

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.11.2024 10:27:02

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13450426d39e51c11ea6b75e945df4a4851fda36d089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**«Юго-Западный государственный университет»**

**(ЮЗГУ)**

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 8 » 11

2024 г.



## **ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СХЕМОТЕХНИКА В МЕХАТРОНИКЕ:**

**методические указания по выполнению лабораторных работ**

**для студентов направления**

**15.03.06 «Мехатроника и робототехника»**

УДК 621.38

Составители: Тарасова Е.С., Щербакова М.П.

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент Юго-Западного государственного университета *Мальчиков А.В.*

**Электронные устройства и схемотехника в мехатронике:** методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления 15.03.06 Мехатроника и робототехника / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Тарасова Е.С., Щербакова М.П. - Курск, 2024. 50 с.

Изложены задания, ход выполнения и пример выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электронные устройства и схемотехника в мехатронике».

Методические указания соответствуют требованиям Федерального государственного образовательного стандарта.

Методические указания предназначены для студентов направления 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» а также других направлений технического профиля для всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать. Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. 2,91 Уч.-изд.л. 1,3 Тираж 30 экз. Заказ *1243* Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Содержание

<b>Введение</b> .....	4
<b>Рекомендации по выполнению лабораторных работ</b> .....	5
<b>Лабораторная работа №1 ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ</b> .....	6
<b>Лабораторная работа №2 ИССЛЕДОВАНИЕ RC-ЦЕПИ</b> .....	14
<b>Лабораторная работа №3 ДИОДЫ. ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ</b> .....	20
<b>Лабораторная работа №4 СТАБИЛИТРОНЫ. СХЕМА СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ</b> .....	26
<b>Лабораторная работа №5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ, ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С БИПОЛЯРНЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ (БТ В КЛЮЧЕВОМ РЕЖИМЕ, ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ)</b> .....	29
<b>Лабораторная работа №6 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С БИПОЛЯРНЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ (ИСТОЧНИК ТОКА НА БТ, УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ)</b> .....	35
<b>Лабораторная работа №7 ТОКОВОЕ ЗЕРКАЛО. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ</b> .....	39
<b>Лабораторная работа №8 РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ СХЕМ</b> .....	43
<b>Лабораторная работа №9 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ, ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С ПТ</b> .....	45
<b>Список использованных и рекомендуемых источников</b> .....	50

## Введение

В данной методической разработке представлены лабораторные работы по дисциплине «Электронные устройства и схемотехника в мехатронике».

Электронное устройство – это электронный прибор или устройство, созданный из электронных компонентов, принцип действия которых основан на взаимодействии заряженных частиц с электромагнитными полями. Электронные устройства изучает электроника.

Электроника – наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и методах создания электронных приборов и устройств для преобразования электромагнитной энергии, в основном для приёма, передачи, обработки и хранения информации.

Можно различать следующие области электроники:

- физика (микромира, полупроводников, электромагнитных волн, магнетизма, электрического тока и др.) – область науки, в которой изучаются процессы, происходящие с заряженными частицами,
- бытовая электроника – бытовые электронные приборы и устройства, в которых используется электрическое напряжение, электрический ток, электрическое поле или электромагнитные волны. (Например телевизор, мобильный телефон, утюг, лампочка, электроплита, и др.).
- энергетика выработка, транспортировка и потребление электроэнергии, электроприборы высокой мощности (например, электродвигатель, электрическая лампа, электростанция), электрическая система отопления, линия электропередачи.
- микроэлектроника – электронные устройства, в которых в качестве активных элементов используются микросхемы:
  - оптоэлектроника – устройства, в которых используются электрический ток и потоки фотонов,
  - звуко- видеотехника – устройства усиления и преобразования звука и видео изображений,
  - цифровая микроэлектроника – устройства на микропроцессорах или логических микросхемах. Например: электронный калькулятор, компьютер, цифровой телевизор, мобильный телефон, принтер, робот, панель управления промышленным оборудованием, средствами транспорта, и другие бытовые и промышленные устройства.

Электронное устройство может включать в себя самые разные материалы и среды, где происходит обработка электрического сигнала с использованием разных физических процессов. Но в любом устройстве обязательно имеется электрическая цепь.

## Рекомендации по выполнению лабораторных работ

Рекомендуются следующий алгоритм по выполнению лабораторных работ:

- внимательно прочитайте методические рекомендации по выполнению лабораторной работы;
- при необходимости повторите лекционный материал по конспектам и другим источникам, относящийся к теме лабораторной работы;
- следуйте методике выполнения работы (согласно своему варианту), представленной в конце каждой работы;
- ответьте на контрольные вопросы, которые предложены в конце каждой работы;
- оформите лабораторные работы в виде отчета в соответствии с общими требованиями к текстовым документам.

Придерживайтесь следующей структуры содержания отчета:

1. Титульный лист
2. Цель работы.
3. Задание на выполнение работы (с указанием данных для своего варианта).
4. Схемы исследуемых систем.
5. Таблицы с замерами и полученные графики.
6. Необходимые расчёты.
7. Выводы по каждому пункту заданий (где необходимо).
8. Выводы по проделанной работе.

По желанию в отчёт можно внести краткие теоретические сведения.

Приведённые примеры выполнения работ не содержат выводов, их необходимо сделать выполняющему работу самостоятельно.

# Лабораторная работа №1. ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ.

**Цель работы:** изучение элементов электрических цепей и измерительных схем.

**Объект исследования:** элементы электрических цепей и измерительных схем.

**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** исследовать делитель напряжения и мостовую схему. По каждому заданию сделать выводы о проделанной работе.

## Пример выполнения работы:

### Задание №1. Делитель напряжения.

В таблице 1 представлены желаемые параметры для построения схемы.

Таблица 1.1.

$U_{вх}, В$	$U_{вых}, В$	$R_{min}, кОм$	$R_{max}, кОм$
12	5	4	5

Собираем схему делителя напряжения (рис. 1.1), напряжение питания и выходное напряжение 12 В, сопротивление резистора  $R_1 = 1 кОм$ , второй резистор подобрали таким, чтобы получить заданное выходное напряжение равное 5 В (рис. 1.2).

Без нагрузки

$$I = \frac{U_{вх}}{R_1 + R_2}$$

Тогда для  $R_2$

$$U_{вых} = I \cdot R_2 = \frac{U_{вх} R_2}{R_1 + R_2}$$

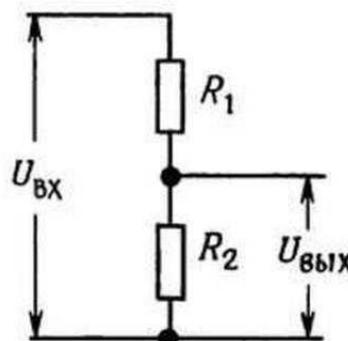


Рис. 1.1 Схема делителя напряжения на резисторах

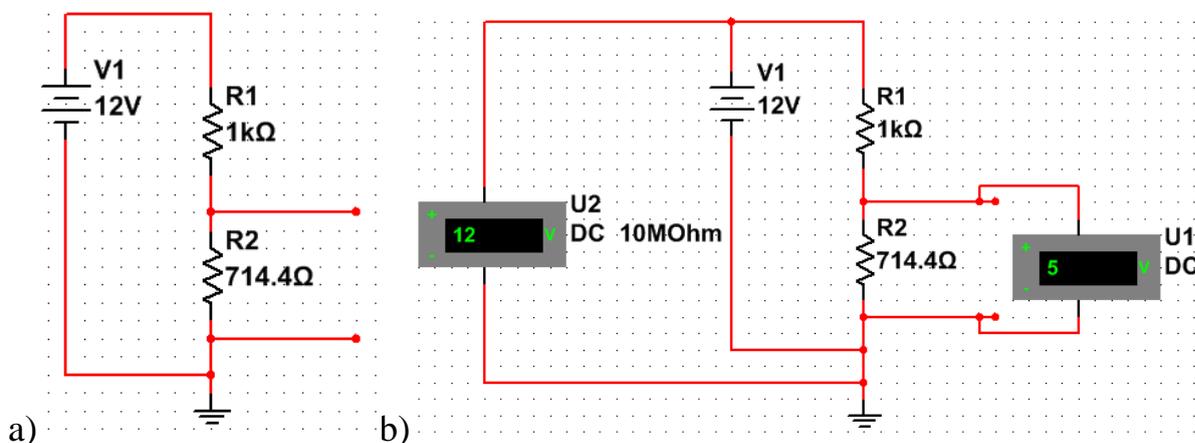


Рис. 1.2 Схема делителя напряжения на резисторах с подобранным значением  $R_2$

Подключили к делителю нагрузку номиналом 10 кОм (рис. 1.3).

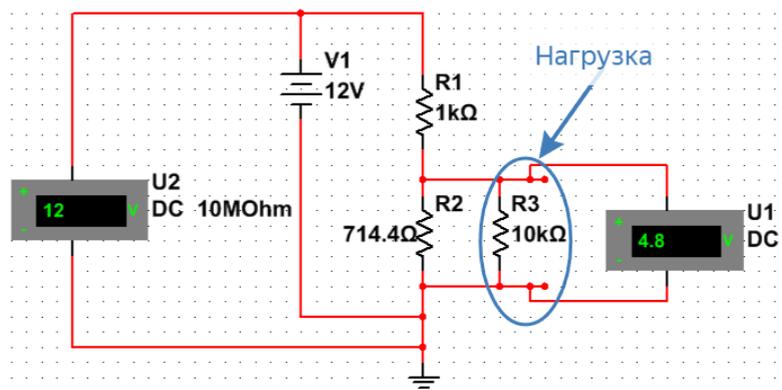
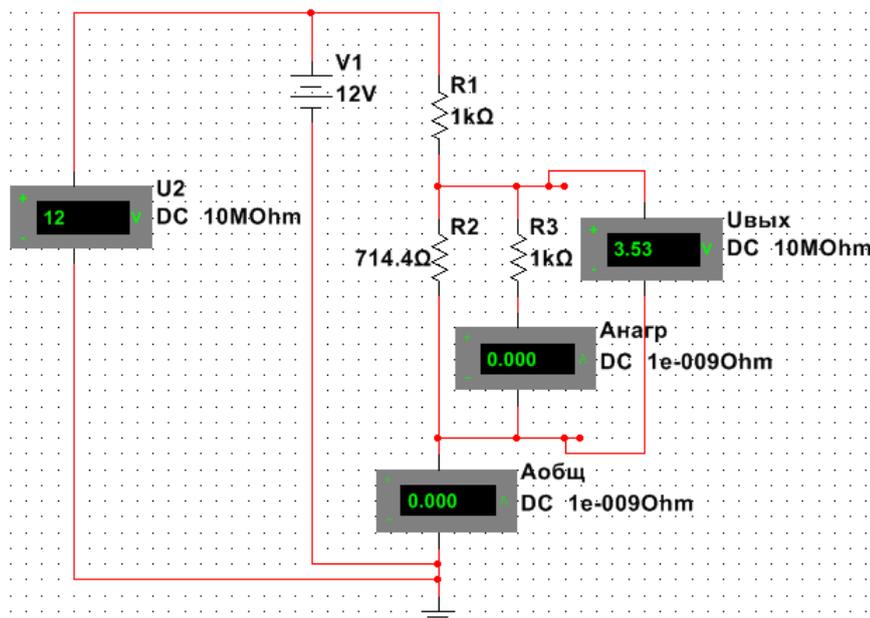


Рис. 1.3 Подключение нагрузки к делителю.

В качестве нагрузки используем резисторы следующего номинала: 1 кОм, 5 кОм, 20 кОм и 50 кОм (рис. 1.4, а). Для каждого измерили выходное напряжение, ток нагрузки и общий ток, потребляемый делителем (рис. 1.4, б).



а)

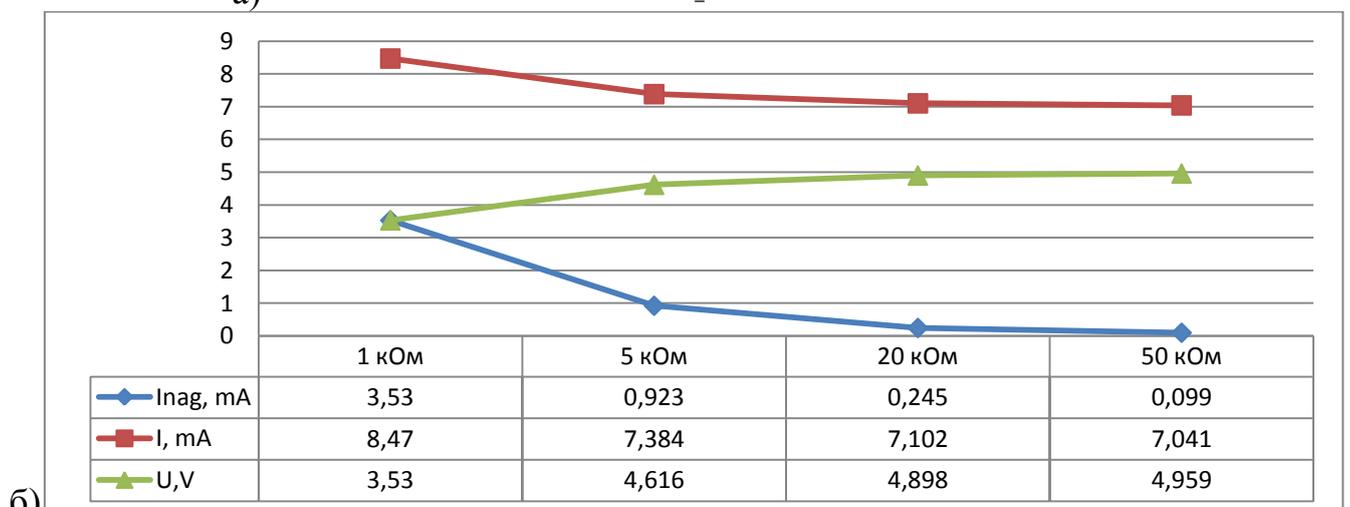


Рис. 1.4 Результаты измерений: а) изменение номинала нагрузки б) график изменения измеряемых величин

Подобрали сопротивления делителя такими, чтобы погрешность выходного напряжения не превышала 10 % при изменении сопротивления нагрузки в диапазоне согласно варианту задания.

При выходном напряжении равном 5 В и погрешности  $\pm 10\%$  имеем диапазон 4,5-5,5 В. Изменение сопротивления нагрузки производилось в диапазоне 4-5 кОм.  
 706 Ом – делитель для 4.5 В – выходное напряжение при 4кОм нагрузки.  
 1018,5 Ом – делитель для 5.5 В – выходное напряжение при 5кОм нагрузки.

Определили КПД полученного устройства.

КПД электрической цепи – отношения полезной мощности к затраченной мощности:

$$\eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P_{\text{затраченная}}} = \frac{R_2 \cdot I^2}{R_2 \cdot I^2 + R_1 \cdot I^2} = \frac{R}{R+r'} \quad (1.1)$$

где  $r$  – сопротивление нагрузки.

### Задание №2. Мостовая схема.

Собрали мостовую схему (рис. 1.5) с напряжением питания 12 В, сопротивлением всех резисторов 1 кОм и измерили выходное напряжение (рис 1.5, в).

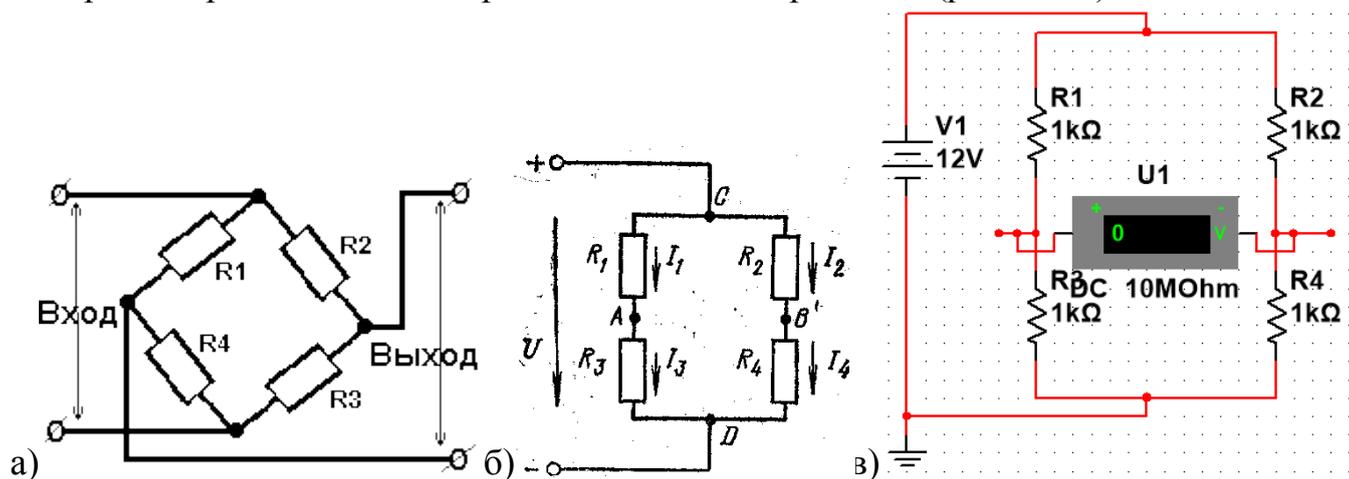


Рис. 1.5 а,б) Вариации исполнения мостовой схемы; в) Мостовая схема

Изменяя сопротивление резистора  $R_4$  в диапазоне от 100 Ом до 3 кОм, построили зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$  (рис. 1.6).

$R_4$ , Ом	$U$ , В
100	4,909
500	2
1000	0
1500	-1.2
2000	-2
2500	-2,571
3000	-3

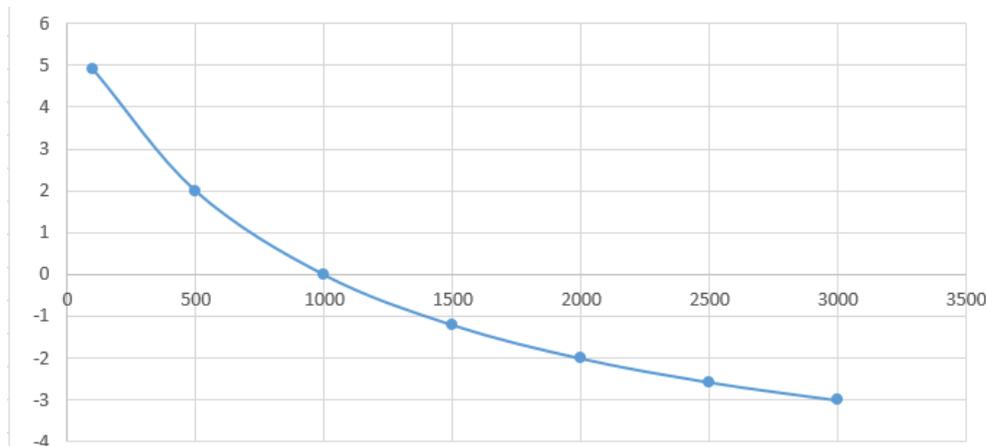


Рис. 1.6 Зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$

Задали сопротивление всех резисторов по 1 кОм. Изменяя сопротивление резистора  $R_3$  в диапазоне от 100 Ом до 3 кОм, построили зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_3$  (рис. 1.7).

$R_3, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$
100	-4,909
500	-2
1000	0
1500	1.2
2000	2
2500	2,571
3000	3

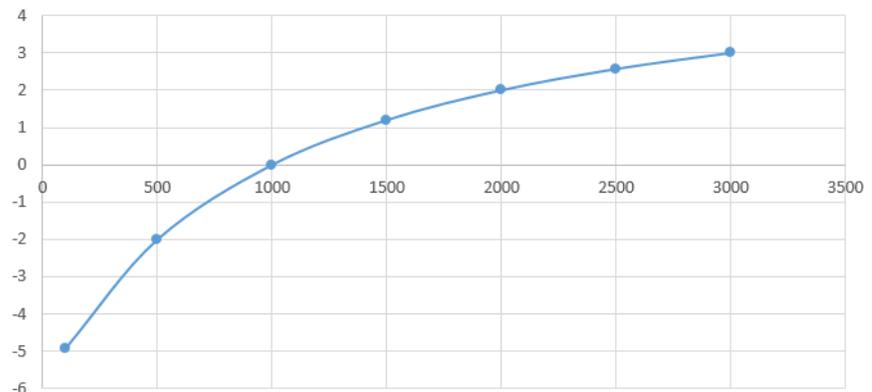


Рис. 1.7 Зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_3$

Задали сопротивление всех резисторов 1 кОм. Изменяя одновременно сопротивление резисторов  $R_1$  и  $R_4$  в диапазоне от 100 Ом до 3 кОм, построили зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$  (рис. 1.8).

$R_4, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$
100	9,818
500	4
1000	0
1500	-2,4
2000	-3,999
2500	-5,142
3000	-5,999

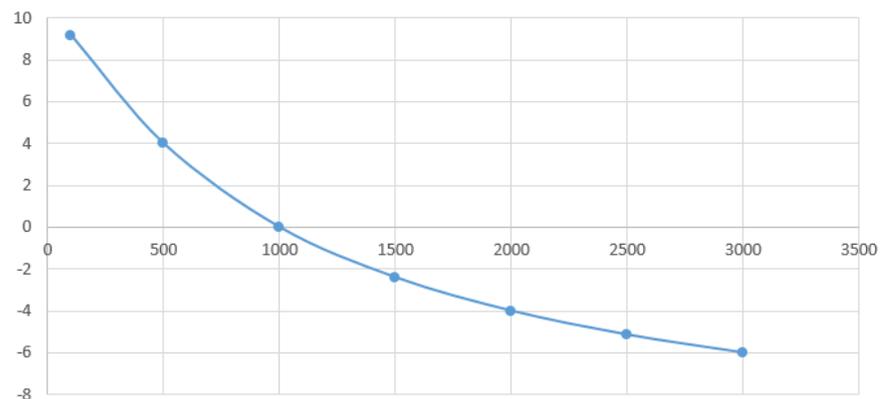


Рис. 1.8 Зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$

Повторили измерения из пункта 2 при напряжении питания 5В. Произвели замеры и построили графики (рис. 1.9).

