис. 15.4 );

коэффициент передачи тока  $K_I$  - отношение изменения выходного тока к входному току  $K_I = (I_{чик} - I_{чик.тестк.q}) / I_{кр}$ .

Граничные значения и расположение выходного сигнала диодного оптрона, измеренного в лаборатории, приведены в приложении.

## 2. Задание для лабораторных работ:

Запишите принципиальную схему и граничные значения исследуемого оптрона.

### 2.1. Исследование характеристик диодных оптронов.

2.1.1. 15 .5 - Соберите схему, показанную на рисунке. Установите значение предельного тока, подаваемого из источника, на предельные значения оптрона.

2.1.2. Изменяя  $E1$ , измерьте входную характеристику оптрона  $I_{кр} = f(U_{кр})$ . Поскольку сопротивление на входе светодиода намного меньше, чем  $R1$ , примите входное сопротивление как  $I_{кр} = E1 / R1$ .

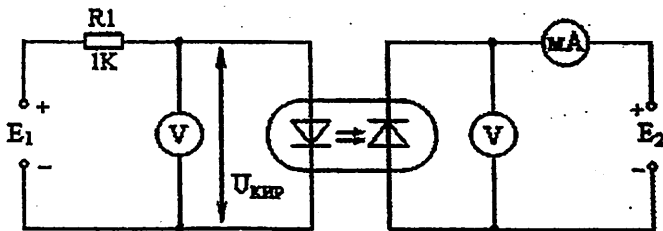


Рисунок 15.5. Схема измерения статических характеристик диодного оптрона.

Введите результаты измерений в таблицу 15.1.

Таблица 15.1

$E_2=0B$	$E_1, B$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{ex}, B$													
	$I_{ex}, mA$													
	$I_{op}, mA$													
$E_2>0B$	$E_1, V$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{ex}, V$													
	$I_{ex}, mA$													
	$I_{op}, mA$													

2.1.3. Возьмем  $E_2 = 0$ .  $E_1$  переходит в режим фотоэлектрического для характеристики передачи Опрта  $I_{OUT} = F(\text{я})$  меры.

Введите результаты измерений в таблицу 15.2.

Таблица 15.2

$E_2=0B$	$E_1, B$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{ex}, B$													
	$I_{ex}, mA$													
	$I_{op}, mA$													
$E_2>0B$	$E_1, V$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{ex}, V$													
	$I_{ex}, mA$													
	$I_{op}, mA$													

2.1.4.  $E_2 = 5\text{ В}$  наборе. Повторите измерения в 2.1.3 для режима фотодиода. Результаты измерений приведены в таблице 15.2.3 - Введите в таблицу.

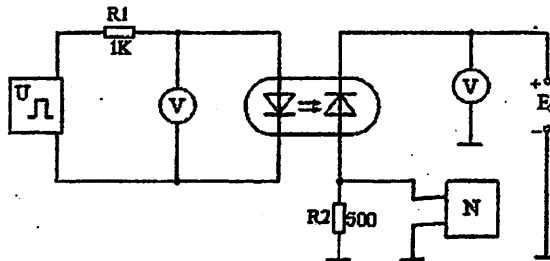
Таблица 15.3

$E_2=0\text{В}$	$E_1, \text{В}$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{ок}, \text{В}$													
	$I_{ок}, \text{мА}$													
	$I_{ср}, \text{мА}$													
$E_2>0\text{В}$	$E_1, \text{В}$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{ок}, \text{В}$													
	$I_{ок}, \text{мА}$													
	$I_{ср}, \text{мА}$													

2.1.5. Увеличение сигнала на выходе оптрона составляет  $t_{от}$  и уменьшить  $t_{меньше}$  измерить время.

15.6 - Соберите схему, показанную на рис., Подключите генератор импульсов к светодиодной цепи. Установите импульс с амплитудой 5 В и частотой 1 кГц на выходе генератора . Подсоедините осциллограф через делитель напряжения 1:10 к резистору  $R_2$  . (Используйте другой канал осциллографа для измерения амплитуды импульса на выходе генератора).  $E_2 = 5\text{ В}$ , а также о том , что увеличение охват  $ostsilogrammasidan$  сигнала  $T_{ок}$  и уменьшить  $t_{меньше}$  измерить время.

Установите  $E_2 = 0$  и повторите измерения времени для фотоэлектрического режима.



15.6 Изображение. Схема измерения динамических характеристик диодного оптрона.

## 2.2. Исследование транзисторных оптронных характеристик .

15 0,7 Сбор схемы изображения,  $E_2 = 5В$  наборе.

