

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(УрГУПС)**

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ Е.А. Малыгин

Г.Л. Штрапенин

## **Электротехника и электроника**

Екатеринбург  
2010

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(УрГУПС)

Г.Л. Штрапенин

# **Электротехника и электроника**

Методическое руководство к лабораторным работам

Екатеринбург  
2010

УДК 621.3  
Ш-76

Электротехника и электроника. Г.Л. Штрапенин. – Екатеринбург:  
УрГУПС, 2010. – 54с.

Руководство составлено в соответствии с учебным планом дисциплины «Электротехника и электроника» для студентов всех форм обучения специальности 230201 «Информационные системы и технологии» содержит указания по выполнению лабораторных работ в программе моделирования электронных устройств Multisim.

Руководство может быть использовано на аудиторных занятиях и для самостоятельной работы студентов.

Методическое руководство рекомендовано к опубликованию на заседании кафедры «Электрические машины» « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_.

Председатель методической комиссии ЭМФ А.П.Сухогузов

Заведующий кафедрой  
«Электрические машины» А.В.Бунзя

Разработчик: доцент кафедры  
«Электрические машины» Г.Л.Штрапенин

Рецензент: доцент кафедры  
«Электрические машины» Ю.В.Новоселов

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Знакомство с программой «Multisim 10». Проверка законов Ома для простых цепей постоянного и переменного тока.....	4
2. Изучение полупроводниковых диодов и стабилитронов.....	7
3. Изучение методов расчета электрических цепей. Проверка законов Кирхгофа и метода наложения на примере диодного ограничителя.....	10
4. Исследование интегрирующих и дифференцирующих RC цепей.....	12
5. Изучение биполярных и полевых транзисторов.....	16
6. Изучение транзисторного усилителя.....	20
7. Изучение транзисторного усилителя с обратной связью.....	23
8. Изучение операционных усилителей.....	25
9. Изучение нелинейных устройств на операционных усилителях.....	28
10. Изучение интегральных логических элементов (ЛЭ) КМОП.....	31
11. Изучение интегральных триггеров.....	34
12. Изучение счетчиков и регистров на триггерах.....	36
13. Изучение генераторов импульсов на интегральных микросхемах и устройств на их основе.....	40
14. Изучение аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП) преобразователей.....	43
15. Изучение выпрямителей и стабилизаторов напряжения.....	48
Библиографический список.....	52

## Лабораторная работа № 1

### Знакомство с программой «Multisim 10».

Проверка законов Ома для простых цепей постоянного и переменного тока

#### 1.1. Цель работы

Знакомство с интерфейсом и порядком работы с программой моделирования электронных схем «Multisim 10» и анализ простейших цепей постоянного и переменного тока.

#### 1.2. Порядок выполнения работы

1.2.1. Ознакомьтесь с описанием программы по методическому пособию. Соберите схему для проверки закона Ома с генератором напряжения, приведенную на рис.1.1. Сопротивление резистора **R1** установите 2 кОм.

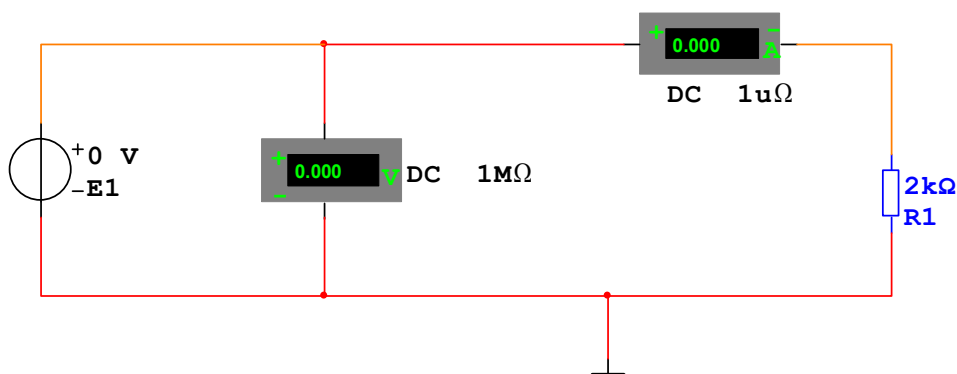


Рис. 1.1.

1.2.2. Установите режим работы амперметра на измерение постоянного тока (DC). Установите напряжение генератора **E1** 0 В. Активизируйте схему и запишите показания амперметра.

1.2.3. Повторите измерения п.1.2.2. для напряжения генератора **E1** 1 В, 2 В и т.д. до 10 В. Результаты запишите в виде таблицы.

1.2.4. Измените полярность входного напряжения, для чего удалите из схемы генератор **E1**, переверните его на 180 градусов и затем снова установите в схему. Повторите измерения пп. 1.2.2. – 1.2.3.

1.2.5. Соберите схему для проверки закона Ома с генератором тока, приведенную на рис.1.2. Сопротивление резистора **R1** установите 500 Ом.

1.2.6. Установите режим работы вольтметра на измерение постоянного напряжения (DC). Установите ток генератора **I1** 0 мА. Активизируйте схему и запишите показания вольтметра.

1.2.7. Повторите измерения п.1.2.6. для тока генератора **I1** 1 мА, 2 мА и т.д. до 10 мА. Результаты запишите в виде таблицы.

1.2.8. Измените полярность входного тока, для чего удалите из схемы генератор **II**, переверните его на 180 градусов и затем снова установите в схему. Повторите измерения пп. 1.2.6. – 1.2.7.

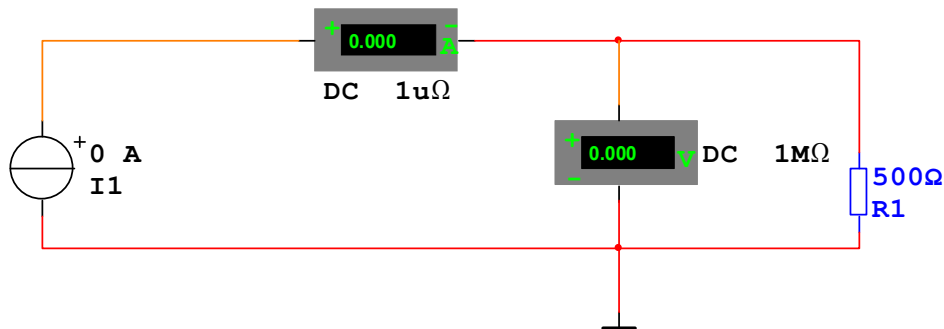


Рис. 1.2.

1.2.9. Соберите схему для проверки закона Ома в цепи переменного тока, приведенную на рис.1.3. Установите сопротивление резистора **R1** 1 кОм и емкость конденсатора **C1** 0.2 мкФ.

1.2.10. Установите форму выходного напряжения функционального генератора - синусоида, частоту 1 кГц, амплитуду 10 Вольт, смещение 0 Вольт. Установите режим работы амперметра и вольтметра на измерение переменного тока (AC), а режим работы осциллографа таким, чтобы на экране наблюдалось 2 - 3 периода сигнала.

1.2.11. Активизируйте схему и запишите показания приборов, определите и запишите период и амплитуду исследуемых сигналов, затем зарисуйте графики с экрана осциллографа.

1.2.12. Установите частоту функционального генератора 10 кГц и повторите измерения пп.1.2.10. – 1.2.11.

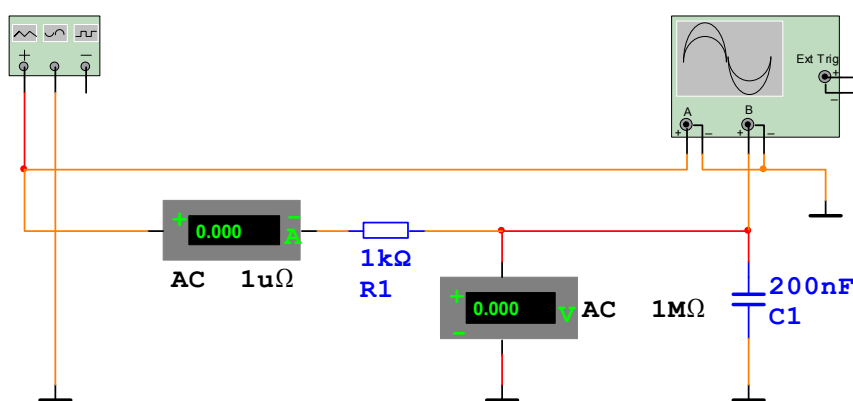


Рис.1.3.

### 1.3. Обработка результатов

1.3.1. По результатам измерений пп. 1.2.1. – 1.2.8. постройте на одном графике вольт-амперные характеристики (ВАХ – зависимости тока от напряже-

ния) для резисторов 2 кОм и 500 Ом. Объясните вид полученных зависимостей. Сделайте выводы о выполнении закона Ома.

1.3.2. По результатам измерений пп.1.2.9 – 1.2.12., используя закон Ома для участка цепи с конденсатором для схемы на рис.1.2, рассчитайте экспериментальные значения емкостного сопротивления конденсатора  $X_{сэ} = U/I$  (Ом), где  $U$  – напряжение на конденсаторе в В,  $I$  – ток через конденсатор в А, и сравните эти значения с рассчитанными по формуле  $X_{ср} = 1/(2\pi fC)$ ,  $f$  – частота переменного напряжения в Гц,  $C$  – емкость конденсатора в Ф. Сделайте выводы о зависимости емкостного сопротивления конденсатора от частоты.

#### 1.4. Содержание отчета

1.4.1. Цель работы.

1.4.2. Исследуемые схемы.

1.4.3. Результаты измерений, расчеты и графики.

1.4.4. Выводы.

#### 1.5. Контрольные вопросы

1.5.1. Дайте определение источника (генератора) напряжения и источника (генератора) тока. В чем отличие идеального и реального генератора?

1.5.2. Сформулируйте законы Ома для цепей с генераторами напряжения и тока.

1.5.3. Как влияют параметры амперметра и вольтметра на точность измерения токов и напряжений в цепи?

1.5.4. Как измеряются переменные напряжения и токи? Что такое действующее значение переменного напряжения (тока)?

## Лабораторная работа № 2

### Изучение полупроводниковых диодов и стабилитронов

#### 2.1. Цель работы

Исследование вольтамперных характеристик, определение основных параметров различных типов полупроводниковых диодов и стабилитронов и анализ простейших схем с полупроводниковыми диодами и стабилитронами.

#### 2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Соберите схему для получения вольтамперных характеристик диодов и стабилитронов, приведенную на рис.2.1. Для исследования выберите кремниевый диод 1N4148 или другой по указанию преподавателя.

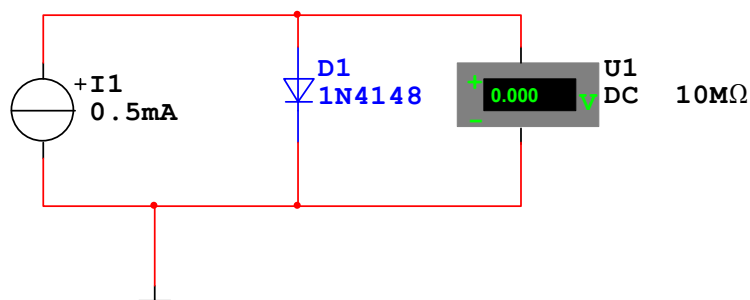


Рис.2.1

2.2.2. Установите режим работы вольтметра на измерение постоянного напряжения (DC). Изменяя выходной ток генератора тока от 0.5 мА до 20 мА, занесите в таблицу результаты измерений напряжения на диоде для соответствующих значений тока.

Таблица 2.1

Тип и способ включения диода (стабилитрона)	$I$ , мА	0.5	1	2	3	5	10	15	20
Кремниевый–прямое	$U_{пр}$ , В								
Шотки–прямое	$U_{пр}$ , В								
Стабилитрон 1– прямое	$U_{пр}$ , В								
Стабилитрон 1–обратное	$U_{обр}$ , В								
Стабилитрон 2– прямое	$U_{пр}$ , В								
Стабилитрон 2–обратное	$U_{обр}$ , В								

2.2.3. Измените тип диода на диод Шотки MBR1035 или другой по указанию преподавателя и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.2.

2.2.4. Смените диод на стабилитрон 1N957A (стабилитрон 1) или другой по указанию преподавателя и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.2.



2.2.5. Измените полярность включения стабилитрона путем удаления и последующей вставки перевернутого на 180 градусов генератора тока и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.2.

2.2.6. Измените тип стабилитрона на 1N961A (стабилитрон 2) или другой по указанию преподавателя и повторите измерения в соответствии с пп. 2.2.4 – 2.2.5.

2.2.7. Соберите схему, приведенную на рис.2.2. Установите частоту генератора 50 Гц, напряжение 20 В, тип диода тот же, что и в п. 2.2.1. Активизируйте схему и зарисуйте полученные осциллограммы (масштаб по оси X - 5ms/div, по оси Y в каналах A и B - 10V/div).

2.2.8. Замените диод на стабилитрон 1 из п. 2.2.4 и повторите измерения в соответствии с п. 2.2.7.

2.2.9. Соберите схему, приведенную на рис.2.3 и повторите измерения для того же типа диода и стабилитрона аналогично пп. 2.2.7 - 2.2.8.