$R_4, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$
100	2.045
500	0,833
1000	0
1500	-0,5
2000	-0,833
2500	-1,071
3000	-1,25

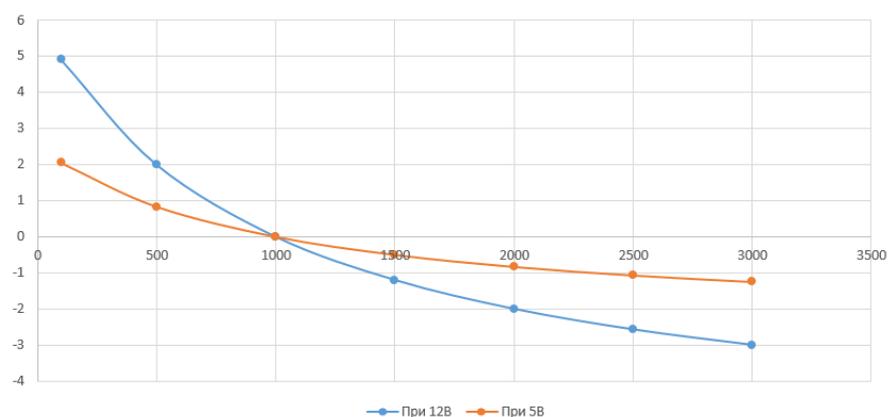


Рис. 1.9 Сравнение результатов измерений сопротивления резистора  $R_4$  при 12 В и 5 В

Параллельно вольтметру, измеряющему выходное напряжение, подключили резистор сопротивлением 100 кОм (рис. 1.10).

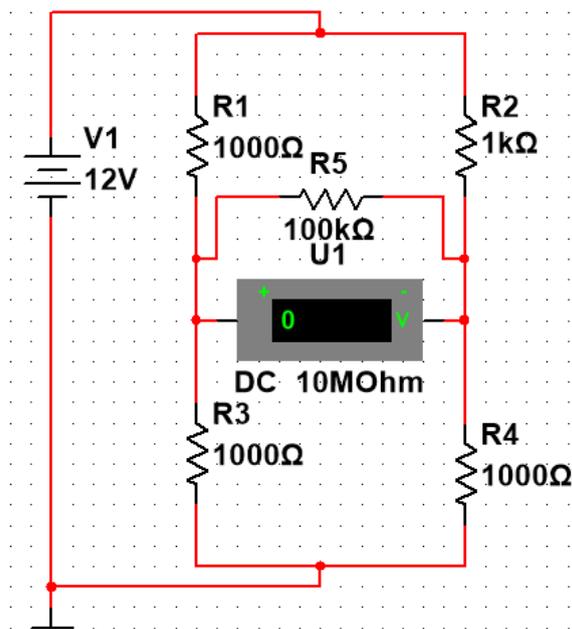


Рис. 1.10 Схема подключения вольтметра

Повторили графики по измерениям из пункта 2 и построили график зависимости (рис. 1.11).

$R_4$ , Ом	$U$ , В
100	4,88
500	1,983
1000	0
1500	-1,187
2000	-1,977
2500	-2,54
3000	-2,963

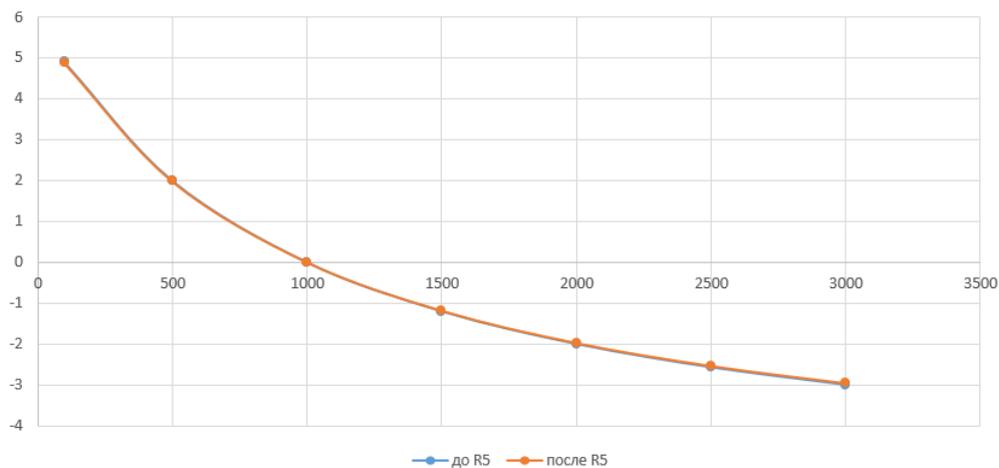


Рис. 1.11 График зависимости выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$  после добавления  $R_5$

Повторили измерения для резисторов 10 кОм, 1 кОм (рис. 1.12).

$R_4$ , Ом	При 10 кОм	При 1 кОм
	$U$ , В	$U$ , В
100	4,635	3,086
500	1,846	1,091
1000	0	0
1500	-1,081	-0,571
2000	-1,791	-0,923
2500	-2,293	-1,161
3000	-2,666	-1,333

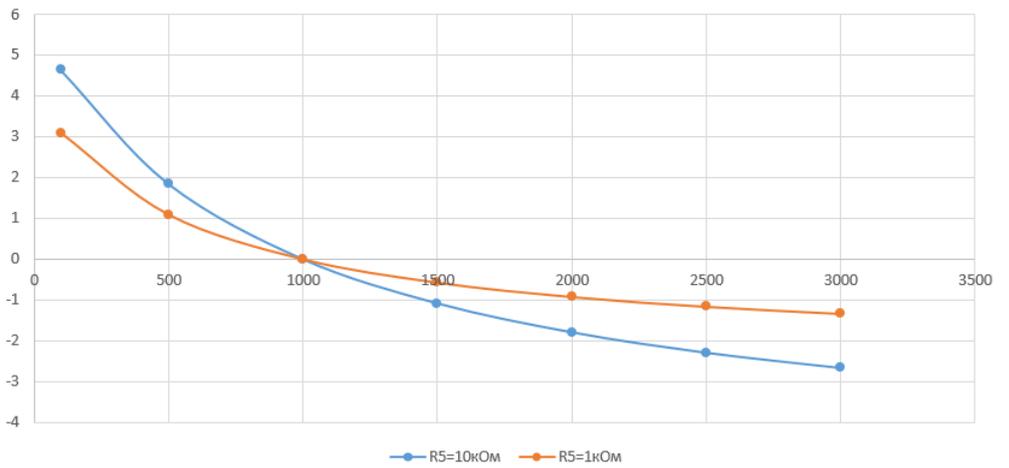


Рис. 1.12 График зависимости выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$  при  $R_5=10\text{кОм}$  и  $R_5=1\text{кОм}$

Измерили токи во всех ветках цепи (рис. 1.13).

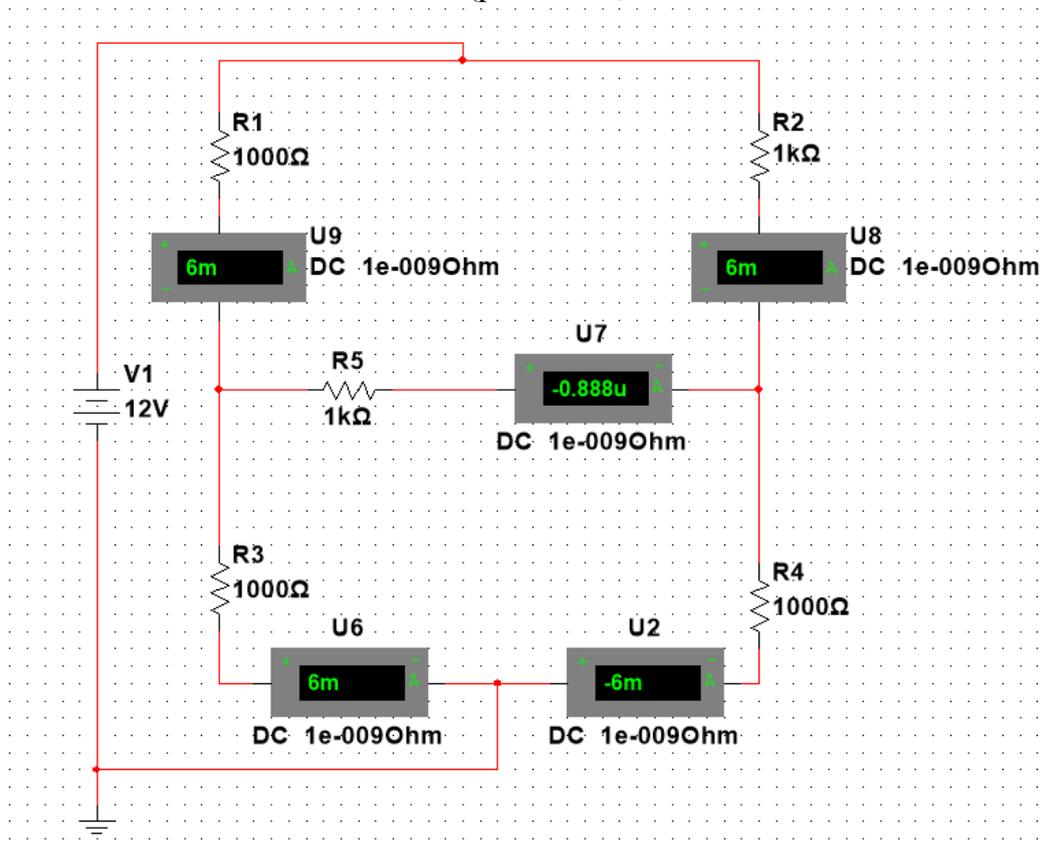


Рис. 1.13 Схема измерения тока

## Порядок и методика выполнения работы

### Задание № 1. Исследование делителя напряжения

Варианты для задания представлены в таблице 2.

1.1 Собрать схему делителя напряжения напряжение питания и выходное согласно варианту задания. Сопротивление резистора  $R_1$  выбрать равным 1 кОм, второй резистор подобрать таким, чтобы получить заданное выходное напряжение (согласно варианту задания).

1.2 Подключить к делителю нагрузку номиналом 10 кОм. Определить на сколько изменилось выходное напряжение делителя и объяснить почему.

1.3 В качестве нагрузки использовать резисторы 1 кОм, 5 кОм, 20 кОм, 50 кОм. Для каждого измерить выходное напряжение, ток нагрузки и общий ток, потребляемый делителем. Сделать выводы по полученным значениям.

1.4 Подобрать сопротивления делителя такими, чтобы погрешность выходного напряжения не превышала 10 % при изменении сопротивления нагрузки в диапазоне согласно варианту задания.

1.5 Определить КПД полученного устройства. Подобрать (если возможно) резисторы таким образом, чтобы КПД был максимальным.

1.6 Построить график зависимости выходного напряжения от сопротивления нагрузки (п.1.3).

1.7 Сделать выводы.

Таблица 1.2. Данные для задания 1.

№ варианта	$U_{вх},$ В	$U_{вых},$ В	$R_{min},$ кОм	$R_{max},$ кОм	№ вариант а	$U_{вх},$ В	$U_{вых},$ В	$R_{min},$ кОм	$R_{max},$ кОм
1	10	5	6	3	16	20	8	6	7
2	10	5	5	6	17	15	10	5	6
3	12	6	6	7	18	10	6	4	5
4	15	6	7	8	19	18	8	4	6
5	16	8	8	9	20	16	10	3	4
6	20	8	9	10	21	12	5	3	5
7	15	10	1	2	22	10	5	1	2
8	10	6	1	3	23	12	6	2	4
9	18	8	2	4	24	15	6	2	3
10	16	10	3	5	25	16	8	6	7
11	12	5	4	6	26	20	8	7	8
12	10	5	5	8	27	15	10	5	7
13	12	6	6	8	28	10	6	4	7
14	15	6	8	9	29	18	8	5	8
15	16	8	7	8	30	16	10	6	8

## **Задание №2. Исследование мостовой схемы**

2.1 Собрать мостовую схему с напряжением питания 12 В, сопротивлением всех резисторов 1 кОм. Измерить выходное напряжение.

2.2 Изменяя сопротивление резистора  $R_4$  в диапазоне от 100 Ом до 3 кОм, построить зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$ . Объяснить полученный результат.

2.3 Задать сопротивление всех резисторов по 1 кОм. Изменяя сопротивление резистора  $R_3$  в диапазоне от 100 Ом до 3 кОм, построить зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$ . Объяснить полученный результат.

2.4 Задать сопротивление всех резисторов по 1 кОм. Изменяя одновременно сопротивление резисторов  $R_1$  и  $R_4$  в диапазоне от 100 Ом до 3 кОм, построить зависимость выходного напряжения от сопротивления резистора  $R_4$  (резисторам задавать одинаковые значения!). Объяснить полученный результат.

2.5 Повторить измерения из пункта 2 при напряжении питания 5 В. Что изменилось? Почему?

2.6 Параллельно вольтметру, измеряющему выходное напряжение, подключить резистор сопротивлением 100 кОм. Повторить измерения из пункта 2. Что изменилось в графике зависимости? Почему? Повторить измерения для резисторов 10 кОм, 1 кОм. Какое влияние оказывает резистор? Почему? Измерить токи во всех ветках цепи. Объяснить полученный результат.

2.7 Сделать выводы.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое делитель напряжения и какова его схема (нарисовать схему)?
2. Для чего используется делитель напряжения?
3. Какие элементы включает в себя делитель напряжения (нарисовать их)?
4. Что такое нагрузка и что выступает в её роли (показать на схеме)?
5. Как в цепь подключаются амперметр и вольтметр, почему так?
6. Что такое КПД и как определяется (написать формулу)?
7. Что такое мостовая схема (нарисовать схему)?
8. Для чего используется мостовая схема?

## Лабораторная работа №2 ИССЛЕДОВАНИЕ RC-ЦЕПИ

**Цель работы:** изучение электрических RC-цепей.

**Объект исследования:** RC-цепи

**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** исследовать практические правила и влияние параметров схемы на форму выходного сигнала. По каждому заданию сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы

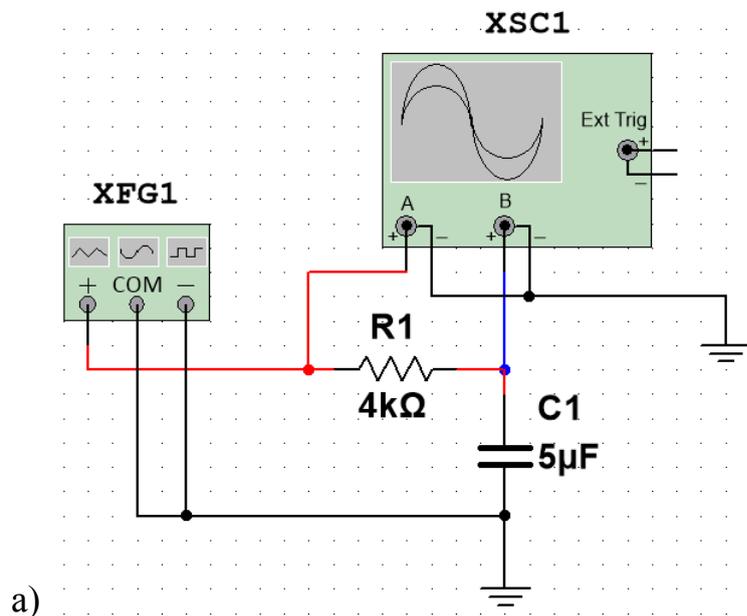
#### Задание №1. Практические правила

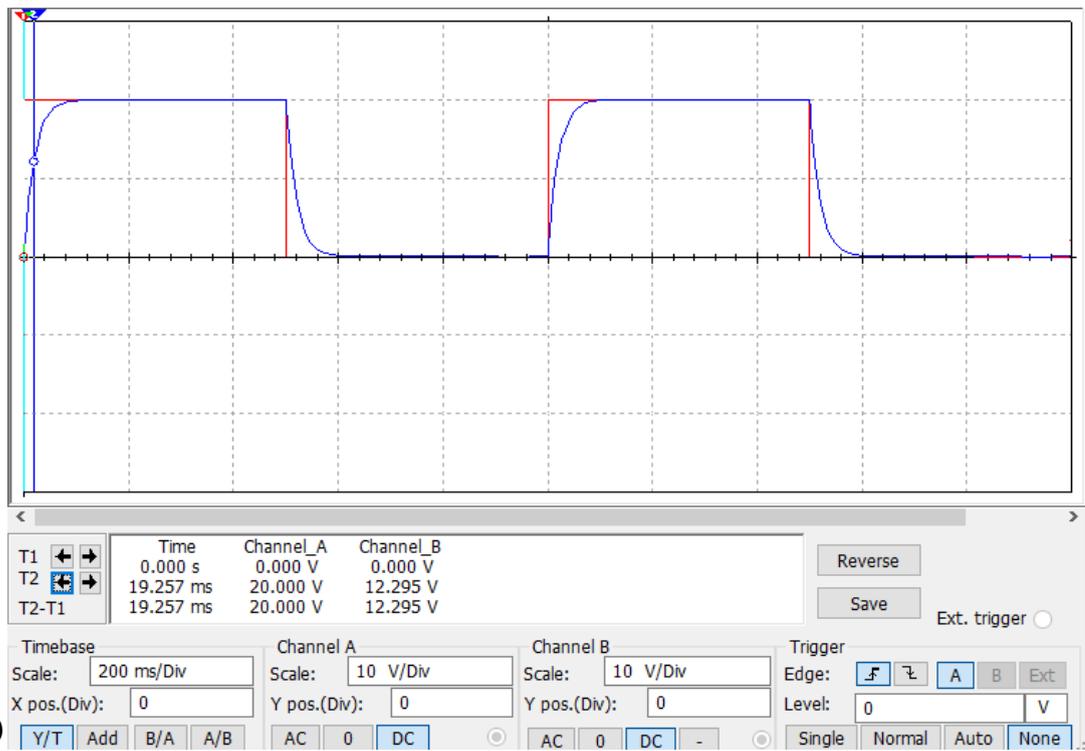
В таблице 2.1 представлены параметры для построения схемы.

Таблица 2.1.

$U_{вх}, В$	$R_{min}, кОм$	$C, мкФ$
12	4	5

Собрали схему согласно рис. 2.1, а. В источнике напряжения выбрали прямоугольный сигнал с заданной амплитудой и частотой 1 Гц. Построили осциллограммы напряжения заряда и разряда конденсатора (рис. 2.1, б).





б)

Рис. 2.1 а) Схема для исследования RC цепи б) Осциллограмма напряжения заряда и разряда конденсатора при  $C = 5 \text{ мкФ}$  и  $R = 4 \text{ кОм}$

Постоянная времени цепи определяет время, требуемое для того, чтобы конденсатор зарядился до 63,2% от величины приложенного напряжения или разрядился на 36,8% от этой величины (Рис. 2.2). Постоянная времени определяется как:  $\tau = RC$

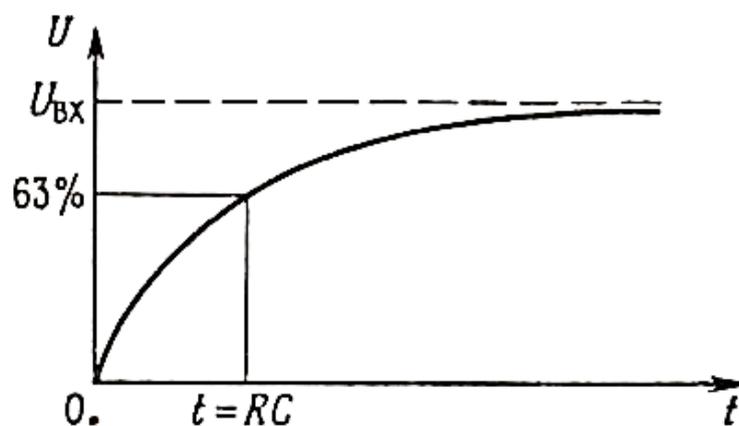


Рис. 2.2. Переходный процесс зарядки конденсатора

За время  $3\tau$  напряжение составит  $(1 - 1/e^3) 100\% \approx 95\%$  значения  $U$ .

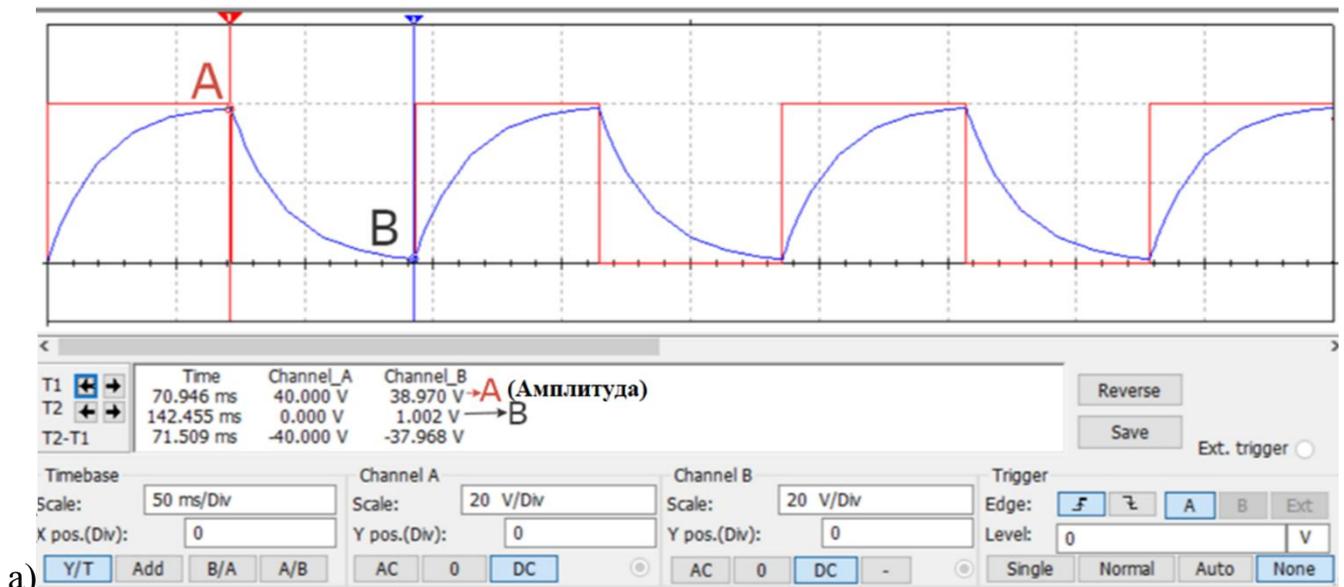
За время  $5\tau$  напряжение возрастёт до  $(1 - 1/e^5)100\% \approx 99\%$  значения  $U$ .