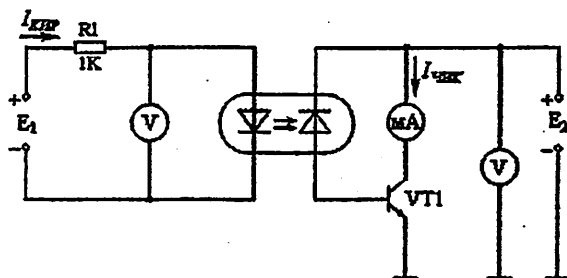


Рисунок 15.7. Схема измерения диодного оптрона усилителя.

(В этой схеме оптронный фотодиод и внешний транзистор имитируют фототранзистор).

Я пошел , чтобы изменить  $E_1 = E_1 / P_1$  и  $I_{OUT} = I_K$ , транзистор Optra характеристики передачи  $I_{OUT} = F(a)$  меру. Запишите результаты измерений в таблицы 15.2, 15.3 аналогично таблицам 15.4.

Таблица 15.4

$E_1=0В$	$E_1, В$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{вх}, В$													
	$I_{св}, mA$													
	$I_{св}, mA$													
$E_2>0В$	$E_1, В$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$U_{вх}, В$													
	$I_{св}, mA$													
	$I_{св}, mA$													

## 3. Обработка экспериментальных результатов.

3.1. Построить входную характеристику оптрона и определить величину входного напряжения  $U_{белл}$ , соответствующую значению  $I_{КЭТ} = 10$  мА .

3.2. Построить характеристики пропускания оптрона для диодной и фотоэлектрической мод и определить коэффициент передачи тока  $K$ , при значении  $I_{KR} = 10$  мА.

3.3. Рассчитать среднее время задержки распространения сигнала в диодном оптроне.

$$t_{\text{урт.квч}} = \frac{1}{2} \left( \frac{t_{\text{ортши}}}{2} + \frac{t_{\text{каматши}}}{2} \right).$$

3.4. Построить транзисторную оптронную характеристику передачи и определить коэффициент передачи тока  $K$ , при значении  $I_{KR} = 10$  мА.

#### 4. Содержание отчета.

1. Граничные значения оптронов и исследуемая принципиальная схема;
2. Схемы измерений;
3. Измерения, связанные с tionship диаграммы и графики;
4. Расчетные параметры;
5. Осциллограммы тока и напряжения.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Оптоэлектронные оборудование и что оно правильно используется.
2. Объясните принцип и основные характеристики работы фотодиодов.
3. Объясните принцип и основные характеристики работы светодиодов.



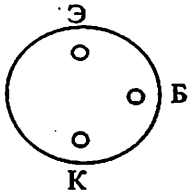
## ПРИМЕНЕНИЕ

Информация об утвержденных электронных устройствах

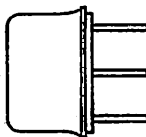
### И1. Биполярные транзисторы

Тип транз.	Структура	$h_{21Э}$	$f_{h21Э}(fT)$ , МГц	$I_{к.чез}$ , мА	$U_{к.чез}$ , В	$P_{к.чез}$ , мВт	$\tau_{об}$ , мкс	$C_x$ (10В), пФ
МП37Б	п-р-п, Ge, сплав	20- 50	1,0	20	15	150		40
МП39Б	р-п-р, Ge, сплав	20- 50	0,5 1,5	20	20	150		40
КТ315Б	п-р-п, Si, плоско - эпитаксия	50- 350	(250)	100	20	150	0,5	7
КТ361Б	р-п-р, Si, плоско - эпитаксия	50- 350	(250)	50	20	150	0,5	9

(ТР 2) МП 37  
МП 39



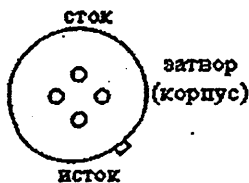
(ТР 27) КТ 315  
КТ 361



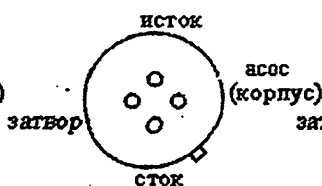
## И2. Полевые транзисторы

Тип транз.	Структура	$I_c$ чез ( $I_c$ боин)	$U_{си}$ чез В	$P_c$ чез, мВт	$C_{зв}$ пФ	$C_{зс}$ пФ	$C_{си}$ пФ	$r_k$ Ом	$U_{берь}$ В
КП103И	п-р переход р-канал	(0,8- 1,8)	12	21	20	8	-	30	0,8-3
КП103Е	п-р переход р-канал	(0,4- 1,5)	10	7	20	8	-	50	0,4- 1,5
КП103М	п-р переход р-канал	(5- 7,5)	10	120	20	8	-	60	3-5
КП301Б	р-МДЯ, канал индуцируя	15	20	200	3,5	1	3,5	100	-4
КП305Д	п-МДЯ, канал построен	15	15	150	5	0,8	5	80	-6