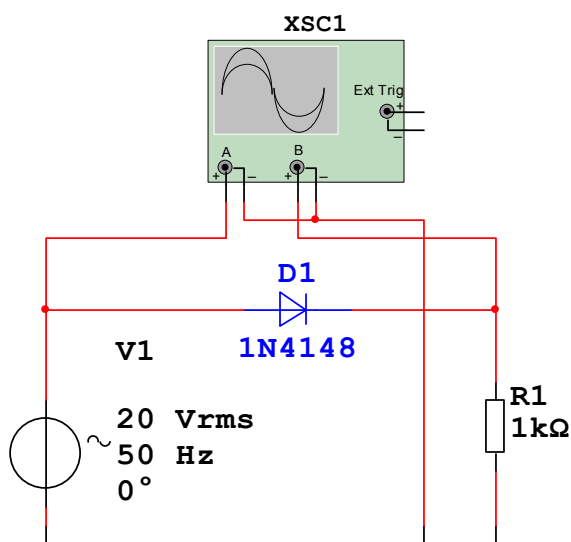


Рис.2.2.

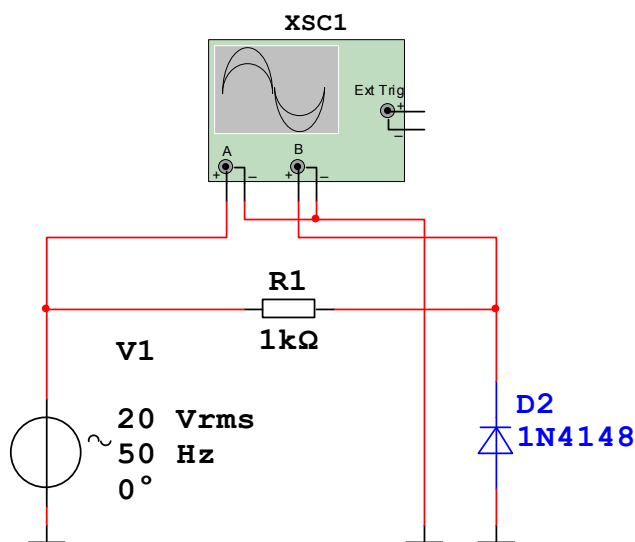


Рис.2.3

## 2.2. Обработка результатов измерений

2.2.1. Постройте на одном графике (ось напряжений от -15 В до +1 В, ось токов от -20 мА до +20 мА) прямые и обратные ветви ВАХ исследованных диодов и стабилитронов. Сделайте выводы о сходстве и различии ВАХ разных типов диодов.

2.2.2. Определите прямые статические  $R_{ст}$  и дифференциальные  $R_{дифф}$  сопротивления для всех типов диодов и стабилитронов при токах 2 мА и 10 мА по формулам:

$$R_{ст} = U/I ;$$

$$R_{дифф} = dU/dI$$

(дифференциальные сопротивления определяются численным дифференцированием с использованием заданного и следующего за ним по таблице значения тока). Сделайте выводы о зависимости полученных значений сопротивлений от тока, а также соотношении статических и дифференциальных сопротивлений для каждого типа диода и у различных диодов.

2.2.3. По тем же формулам определите обратные статические и дифференциальные сопротивления для всех типов стабилитронов при токах 2 мА и 10 мА. По данным таблицы запишите величины напряжения стабилизации стабилитронов при тех же токах. Объясните, каким образом происходит стабилизация напряжения и как на нее влияют параметры стабилитрона.

2.2.3. Постройте графики зависимостей входного и выходных напряжений от времени с экрана осциллографа для схем на рис.2.2 и рис.2.3 (всего 4 графика) в одном масштабе один под другим. Объясните вид полученных зависимостей для каждого типа диода.

## 2.4. Содержание отчета

2.4.1. Цель работы.

2.4.2. Схемы для снятия ВАХ и осциллограмм.

2.4.3. Таблицы с результатами измерений.

2.4.4. Вольтамперные характеристики диодов и стабилитронов.

2.4.5. Расчет параметров, определяемых по результатам измерений.

2.4.6. Картинки осциллограмм.

2.4.7. Выводы.

## 2.5. Контрольные вопросы

2.5.1. Какие процессы протекают в р-п переходе в равновесном состоянии, прямом и обратном включении?

2.5.2. Дайте определения основных параметров полупроводниковых диодов и стабилитронов.

2.5.3. В чем различия ВАХ и рассчитанных по ним параметров диодов с р-п-переходом и диодов Шоттки?

2.5.4. Как практически определить статические и дифференциальные сопротивления диодов?

## Лабораторная работа № 3

Изучение методов расчета электрических цепей. Проверка законов Кирхгофа и метода наложения на примере диодного ограничителя.

### 3.1. Цель работы

Изучение методов расчета электрических цепей, проверка законов Кирхгофа. Расчет и проверка работы диодного ограничителя.

### 3.2. Порядок выполнения работы

Соберите схему для проверки закона Кирхгофа на постоянном токе, приведенную на рис.3.1. Величины выходных напряжений генераторов и значения сопротивлений резисторов возьмите из таблицы 3.1.

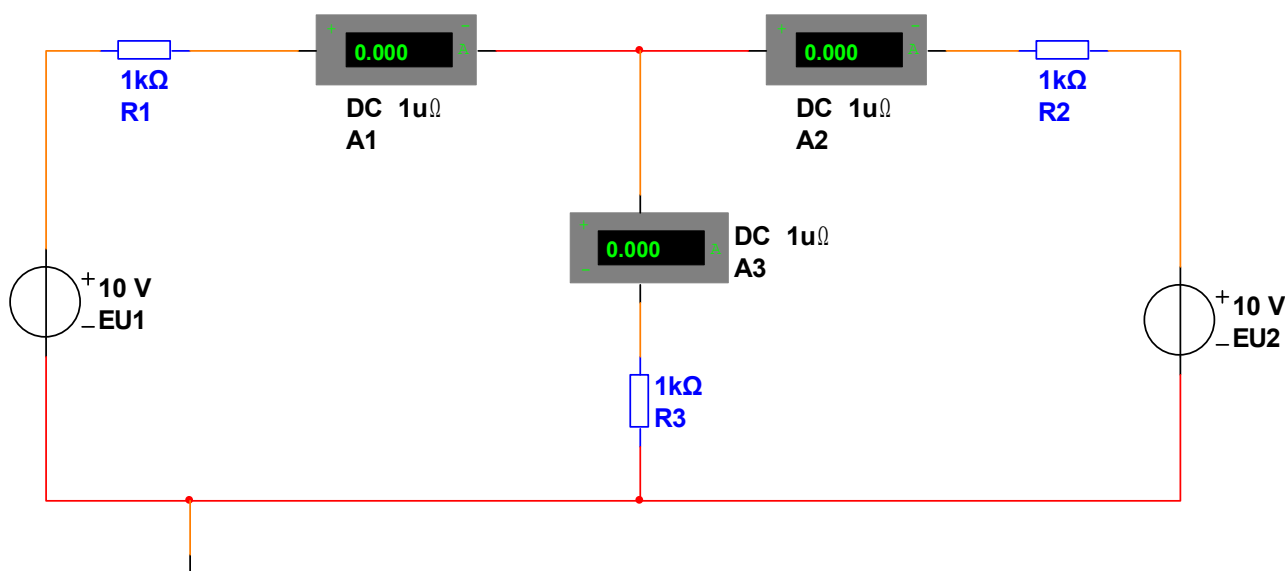


Рис.3.1

Таблица 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
EU1, В	10	12	18	15	16	20	12	6
EU2, В	15	16	12	10	10	10	10	10
R1, кОм	1	2	3	2	4	1	5	3
R2, кОм	2	5	6	4	3	5	8	5
R3, кОм	3	1	2	6	5	3	2	2

3.2.3. Установите режим работы амперметров на измерение постоянного тока (DC). Активизируйте схему и запишите показания амперметров.

3.2.4. Соберите схему диодного ограничителя по номеру вашего варианта. Тип диода 1N4148. Установите соответствующие параметры генераторов напряжения и сопротивление резистора. К входу и выходу ограничителя подключите осциллограф.

3.2.5. Активизируйте схему. Получите на экране осциллографа, а затем зарисуйте изображение одного - двух периодов входного и выходного напряжения. Сделайте выводы.

### 3.3. Обработка результатов.

3.3.1. Используя законы Кирхгофа, составьте и решите систему уравнений для токов в цепи, изображенной на рис.3.1, сравните результат с показаниями амперметров. Сделайте выводы.

3.3.2. Используя метод наложения, рассчитайте выходное напряжение диодного ограничителя для идеального случая ( $R_{дпр} = 0$  и  $R_{добр} = \infty$ ) и квазиреального случая (значения  $R_{дпр}$  и  $R_{добр}$  считаются постоянными и берутся соответственно номеру варианта). Расчет производится для одного периода входного напряжения  $U_{вх}$  в 7-и точках:  $U_{вх} = 0$ ,  $U_{вх} = E$ ,  $U_{вх} = U_{вхm}$  и  $U_{вх} = -U_{вхm}$ . Постройте на одном графике полученные из расчетов временные зависимости выходного напряжения и сравните их с результатами моделирования п. 3.2.5. Сделайте выводы.

### 3.4. Содержание отчета

3.4.1. Цель работы.

3.4.2. Исследуемые схемы.

3.4.3. Результаты измерений, расчеты и графики.

3.4.4. Выводы.

### 3.5. Контрольные вопросы

3.5.1. Сформулируйте законы Кирхгофа и приведите примеры их использования для расчета цепей.

3.5.2. Сформулируйте метод наложения и приведите примеры его использования для расчета цепей.

3.5.3. Поясните графоаналитический метод расчета цепей на примере цепи с диодом. Что такое нагрузочная прямая?

3.5.4. Какие приближения и как можно использовать при расчете цепей с диодами?

## Лабораторная работа № 4

### Исследование интегрирующих и дифференцирующих RC цепей

#### 4.1. Цель работы

Исследование амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик RC цепей.

#### 4.2. Порядок выполнения работы

4.2.1. Соберите схему для исследования амплитудно-частотных характеристик дифференцирующей RC цепи, приведенную на рис. 4.1. Установите значение емкости конденсатора 1 мкФ, сопротивление резистора 1 кОм.

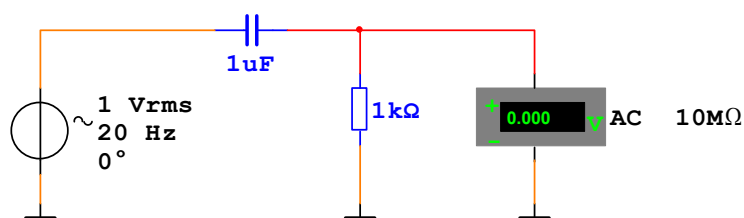


Рис. 4.1

4.2.2. Установите выходное напряжение генератора 1 Вольт, частоту 20 Гц, вольтметр – на измерение переменного напряжения (АС). Активизируйте схему и запишите показания вольтметра.

4.2.3. Повторите измерения п. 4.2.2. на следующих частотах: 50 Гц, 100 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 5000 Гц, 10000 Гц, 50000 Гц, 100000 Гц. Результаты оформите в виде таблицы, в первую строку которой запишите значения частот, во вторую – показания вольтметра, в третью – рассчитанные по формуле

$$K = 20 \lg(U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}})$$

отношения входного и выходного напряжения (коэффициента передачи) в децибелах. Здесь  $U_{\text{ВХ}} = 1 \text{ В}$ ,  $U_{\text{ВЫХ}}$  – показания вольтметра. Постройте АЧХ дифференцирующей RC цепи в логарифмическом масштабе по осям (по оси X – десятичный логарифм частоты, по оси Y – коэффициент K в децибелах).

4.2.4. Измените схему, поменяв местами резистор и конденсатор. Повторите действия пп. 4.2.2 - 4.2.3 для полученной интегрирующей цепи.

4.2.5. Соберите схему для автоматического измерения АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC цепи с использованием измерителя частотных характеристик (ИЧХ – Vode Plotter), приведенную на рис. 4.2. Отметим, что в схеме с ИЧХ генератор переменного напряжения необходим только для правильной работы программы моделирования. Параметры генератора не имеют значения и могут быть любыми.

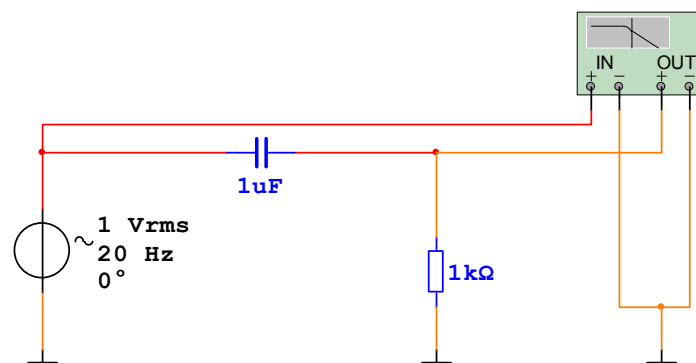


Рис. 4.2.