Для заданных значений определим постоянную времени,  $\tau = RC = 4 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 2 \text{ с}$ . Анализируя осциллограмму (рис. 2.1, б), получаем, что расчёты верны.

Аналогичным образом выполнили проверку и других практических правил.

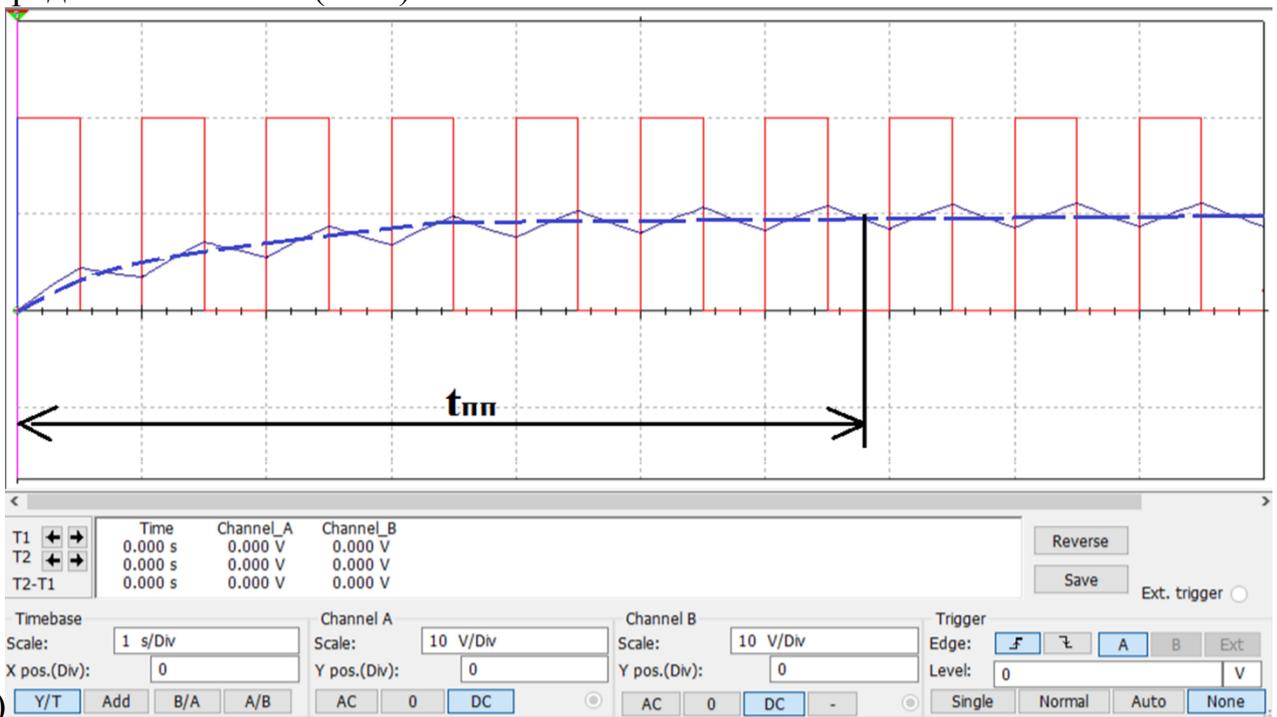
## Задание №2. Влияние параметров схемы на форму выходного сигнала

Используем ту же схему, что и в задании 1. Изменяя частоту входного сигнала от 1 до 20 Гц с шагом 3 определим амплитуду колебаний выходного сигнала, среднее значение (рис 2.3, а) и время переходного процесса (рис. 2.3, б).



а)

Среднее значение =  $(A+B)/2$



б)

Рис. 2.3 а) Определение амплитудного и среднего значения для выходного сигнала, б) определение времени переходного процесса – время установления постоянного значения.

Построим графики зависимости трех измеренных величин от частоты входного сигнала (рис. 2.4).

Част., Гц	А, В	Ср. знач.	$t_{\text{пн}}, \text{с}$
1	20	10	$\approx 0$
4	19,958	10,005	
7	18,970	9,986	
10	16,743	9,91	
13	14,167	9,636	
16	11,620	9,11	
19	9,309	8,584	

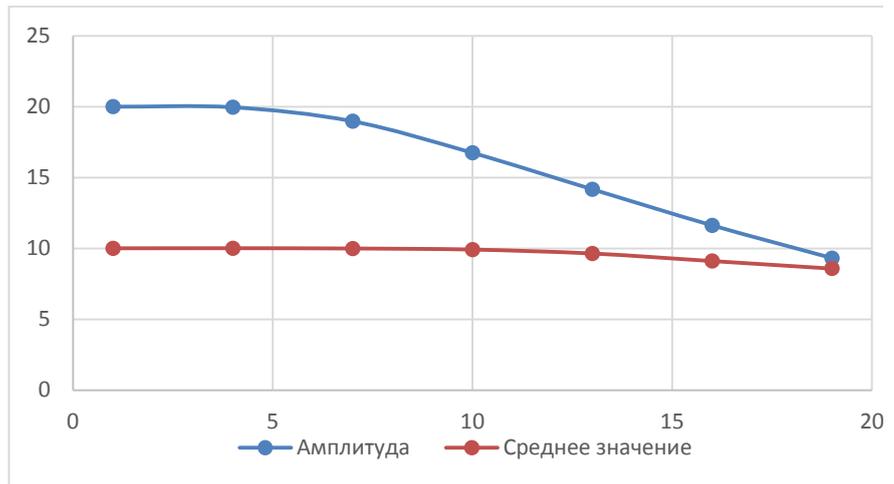


Рис. 2.4 Графики зависимости измеренных величин от частоты входного сигнала

Аналогичным образом строим графики зависимости трех измеренных (амплитуда колебаний выходного сигнала, среднее значение и время переходного процесса) величин от сопротивления резистора ( $R/4$  до  $4R$  при фиксированной емкости  $C$ ) и от емкости конденсатора ( $C/2$  до  $4C$  при фиксированном сопротивлении  $R$ ).

Изменяем амплитуду входного сигнала (при емкости и сопротивлении согласно варианту задания) двумя способами: уменьшить в два раза относительно заданной (рис. 2.5, а) и увеличить в два раза относительно заданной (рис. 2.5, б)

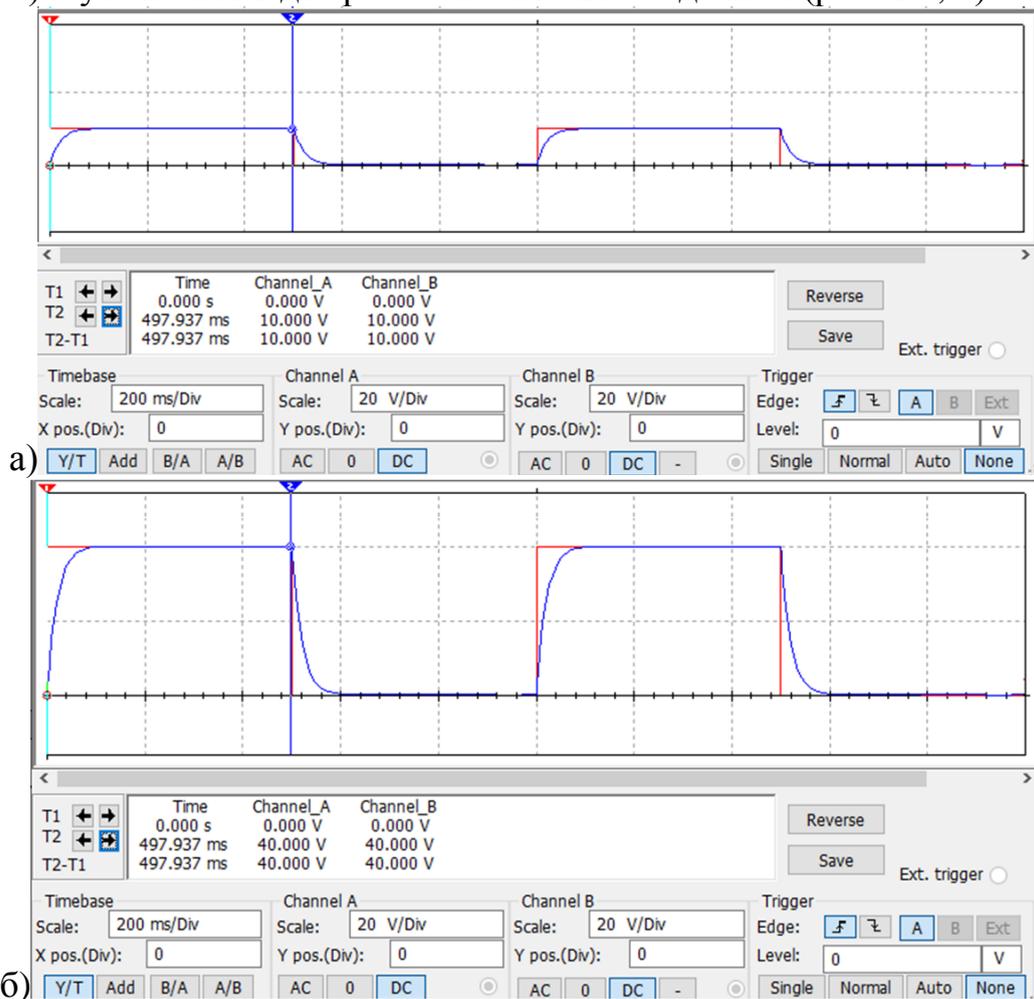


Рис. 2.5 Выходной сигнал: а) с уменьшенной в 2 раза амплитудой; б) с увеличенной в 2 раза амплитудой

## Порядок и методика выполнения работы:

### Задание №1. Практические правила.

1.1 Собрать схему согласно рис. 2.1 и варианту задания (таблица 2.2). В настройках источника напряжения выбрать прямоугольный сигнал с заданной амплитудой и частотой 1 Гц.

1.2 Построить осциллограммы (графики) напряжения заряда и разряда конденсатора, определить постоянную времени.

1.3 Проверить на полученных осциллограммах практические правила ( $RC$ ,  $5RC$ ,  $0,7RC$ )

1.4 Сделать выводы по проделанной работе.

Таблица 2.2. Данные для задания 1

№ варианта	$U_{вх}$ , В	$R$ , кОм	$C$ , мкФ	№ варианта	$U_{вх}$ , В	$R$ , кОм	$C$ , мкФ
1	10	5	6	16	10	4	5
2	12	6	7	17	18	4	6
3	15	7	8	18	16	3	4
4	16	9	10	19	12	3	5
5	20	1	2	20	10	1	2
6	10	1	3	21	12	2	4
7	18	2	4	22	15	2	3
8	16	3	5	23	16	6	7
9	12	4	6	24	20	7	8
10	10	5	8	25	15	5	7
11	12	6	8	26	16	6	7
12	15	8	9	27	20	7	8
13	16	7	8	28	10	4	7
14	20	6	7	29	18	5	8
15	15	5	6	30	15	5	7

### Задание №2. Влияние параметров схемы на форму выходного сигнала.

2.1 В схеме из задания 1 изменить частоту входного сигнала от 1 до 20 Гц с шагом 3. Как изменяется форма выходного сигнала? Для каждого значения определять амплитуду колебаний выходного сигнала, среднее значение и время переходного процесса (то есть время, за которое среднее значение выходного сигнала принимает постоянное значение). Построить графики зависимости трех измеренных величин от частоты входного сигнала.

2.2 В схеме из задания 1 установить частоту входного сигнала 10 Гц. Изменить сопротивление резистора от  $R/4$  до  $4R$  при фиксированной емкости  $C$  (значения согласно варианту задания 1) с шагом  $R$ . Для каждого значения определить амплитуду колебаний выходного сигнала, среднее значение и время переходного процесса. Построить графики зависимости трех измеренных величин от сопротивления резистора.

2.3 Изменить емкость конденсатора от  $C/2$  до  $4C$  при фиксированном сопротивлении (значения согласно варианту задания 1) с шагом  $C$ . Для каждого значения определить амплитуду колебаний выходного сигнала, среднее значение и время переходного процесса. Построить графики зависимости трех измеренных величин от емкости конденсатора.

2.4 Задать емкость и сопротивление согласно варианту задания. Изменить амплитуду входного сигнала: 1) уменьшить в два раза относительно заданной, 2) увеличить в два раза относительно заданной. Что можно сказать про форму сигнала?

2.5 Сделать выводы по проделанной работе.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое RC-цепь (нарисовать схему)?
2. Что такое постоянная времени (написать формулу)?
3. Что такое амплитуда колебаний выходного сигнала, среднее значение и время переходного процесса?
4. Как будет изменяться выходной сигнал при изменении сопротивления резистора и фиксированной ёмкости конденсатора?
5. Как будет изменяться выходной сигнал при изменении ёмкости конденсатора и фиксированном сопротивлении резистора?
6. Как будет изменяться форма выходного сигнала при увеличении/уменьшении амплитуды входного сигнала?

## Лабораторная работа №3 ДИОДЫ. ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

**Цель работы:** изучение диодов, выпрямительных цепей и фильтров на выходе выпрямителя.

**Объект исследования:** диоды и выпрямительные цепи, фильтры.

**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** исследовать диоды, выпрямительные цепи и фильтры на выходе выпрямителя. По каждому заданию сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы:

#### Задание № 1. Исследование вольтамперной характеристики диода

Схема (рис. 3.1) для исследования диода 1N4001

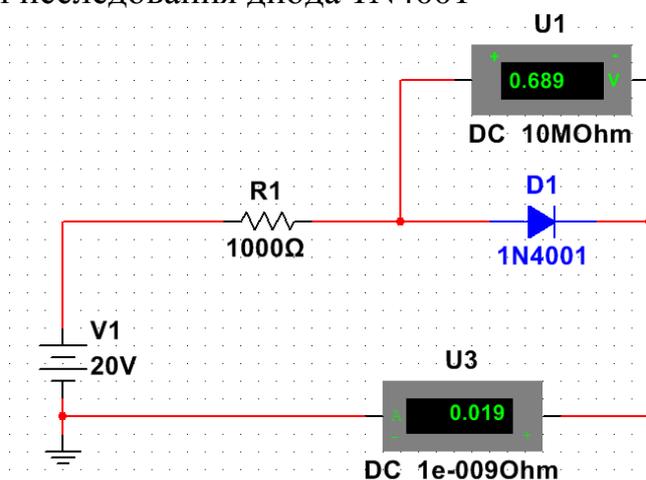


Рис. 3.1 Схема для исследования ВАХ диода

Изменяя значение напряжения строим вольтамперную характеристику исследуемого диода и определяем величину прямого напряжения, максимального обратного напряжения, обратного тока. **Вольт-амперная характеристика (ВАХ)** – зависимость силы электрического тока  $I$  от приложенного к данному элементу напряжения  $U$ . На рис. 3.2 представлен пример ВАХ.

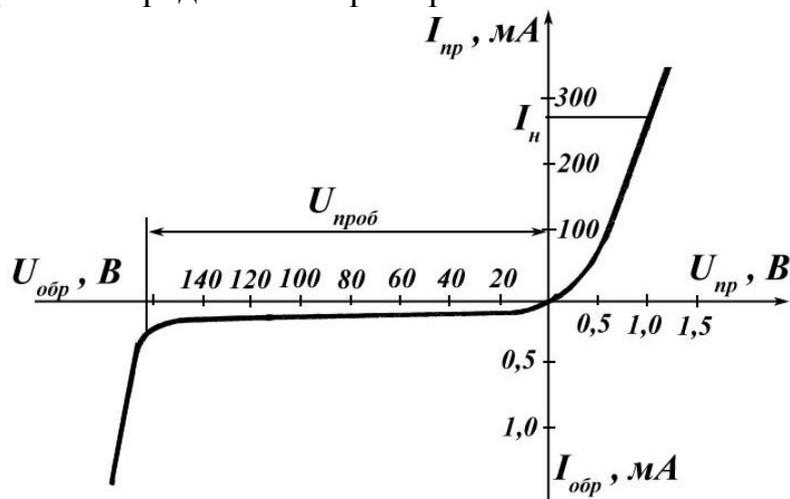


Рис. 3.2 Вольт-амперная характеристика диода

## Задание №2. Исследование выпрямителей

Собираем схему однополупериодного выпрямителя (рис. 3.3) с входным напряжением 10 В и частотой 50 Гц.

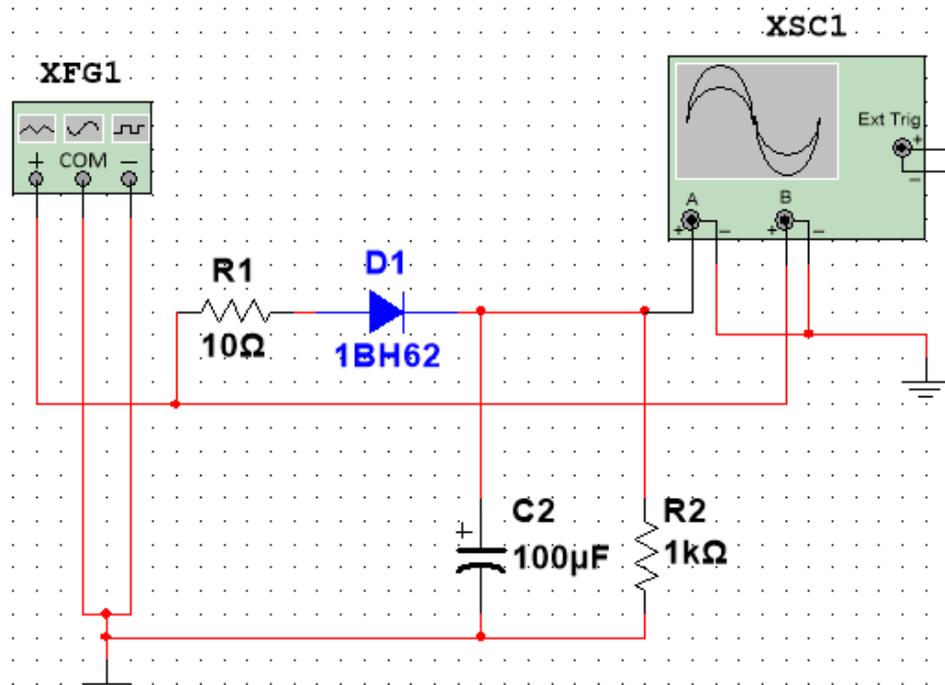
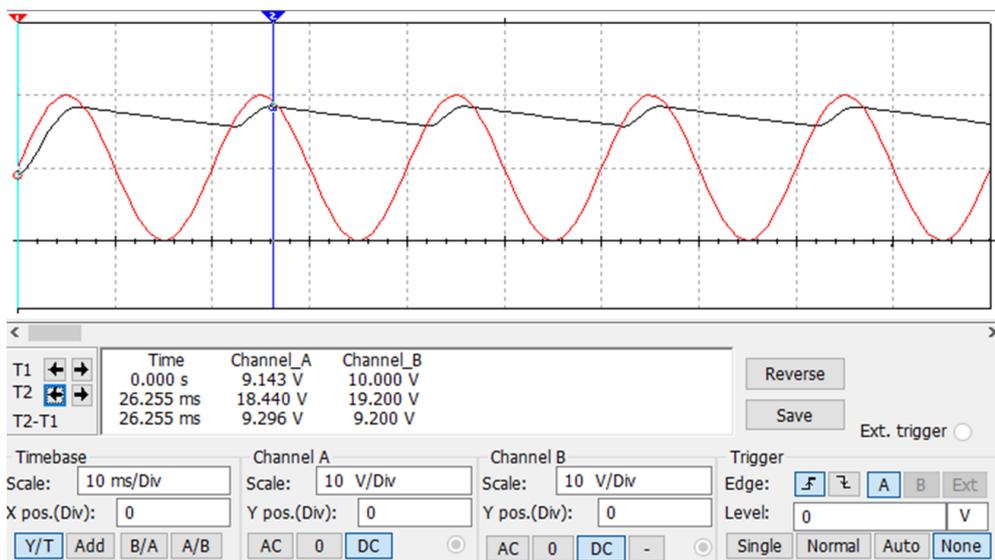


Рис. 3.3 Схема однополупериодного выпрямителя

Получаем совмещенные диаграммы входного и выходного напряжения (рис. 3.4).



Амплитуда  
выходного  
напряжения  
=18,440 В.  
Частота  
выходного  
напряжения =  
частоте входного

Рис. 3.4 Совмещенные диаграммы входного и выходного напряжения

Аналогично исследуем работу схемы двухполупериодного (мостового) выпрямителя (рис. 3.5 а,б).