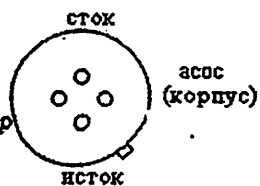
(ТР 67) КП 103



(ТР 69) КП 305

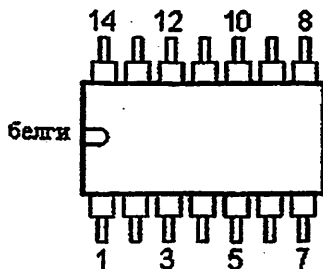


(ТР 71) КП 301



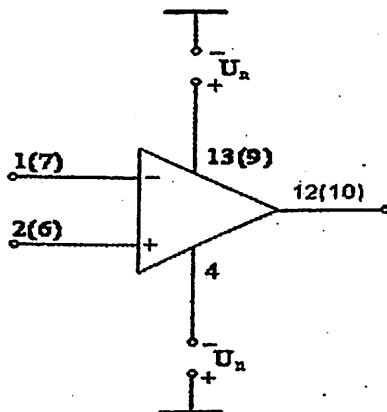
## И3. Интеграл микросхемы

Все исследованные в лаборатории чипы были изготовлены в прямоугольной пластиковой или керамической оболочке, размещенной в 2 ряда по 14 выходов типа 201.14.1-201.14.9 (специальная маркировка может быть выполнена в виде точки возле 1-го выхода).



201.14.1-201.14.9 корпус (вид сверху)

К140УД20. Двойной операционный усилитель



1 (7) – ОУ вход инвертирующий

2 (6) – ОУ вход неинвертирующий

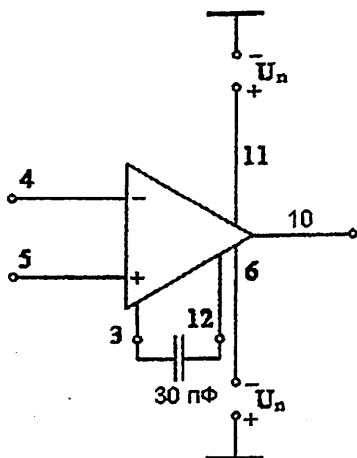
4 – выход “-Uп” для подключения источника

12 (10) – ОУ выход

13 (9) - “+Uп” выход для подключения ресурса

(Цифры в скобках относятся ко второму ОУ, помещенному в тот же кристалл)

К553УД2; КР1408УД1 Операционные усилители



4 – ОУ вход инвертирующий

5 – ОУ вход неинвертирующий

6 – выход “- $U_n$ ” для подключения источника

10 – ОУ выход

11 - “+ $U_n$ ” выход для подключения ресурса

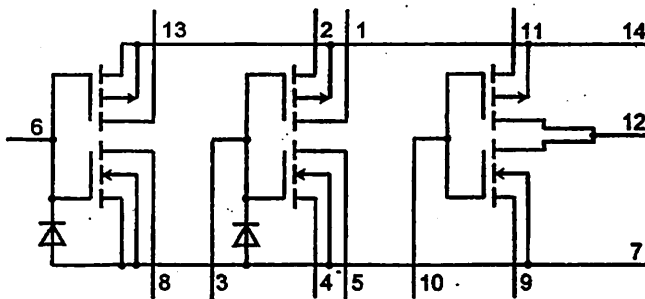
(Цифры в скобках относятся ко второму ОУ, помещенному в тот же кристалл)

3.12-ОУ выход для подключения внешних цепей

Основные параметры ОК изучены в лабораторных работах

Тип ОК	$K_{ув}$ $10^3$	$U_{см}$ мВ	$I_{квп}$ мкА	$I_{кпр}$ мкА	$f_i$ МГц	$U_{пер.чех}$ , в/мкс	$K_{ма}$ сф дБ	$U_{кпр}$ В	$U_{кпр}$ сф В	$U_{мв}$ В
К553УД2	20	7,5	1,5	0,5	1	0,5	70	10	10	+(6-15)
К140УД20	50	5	0,2	0,05	0,55	0,3	70	12	11	+(6-15)

К176LP1 является универсальным логическим элементом со структурой КМДП (может использоваться при совместимом переключении в качестве трех элементов NOT, элемента NOT с большим коэффициентом ветвления, элемента ЗИ-НЕТ, элемента ЗИЛИ-НЕТ и ячейки триггера).