4.2.6. Установите значение емкости конденсатора 1 мкФ, сопротивление резистора 1 кОм, как и для предыдущей схемы. Установите режим работы ИЧХ – измерение АЧХ (Амплитуда), масштаб по осям – логарифмический (LOG), пределы по горизонтальной оси частот – от 1 Гц (I) до 100 кГц (F), по вертикальной оси амплитуд от -40 дБ (I) до 0 дБ (F). Активизируйте схему, на экране прибора появится искомая АЧХ. Перемещая маркер по экрану прибора, запишите значения величин частот и коэффициента передачи в виде таблицы 4.1. Зарисуйте график с экрана прибора в логарифмическом масштабе по осям аналогично графику п. 4.2.3.

Таблица 4.1.

Частота, Гц	1						$10^5$
К, дБ		-40	-20	-10	-3	-0,5	

4.2.7. Установите режим работы ИЧХ для измерения ФЧХ (Фаза), пределы по вертикальной оси фаз от 0 град. (I) до +90 град. (F), масштаб линейный (Лин), пределы и масштаб по оси частот те же, что и ранее. Активизируйте схему. На экране прибора появится искомая ФЧХ. Перемещая маркер прибора, запишите в таблицу соответствующие значения величин частот и сдвига фаз в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2

Частота, Гц	1				$10^5$
Сдвиг фаз, град.		60	45	30	

Зарисуйте график с экрана прибора в логарифмическом масштабе по оси частот и линейном масштабе по оси фаз.

4.2.8. Повторите измерения пп. 4.2.6 и 4.2.7 для емкости конденсатора 0.1 мкФ. Сделайте выводы.

4.2.9. Измените схему, поменяв местами резистор и конденсатор, и повторите действия пп. 4.2.6 - 4.2.8. Результаты оформите в виде таблиц 4.3 и 4.4, при измерении ФЧХ установите пределы по оси фаз от -90 град. (I) до 0 град (F). Зарисуйте графики с экрана прибора аналогично пп. 4.2.6. – 4.2.8.

Таблица 4.3

Частота, Гц	1						$10^5$
К, дБ		-0,5	-3	-10	-20	-40	

Таблица 4.4

Частота, Гц	1				$10^5$
Сдвиг фаз, град.		-30	-45	-60	

### 4.3. Обработка результатов измерений

4.3.1. Постройте АЧХ дифференцирующей и интегрирующей RC цепей из данных ручных измерений на одном графике в логарифмическом масштабе по обеим осям. Сделайте выводы.

4.3.2. Постройте АЧХ дифференцирующей RC цепи из данных автоматических измерений для двух значений емкости конденсатора на одном графике в логарифмическом масштабе по обеим осям. Под ним постройте ФЧХ для двух значений емкости конденсатора так же на одном графике в том же масштабе по оси частот и линейном по оси фаз. Сделайте выводы.

4.3.3. Аналогично постройте АЧХ интегрирующей RC цепи из данных автоматических измерений для двух значений емкости конденсатора на одном графике в логарифмическом масштабе по обеим осям. Под ним постройте ФЧХ для двух значений емкости конденсатора так же на одном графике в том же масштабе по оси частот и линейном по оси фаз. Сделайте выводы.

### 4.4. Содержание отчета

4.4.1. Цель работы.

4.4.2. Исследуемые схемы.

4.4.3. Результаты измерений в виде шести таблиц и пяти графиков.

4.4.4. Выводы.

### 4.5. Контрольные вопросы

4.5.1. Изобразите дифференцирующую и интегрирующую RC и RL цепи. Поясните, при каких условиях данные цепи соответственно дифференцируют и интегрируют входной сигнал, а при каких – нет.

4.5.2. Что такое постоянная времени RC и RL цепи и какие свойства цепи она характеризует?

4.5.3. Запишите выражения для коэффициента передачи и сдвига фаз дифференцирующей RC и LR цепи. Изобразите и объясните вид АЧХ и ФЧХ данных цепей.

4.5.4. Запишите выражения для коэффициента передачи и сдвига фаз интегрирующей RC и LR цепи. Изобразите и объясните вид АЧХ и ФЧХ данных цепей.



## Лабораторная работа № 5

### Изучение биполярных и полевых транзисторов

#### 5.1. Цель работы

Исследование статических характеристик и определение параметров биполярных и полевых транзисторов.

#### 5.2. Порядок выполнения работы

5.2.1. Соберите схему для изучения семейства входных характеристик биполярного транзистора, приведенную на рис. 5.1. Выберите транзистор 2N2712 или другой по указанию преподавателя.

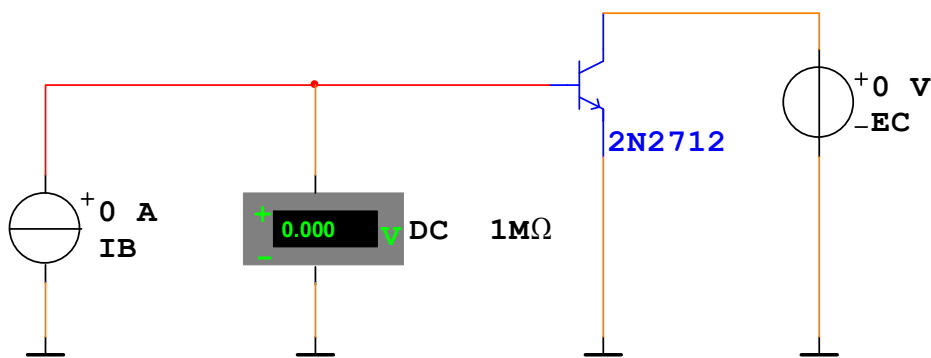


Рис. 5.1

5.2.2. Установите режим работы вольтметра на измерение постоянного напряжения (DC), выходное напряжение генератора EC – напряжение коллектор-эмиттер транзистора  $U_{кэ} = 0$  В. Изменяя выходной ток генератора тока IB – ток базы транзистора  $I_b$  от 0.06 мА до 1 мА, согласно верхней строке таблицы 5.1, запишите во вторую строку таблицы величины напряжения база-эмиттер  $U_{бэ}$  транзистора для указанных значений тока базы  $I_b$  при  $U_{кэ} = 0$  В.

5.2.3. Установите напряжение  $U_{кэ} = 10$  В. Действуя аналогично п. 5.2.2, запишите в третью строку таблицы величины напряжения база-эмиттер  $U_{бэ}$  для указанных значений тока базы при напряжении  $U_{кэ} = 10$  В.

Таблица 5.1

$U_{кэ}, \text{ В}$	$I_b, \text{ мА}$	0.06	0.1	0.3	0.5	0.75	1
0	$U_{бэ}, \text{ В}$						
10	$U_{бэ}, \text{ В}$						

5.2.4. Соберите схему для изучения семейства выходных характеристик транзистора, приведенную на рис. 5.2.

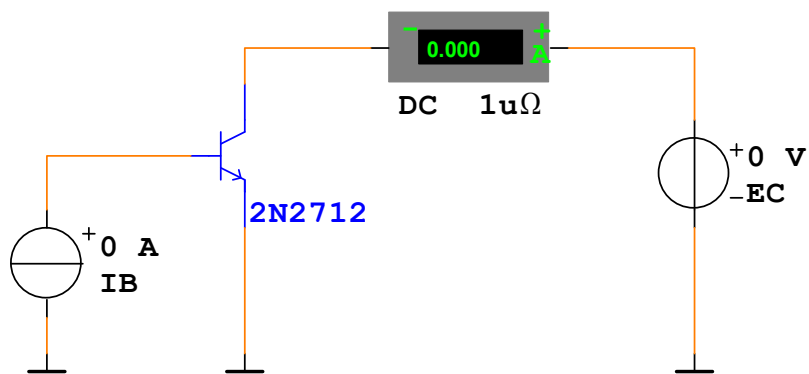


Рис. 5.2

5.2.5. Установите режим работы амперметра на измерение постоянного тока (DC), выходной ток генератора  $I_B$  – ток базы транзистора  $I_B = 0,02$  мА. Изменяя выходное напряжение генератора  $E_C$  – напряжение коллектор-эмиттер транзистора  $U_{кэ}$  от 0 до 15 В согласно верхней строке таблицы 5.1, запишите во вторую строку таблицы результаты измерений тока коллектора  $I_K$  при токе базы  $I_B = 0,02$  мА.

5.2.6. Действуя аналогично, повторите измерения п. 5.2.5 для других значений тока базы  $I_B$ , указанных в первом столбце таблицы.

Таблица 5.2

$I_B$ , мА	$U_{кэ}$ , В	0	0,2	0,5	1	2	5	10	15
0.02	$I_K$ , мА								
0.05	$I_K$ , мА								
0.10	$I_K$ , мА								
0.15	$I_K$ , мА								

5.2.7. Соберите схему для изучения семейства стокозатворных (передаточных) и стоковых (выходных) характеристик полевого МОП транзистора с n-каналом, изображенную на рис. 5.3. Выберите транзистор 2N7000 или другой по указанию преподавателя.

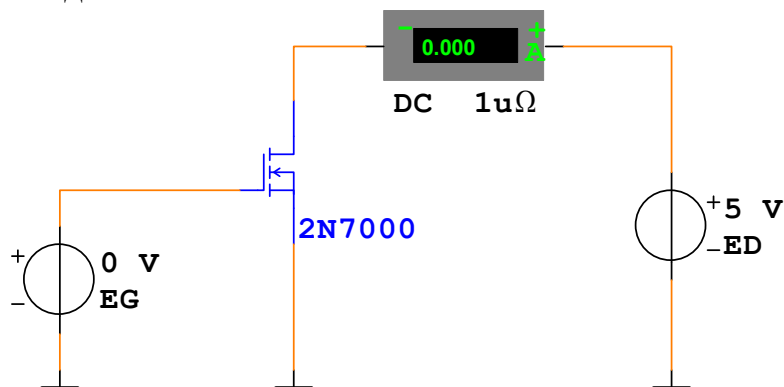


Рис.5.3

5.2.8. Установите режим работы амперметра на измерение постоянного тока (DC). Чтобы снять стокзатворные характеристики транзистора активизируйте схему. Затем, увеличивая выходное напряжения генератора EG – напряжение затвор-исток транзистора  $U_{зи}$ , определите пороговое напряжение  $U_{пор}$ , соответствующее току стока  $I_c \approx 10$  мкА, далее проведите измерения  $I_c$  при значениях  $U_{зи}$ , указанных в первой строке таблицы 5.3, и запишите результаты.

Таблица 5.3

$U_{си}$ , В	$U_{зи}$ , В	$U_{пор}$	$U_{пор} + 0,1В$	$U_{пор} + 0,2В$	$U_{пор} + 0,4В$	$U_{пор} + 0,7В$	$U_{пор} + 1В$
5	$I_c$ , мА						
10	$I_c$ , мА						

5.2.9. Установите выходное напряжение генератора ED – напряжение сток-исток транзистора  $U_{си} = 10$  В. Повторите измерения п.5.2.8.

5.2.10. Чтобы снять выходные характеристики полевого транзистора, установите напряжение  $U_{зи} = U_{пор} + 0,1В$ . Изменяя напряжение  $U_{си}$  от 0 до 10 В, согласно первой строке таблицы 5.4, запишите во вторую строку результаты измерений  $I_c$ .

Таблица 5.4.

$U_{зи}$ , В	$U_{си}$ , В	0	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10
$U_{пор} + 0,1В$	$I_c$ , мА								
$U_{пор} + 0,3В$	$I_c$ , мА								
$U_{пор} + 0,6В$	$I_c$ , мА								
$U_{пор} + 1В$	$I_c$ , мА								

5.2.11. Повторите измерения п.5.2.10 для других значений  $U_{зи}$ , указанных в первом столбце таблицы.

### 5.3. Обработка результатов измерений

5.3.1. Постройте на отдельных графиках семейства входных и выходных характеристик биполярного транзистора (2 графика). Масштабы по осям выберите так, чтобы полученные кривые заметно различались.

5.3.2. По входным характеристикам для рабочих участков ВАХ определите параметры  $h_{11}$  и  $h_{12}$  транзистора по следующим формулам:

$$h_{11} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_{бэ} = (U_{бэ2} - U_{бэ1}) / (I_{бэ2} - I_{бэ1}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const};$$

$$h_{12} = \Delta U_{бэ} / \Delta U_{кэ} = (U_{бэ2} - U_{бэ1}) / U_{кэ2} \text{ при } I_{бэ} = \text{const}.$$

5.3.3. Аналогично по выходным характеристикам определите параметры  $h_{21}$  и  $h_{22}$  транзистора по следующим формулам:

$$h_{21} = \Delta I_{кэ} / \Delta I_{бэ} = (I_{кэ2} - I_{кэ1}) / (I_{бэ2} - I_{бэ1}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const};$$

$$h_{22} = \Delta I_K / \Delta U_{KЭ} = (I_{K2} - I_{K1}) / (U_{KЭ2} - U_{KЭ1}) \text{ при } I_B = \text{const} .$$

5.3.4. Постройте на отдельных графиках семейства стокзатворных и выходных характеристик полевого транзистора (2 графика). Масштабы по осям выберите так, чтобы полученные кривые заметно различались.