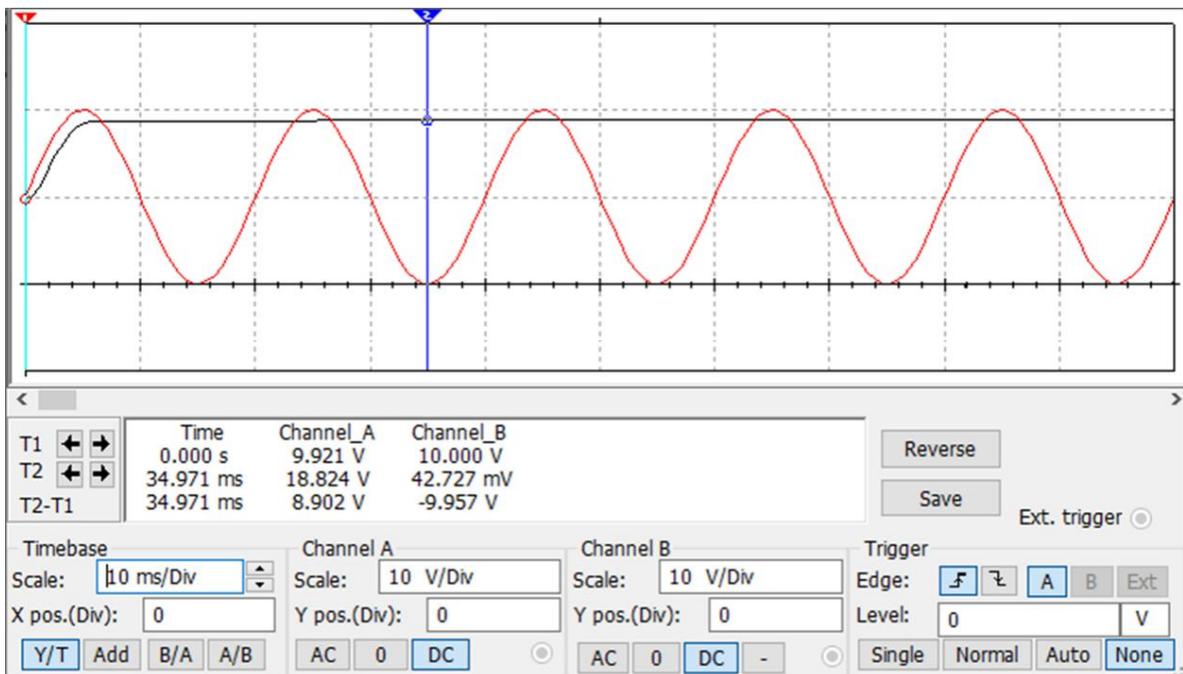
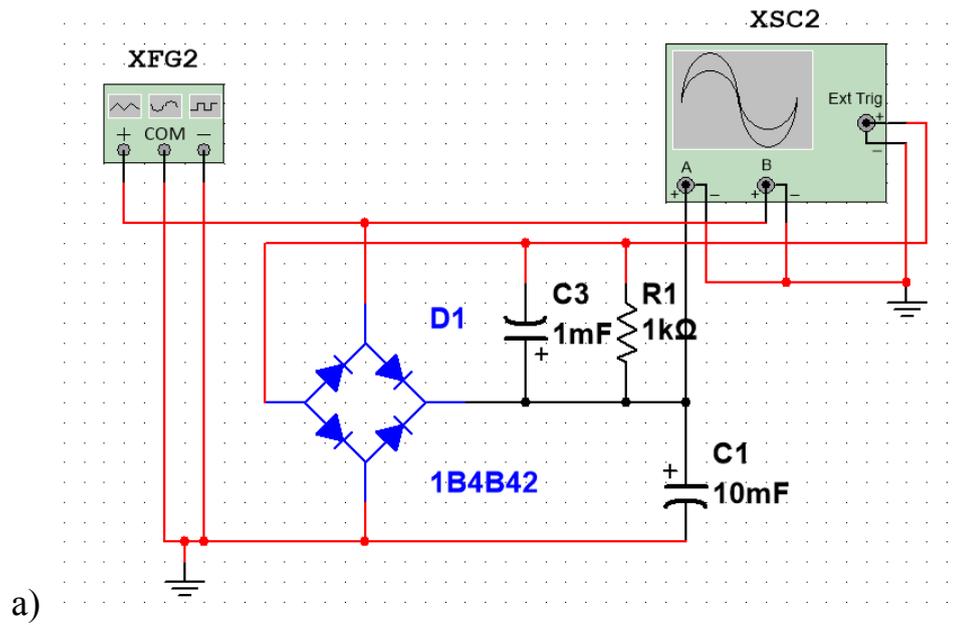


Рис 3.5 а) Схема двухполупериодного (мостового) выпрямителя; б) Совмещенные диаграммы входного и выходного напряжения

Аналогично исследуем работу схемы трехфазного выпрямителя (рис. 3.6 а,б).

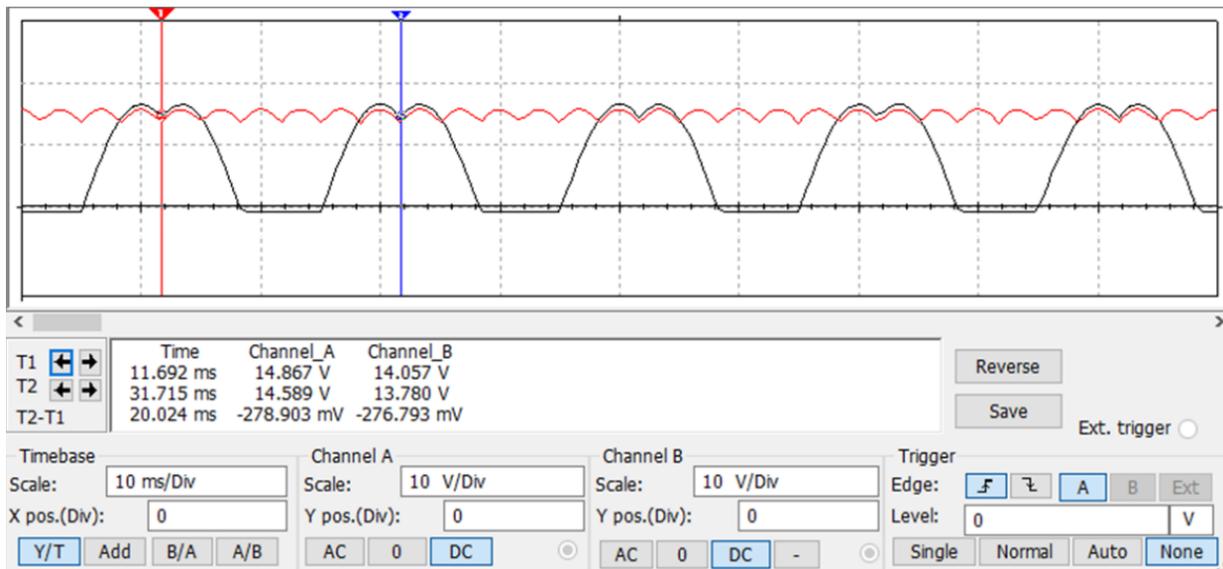
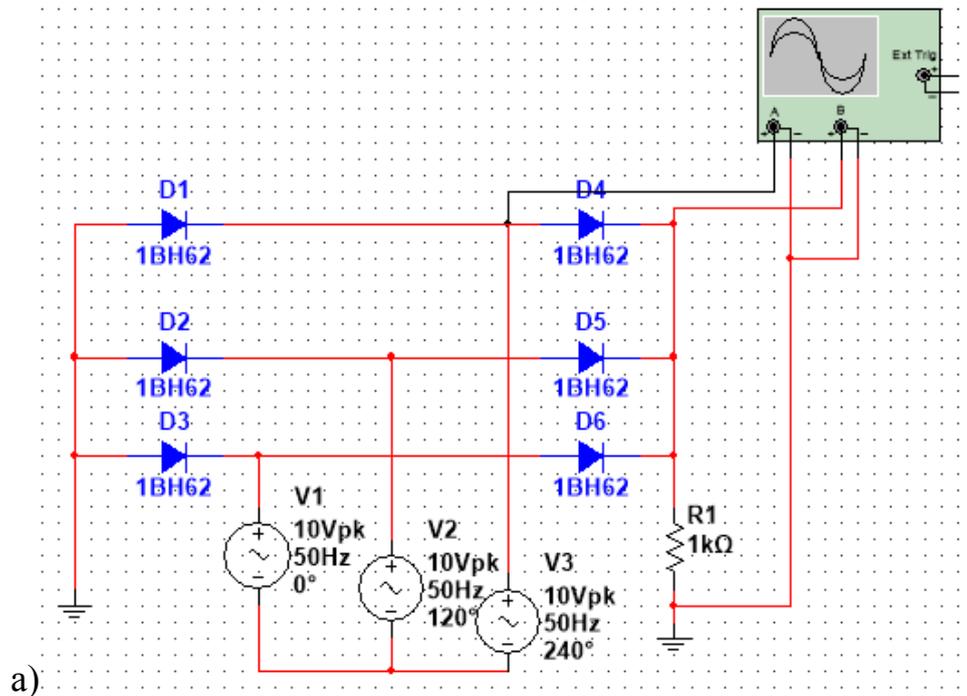


Рис 3.6 а) Схема для исследования трехфазного выпрямителя; б) Совмещенные диаграммы входного и выходного напряжения

### Задание №3. Применение фильтров на выходе выпрямителя

Собираем схему выпрямителя согласно варианту задания без фильтра, смотрим форму выходного сигнала (четным вариантам мостовой рис. 3.7а, нечетным однополупериодный рис. 3.7, б)

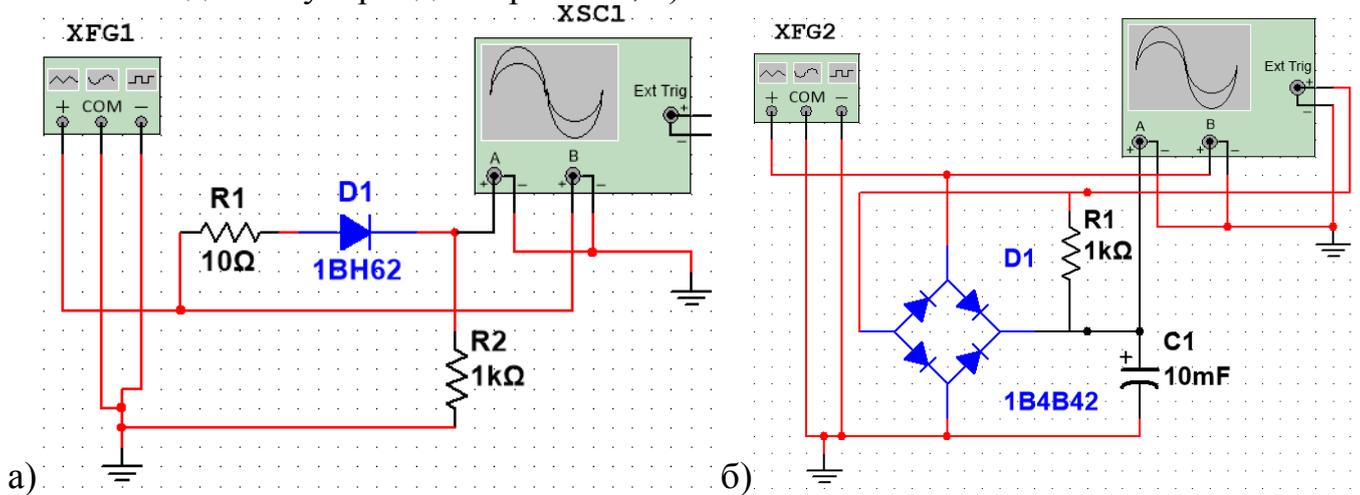


Рис. 3.7 Выпрямители с фильтрами а)однополупериодный, б)мостовой

Далее добавляем фильтр. Подбираем его параметры (в качестве фильтра ставим конденсатор параллельно этому резистору (нагрузки), а катушку – последовательно), удовлетворяющие заданным значениям напряжения пульсации и тока нагрузки.

### Порядок и методика выполнения работы:

**Задание №1. Исследование вольтамперной характеристики диода.** Варианты для задания следующие: 1N4001, 1N4148, 1N6095 (или другой диод данной серии)

1.1 Собрать схему согласно рис. 3.1.

1.2 Изменяя значение сопротивления, построить вольтамперную характеристику исследуемого диода.

1.3 Определить величину прямого напряжения, максимального обратного напряжения, обратного тока.

1.4 Сделать выводы по проделанной работе

**Задание №2. Исследование выпрямителей.**

2.1 Собрать схему однополупериодного выпрямителя (не забудьте про резистор нагрузки!). Задать входное напряжение 10 В, 50 Гц. Получить совмещенные диаграммы входного и выходного напряжения. Определить амплитуду и частоту выходного напряжения. Объяснить полученные результаты.

2.2 Аналогично исследовать работу схемы двухполупериодного (мостового) выпрямителя.

2.3 Собрать схему трехфазного выпрямителя (рис. 3.2). Произвести те же исследования. (Обратите внимание на фазы источников!)

2.4 Сравнить результаты, полученные для трех различных схем, сделать выводы.

### Задание №3. Применение фильтров на выходе выпрямителя.

3.1 Собрать схему выпрямителя (для чётного варианта мостовой, для нечётной однополупериодный).

3.2 Подобрать параметры фильтра, удовлетворяющие заданным значениям напряжения пульсации и тока нагрузки.

3.3 Сравнить полученные результаты с предполагаемыми, сделать выводы.

Таблица 3.1. Данные для задания 3.

№ варианта	$U_{п}, В$	$I_{н}, мА$	№ варианта	$U_{п}, В$	$I_{н}, мА$	№ варианта	$U_{п}, В$	$I_{н}, мА$
1	0,5	40	11	0,2	30	21	0,2	30
2	0,1	120	12	0,2	80	22	0,2	80
3	0,2	30	13	0,4	10	23	0,4	10
4	0,2	80	14	0,5	40	24	0,5	40
5	0,4	120	15	0,1	120	25	0,1	120
6	0,5	40	16	0,2	30	26	0,2	30
7	0,1	110	17	0,2	80	27	0,2	80
8	0,2	10	18	0,4	10	28	0,4	10
9	0,5	30	19	0,5	40	29	0,5	40
10	0,1	120	20	0,1	120	30	0,1	120

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего используются диоды?
2. Что такое ВАХ (построить график)?
3. Что такое прямой/обратный ток, прямое/обратное напряжение, указать на графике?
4. Что такое пробой и при каких условиях наступает?
5. Что такое выпрямитель, для чего используется?
6. Какие бывают выпрямители, их характеристики (нарисовать схемы)?
7. Почему выходной сигнал трёхфазного выпрямителя имеет такую форму?
8. Что такое фильтр, какие бывают и для чего используются?

## Лабораторная работа № 4 СТАБИЛИТРОНЫ. СХЕМА СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

**Цель работы:** изучение стабилитронов и схем стабилизатора напряжения.  
**Объект исследования:** стабилитроны и схемы стабилизатора напряжения.  
**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** исследовать стабилитроны и схемы стабилизатора напряжения. По каждому заданию сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы:

#### Задание №1. Исследование вольтамперной характеристики стабилитрона

Собираем схему для исследования ВАХ стабилитрона (рис. 4.1)

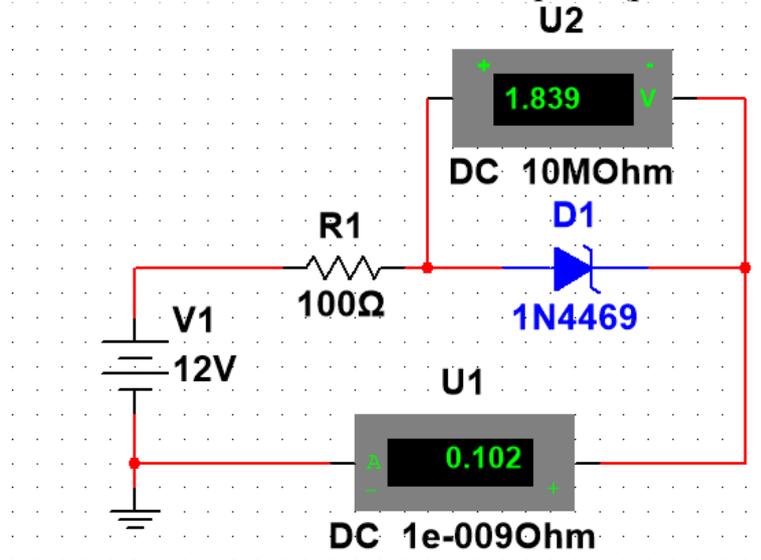


Рис. 4.1 Схема со стабилитроном

Изменяя значение напряжения строим вольтамперную характеристику исследуемого стабилитрона и определяем величину прямого напряжения, напряжения стабилизации, диапазон рабочих токов. На рис. 4.2 представлен пример ВАХ.

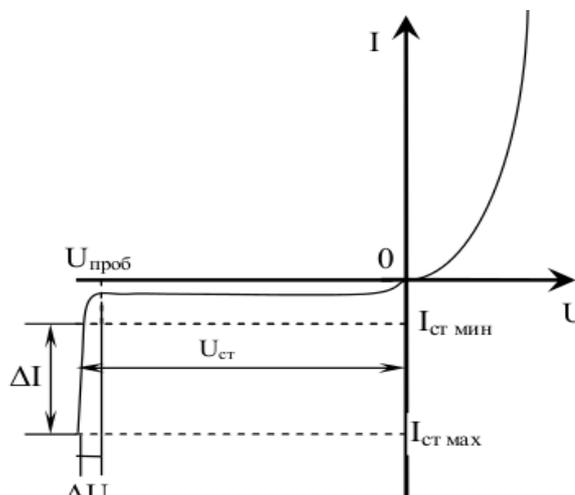


Рис. 4.2 Вольт-амперная характеристика (ВАХ) стабилитрона

## Задание №2. Исследование стабилизатора напряжения

Разработаем схему стабилизатора напряжения, выберем стабилитрон, определяем величину токозадающего резистора  $R_1$  (рис. 4.3) чтобы  $U_{st}$ , был равен заданному.

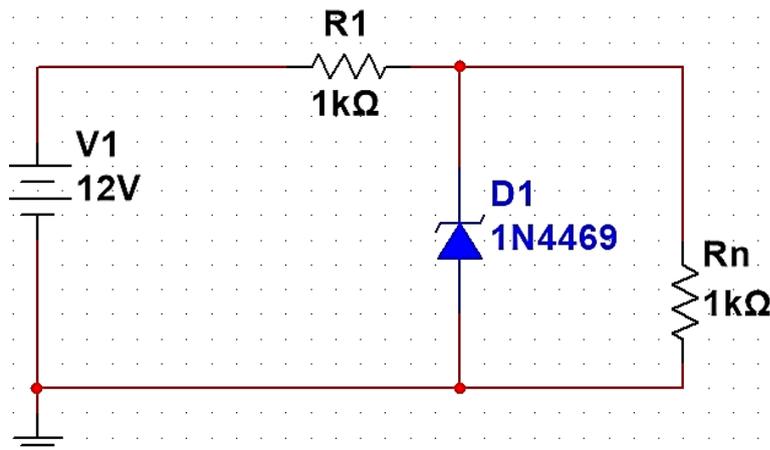


Рис 4.3 Стабилизатор напряжения

Исследуем работу схемы в диапазоне рабочих нагрузок, графически изображая зависимости токов и напряжения стабилизации от величины нагрузки (рис. 4.4) (при этом измеряется не только ток нагрузки, но и ток, протекающий через стабилитрон).

Определим критические значения сопротивления нагрузки.

Определение тока  $I = I_{R1} + I_n$

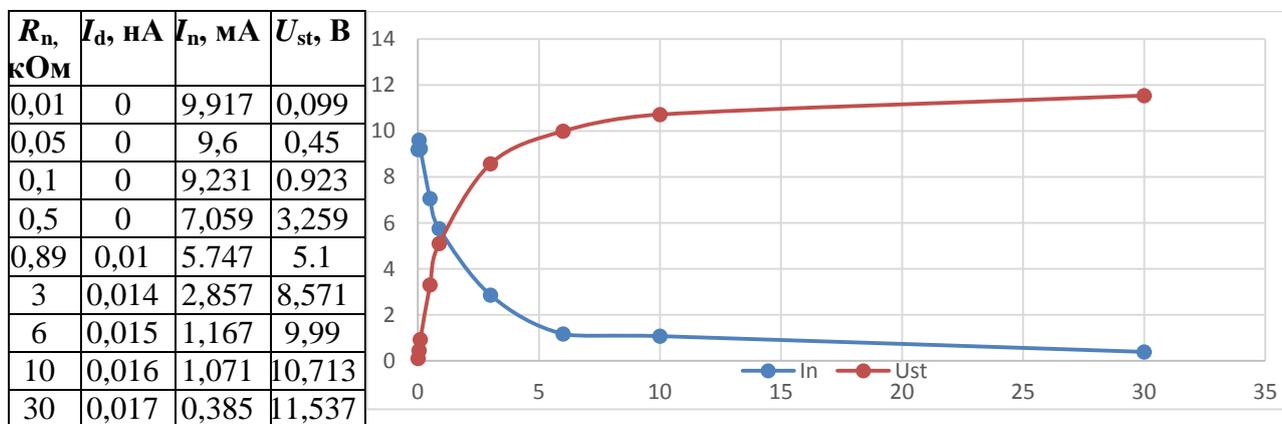


Рис. 4.4 Зависимости токов и напряжения стабилизации от величины нагрузки  $I_d \approx 0$

### Порядок и методика выполнения работы:

#### Задание №1. Исследование вольтамперной характеристики стабилитрона.

1.1 Собрать схему для исследования ВАХ стабилитрона (рис. 4.1)

1.2 Изменяя значение сопротивления, построить вольтамперную характеристику исследуемого стабилитрона.