Основные электрические параметры

Источник напряжения  $U_M = 9В \pm 5\%$ ,

Уровни логического сигнала  $U^0_{вых} \leq 0,3В$ ;  $U^1_{вых} \geq 8,2В$ ;

потребляемый ток: не более 0,3 мА;

среднее время задержки распространения сигнала  $\leq 200$  нс

Производительность сохраняется до тех пор, пока напряжение источника не упадет до 5 В. Допустимый диапазон входных сигналов (от 0 до  $U_M$ ).

## ЛИТЕРАТУРЫ

1. X.K. Aripov, A.M. Abdullaev, N.B. Alimova, J.T.Maxsudov, A.A. Tulyaganov, Sh.T. Toshmatov. Elektronika va sxemotexnika. Darslik. T.: Aloqachi nashriyoti, 2017, 376 b.
2. X.K.Aripov, A.M.Abdullayev, N.B.Alimova, X.X.Bustanov, Ye.V.Obyedkov, Sh.T.Toshmatov. Sxemotexnika. T.: TAFAKKUR BO'STONI, 2013y.
3. X.K. Aripov, A.M. Abdullayev, N.B. Alimova, X.X. Bustanov, Sh.T. Toshmatov. Raqamli mantiqiy qurilmalarni loyihalashtirish. Darslik. –T.: «Aloqachi », 2017, 396 bet.
4. X.K. Aripov, A.M. Abdullayev, N.B. Alimova, X.X. Bustanov, Ye.V. Obyedkov, Sh.T. Toshmatov. Elektronika. Darslik. T.:O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2012y, 432 b.
5. Multisim User Guide. National Instruments, 2007 y.
6. Основы электроники: Учебное пособие / X.K. Арипов А.М. Абдуллаев Н.Б. Алимова; - Ташкент: ИПТД им. Чулпана, 2007. - 136 с.
7. Ю.Ф. Опадчий О.П. Глудкин А.И. Гуров. Аналоговая и цифровая электроника. - М.: Горячая линия - Телеком, 2003.
8. Степаненко И.П. Основы микрoeлектроники: Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., Перераб. и доп.- М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001.
9. Ю.Л. Бобровский С.А. Корнилов И.А. Кратиров и др.; Под красным. проф. N.F. Фёдорова. Электроника, квантовые приборы и микрoeлектроника: Учебник для вузов.- М: Радио и связь, 2002.

### Электронные ресурсы:

1. [www.gov.uz](http://www.gov.uz)
2. [www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)
3. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
4. [www.edu.uz](http://www.edu.uz)
5. [www.etuit.uz](http://www.etuit.uz)

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Классификация технология изготовления ИМС.....	3
2. Исследование усилителя на БТ в схеме с ОЭ.....	9
3. Исследование усилителя на БТ в схеме с ОБ.....	17
4. Исследование усилителя на полевых транзисторах .....	23
5. Исследование генератора стабильного тока на биполярных транзисторах.....	30
6. Исследование генератора стабильного тока на полевых транзисторах .....	37
7. Исследование эмиттерного повторителя .....	44
8. Исследование схемы истокового повторителя .....	48
9. Исследование характеристик параметров интегрального усилителя ..	52
10. Исследование операционного усилителя (ОУ) .....	59
11. Исследование аналоговых устройств на основе ОУ .....	63
12. Исследование передаточной характеристики электронного ключа на основе БТ .....	69
13. Исследование схемы электронного ключа на основе ПТ .....	78
14. Исследование ИМС на основе ТТЛ .....	82
15. Исследование интегральных оптронов .....	89
Приложение .....	97
Литература .....	102

4000

Методические пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплине  
“Электроника и схемы 2”

Рассмотрены на заседании кафедры Э и Р  
и рекомендованы к печати,  
Протокол № 21 от 14.02.2023 года

Рассмотрены на НМС факультета Р и МС  
и рекомендованы к печати  
Протокол № 7 от 15.02.2023 года

Рассмотрены на НМС ТУИТ  
имени Мухаммада ал-Хоразмий  
и рекомендованы к печати  
Протокол № 7 (164) от 29.03.2023года

Составители: Абдуллаев А.Х.,  
Нурмухамедова Т.У.,  
Мусаджанова Н.А.,  
Тешабоев Х.Н.

Рецензент: Хасанов Д.Т.  
Юусупов Я.Т.

Ответственный редактор: Саггаров Х.А.

Корректор Нуштаева О.Х.

Формат 60x84 1/16. Печ.лист 6,5.  
Заказ № 62. Тираж 20.  
Отпечатано в «Редакционно издательском»  
отделе при ТУИТ.  
Ташкент ул. Амир Темур, 108.