5.3.5. На рабочих участках характеристик определите крутизну стокзатворной характеристики  $S$ , выходное сопротивление  $R_i$  и коэффициент усиления  $\mu$  по следующим формулам:

$$S = dI_c / dU_{зи} \text{ при } U_{си} = \text{const};$$

$$R_i = dU_{си} / dI_c \text{ при } U_{зи} = \text{const};$$

$$\mu = dU_{си} / dU_{зи} = SR_i .$$

#### 5.4. Содержание отчета

5.4.1. Цель работы.

5.4.2. Схемы для снятия характеристик.

5.4.3. Таблицы с результатами измерений.

5.4.4. Вольтамперные характеристики транзисторов.

5.4.5. Расчеты параметров.

5.4.6. Выводы.

#### 5.5. Контрольные вопросы

5.5.1. Устройство и принцип действия биполярных транзисторов.

5.5.2.  $h$ -параметры биполярных транзисторов и их определение по статическим характеристикам.

5.5.4. Устройство и принцип действия полевых транзисторов.

5.5.5. Параметры полевых транзисторов и их определение по статическим характеристикам.

## Лабораторная работа № 6

### Изучение транзисторного усилителя

#### 6.1. Цель работы

Исследование влияния режима работы резистивного транзисторного усилителя на параметры выходного сигнала. Изучение влияние емкостей схемы на АЧХ усилителя.

#### 6.2. Порядок выполнения работы

6.2.1. Соберите схему для исследования режима работы транзисторного усилителя, приведенную на рис.6.1.

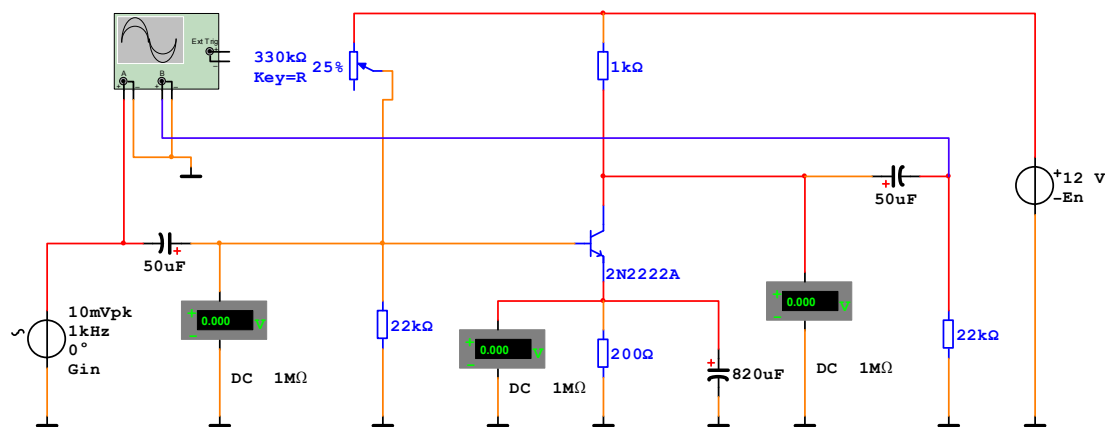


Рис.6.1

6.2.2. Установите частоту колебаний генератора входного напряжения усилителя  $G_{in} = 1$  кГц, амплитуду – 10 мВ, режим работы вольтметров на измерение постоянного напряжения (DC), сопротивление переменного резистора базового делителя 25%. Запишите величины постоянных напряжений на выводах транзистора и зарисуйте форму входного и выходного напряжения с экрана осциллографа в подходящих масштабах. Определите коэффициент усиления усилителя как отношение двойных амплитуд выходного и входного сигналов.

6.2.3. Повторите измерения для сопротивления переменного резистора базового делителя 15% и 100%. Сделайте выводы о влиянии режима работы транзистора на форму и амплитуду выходного напряжения усилителя.

6.2.4. Восстановите сопротивление переменного резистора 25%, а амплитуду напряжения генератора увеличьте до 100 мВ. Повторите измерения. Сделайте выводы.

6.2.5. Измените схему с целью изучения влияния на АЧХ усилителя емкостей разделительных конденсаторов и нагрузки, как показано на рис. 6.2.

6.2.6. Установите амплитуду напряжения генератора  $G_{in} = 10$  мВ, режим работы вольтметров – на измерение переменного напряжения (AC), сопротив-

ление переменного резистора – 25%. Установите емкость конденсатора  $C2 = 0$  мкФ,  $C1 = 50$  мкФ. Определите и запишите коэффициент усиления усилителя как отношение выходного и входного напряжения на частотах 0.1 кГц, 1 кГц и 10 кГц. Сделайте то же самое для  $C1 = 5$  мкФ и  $C1 = 1$  мкФ. Постройте на одном графике в логарифмическом масштабе по оси частот и амплитуд (в дБ) семейство из трех АЧХ для каждого значения емкости  $C1$ . Сделайте выводы о влиянии емкости разделительного конденсатора на АЧХ усилителя на различных частотах.

6.2.7. Установите емкость конденсатора  $C1 = 50$  мкФ,  $C2 = 0$  мкФ. Определите и запишите коэффициент усиления усилителя на частотах 0.1 кГц, 1 кГц и 10 кГц. Сделайте то же самое для  $C2 = 0.01$  мкФ и  $C2 = 0.05$  мкФ. Постройте на одном графике в логарифмическом масштабе по оси частот и амплитуд (в дБ) семейство из трех АЧХ для каждого значения емкости  $C2$ . Сделайте выводы о влиянии емкости нагрузки на АЧХ усилителя на различных частотах.

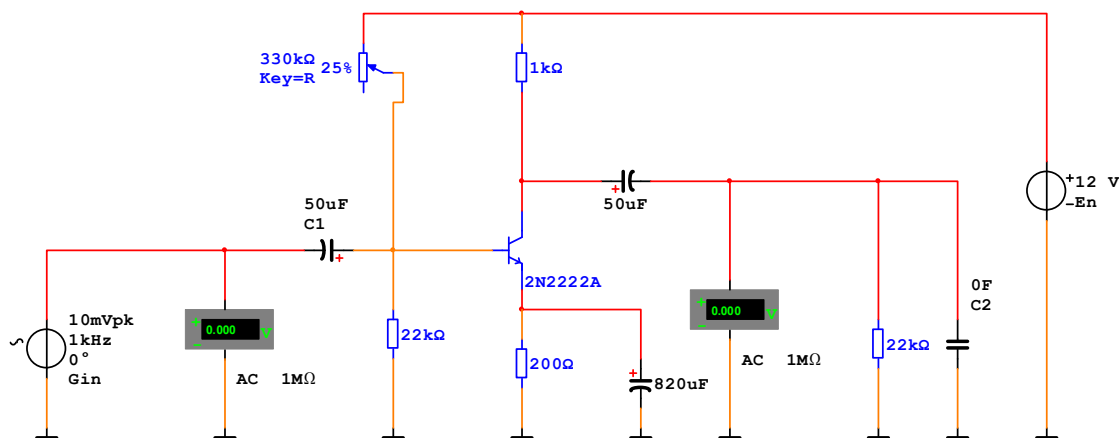


Рис. 6.2.

### 6.3. Содержание отчета

6.3.1. Цель работы.

6.3.3. Исследуемые схемы.

6.3.4. Полученные характеристики и параметры.

6.3.5. Выводы.

### 1.4. Контрольные вопросы

6.4.1. Что такое рабочая точка транзистора и как она задается?

6.4.2. Зачем необходима стабилизация рабочей точки?

6.4.3. Какие существуют способы стабилизации рабочей точки, какой способ используется в изучаемых усилителях?

6.4.4. Объясните изменение формы и амплитуды выходного сигнала при изменении сопротивления резистора базового делителя.

6.4.5. Сформулируйте условия, в общем случае необходимые для обеспечения усиления сигнала без искажений.

6.4.6. Как влияет емкость разделительного конденсатора на АЧХ усилителя в области низких частот, высоких частот?

6.4.7. Как влияет емкость нагрузки на АЧХ усилителя в области низких частот, высоких частот?

## Лабораторная работа № 7

### Изучение транзисторного усилителя с обратной связью

#### 7.1. Цель работы

Исследование влияния отрицательной обратной связи на основные параметры транзисторного усилителя.

#### 7.2. Порядок выполнения работы

7.2.1. Соберите схему для исследования транзисторного усилителя с возможностью подключения отрицательной обратной связи (ООС) по току, приведенную на рис.7.1. Верхнее положение переключателя «Space» (управляется клавишей «Пробел»), соответствует включенной ООС, нижнее - отключенной.

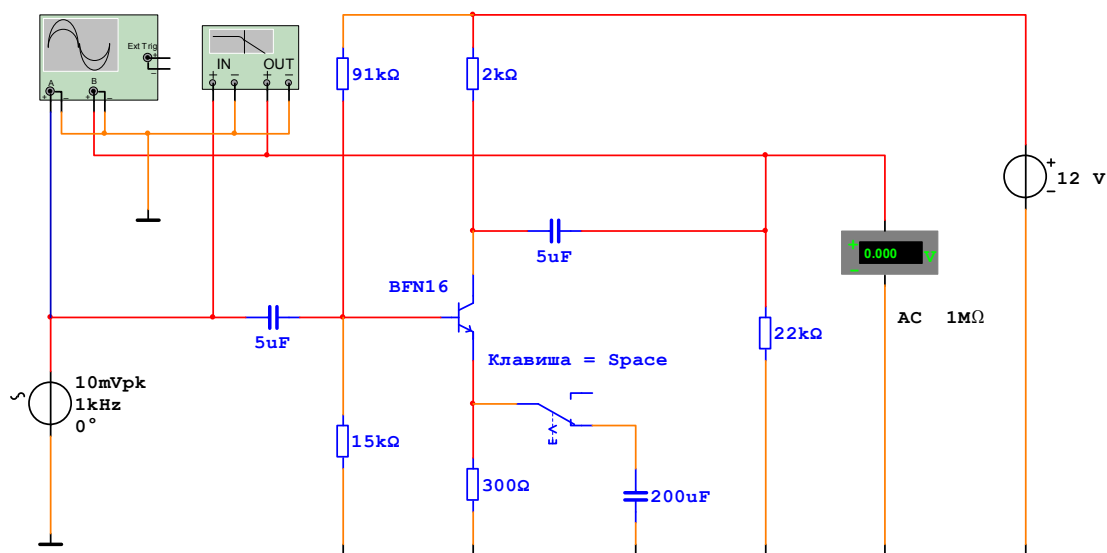


Рис. 7.1

7.2.2. Установите частоту выходного напряжения генератора 1 кГц, амплитуду - 10 мВ, режим работы вольтметра на измерение переменного напряжения (АС), масштаб по оси времени осциллографа - 200 мкс/дел, чувствительность канала А - 10 мВ/дел, канала В - 1 В/дел, диапазон частот индикатора частотных характеристик 1 Гц - 50 МГц, диапазон амплитуд - 0 - 50 дБ, масштаб по обеим осям - логарифмический.

7.2.3. Установите переключатель в нижнее положение (без ООС). Активизируйте схему, по показаниям вольтметра определите коэффициент усиления по напряжению, а также срисуйте АЧХ усилителя с экрана индикатора частотных характеристик. Определите верхнюю и нижнюю граничные частоты на уровне -3 дБ.

7.2.4. Переключите переключатель в верхнее положение (с ООС). Повторите действия п. 7.2.3., АЧХ срисуйте на тот же график. Сделайте выводы о



влиянии ООС на коэффициент усиления усилителя и диапазон усиливаемых частот.

7.2.5. Увеличьте амплитуду входного напряжения до 100 мВ. Настройте осциллограф так, чтобы изображение сигналов «входило» в экран наилучшим образом. Зарисуйте осциллограммы выходных напряжений для схем без ООС и с ООС. Сделайте выводы о влиянии ООС на нелинейные искажения.

7.2.6. Для схем без ООС и с ООС снимите по точкам амплитудные характеристики усилителя – зависимости  $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$ , результаты оформите в виде таблиц. Амплитуду входного сигнала изменяйте от нуля до уровня, при котором рост  $U_{\text{вых}}$  прекращается. Постройте обе амплитудные характеристики на одном графике. Сделайте выводы о влиянии ООС на диапазон входных напряжений.

### 7.3. Содержание отчета

7.3.1. Цель работы.

7.3.2. Исследуемая схема.

7.3.3. Полученные зависимости и параметры.

7.3.4. Выводы.

### 7.4. Контрольные вопросы

7.4.1. Что такое обратная связь в усилителе?

7.4.2. Какие виды обратных связей вы знаете?

7.4.3. Какая обратная связь применяется в исследуемой схеме, чему равен коэффициент обратной связи?

7.4.4. Как влияют обратные связи на основные параметры усилителя?

## Лабораторная работа № 8

### Изучение операционных усилителей

#### 8.1. Цель работы

Изучение устройств на операционных усилителях (ОУ).

#### 8.2. Порядок выполнения работы

8.2.3. Для снятия передаточной характеристики ОУ с ООС в схеме неинвертирующего усилителя соберите схему, приведенную на рис.8.2. Активизируйте схему. Изменяя входное напряжение ОУ и фиксируя значение выходного напряжения, снимите прямую ветвь передаточной характеристики. Необходимое количество измерений установите самостоятельно с учетом точного определения величины входного напряжения, соответствующего насыщению выходного напряжения. Измените полярность включения генератора входного напряжения и аналогично снимите обратную ветвь передаточной характеристики. Постройте передаточную характеристику ОУ и определите коэффициент усиления и рабочий диапазон входных и выходных напряжений.