1.3 Определить величину прямого напряжения, напряжения стабилизации, диапазон рабочих токов.

1.4 Сделать выводы по проделанной работе

## Задание №2. Исследование стабилизатора напряжения.

2.1 Разработать схему стабилизатора напряжения согласно варианту задания (таблица 4.2) (выбрать стабилитрон, определить величину токозадающего резистора). Напряжение питания схемы 12 В.

2.2 Исследовать работу схемы в диапазоне рабочих нагрузок, графически изобразить зависимости токов и напряжения стабилизации от величины нагрузки (измерять не только ток нагрузки, но и ток, протекающий через стабилитрон!).

2.3 Определить критические значения сопротивления нагрузки.

2.4 Сделать выводы по работе.

Таблица 4.2. Данные для задания 2

№ варианта	$U_{ст}, В$	$I_{min}, мА,$	$I_{max}, мА,$	№ варианта	$U_{ст}, В$	$I_{min}, мА,$	$I_{max}, мА,$
1	5,5	25	50	16	5,1	20	50
2	6,2	8	35	17	6,2	8	30
3	7,2	0,5	10	18	7,2	0,5	10
4	7	10	30	19	5,1	32	44
5	6,2	35	80	20	5,1	26	55
6	5,1	25	60	21	5,1	20	50
7	6,2	20	35	22	6,2	10	30
8	7,2	0,5	10	23	7,2	0,5	10
9	5,2	35	45	24	5,1	32	40
10	5,1	26	50	25	5,1	26	55
11	5,1	20	50	26	5,1	20	50
12	6,2	8	30	27	6,2	8	30
13	7,2	0,5	10	28	7,2	0,5	30
14	5,1	32	44	29	5,1	32	44
15	5,1	26	55	30	5,1	26	55

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое стабилитрон и как работает?
2. Что такое ВАХ (построить график)?
3. Что такое прямое напряжение, напряжения стабилизации, диапазон рабочих токов, указать на графике?
4. Что такое стабилизатор напряжения, для чего используется (нарисовать схему)?
5. Что такое рабочие нагрузки в работе стабилизатора напряжения (изобразить графически)?

## Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ, ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С БИПОЛЯРНЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ (БТ В КЛЮЧЕВОМ РЕЖИМЕ, ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ)

*Цель работы:* Изучение особенностей работы биполярных транзисторов в различных режимах;

*Объект исследования:* схемы с биполярными транзисторами, эмиттерный повторитель.

*Аппаратные средства:* программный пакет NI Multisim.

*Задание:* Исследование работы транзистора в ключевом режиме и работы эмиттерного повторителя. По каждому заданию сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы:

#### Задание №1. Исследование работы транзистора в ключевом режиме

Схема для исследования биполярного транзистора 2N2218 (рис. 5.1).

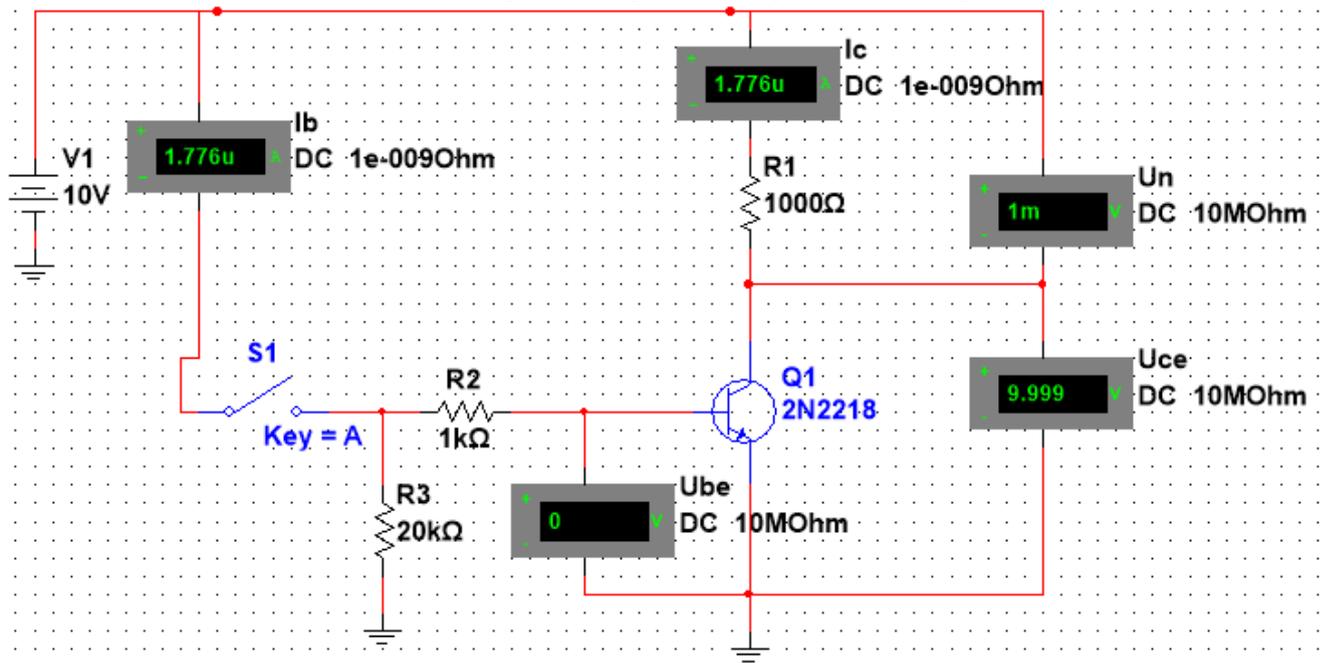


Рис. 5.1 Схема для исследования биполярного транзистора 2N2218

Уменьшая ток базы путем увеличения сопротивления соответствующего резистора, определяем точку перехода для каждого транзистора из ключевого режима работы в активный и строим зависимость тока коллектора от тока базы (в обоих режимах) (рис. 5.2).

#### Транзистор 2N2218

Коэффициент усиления транзистора по току  $h_{fe} = \frac{I_c}{I_b}$ .

$R$ кОм	$I_c$ мА	$I_b$ мА
1	99	9,66
10	63	1,43
20	40	0,965
30	29	0,81
40	23	0,734
50	19	0,687
60	16	0,655
70	13	0,634
80	13	0,618
90	11	0,604
100	9,84	0,595

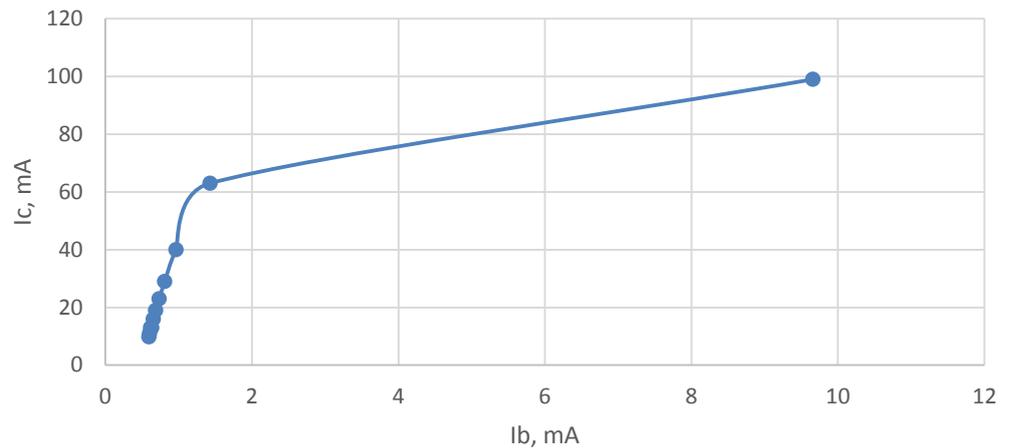


Рис. 5.2 Зависимость тока  $I_c$  от  $I_b$  (мА) транзистора 2N2218

Построим для транзистора 2N2218 вольтамперную характеристику перехода база-эмиттер, изменяя ток базы с помощью изменения сопротивления резистора базы (рис. 5.3)

$R$ кОм	$I_b$ мА	$U_b$ мВ
1	9,65	844
10	1,418	790
20	0,959	761
30	0,807	744
40	0,73	736
50	0,685	727
60	0,654	720
70	0,632	717
80	0,616	714
90	0,603	709
100	0,592	705

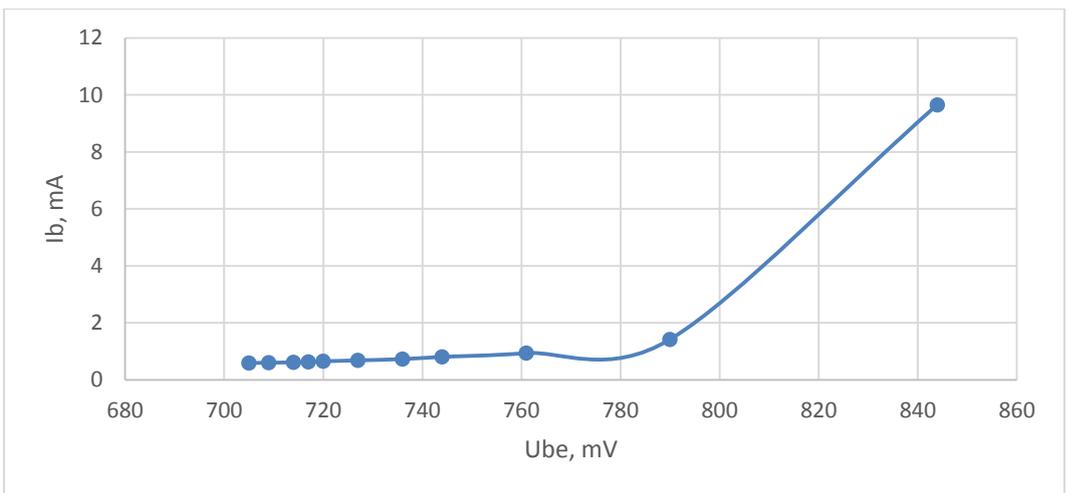


Рис. 5.3 Вольтамперная характеристика перехода база-эмиттер транзистора 2N2218

Построим зависимость сопротивления коллектор-эмиттер от тока базы в активном режиме работы транзистора 2N2218 (рис. 5.4)

$R_{ke}$ Ом	$I_b$ мА
1	9,65
10	1,418
20	0,959
30	0,807
40	0,73
50	0,685
60	0,654
70	0,632
80	0,616
90	0,603
100	0,592

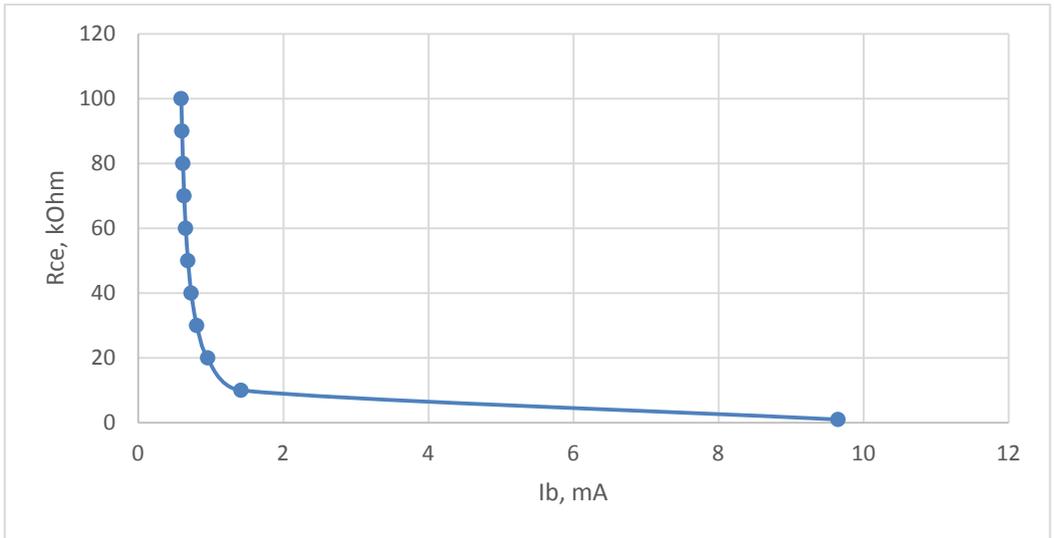


Рис. 5.4 Зависимость сопротивления коллектор-эмиттер от тока базы в активном режиме работы транзистора 2N2218

**Задание №2. Изучение работы эмиттерного повторителя**

Схема для изучения работы эмиттерного повторителя (рис. 5.5).

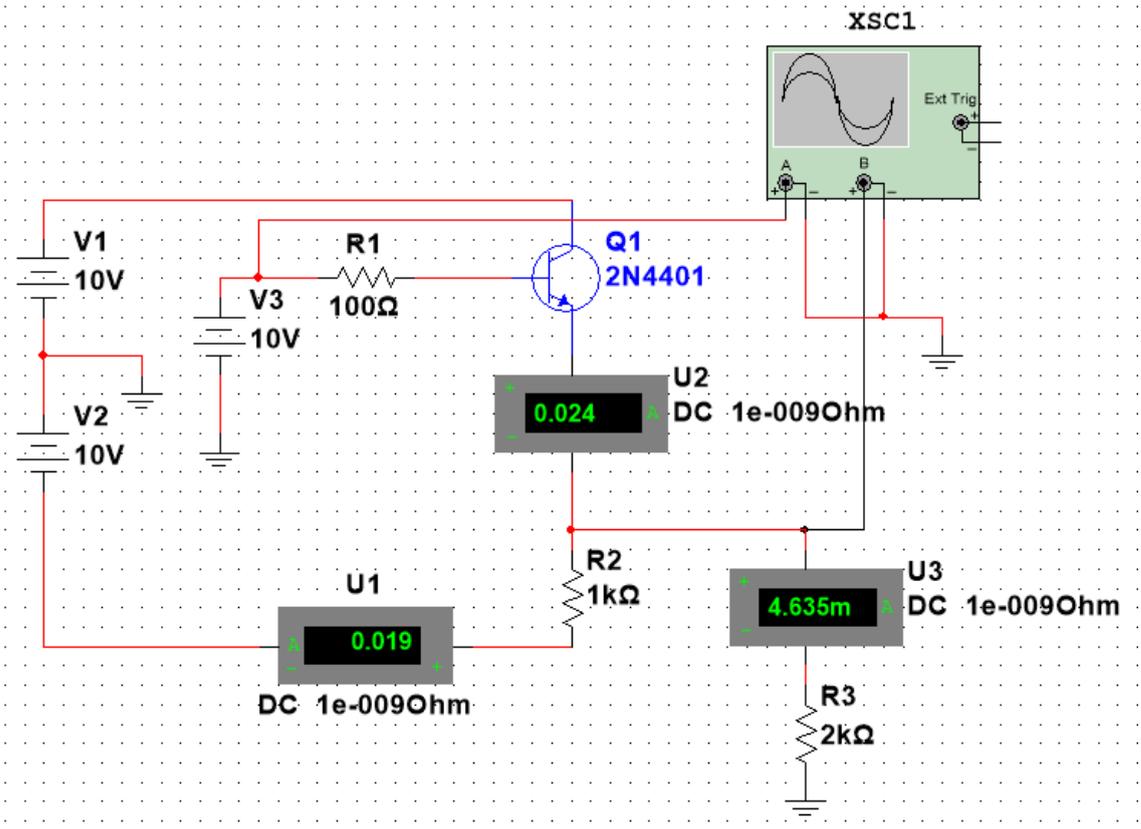


Рис. 5.5 Схема эмиттерного повторителя

Изменяя значение входного напряжения от 10 до -10 В, исследуем работу схемы (рис. 5.6) таблица 5.1.

Таблица 5.1

Положительное значение сигнала				Отрицательное значение сигнала			
$U, В$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$U, В$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$
10	19	24	4,64	-10	3,333	0	-3,333
9	18,12	22,19	4,062	-9	3,333	0	-3,333
8	17,13	20,69	3,564	-8	3,333	0	-3,333
7	16,13	19,2	3,065	-7	3,333	0	-3,333
6	15,13	17,70	2,567	-6	3,341	0,0117	-3,329
5	14,14	16,21	2,07	-5	4,217	1,326	-2,891
4	13,14	14,71	1,571	-4	5,197	2,795	-2,402
3	12,15	13,22	1,073	-3	6,184	4,276	-1,908
2	11,15	11,73	0,5754	-2	7,175	5,763	-1,412
1	10,16	10,23	0,0778	-1	8,161	7,251	-0,9162
0	9,161	8,742	-0,419	0	9,161	8,742	-0,419

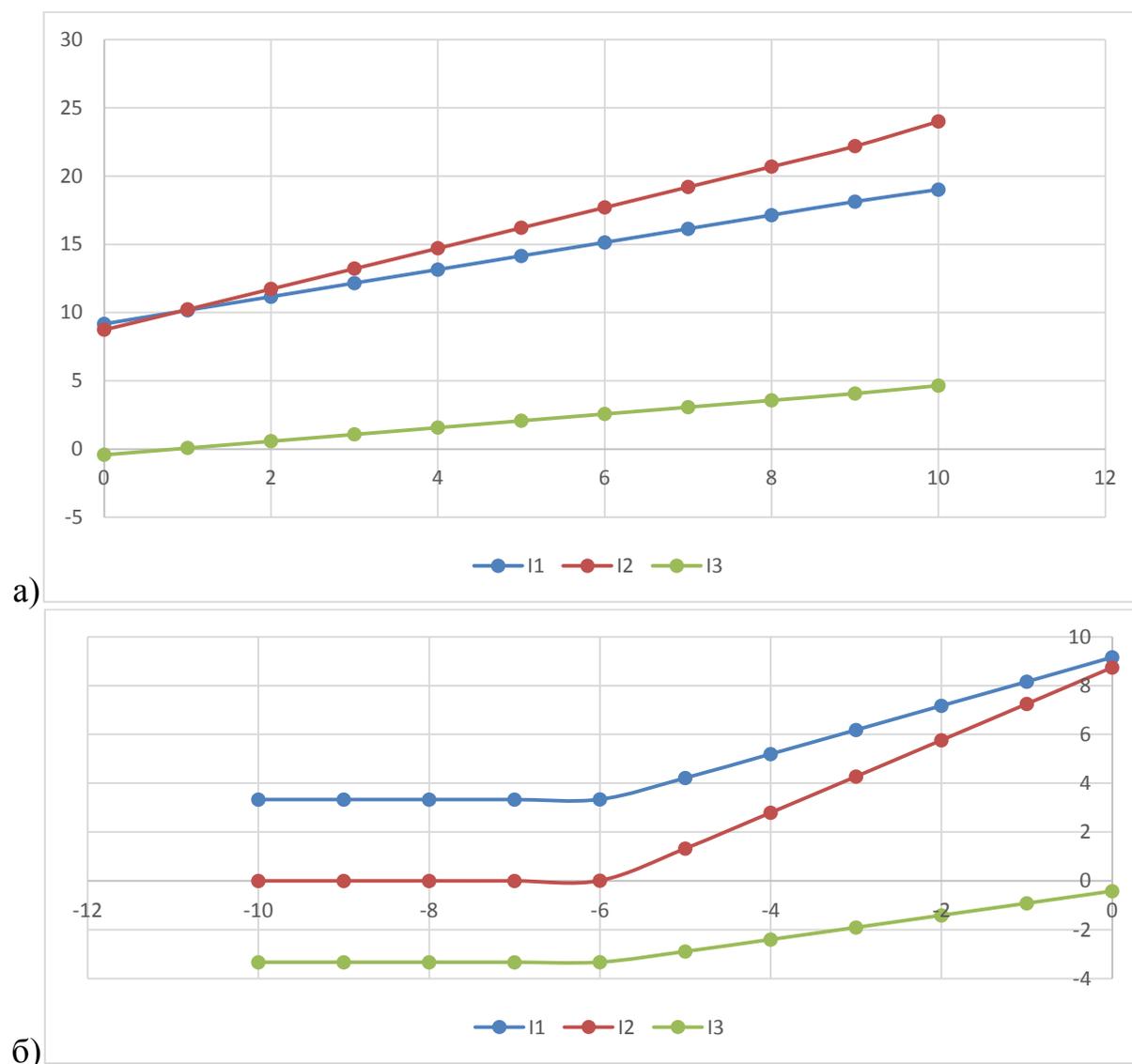


Рис. 5.6 Графики зависимости а) положительно изменения сигнала от  $I_1, I_2, I_3$   
 б) отрицательного изменения сигнала от  $I_1, I_2, I_3$

Схема для изучения работы эмиттерного повторителя с генератором синусоидального сигнала (рис. 5.7).