8.2.4. Для снятия передаточной характеристики ОУ с ООС в схеме инвертирующего усилителя, соберите схему, приведенную на рис.8.3. Повторите измерения п.8.2.3. Постройте передаточную характеристику усилителя на том же графике и определите коэффициент усиления и рабочий диапазон входных и выходных напряжений. Сделайте выводы.

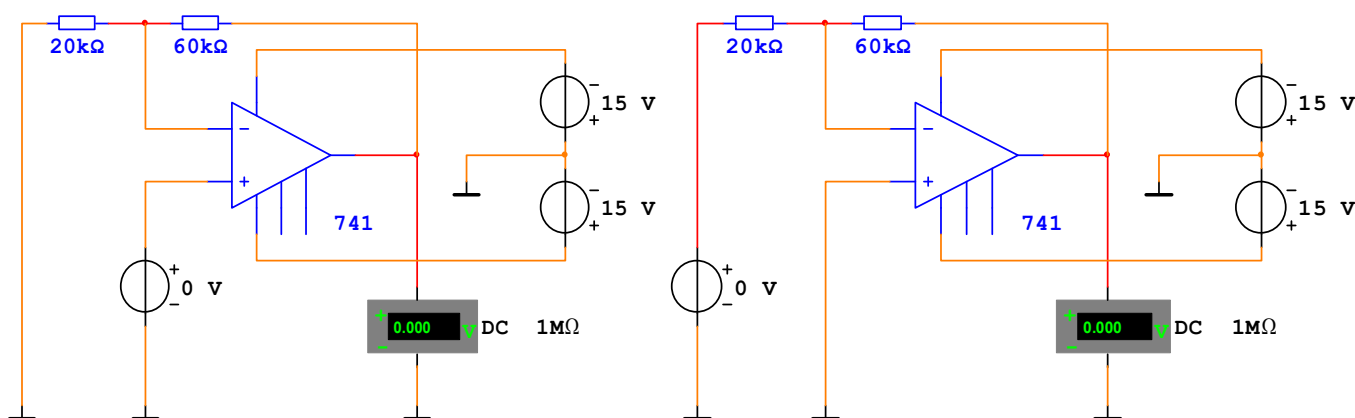


Рис.8.2

Рис.8.3

8.2.5. Соберите схему дифференциального усилителя на ОУ, приведенную на рис.8.4. Установите величину входного напряжения 0,1 В, а величину напряжения помехи на генераторе РР 0 В. Активизируйте схему, запишите величину выходного напряжения. Повторите измерения при напряжении помехи 5 В и 10 В. Сделайте выводы о влиянии сигнала помехи на выходное напряже-

ние усилителя.

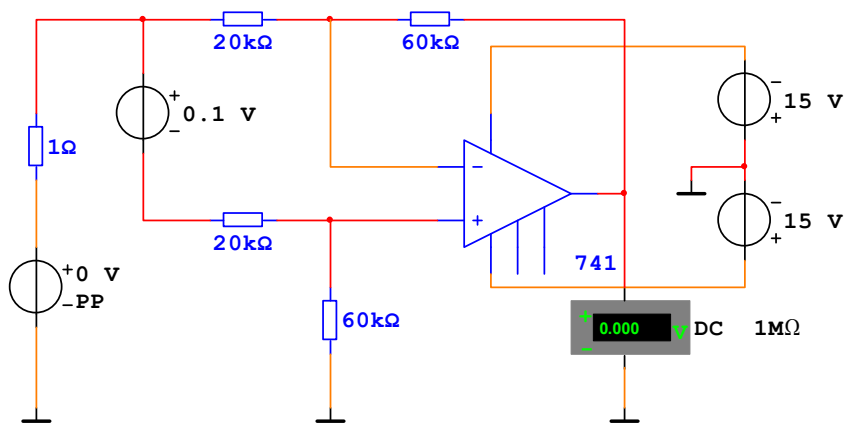


Рис.8.4

8.2.6. Соберите схему инвертирующего сумматора двух напряжений на ОУ, изображенную на рис.8.5. Величины входных напряжений  $V1$  и  $V2$  и сопротивления резисторов  $R1$ ,  $R2$  и  $R$  установите по указанию преподавателя (на схеме показаны условно). Проверьте работу схемы. Сделайте выводы.

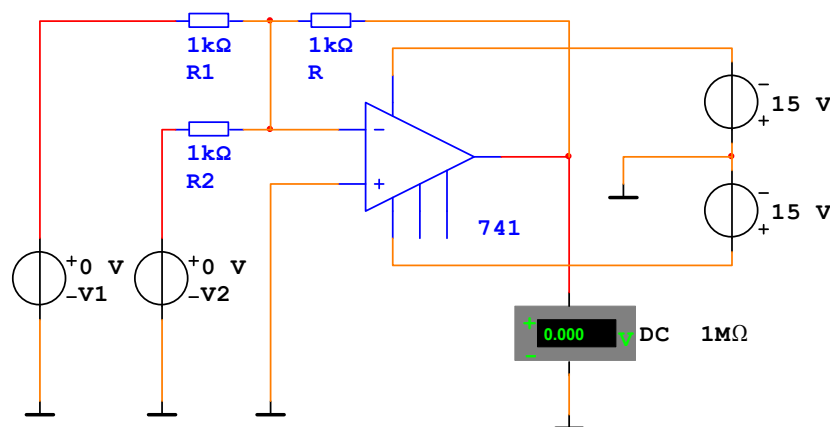


Рис.8.5

8.2.7. Соберите схемы инвертирующего интегратора и дифференциатора, изображенные на рис.8.6 и рис.8.7. Следует отметить, что резисторы 1 Мом и 5 кОм, включенные параллельно конденсатору интегратора и последовательно с конденсатором дифференциатора соответственно, необходимы только для корректной работы программы моделирования. Установите форму напряжения функционального генератора – прямоугольный импульс, частоту 1 кГц, амплитуду 100 мВ. Проверьте работу устройств и зарисуйте с экрана осциллографа временные зависимости входного и выходного напряжения. Сделайте выводы.

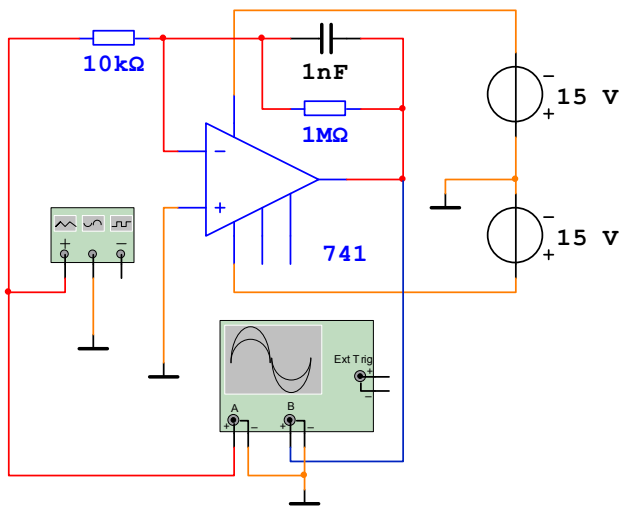


Рис.8.6

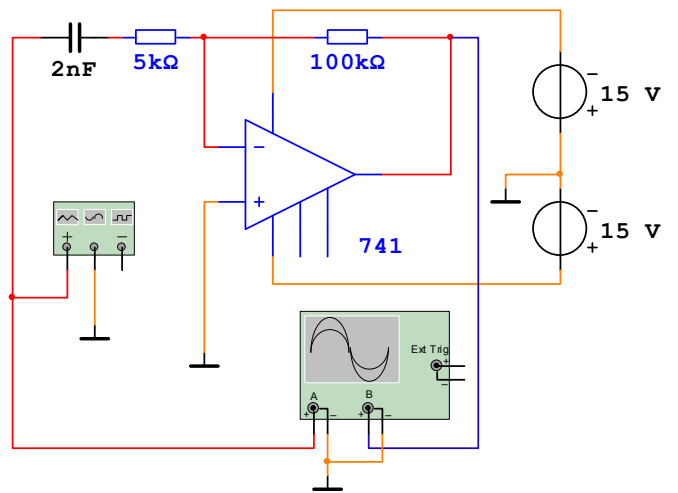


Рис.8.7

### 8.3. Содержание отчета

8.3.1. Цель работы.

8.3.2. Исследуемые схемы.

8.3.3. Полученные параметры и характеристики.

8.3.4. Выводы.

### 8.4. Контрольные вопросы

8.4.1. Дайте определение операционного усилителя (ОУ).

8.4.2. Приведите и определите основные параметры ОУ.

8.4.3. В чем отличие идеального ОУ от реального и в каких случаях ОУ можно рассматривать как идеальный?

8.4.4. Поясните ход передаточных характеристик ОУ и запишите выражения для коэффициентов передачи ОУ в различных схемах включения.

8.4.5. Поясните особенности применения ОУ в схеме дифференциального усилителя.

8.4.6. Объясните принцип работы инвертирующего сумматора на ОУ.

8.4.7. Объясните принцип работы инвертирующего интегратора на ОУ.

8.4.8. Объясните принцип работы инвертирующего дифференциатора на ОУ.

## Лабораторная работа № 9

### Изучение нелинейных устройств на операционных усилителях

#### 9.1. Цель работы

Изучение различных нелинейных устройств на операционных усилителях.

#### 9.2. Порядок выполнения работы

9.2.1. Для исследования логарифмирующего усилителя соберите схему, приведенную на рис.9.1.

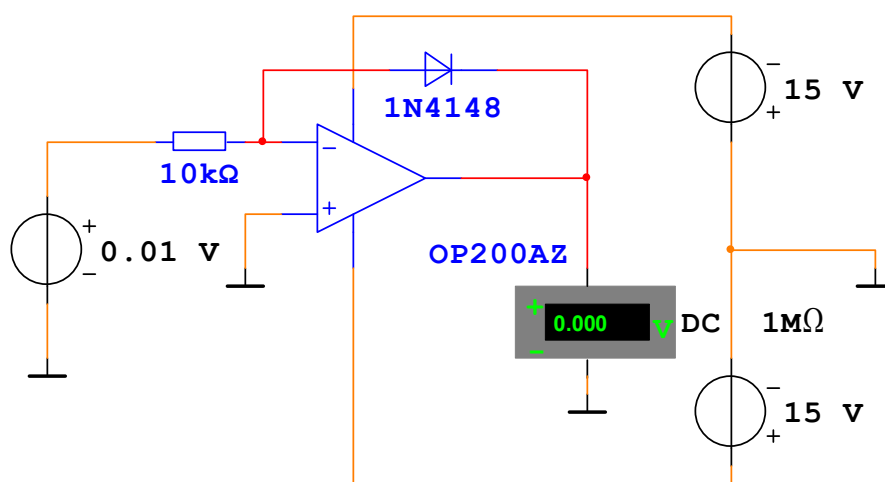


Рис.9.1

9.2.2. Исследуйте зависимость выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  от входного напряжения  $U_{\text{ВХ}}$  для значений  $U_{\text{ВХ}}$ , приведенных в таблице 9.1. Измените полярность входного напряжения  $U_{\text{ВХ}}$  путем отключения, переворота на 180 град. и последующего подключения генератора входного напряжения и повторите измерения для  $U_{\text{ВХ}} = -0,01$  В и  $-5$  В.

Таблица 9.1

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	-0.01	-5
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$								

9.2.3. Постройте зависимость выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  от входного напряжения  $U_{\text{ВХ}}$  в логарифмическом масштабе по горизонтальной оси для обеих полярностей входного напряжения  $U_{\text{ВХ}}$ . Рассчитайте коэффициенты  $A$  и  $B$  в уравнении для выходного напряжения логарифмирующего усилителя  $U_{\text{ВЫХ}} = A \cdot \text{Log}(U_{\text{ВХ}}) + B$  по двум точкам для  $U_{\text{ВХ}} = 0,05$  В и  $U_{\text{ВХ}} = 1$  В. Сделайте выводы.

9.2.4. Для исследования триггера Шмитта на операционном усилителе соберите схему, приведенную на рис. 9.2. Установите сопротивление резисторов R1 и R2 1 кОм, а сопротивление резистора R<sub>ос</sub> 10 кОм.

9.2.5. Установите форму выходного напряжения функционального генератора синусоида, амплитуду 5 В, частоту 10 Гц. Активизируйте схему и зарисуйте форму входного и выходного напряжений с экрана осциллографа. Определите значения напряжения срабатывания и отпускания триггера Шмитта и постройте зависимость выходного напряжения триггера Шмитта от входного. Сделайте выводы.

9.2.6. Измените сопротивление резистора R<sub>ос</sub> на 5 кОм и повторите измерения п.9.2.5. Сделайте выводы.

9.2.7. Преобразуйте схему триггера Шмитта в генератор прямоугольных импульсов, как показано на рис. 9.3.

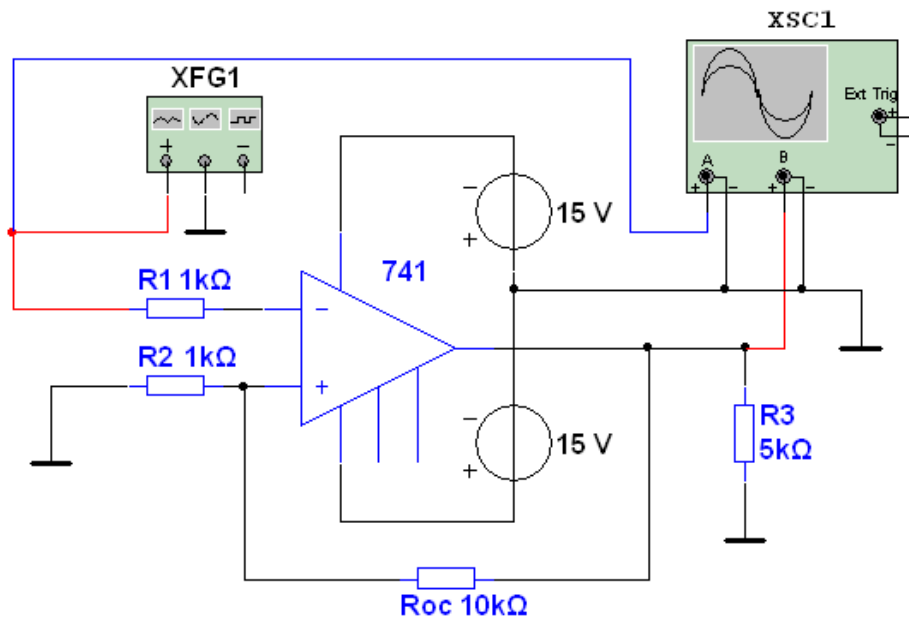
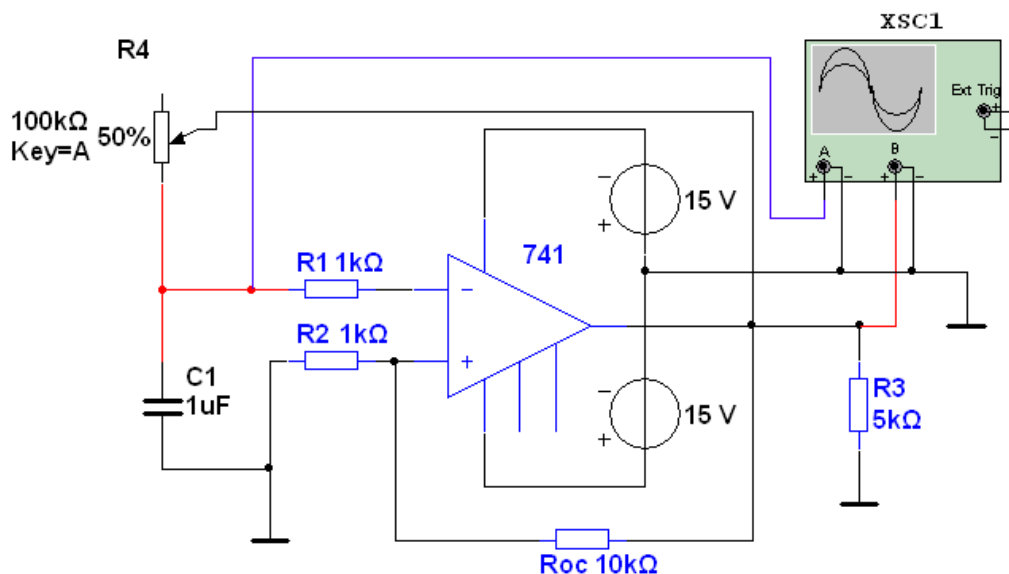


Рис.9.2



### Рис.9.3.

9.2.8. Установите сопротивление переменного резистора R4 50 %. Активизируйте схему и зарисуйте изображение с экрана осциллографа. Определите частоту и амплитуду колебаний. Изменяя сопротивление резистора R4 (10% и 90%), исследуйте его влияние на частоту и форму колебаний генератора. Сделайте выводы.

9.2.9. Измените сопротивление резистора R<sub>ос</sub> с 10 кОм на 5 кОм. Повторите измерения п.9.2.8. Сделайте выводы.

## 9.3. Содержание отчета

9.3.1. Цель работы.

9.3.2. Исследуемые схемы.

9.3.3. Полученные характеристики и результаты расчетов.

9.3.4. Выводы.

## 9.4. Контрольные вопросы

9.4.1. Принцип работы логарифмирующего усилителя.

9.4.2. Компаратор и его основные параметры.

9.4.3. Триггер Шмитта. Зависимость параметров триггера Шмитта от элементов схемы.

9.4.4. Генератор импульсов на основе триггера Шмитта. Принцип работы.

## Лабораторная работа № 10

### Изучение интегральных логических элементов (ЛЭ) КМОП

#### 10.1. Цель работы

Изучение статического и динамического режимов работы и проверка таблиц истинности ЛЭ КМОП.

#### 10.2. Порядок выполнения работы

10.2.1. Для исследования передаточной характеристики ЛЭ КМОП «НЕ» соберите схему, приведенную на рис.10.1. Изменяя напряжение источника входного сигнала  $U_{in}$  от 0 до 5 В, снимите передаточную характеристику логического элемента – зависимость выходного напряжения от входного и постройте ее график. Необходимое число измерений установите самостоятельно, обращая особое внимание на область перехода от единичного выходного уровня к нулевому. Сделайте выводы о ходе передаточной характеристики и значениях напряжений, соответствующих единичному и нулевому логическим уровням.

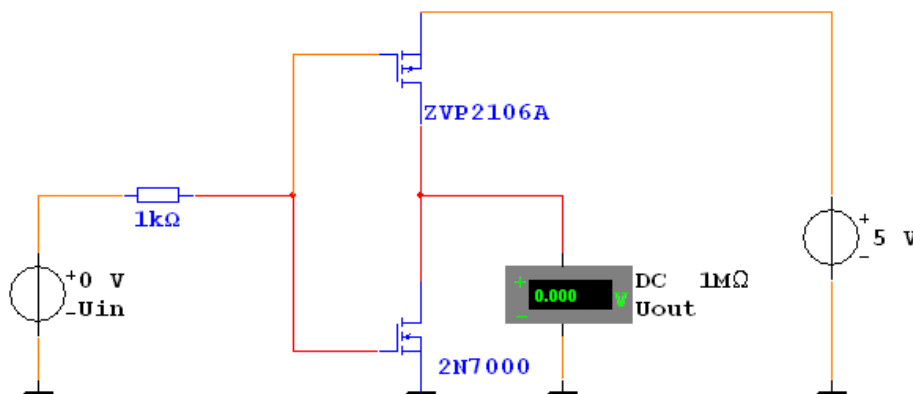


Рис.10.1

10.2.2. Для исследования динамической характеристики ЛЭ КМОП «НЕ» соберите схему, приведенную на рис.10.2. Установите выходное напряжение генератора прямоугольных импульсов 5 В, частоту 500 Гц, коэффициент заполнения (длительность) 50, масштаб по горизонтальной оси осциллографа 500 мкс/дел, по вертикальной 2 В/дел. Активизируйте схему. Для улучшения наглядности сместите график выходного сигнала вниз. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости входного и выходного сигналов.

10.2.3. Установите частоту входного сигнала 500 кГц. Установите масштаб по горизонтальной оси осциллографа 500 нс/дел. Повторите действия



п.10.2.2. Сделайте выводы о влиянии частоты сигнала на динамические характеристики ЛЭ.

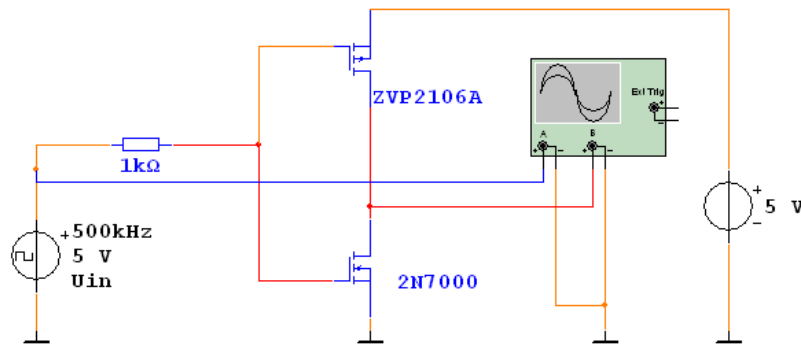


Рис.10.2

10.2.3. Для проверки таблицы истинности ЛЭ соберите схему, приведенную на рис. 10.3. Логические элементы берутся из библиотеки Misc Digital\TTL.

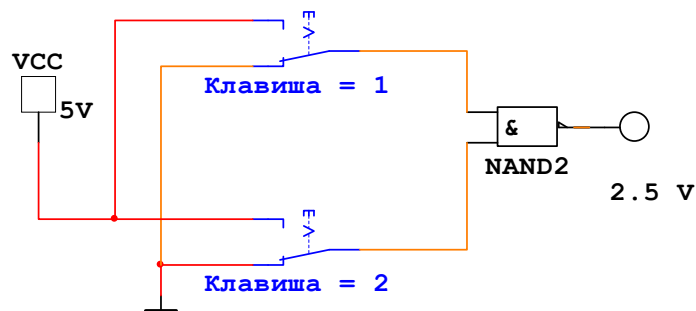


Рис.10.3

10.2.4. Составьте и заполните таблицу истинности ЛЭ 2И-НЕ (NAND2), подавая с помощью тумблеров [1] и [2] различные комбинации входных логических переменных (5 В соответствует логической единице, 0 В - логическому нулю) и по свечению индикатора определяя значения выходной функции (свечение - 1, нет свечения - 0).

10.2.5. Действуя аналогично п. 10.2.4, составьте и заполните таблицу истинности для ЛЭ НЕ (NOT – используется только тумблер [1]), И (AND2), ИЛИ (OR2), ИЛИ-НЕ (NOR2) для всех возможных комбинаций входных логических переменных. Сделайте выводы.

10.2.6. Для исследования ЛЭ в динамическом режиме соберите схему, изображенную на рис. 10.4.

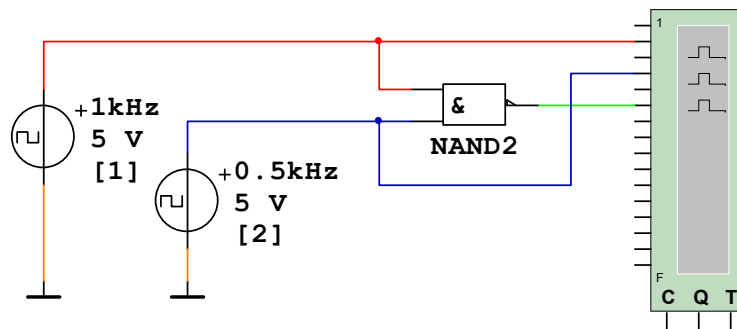


Рис.10.4

10.2.7. Установите амплитуду выходных импульсов генераторов 5 В, частоту генератора [1] 1000 Гц, частоту генератора [2] 500 Гц, развертку логического анализатора 6. Для лучшей наглядности отметьте провода, идущие к логическому анализатору различными цветами, а сам экран сделайте белым (кнопка «Экран»). Активизируйте схему и зарисуйте форму напряжений на входах и выходе ЛЭ.

10.2.8. Повторите действия пп. 10.2.6 – 10.2.7 для ЛЭ НЕ (используется только генератор [1]), И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ. Сделайте выводы.

### 10.3. Содержание отчета

10.3.1. Цель работы.

10.3.2. Исследуемые схемы.

10.3.3. Полученные характеристики и параметры.

10.3.4. Выводы.

### 10.4. Контрольные вопросы

10.4.1. Изобразите схему КМОП ключа и поясните его работу в различных режимах.

10.4.2. Приведите основные параметры логических элементов (ЛЭ) КМОП.

10.4.3. Изобразите принципиальные схемы интегральных ЛЭ КМОП И-НЕ и ИЛИ-НЕ.

# Лабораторная работа № 11

## Изучение интегральных триггеров

### 11.1. Цель работы

Проверка таблиц истинности и исследование работы интегральных триггеров в статическом и динамическом режимах.

### 11.2. Порядок выполнения работы

11.2.1. Для проверки работы RS триггера в статическом режиме соберите схему, изображенную на рис. 11.1.

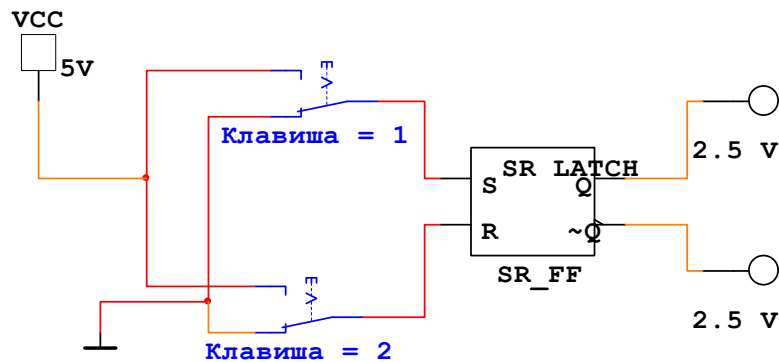


Рис.11.1

11.2.2. Составьте и заполните таблицу истинности для всех возможных комбинаций входных логических переменных и вариантов переключений с указанием режимов работы для RS триггера, затем сделайте то же самое для D-триггера (D\_FF), а также для J-K триггера (JK\_FF – при этом для подачи на тактовый вход С уровнями «0» и «1» установите третий переключатель). Сделайте выводы.