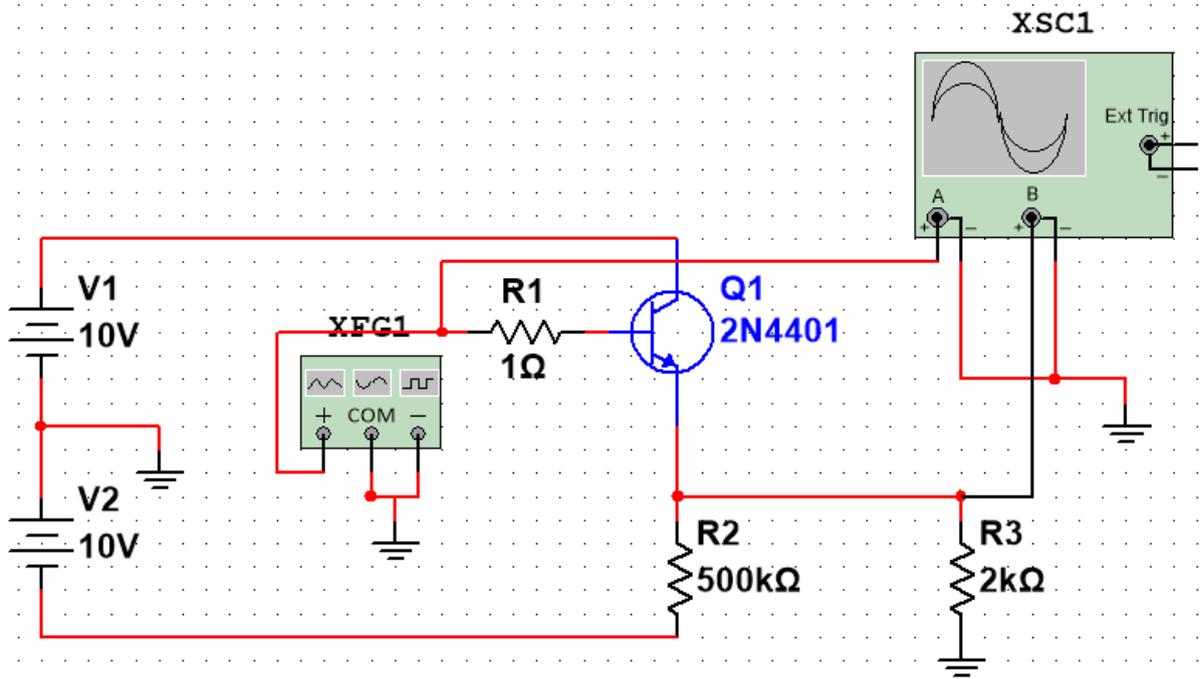


Рис. 5.7 Схема эмиттерного повторителя с переменным входным сигналом

Устанавливаем частоту 1 Гц, амплитуду 10 В, синусоидальный сигнал симметричен относительно 0 и анализируем форму выходного сигнала (рис. 5.8)

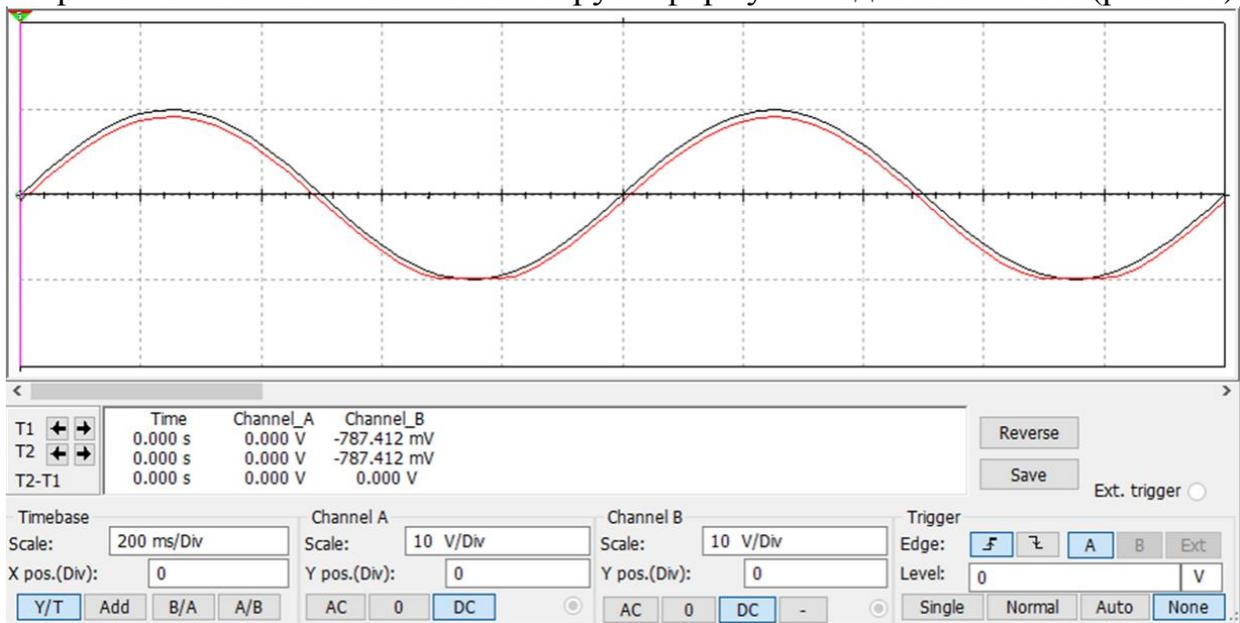


Рис. 5.8 Совмещённые графики входного и выходного сигналов

Аналогичным образом исследовать влияние сопротивления нагрузки и сопротивления цепи эмиттера на форму выходного сигнала. При фиксированном значении одного изменять другое и наоборот.

## Порядок и методика выполнения работы

### Задание №1. Исследование работы транзистора в ключевом режиме.

1.1 Собрать схему для исследования биполярного транзистора 2N2218 (рисунок 1). Какой коэффициент передачи по току данного транзистора? Каким при этом должен быть ток нагрузки? Проверить, совпадает ли предполагаемое значение с полученным, объяснить результат.

1.2 Уменьшая ток базы путем увеличения сопротивления соответствующего резистора, определить точку перехода их ключевого режима работы в активный. Построить зависимость тока коллектора от тока базы (в обоих режимах).

1.3 Провести аналогичные исследования для транзисторов 2N2222 и 2N4401. Сделать выводы о влиянии коэффициента передачи по току на работу ключевой схемы.

1.4 Исследовать вольт-амперную характеристику перехода база-эмиттер. Для изменения тока базы необходимо изменять сопротивление резистора базы. Сделать выводы.

1.5 Исследовать зависимость сопротивления коллектор-эмиттер от тока базы в активном режиме работы транзистора, объяснить полученные результаты.

1.6 Сделать выводы.

### Задание №2. Изучение работы эмиттерного повторителя

2.1 Собрать схему для изучения работы эмиттерного повторителя (рис. 5.2). Изменяя значение входного напряжения от 10 до -10 В, исследовать работу схемы. Объяснить полученный результат (Обратите внимание на показания амперметров).

2.2 Заменить источник постоянного напряжения генератором синусоидального сигнала. Установить частоту 1 Гц, амплитуду 10 В. Объяснить форму выходного сигнала. Исследовать влияние сопротивления нагрузки и сопротивления цепи эмиттера на форму выходного сигнала.

2.3 Сделать выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое биполярный транзистор, какие они бывают?
2. Где используются биполярные транзисторы?
3. Что такое коэффициент передачи по току (написать формулу)?
4. Что такое ключевой и активные режимы работы транзистора?
5. Что такое эмиттерный повторитель (нарисовать схему)?
6. Объяснить влияние изменения сопротивления нагрузки и сопротивления цепи эмиттера на форму выходного сигнала?

## Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С БИПОЛЯРНЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ (ИСТОЧНИК ТОКА НА БТ, УСИЛИТЕЛЬ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ)

**Цель работы:** исследование основных схем с использованием биполярного транзистора в источнике тока и схем усилителя с общим эмиттером

**Объект исследования:** схемы с биполярными транзисторами, усилитель с общим эмиттером.

**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** исследование работы схем с биполярными транзисторами в источниках тока и исследование усилителя с общим эмиттером. По каждому заданию сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы

#### Задание №1. Применение биполярных транзисторов в источниках тока

Собираем схему источника тока (рис. 6.1).

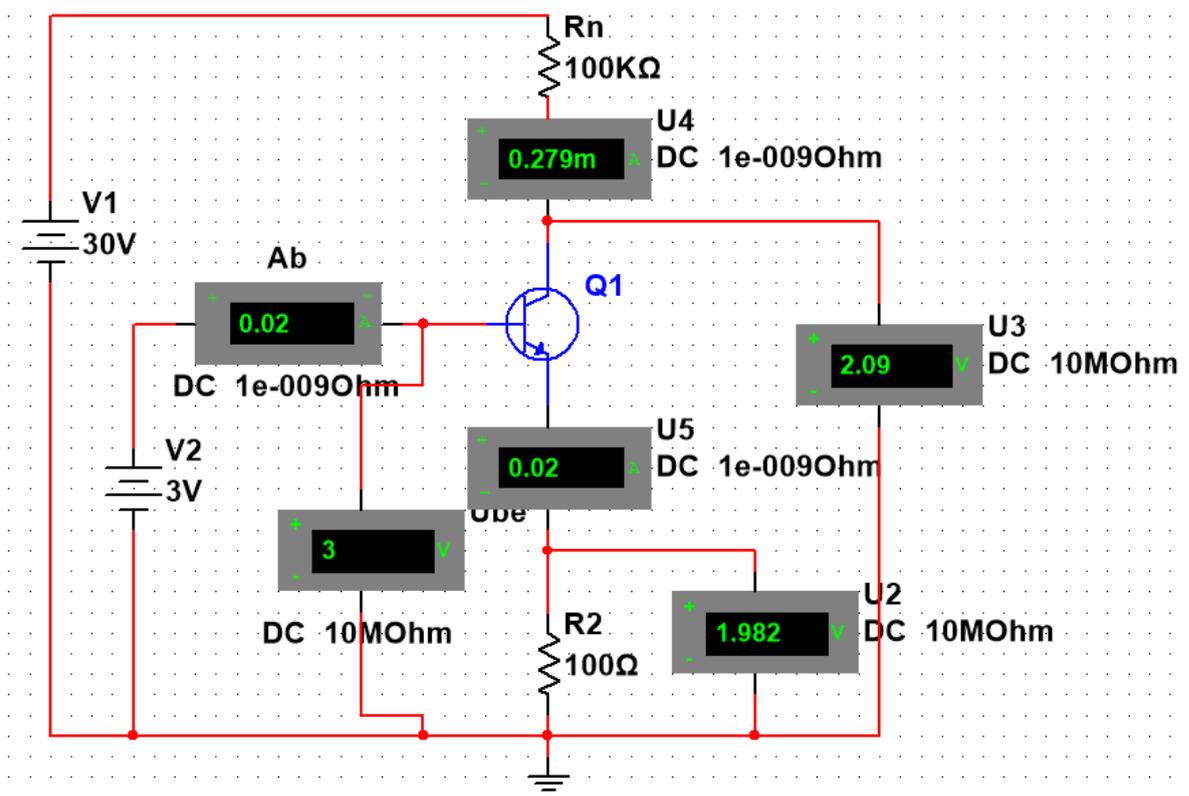


Рис. 6.1 Источник тока

Изменяя величину сопротивления задающего резистора при фиксированном значении потенциала базы и нагрузки резистора, построим график зависимости  $I_k$  (нагрузки) и  $U_k$  от  $R_n$ . (рис. 6.2<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> Обратите внимание, график (рис. 6.2) содержит избыточную информацию.

$R_3 = 100 \text{ Ом} = \text{const}$		
$R_n$	$I_K, \text{мА}$	$U_K, \text{В}$
10	22	29,78
100	22	27,8
$10^3$	22	8,336
$10^4$	2,8	2,1
$10^5$	0,28	2,01
$20^5$	0,028	2,88

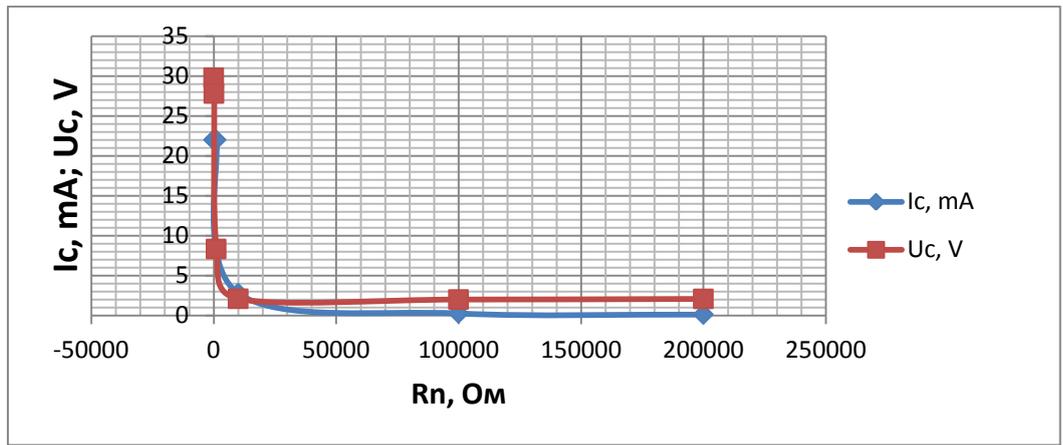


Рис. 6.2 График зависимости  $I_K$  (нагрузки) и  $U_K$  от  $R_n$ .

Зависимость тока нагрузки от напряжения базы при фиксированных значениях сопротивлений нагрузки и задающего резистора (рис. 6.3)

$R_n = 100 \text{ кОм} = \text{const}$ $R_3 = 100 \text{ Ом} = \text{const}$		
$U$	$I_K, \text{мкА}$	$U_B, \text{В}$
0	0	0
0,5	3,553	0,5
0,6	18	0,6
0,65	75	0,65
0,675	128	0,675
0,7	194	0,7
0,71	218	0,71
0,72	244	0,72
0,73	269	0,73
0,74	291	0,74
0,75	299	0,75

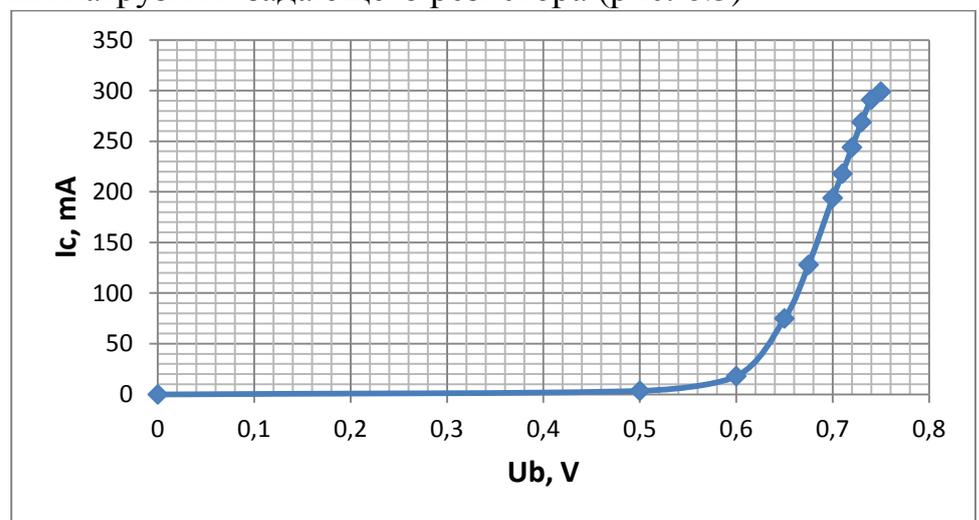


Рис. 6.3 График зависимости  $I_K$  (нагрузки) от  $U_B$  при фиксированных значениях сопротивлений нагрузки и задающего резистора

Изменение величины сопротивления задающего резистора при фиксированном значении потенциала базы и сопротивления резистора нагрузки (рис. 6.4)

$R_n = 100 \text{ Ом} = \text{const}$	
$R_3$	$I_K, \text{мкА}$
10	283
100	279
$10^3$	278
$10^4$	230
$2,5 \cdot 10^4$	96
$5 \cdot 10^4$	50
$7,5 \cdot 10^4$	36
$10^5$	25
$20^5$	14

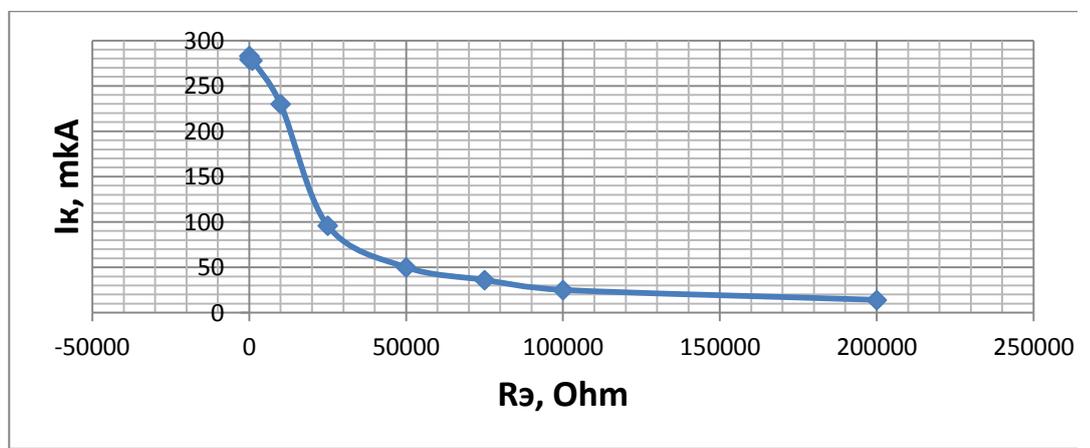


Рис. 6.4 График зависимости  $I_K$  (нагрузки) от  $R_3$  при постоянном значении потенциала базы

## Задание №2. Исследование работы усилителя с общим эмиттером

Схема усилителя с общим эмиттером (рис. 6.5)

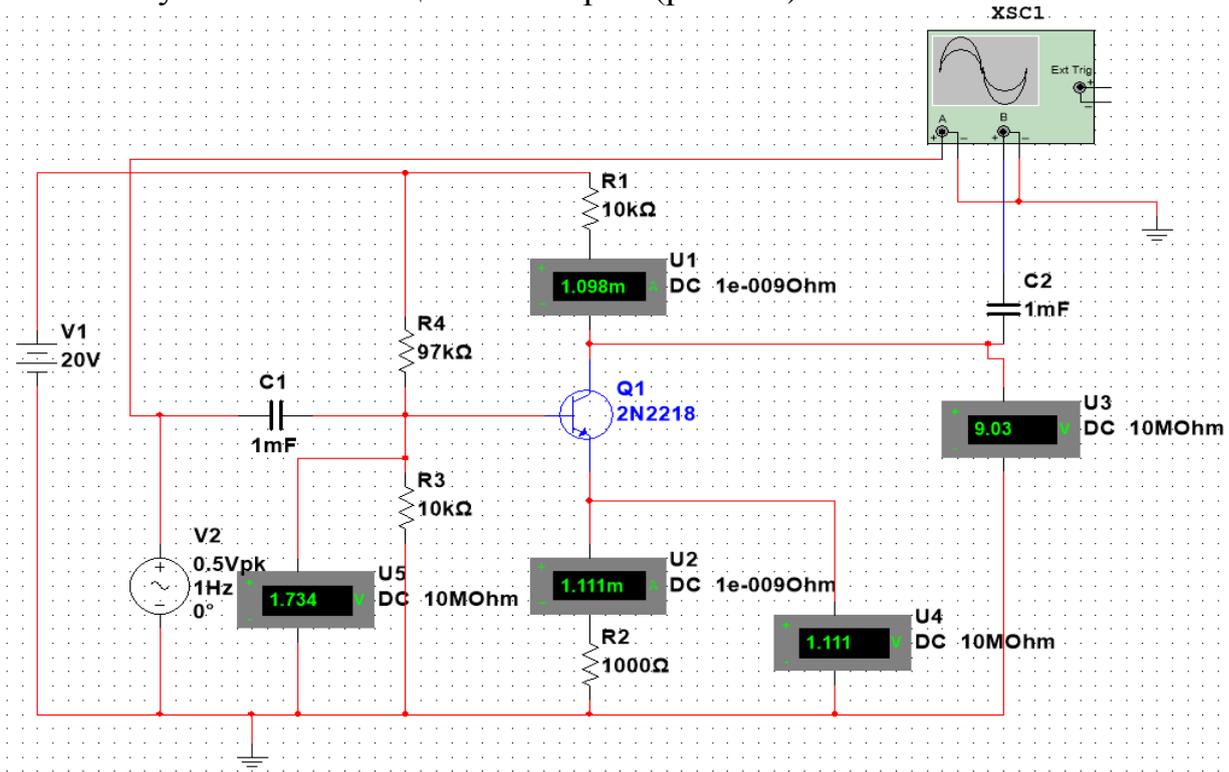


Рис. 6.5. Усилитель по схеме с общим эмиттером

Снимаем осциллограммы входного и выходного напряжения усилителя при амплитуде входного сигнала 0,4 В. (рис. 6.6).

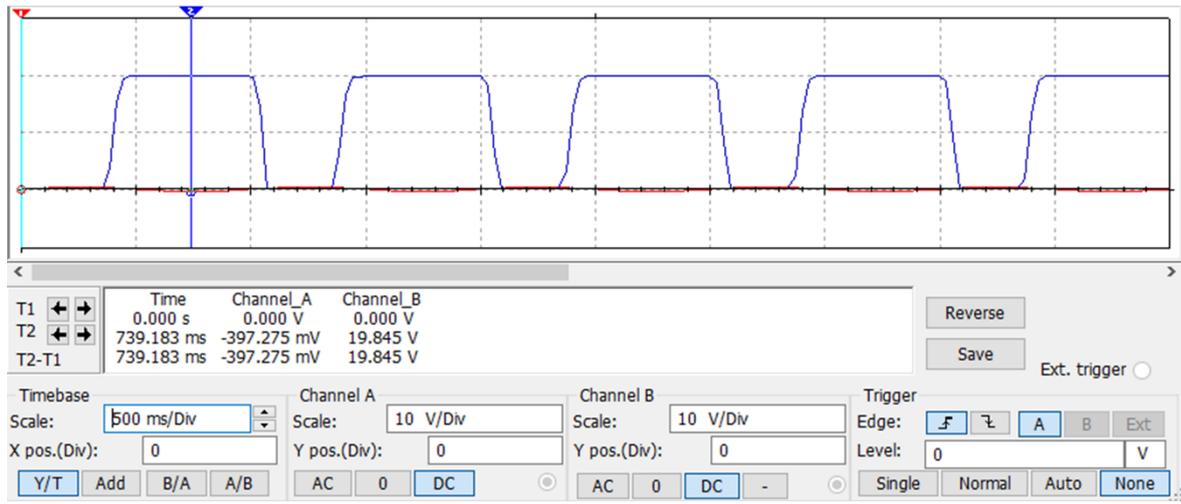


Рис. 6.6 Осциллограммы входного и выходного напряжения усилителя при амплитуде входного сигнала 0,4 В

Коэффициент усиления:  $K_u = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \quad (1)$

Аналогичным образом получаем осциллограммы входного и выходного напряжения для амплитуд входного сигнала 0,6 В, 0,8 В, 1 В, также определяем коэффициент усиления.