11.2.3. Для проверки работы D-триггера в счетном режиме соберите схему, изображенную на рис. 11.2.

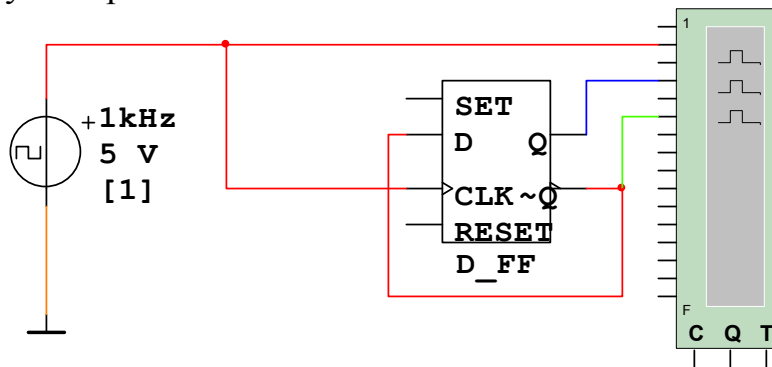


Рис. 11.2

11.2.4. Установите амплитуду выходных импульсов генератора 5 В, частоту 1000 Гц, развертку логического анализатора 6.

11.2.5. Активизируйте схему и зарисуйте форму напряжений на входах и выходах D триггера в счетном режиме. Сделайте выводы.

11.2.12. Повторите действия пп. 11.2.3 – 11.2.5 для J-K триггера в счетном режиме, для чего используйте ранее рассмотренный J-K триггер, на входы J и K которого подайте единичный уровень +5В, для чего установите в схему генератор V<sub>сс</sub>, а на вход С – сигнал от генератора прямоугольных импульсов.

### 11.3. Содержание отчета

11.3.1. Цель работы.

11.3.2. Исследуемые схемы.

11.3.3. Полученные таблицы истинности и временные диаграммы.

11.3.4. Выводы.

### 11.4. Контрольные вопросы

11.4.1. Какие типы триггеров вы знаете? Приведите графическое обозначение и дайте характеристику каждого типа триггера.

11.4.2. В чем отличие синхронного и асинхронного триггера?

11.4.3. В чем отличие триггеров со статическим, динамическим и двухступенчатым (M-S) управлением?

11.4.4. Как перевести в счетный режим D триггер и J-K триггер?

## Лабораторная работа №12

### Изучение счетчиков и регистров на триггерах

#### 12.1. Цель работы

Изучение работы различных счетчиков и регистров сдвига на триггерах.

#### 12.2. Порядок выполнения работы

12.2.1. Для исследования реверсивного асинхронного четырехразрядного двоичного счетчика соберите схему, изображенную на рис.12.1.

Для переключения счетчика из режима сложения в режим вычитания служит RS-триггер Up/Down, состоянием которого управляет переключатель “U”. Если он находится в верхнем положении, то счетчик работает в режиме суммирования, если в нижнем – в режиме вычитания. Состояние триггеров счетчика определяется по индикаторам, подключенным к прямым выходам триггеров. Свечение индикатора соответствует единичному состоянию триггера, отсутствие свечения – нулевому.

Для исследования работы счетчика в статическом режиме на вход С первого триггера подаются импульсы с инверсного выхода RS-триггера Count, управляемого переключателем “Space”. Переключатель “G” в это время должен находиться в левом по схеме положении. Красный индикатор индицирует состояние входного сигнала. В правом положении переключателя “G” на счетчик подается сигнал от генератора прямоугольных импульсов, при этом на экране логического анализатора можно наблюдать форму напряжения на входе и всех выходах счетчика. Поскольку в счетчике используются JK-триггеры с инверсными асинхронными входами предварительной установки, сброс триггеров счетчика производится переключателем “R”, который необходимо перевести в нижнее положение, а затем вернуть в верхнее.

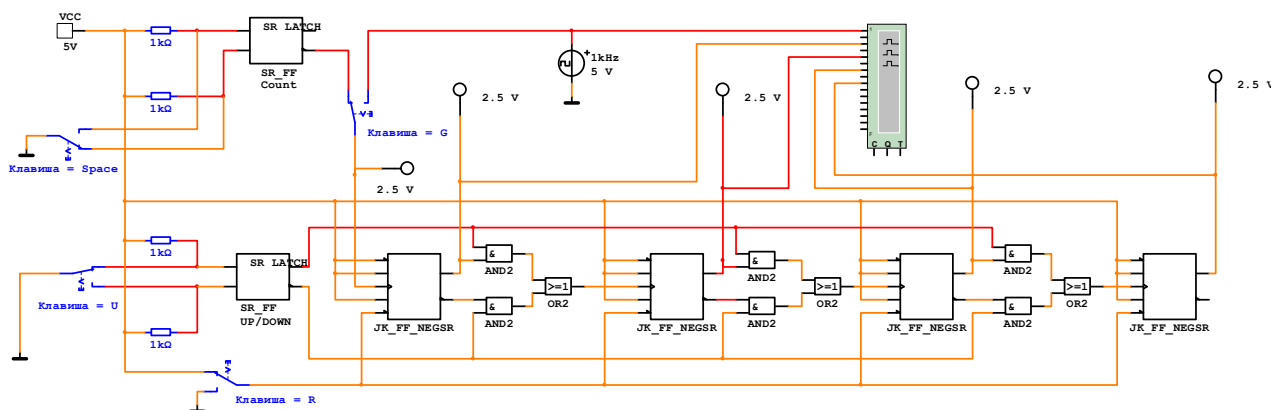


Рис. 12.1

12.2.2. Изучите работу счетчика в режиме суммирования. Для этого установите переключатель “U” в верхнее положение, затем, подавая на вход счет-

чика клавишей “Space” одиночные импульсы, определите по свечению выходных индикаторов состояния триггеров и заполните таблицу 1.

12.2.3. Проверьте работу счетчика в режиме вычитания, для чего переключатель “U” переведите в нижнее положение и повторите измерения п.12.2.2. Сделайте выводы.

12.2.4. Проверьте работу счетчика в динамическом режиме, для чего переключатель “G” переведите в правое положение. Установите тактовую частоту логического анализатора 10 кГц, кратность развертки 16. Получите и срисуйте с экрана логического анализатора временные диаграммы выходных сигналов счетчика в режиме суммирования и вычитания. Сделайте выводы.

12.2.5. Действуя аналогично п.12.2.2, соберите схему и исследуйте работу суммирующего счетчика по модулю 10, изображенную на рис.12.2. Обратите внимание, что в данном счетчике используются триггеры с прямым входом сброса “R”, поэтому сброс счетчика осуществляется кратковременной подачей на этот вход при помощи переключателя “R” логической единицы.

Таблица 1

N	Индикатор 1	Индикатор 2	Индикатор 3	Индикатор 4
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
...	...	...	...	...
15	1	1	1	1

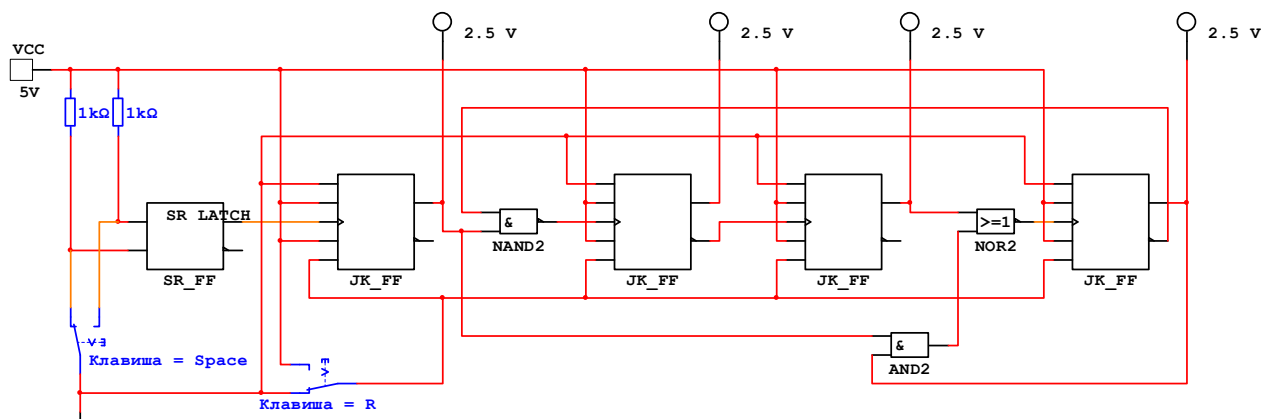


Рис.12.2.

12.2.6. Соберите схему универсального регистра сдвига, изображенную на рис. 12.3. Переключатели “А”, “В”, “С” служат для установки кода числа, которое можно записать в триггеры регистра (левое положение – 0, правое – 1). Для записи установленного числа нужно на короткое время перевести переключатель «2» в правое положение, а затем вернуть его обратно в левое. Переключатель «4» превращает регистр в кольцевой при сдвиге влево, «3» - при сдвиге вправо. RS –триггер, управляемый переключателем «1», служит для пе-

реключения сдвига влево – вправо. С помощью переключателя “Space” и такого же RS-триггера формируются тактовые импульсы для работы регистра.

12.2.7. Установите регистр в режим работы «Сдвиг вправо». Для этого переключатель “1” переведите в верхнее положение, а переключатели “3” и “4” - в нижнее.

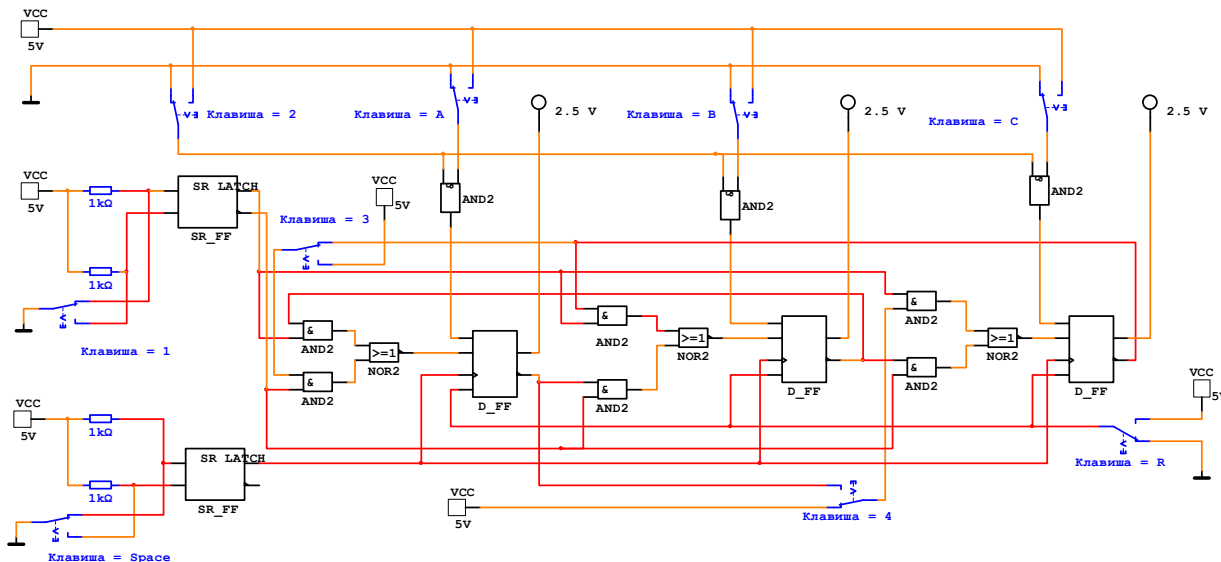


Рис. 12.3

Переключателями “А”, “В”, “С” установите некоторый код числа и запишите его в триггеры регистра, действуя переключателем “2”. Нажимая “Space” подавайте на регистр тактовые импульсы. Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2

N	Индикатор 1	Индикатор 2	Индикатор 3
0 (исходное состояние)			
1			
2			
...			
...			

12.2.8. Установите регистр в режим работы «Сдвиг влево». Для этого переключатели “1”, “3” и “4” - переведите в нижнее положение. Повторите действия п. 12.2.7. Сделайте выводы.

12.2.9. Установите регистр в режим работы «Кольцевой сдвиг вправо». Для этого переключатели “1” и “3” переведите в верхнее положение, а переключатель “4” - в нижнее. Повторите действия п. 12.2.7. Сделайте выводы.

12.2.10. Установите регистр в режим работы «Кольцевой сдвиг влево». Для этого переключатели “1” и “3” переведите в нижнее положение, а переключатель “4” - в верхнее. Повторите действия п. 12.2.7. Сделайте выводы.

### 12.3. Содержание отчета

12.3.1. Цель работы

12.3.2. Исследуемые схемы

12.3.3. Полученные результаты

12.3.4. Выводы.