Изменяя величину сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , исследуем, их влияние на коэффициент усиления.

**По напряжению:**  $K_u = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{I_k R_H}{I_6 R_{\text{ВХ}}} = \frac{\beta R_H}{R_{\text{ВХ}}}$   $R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ЭБ}}}{I_6}$   $\beta = \frac{I_k}{I_6}$   $\beta = 10 \dots 100$ ,  $U_{\text{ВХ}} = \text{const}$

Рекомендуется  $R_1$  и  $R_2$ , выбрать равными 0, равными ненулевому значению (на усмотрение студента выбирается номинал) и изменять их номинал зеркально друг другу (при увеличении одного, уменьшается другой и наоборот)

## **Порядок и методика выполнения работы**

### **Задание №1. Применение биполярных транзисторов в источниках тока**

1.1 Собрать схему источника тока согласно рисунку 6.1.

1.2 Изменяя величину сопротивления резистора нагрузки при фиксированном значении потенциала базы и сопротивления задающего резистора, построить зависимости тока коллектора (нагрузки) и напряжения коллектора от сопротивления нагрузки. Определить рабочий диапазон источника тока.

1.3 Построить зависимость тока нагрузки от напряжения базы при фиксированных значениях сопротивлений нагрузки и задающего резистора.

1.4 Построить зависимость тока нагрузки от величины сопротивления задающего резистора при постоянном значении потенциала базы.

1.5 Сделать выводы по проделанной работе.

### **Задание №2. Исследование работы усилителя с общим эмиттером**

1.1 Собрать схему усилителя с общим эмиттером (рис. 6.5)

1.2 Снять осциллограммы входного и выходного напряжения усилителя при амплитуде входного сигнала 0,4 В. Объяснить форму полученных сигналов. Определить коэффициент усиления.

1.3 Получить осциллограммы входного и выходного напряжения для амплитуд входного сигнала 0,6 В, 0,8 В, 1 В. Объяснить полученные результаты.

1.4 Изменяя величину сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , исследовать их влияние на коэффициент усиления. Сделать выводы.

1.5 Сделать выводы по проделанной работе.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Для чего используются схемы источника тока на биполярном транзисторе (нарисовать схему)?
2. Что даёт рабочий диапазон источника тока на биполярном транзисторе?
3. Для чего используются усилителя с общим эмиттером (нарисовать схему)?
4. Что такое коэффициент усиления, как определяется (написать формулу)?
5. Как величина сопротивления резисторов в схеме усилителя с общим эмиттером влияет на коэффициент усиления?

## Лабораторная работа № 7 ТОКОВОЕ ЗЕРКАЛО. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

**Цель работы:** исследование работы схемы токового зеркала и дифференциального усилителя.

**Объект исследования:** токовое зеркало, дифференциальный усилитель.

**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** исследование работы схемы токового зеркала и дифференциального усилителя. По каждому заданию сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы:

#### Задание №1. Изучение работы схемы токового зеркала

Собираем схему для изучения работы токового зеркала (рис. 7.1).

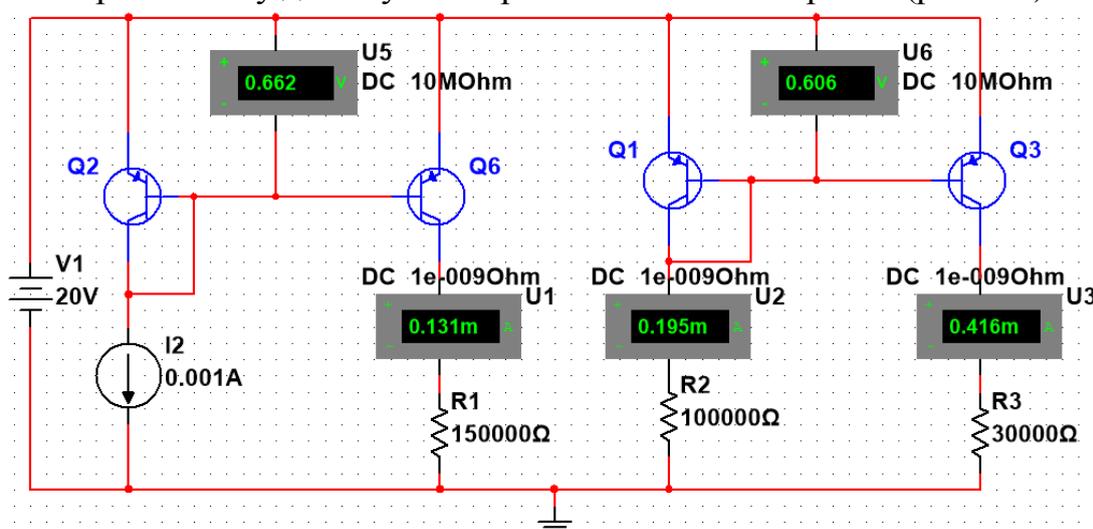


Рис. 7.1 Токовое зеркало

Исследуем зависимость тока нагрузки от сопротивления нагрузки при фиксированном значении задающего тока 1 мА (рис. 7.2) в схемах с идеальным источником тока и задающим резистором (подобрать соответствующее значение сопротивления задающего резистора). Для задающего тока, равного 2 мА и 3 мА проделаем аналогичные исследования.

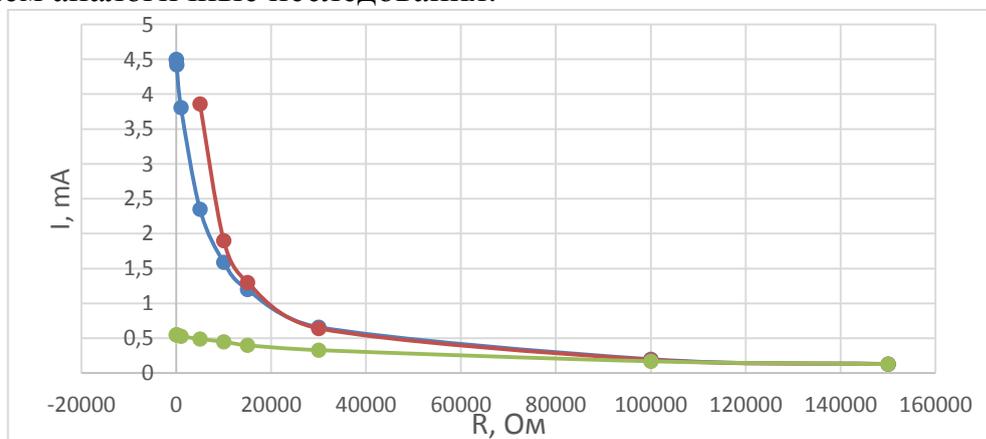


Рис. 7.2 Зависимость силы тока от сопротивления нагрузки при фиксированном значении задающего тока = 1 мА

Заменяем идеальный источник тока на источник тока с биполярным транзистором (рис. 7.3).

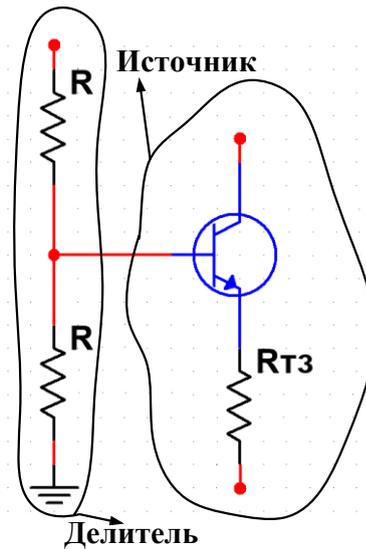


Рис. 7.3 Источник тока с биполярным транзистором

Прделаем с получившейся схемой все те же операции, что и в предыдущем пункте.

Алгоритм задания фиксированных значениях задающего тока:

1. Задали ток или в идеальном источнике, если используем его, или величиной резистора, если используем вариант с ним, или токозадающим резистором, если ставим источник на биполярном транзисторе.
2. Задающую ветку больше не трогаем, меняем нагрузку, меряем ток нагрузки.

### Задание №2. Исследование работы дифференциального усилителя

Собираем схему дифференциального усилителя (рис. 7.4).

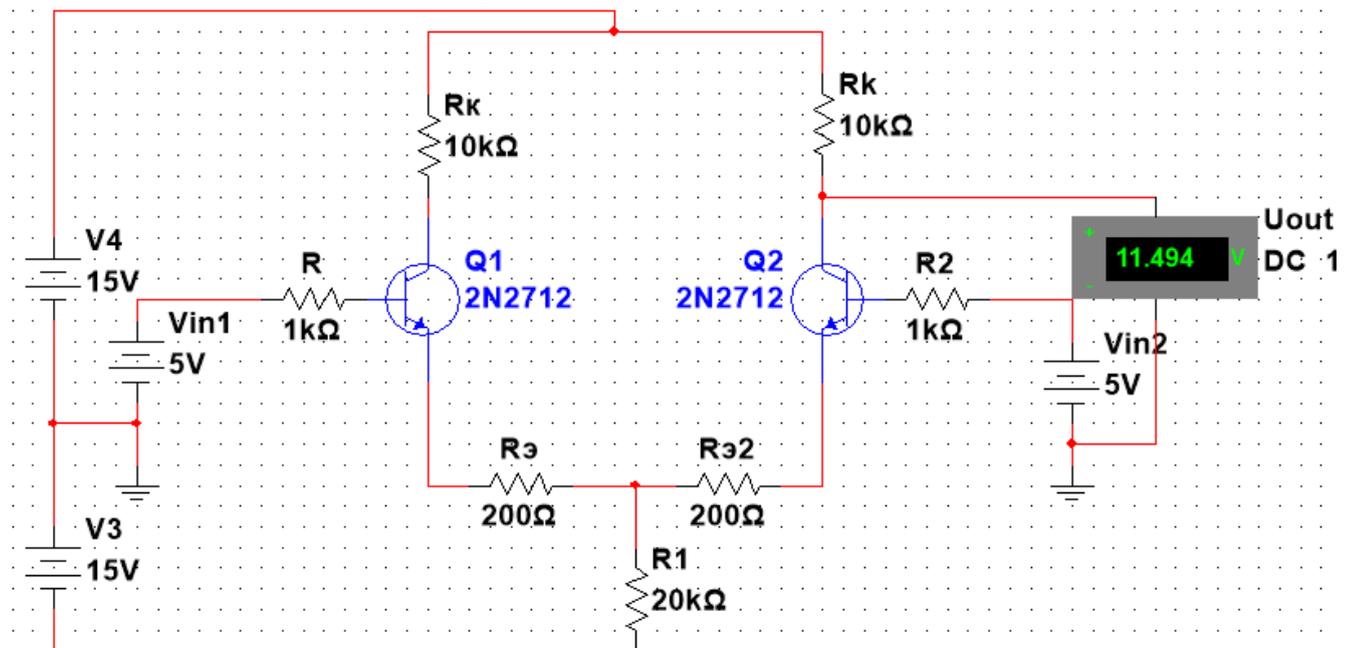


Рис. 7.4 Дифференциальный усилитель

Подаём на входы нулевые сигналы. Напряжение, соответствующее средней точке равно:  $U_{ср.т.} = 11.45 \text{ В}$

Определяем коэффициенты усиления при изменении дифференциального и синфазного сигнала:

$$\text{Фактический коэффициент усиления диф. сигнала: } k_{\text{диф}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{диф}}}$$

$$\text{Аналитический коэффициент усиления диф. сигнала: } k_{\text{диф}} = \frac{R_k}{2R_э}$$

$$\text{Фактический коэффициент усиления синфазного сигнала: } k_{\text{синф}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{синф}}}$$

$$\text{Аналитический коэффициент усиления синфазного сигнала: } k_{\text{синф}} = \frac{R_k}{2(R_1 + R_э)}$$

Исследуем работу схемы при наличии на входе одновременно синфазного и дифференциального сигналов:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ср.т}} + K_{\text{диф}} \cdot U_{\text{диф}} + K_{\text{синф}} \cdot U_{\text{синф}}$$

$$U_{\text{диф}} = (U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}})$$

$$U_{\text{синф}} = \frac{(U_{\text{ВХ1}} + U_{\text{ВХ2}})}{2}$$

## Порядок и методика выполнения работы

### Задание №1. Изучение работы схемы токового зеркала

1.1 Собрать схему для изучения работы токового зеркала (рис. 7.1).

1.2 Исследовать зависимость тока нагрузки от сопротивления нагрузки при нескольких фиксированных значениях задающего тока (1 мА, 2 мА, 3 мА) в схемах с идеальным источником тока и задающим резистором (подобрать соответствующее значение сопротивления задающего резистора). Объяснить полученные результаты.

1.3 Заменить идеальный источник тока на источник тока с биполярным транзистором. Изучить работу разработанной схемы для тех же значений задаваемого тока, сделать выводы.

1.4 Сделать выводы по проделанной работе.

### Задание №2. Исследование работы дифференциального усилителя.

2.1 Собрать схему дифференциального усилителя согласно рис. 7.4. Определить напряжение, соответствующее средней точке работы усилителя (при равных нулю входных сигналах).

2.2 При величине синфазного сигнала, равного нулю, изменять дифференциальный сигнал от 0 до 0,5 В. На основе полученных данных определить величину коэффициента усиления дифференциального сигнала. Сравнить полученное значение с теоретическим. Что произойдет при дальнейшем увеличении входного сигнала?

2.3 Изменяя величину синфазного сигнала, определить коэффициент усиления синфазного сигнала. Сравнить полученное значение с теоретическим.

2.4 Исследовать работу усилителя при наличии на входе одновременно синфазной и дифференциальной составляющей сигнала. Сделать выводы.

2.5 Сделать выводы по проделанной работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое токовое зеркало, как работает и для чего используется (нарисовать схему)?
2. Как влияет сопротивление нагрузки на ток при фиксированных значениях задающего тока?
3. Что изменилось после замены идеального источника тока на источник тока с биполярным транзистором (нарисовать схему)?
4. Что такое дифференциальный усилитель, как работает и для чего используется (нарисовать схему)?
5. Что такое дифференциальный и синфазный сигналы, чем отличаются?
6. Как определяются теоретическое и фактическое значение коэффициента усиления дифференциального сигнала?
7. Как определяются теоретическое и фактическое значение коэффициента усиления синфазного сигнала?
8. Что происходит с усилителем при наличии на входе одновременно синфазной и дифференциальной составляющей сигнала (написать формулы)?

## Лабораторная работа № 8 РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ СХЕМ

**Цель работы:** исследование работы схемы стабилизатора напряжения

**Объект исследования:** стабилизатор напряжения.

**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** исследование работы схемы стабилизатора напряжения. Сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы

Собираем схему для изучения работы стабилизатора напряжения (рис. 8.1). По заданному току  $I_H = 1-1.5$  А нагрузки и выходному  $U_H = 4.5$  В напряжению определяем диапазон сопротивлений нагрузки  $R_H = U_H / I_H = 4.5-3$  Ом

Выбираем стабилитрон, определяем величину токозадающего резистора. Допустимая погрешность выходного напряжения при выборе стабилитрона —  $\pm 10\%$ .  $4.5 \pm 10\% = 4.05-4.95$  В.

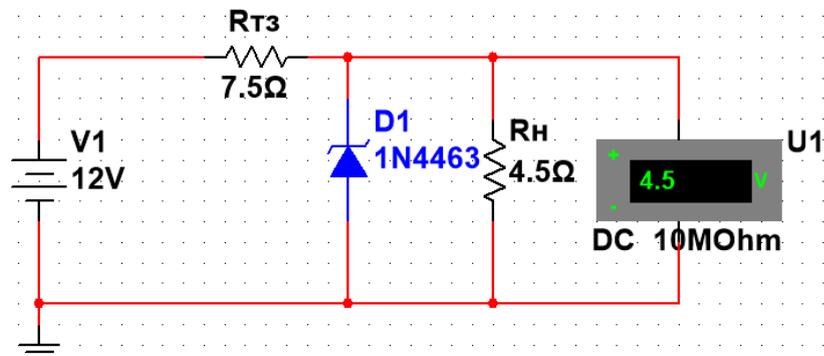


Рис. 8.1 Схема стабилизатора с подобранным стабилитроном и величиной токозадающего резистора

Для получения требуемой величины тока использовать эмиттерный повторитель на выходе стабилизатора (рис 8.2).

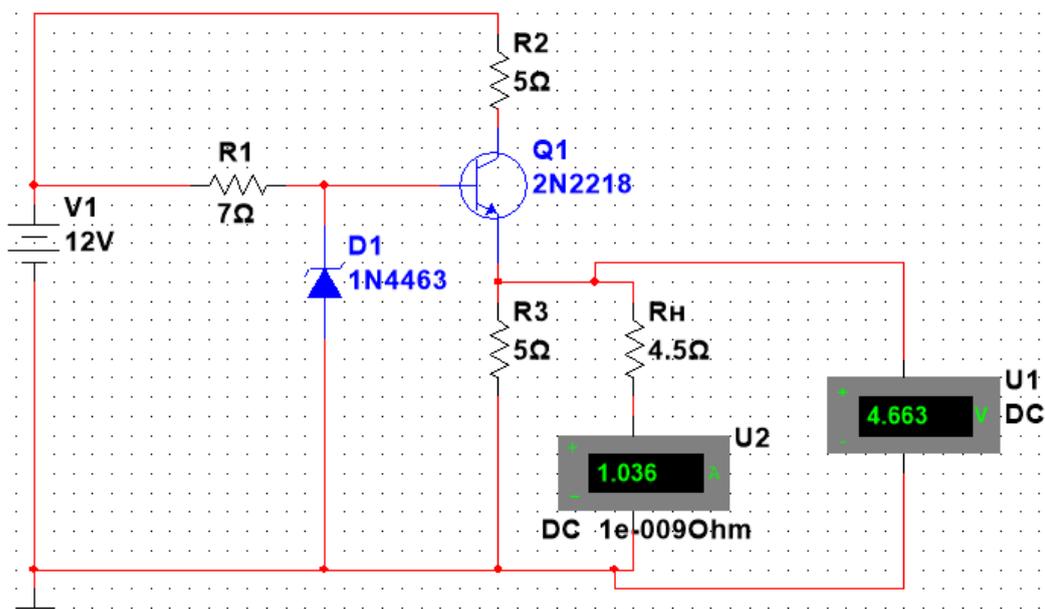


Рис. 8.2 Схема делителя напряжения с эмиттерным повторителем

Строим график зависимости выходного тока от сопротивления нагрузки и входного напряжения (при постоянном (среднем) сопротивлением нагрузки), затем определяем рабочий диапазон.

### Порядок и методика выполнения работы:

1. По заданному току нагрузки (таблица 8.1) и выходному напряжению определить диапазон сопротивлений нагрузки.
2. Разработать схему стабилизатора напряжения согласно варианту задания (выбрать стабилитрон, определить величину токозадающего резистора). Допустимая погрешность выходного напряжения при выборе стабилитрона +/- 10%.
3. Для получения требуемой величины тока использовать эмиттерный повторитель на выходе стабилизатора.
4. Исследовать работу полученной схемы: построить график зависимости выходного тока от сопротивления нагрузки. Определить рабочий диапазон.
5. Исследовать зависимость выходного тока от входного напряжения при постоянном (среднем) сопротивлении нагрузки. Определить рабочий диапазон.
6. Сделать выводы по проделанной работе.

Таблица 8.1 Варианты задания:

№	$U_{вх}, В$	$U_{вых}, В.$	$I_n, А$	№	$U_{вх}, В$	$U_{вых}, В.$	$I_n, А$
1	10	5	1 — 1,5	6	12	6.5	1 — 1,5
2	14	5.5	1 — 2	7	15	4.5	1 — 2
3	16	6.5	0,8 — 1,2	8	14	5.5	0,8 — 1,2
4	15	4.5	1 — 2	9	16	6.5	1 — 1,5
5	18	5.5	0,8 — 1,2	10	10	5.5	1 — 2

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое стабилизатор напряжения, для чего используется (нарисовать схему)?
2. Для чего в схеме делителя напряжения на выходе используется эмиттерный повторитель (нарисовать схему)?
3. Как влияет изменение сопротивления нагрузки на выходной ток?
4. Как влияет изменение входное напряжение на выходной ток?

## Лабораторная работа № 9 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ, ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С ПТ

**Цель работы:** изучение особенностей работы полевых транзисторов.

**Объект исследования:** схемы с полевыми транзисторами.

**Аппаратные средства:** программный пакет NI Multisim.

**Задание:** изучить особенности работы полевых транзисторов. Сделать выводы по проделанной работе.

### Пример выполнения работы:

#### Задание 1. Характеристики полевых транзисторов

Собираем схему для исследования характеристик п-канальных полевых транзисторов с р-п переходом (рис. 9.1).

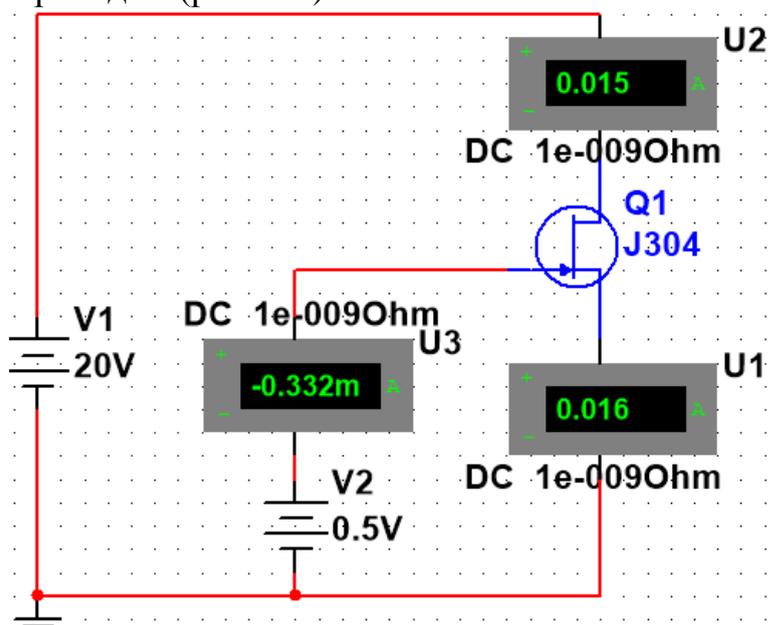


Рис. 9.1. Схема для исследования характеристик ПТ

При постоянном напряжении сток-исток построим зависимость тока стока от напряжения затвор-исток в диапазоне напряжений от -2,5 до 2 В. При этом контролируем величину тока затвора (рис. 9.2).

$U_z, \text{В}$	$I_c, \text{мА}$
-2,5	0,47
-2	1,5
-1,5	3,1
-1	5,3
-0,5	8,1
0	11
0,5	15
1	20
1,5	22
2	22

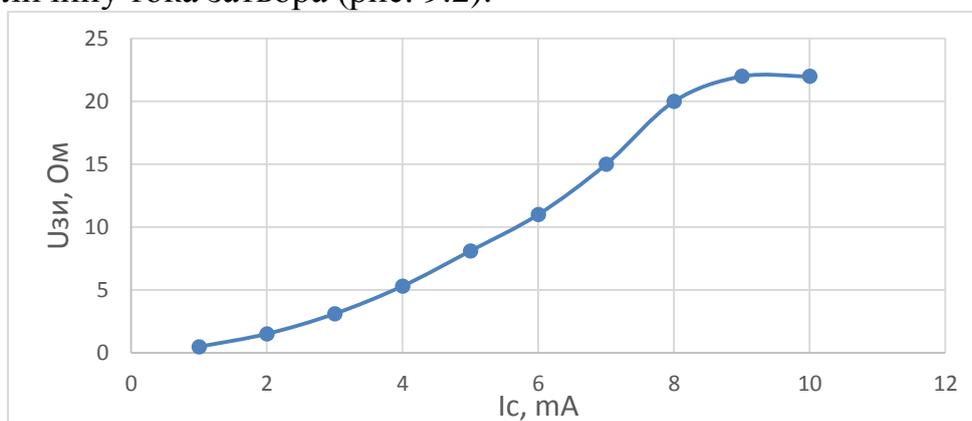


Рис. 9.2 График зависимости тока стока от напряжения затвор-исток

Построим семейство выходных характеристик (зависимостей тока стока от напряжения сток-исток) для напряжения затвор-исток -1,5, -1, 0, 0,5 В (рис. 9.3). При следующих значениях напряжения сток- исток: 0,1, 0,5, 10, 20, 30, ..., 100 В.

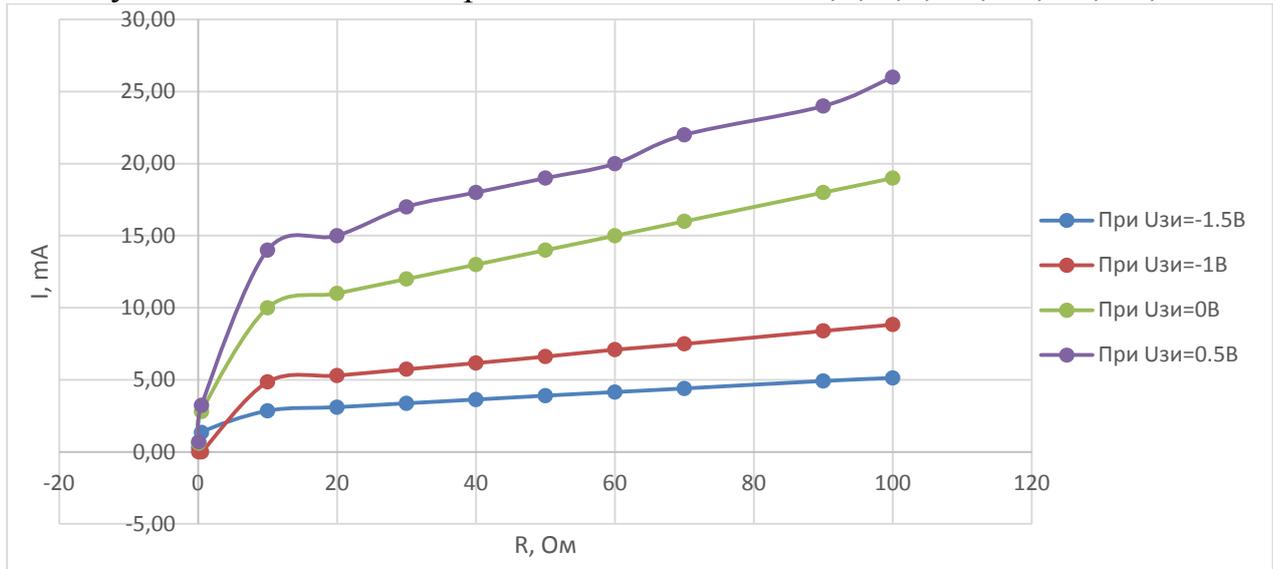


Рис. 9.3 Графики зависимости тока стока от напряжения сток-исток, для напряжения затвор-исток -1,5, -1, 0, 0,5 В

### Задание 2. Источники тока на полевых транзисторах

Собираем схемы источников тока с короткозамкнутым затвором-истоком и с резистором автоматического смещения (рис. 9.4а,б).

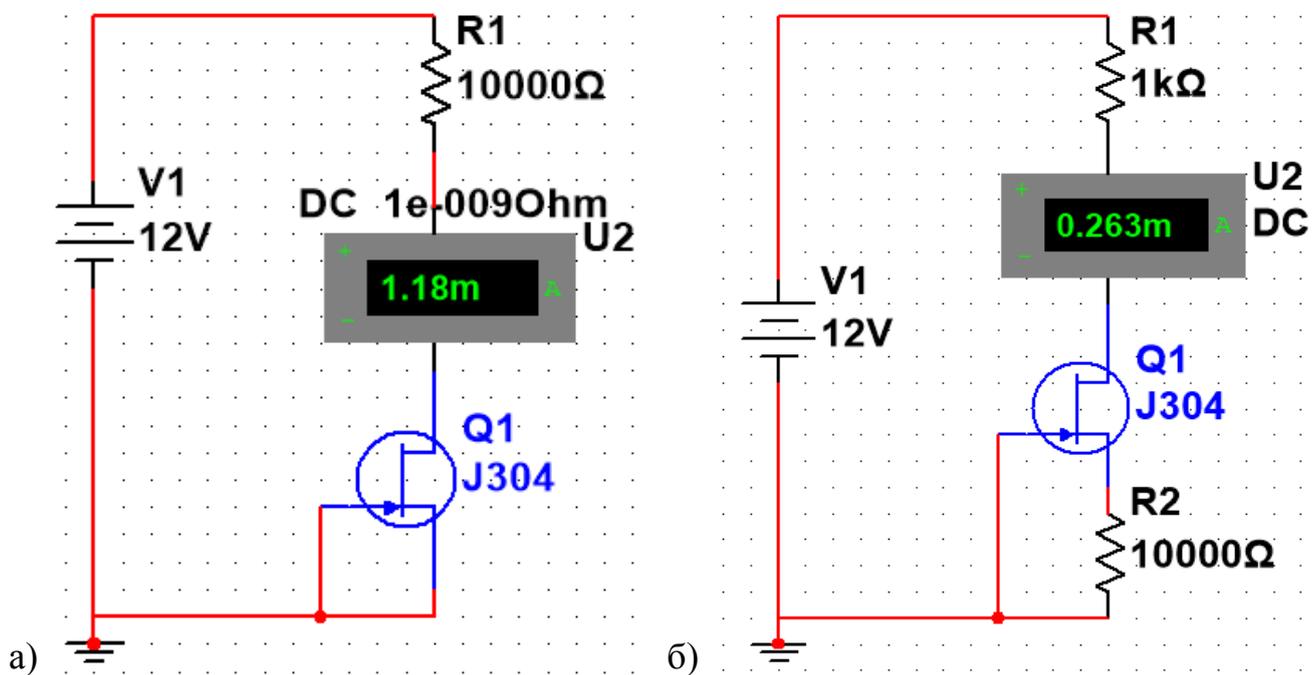


Рис. 9.4. Источники тока на ПТ: а) схема источника тока с короткозамкнутым затвором-истоком; б) схема источника тока с резистором автоматического смещения

С помощью первой схемы (рис. 9.4а) исследуем следующие зависимости (рис. 9.5-9.6)

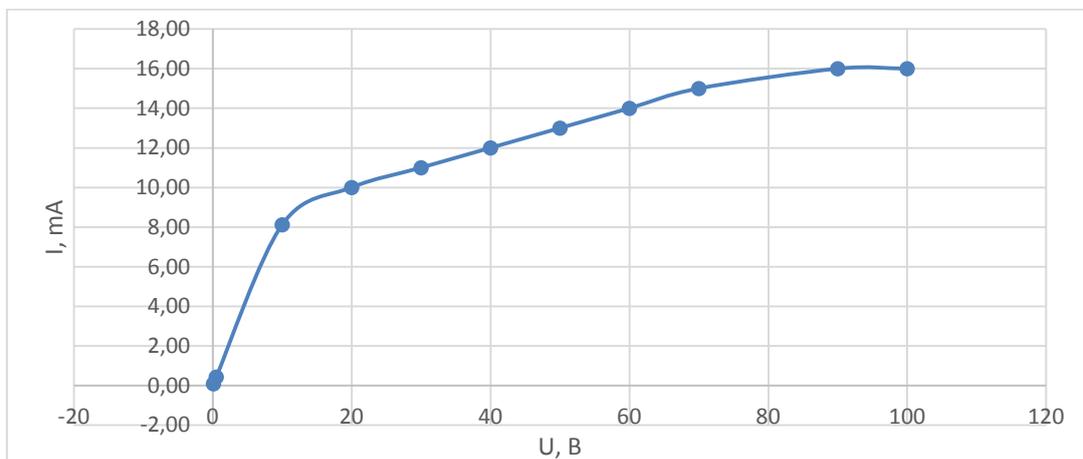


Рис. 9.5 График зависимости тока стока от напряжения питания при постоянном сопротивлении нагрузки ( $R_n = \text{const} = 1$  кОм)

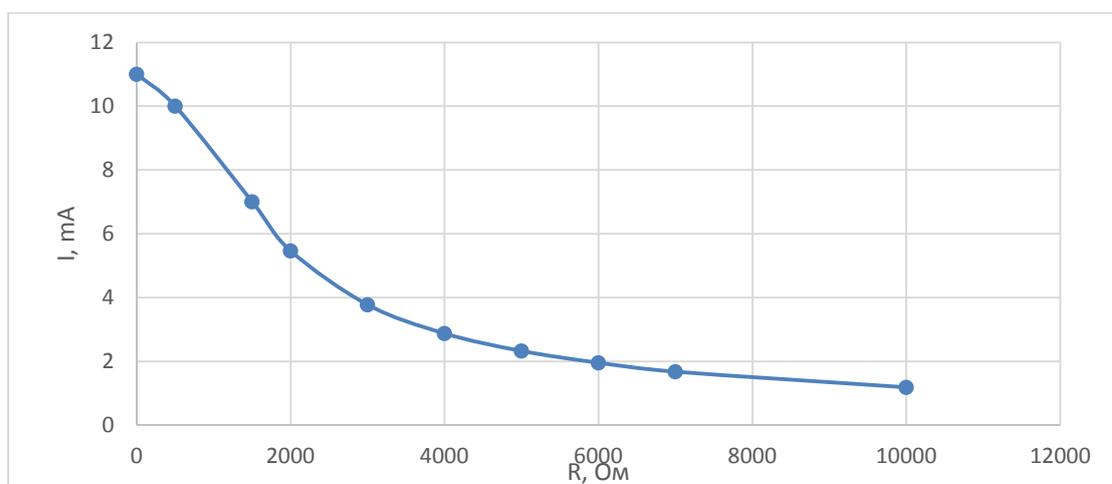


Рис. 9.6 График зависимости тока стока от сопротивления нагрузки при постоянном напряжении питания ( $U = \text{const} = 12$  В)

С помощью второй схемы (рис. 9.4б) исследовать зависимость тока стока от величины сопротивления резистора автоматического смещения (рис. 9.7).

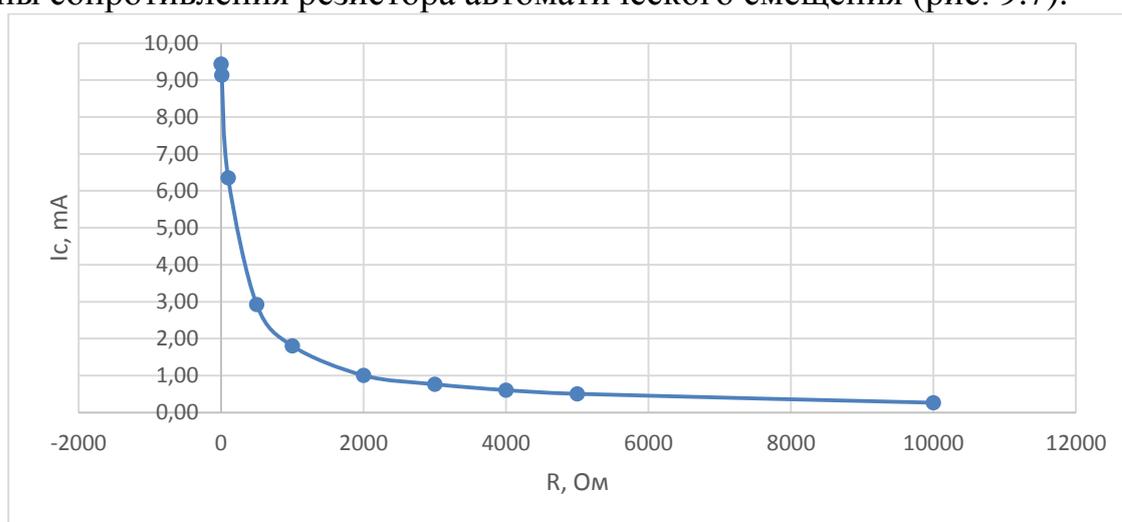


Рис. 9.7 График зависимости тока стока от величины сопротивления

### Задание 3. Построение АЧХ ключа на МОП-транзисторах

Собираем схему ключа на полевых транзисторах (рис. 9.8).

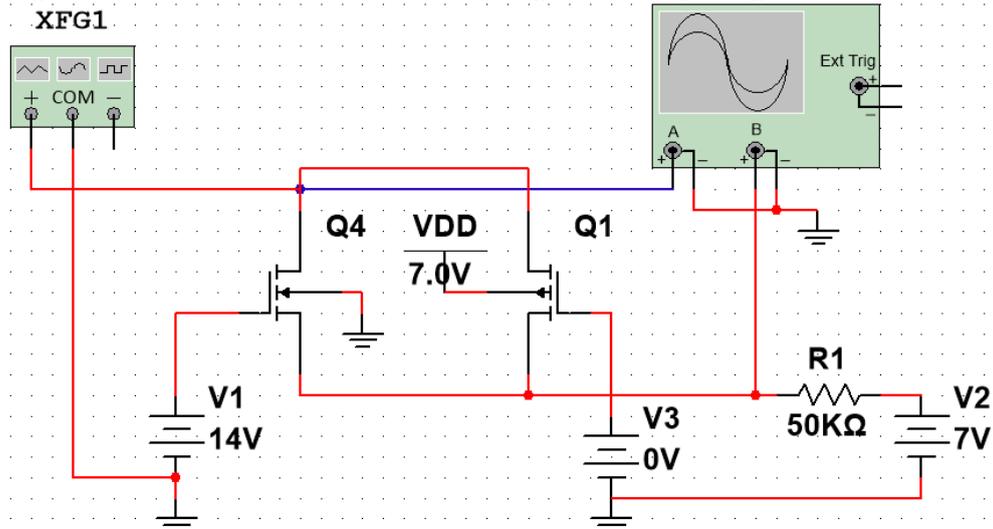


Рис. 9.8. Схема ключа на полевых транзисторах

На рис. 9.9 представлена АЧХ ключа в диапазоне от 1 МГц до 50 МГц с шагом 5 МГц.

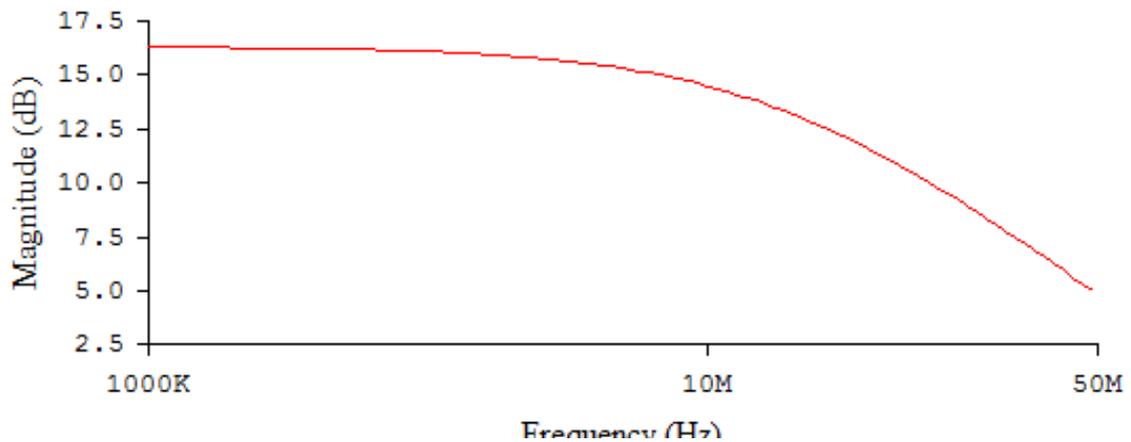


Рис. 9.9 АЧХ ключа в диапазоне от 1 МГц до 50 МГц с шагом 5 МГц.

### Порядок и методика выполнения работы:

#### Задание 1. Характеристики полевых транзисторов.

1.1 Собрать схему для исследования характеристик n-канальных полевых транзисторов с р-п переходом (рис. 9.1).

1.2 При постоянном напряжении сток-исток построить зависимость тока стока от напряжения затвор-исток в диапазоне напряжений от -2,5 до 2 В. При этом контролировать величину тока затвора.

1.3 Построить семейство выходных характеристик, то есть зависимостей тока стока от напряжения сток-исток, для напряжения затвор-исток -1,5, -1, 0, 0,5 В. При измерениях задавать следующие значения напряжения сток-исток: 0,1, 0,5, 10, 20, 30, ..., 100 В.

1.4 Построить графики.

1.5 Сделать выводы по полученным результатам.

## **Задание 2. Источники тока на полевых транзисторах.**

2.1 Собрать схемы источников тока с короткозамкнутым затвором-истоком и резистором автоматического смещения (рис. 9.4).

2.2 С помощью первой схемы исследовать зависимость тока стока от напряжения питания при постоянном сопротивлении нагрузки, а затем зависимость тока стока от сопротивления нагрузки при постоянном напряжении питания.

2.3 С помощью второй схемы исследовать зависимость тока стока от величины сопротивления резистора автоматического смещения.

2.4 Построить графики.

2.5 Сделать выводы по полученным результатам.

## **Задание 3. Построение АЧХ ключа на МОП-транзисторах.**

3.1 Собрать схему согласно рис. 9.9.

3.2 Построить АЧХ ключа в диапазоне от 1 МГц до 50 МГц с шагом 5 МГц.

3.3 Сделать выводы по проделанной работе.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое полевой транзистор, какие они бывают (нарисовать схему)?
2. Где используются полевые транзисторы?
3. Для чего используются схемы с источником тока на полевом транзисторе?
4. Схемы источников тока с короткозамкнутым затвором-истоком (Нарисовать схему)?
5. Схемы источников тока с резистором автоматического смещения (нарисовать схему)
6. Что такое АЧХ ключа МОП транзистора (нарисовать график)?
7. Чем полевые транзисторы отличаются от биполярных?

## Список использованных и рекомендуемых источников

1. Гусев В. Г., Электроника и микропроцессорная техника: Учебник / Ю. М. Гусев. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2004. - 790 с
2. Крерафт Д., Аналоговая электроника. Схемы, системы, обработка сигнала [Текст]. - М.: Техносфера, 2005. - 360 с.
3. Наундорф У., Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование [Комплект]: [учебное пособие] / пер. с нем. М. М. Ташлицкого. - М.: Техносфера, 2008. - 472 с
4. Розанов Ю. К., Силовая электроника [Текст]: учебник. - 2-е изд., стер. - М.: МЭИ, 2009. - 632 с.
5. Ревич Ю., Занимательная микроэлектроника [Текст]. - СПб.: БХВПетербург, 2007. - 592 с.
6. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. //М.: СОЛОН-Р., 2001.
7. Хоровиц, Хилл. Искусство схемотехники. 7 перераб. изд. 2005 г. 700 с.
8. Электротехника и электроника: Учебное пособие /В.М. Бобырь, В.И. Иванов, В.С. Титов, А.С. Ястребов. В 2 кн. - Курск: Курск. гос. тех. ун-т. - 2009. Кн. 2. - Электроника. - 240 с.
9. Иванов В.И. Проектирование цифровых устройств: учебное пособие / В.И. Иванов, В.С. Титов, М.В. Бобырь, А.С. Ястребов; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2011. 100 с.