### 12.4. Контрольные вопросы

12.4.1. Счетчики импульсов. Классификация и типы счетчиков.

12.4.2. Асинхронный (последовательный) счетчик. Схема, принцип действия, достоинства и недостатки.

12.4.3. Синхронный (параллельный) счетчик. Схема, принцип действия, достоинства и недостатки.

12.4.4. Реверсивные счетчики. Варианты схем, принцип действия.

12.4.5. Регистры сдвига. Основная схема, принцип действия.

12.4.6. Разновидности регистров (реверсивный, кольцевой, с параллельной записью). Схема, принцип действия.



## Лабораторная работа № 13

### Изучение генераторов импульсов на интегральных микросхемах и устройств на их основе

#### 13.1. Цель работы

Изучение генераторов импульсов и устройств на их основе на логических элементах и интегральных таймерах.

#### 13.2. Порядок выполнения работы

13.2.1. Соберите схему для исследования генератора импульсов на логических инверторах, изображенную на рис. 13.1.

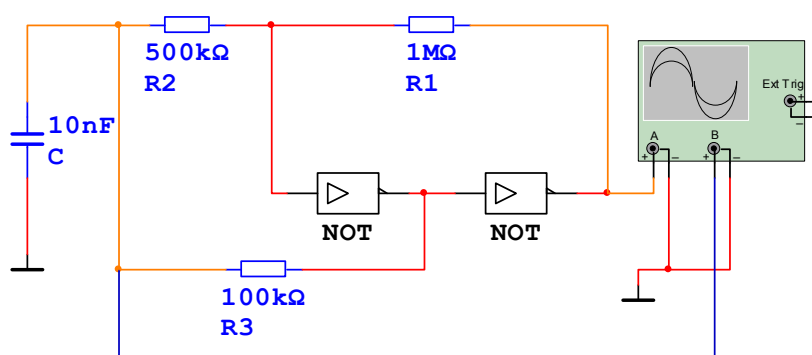


Рис.13.1

13.2.2. Активизируйте схему. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжений на выходе схемы и времязадающем конденсаторе. Определите параметры выходных импульсов при сопротивлении резисторов и емкости конденсатора, указанных в таблице 13.1. Сделайте выводы.

Таблица 13.1.

R1, МОм	1.0	0.5	2.0	1.0	1.0
R3, кОм	100	100	100	50	100
C, мкФ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05

13.2.3. Для исследования простейшего генератора импульсов на интегральном таймере NE555 соберите схему, изображенную на рис. 13.2.

13.2.4. Активизируйте схему. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжений на выходе схемы и времязадающем конденсаторе, а также определите параметры выходных импульсов. Рассчитайте длительность и частоту выходных импульсов по формулам и сравните полученные значения с измеренными. Повторите измерения при других значениях сопротивления резистора и емкости конденсатора (3 – 4 значения). Сделайте выводы.

13.2.5. Измените напряжение источника питания на 12 Вольт. Повторите действия п. 13.2.4. для одного набора величин сопротивления резистора и емкости конденсатора. Сделайте выводы.

13.2.6. Для исследования преобразователя напряжения в частоту на интегральном таймере NE555 соберите схему, изображенную на рис. 13.3.

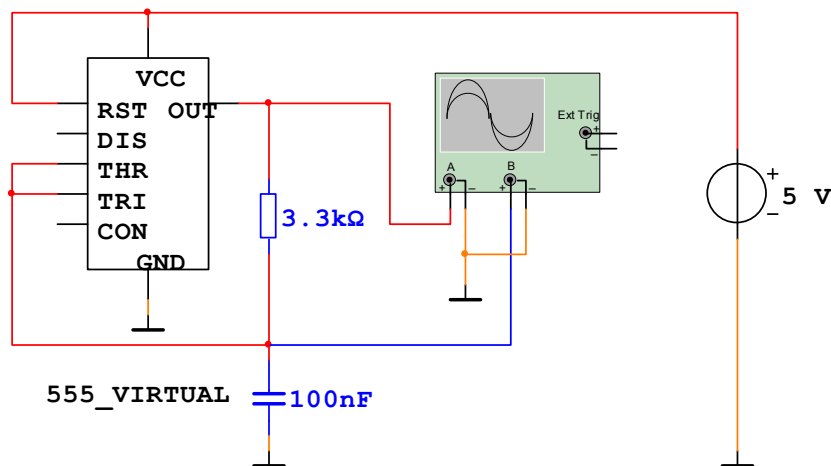


Рис.13.2

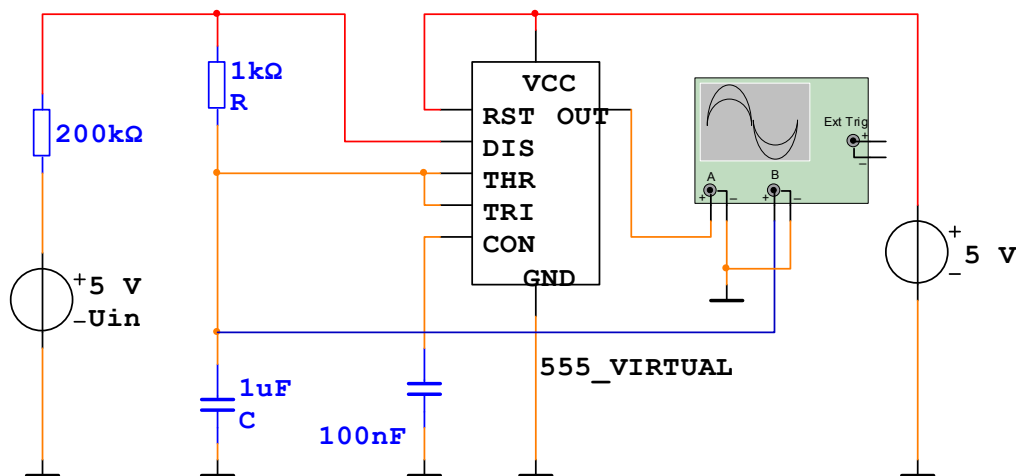


Рис.13.3

13.2.7. Активизируйте схему. Срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжения на выходе схемы и времязадающем конденсаторе С. Определите частоту выходного напряжения. Проведите измерения частоты выходного сигнала при входном напряжении  $U_{in} = 5 \text{ В}$ ,  $10 \text{ В}$ ,  $15 \text{ В}$  и т.д. до  $50 \text{ В}$ . Постройте зависимость частоты выходного сигнала от величины входного напряжения. Сделайте выводы.

13.3. Содержание отчета.

13.3.1. Цель работы.

13.3.2. Исследуемые схемы.

13.3.3. Полученные характеристики и параметры генераторов, расчеты и их результаты.

13.3.4. Выводы.

13.4. Контрольные вопросы

13.4.1. Объясните принцип работы исследуемых схем генераторов импульсов.

13.4.2. От чего зависят параметры выходных импульсов генераторов и как можно управлять этими параметрами?

13.4.3. В чем достоинства и недостатки рассмотренных схем генераторов?

13.4.4. Объясните принцип работы схемы преобразователя напряжения в частоту на интегральном таймере NE555 и предложите варианты ее использования.

## Лабораторная работа № 14

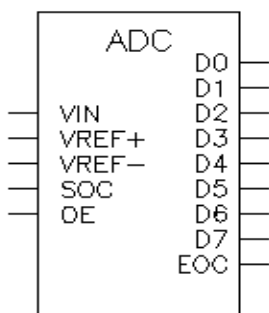
### Изучение аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП) преобразователей

#### 14.1. Цель работы

Знакомство с принципами действия и особенностями использования АЦП и ЦАП. Определение основных параметров АЦП и ЦАП.

#### 14.2. Порядок выполнения работы

14.2.1. Ознакомьтесь с условным обозначением и назначением выводов АЦП (ADC), приведенным на рис.14.1.



VIN аналоговый вход;  
VREF+ положительный полюс источника опорного напряжения;  
VREF- отрицательный полюс источника опорного напряжения;  
SOC сигнал запуска (тактовый импульс);  
OE сигнал разрешения преобразования;  
D0-D7 цифровые выходы;  
EOC сигнал конца преобразования.

Рис.14.1

14.2.2. Для изучения АЦП соберите схему, приведенную на рис.14.2.

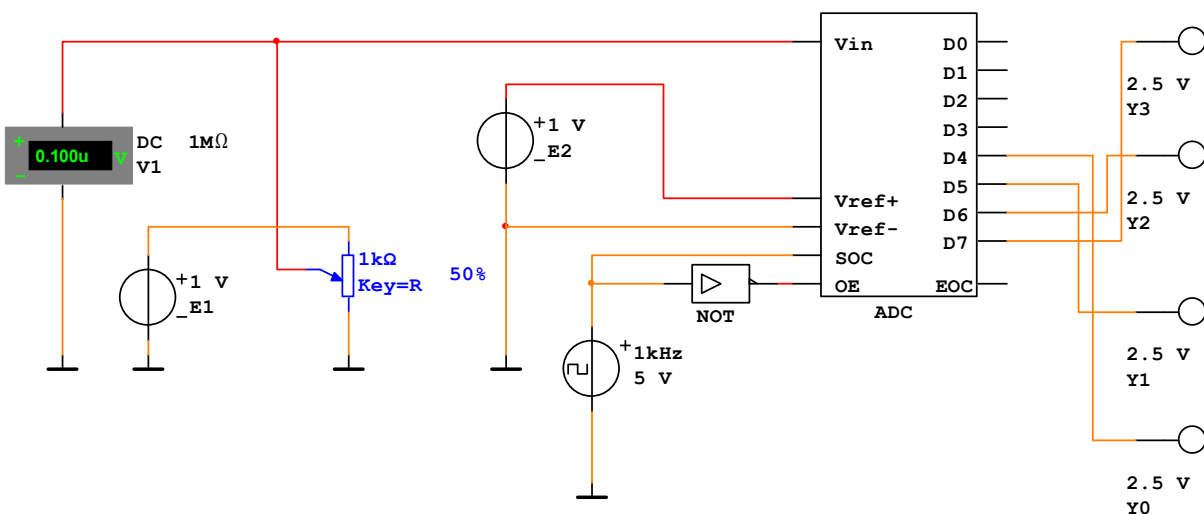


Рис.14.2

**Примечание.** Обратите внимание, что для работы восьмиразрядного АЦП в режиме четырехразрядного используются **четыре старшие бита** выходного кода D7-D4, образующие соответственно цифровые выходы Y3 – Y0, в связи с чем появляется систематическая ошибка преобразования, равная половине входного напряжения, соответствующего единице младшего разряда (ЕМР). Для нормальной работы АЦП сигналы на выводах SOC и OE должны быть противофазны, и для этого в схему включен инвертор NOT.

Генератор E1 и переменный резистор R (приращение 1%) служат для подачи и установки входного напряжения АЦП. Генератор E2 является источником опорного напряжения. Генератор прямоугольных импульсов 1 кГц вырабатывает импульсы запуска (тактовые импульсы). Вольтметр V1 измеряет входное напряжение АЦП  $U_{вх}$ , индикаторы Y0-Y3 показывают логические уровни в соответствующих разрядах на выходе АЦП.

14.2.3. Установите входное напряжение  $U_{вх}=0$  ( $R=0\%$ ). Нажимая клавишу R, плавно увеличивайте сопротивление резистора R. Зафиксируйте значение  $U_{вх}$  в момент загорания индикатора Y0, соответствующее кодовой комбинации 0001. Результаты измерения  $U_{вх}$  занесите в таблицу 14.1.

Таблица 14.1

$U_{вх}$	Код на выходе	$U_{расч}$	$\Delta U$	$\Delta U\%$
0	0000			
	0001	1h		
	0010	2h		
---	---	---	---	---
	1111	15h		

14.2.4. Действуя аналогично, занесите в таблицу значения входных напряжений для остальных кодовых комбинаций вплоть до 1111.

14.2.5. Вычислите величину входного напряжения h, соответствующую единице младшего разряда по формуле

$$1h = U_{вх \max} / 15 ,$$

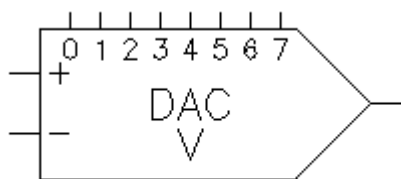
где  $U_{вх \max}$  - входное напряжение, соответствующее кодовой комбинации 1111.

Определите  $U_{расч}$  для каждой кодовой комбинации и занесите в таблицу. Для каждого значения  $U_{расч}$  рассчитайте абсолютную и относительную погрешности преобразования по формулам

$$\Delta U = U_{расч} - U_{вх} ; \quad \Delta U\% = |\Delta U| / U_{расч} * 100\% .$$

Результаты занесите в таблицу. По данным таблицы постройте в виде графика характеристику преобразования АЦП - зависимость выходного кода от  $U_{вх}$ .

14.2.6. Ознакомьтесь с условными обозначением и назначением выводов ЦАП (DAC), приведенными на рис.14.3.



+ положительный полюс источника опорного напряжения;  
 – отрицательный полюс источника опорного напряжения;  
 0-7 цифровые входы; >– аналоговый выход.

Рис.14.3

14.2.7. Соберите схему для изучения ЦАП, приведенную на рис.14.4. Переключатели [0] - [3] используются для задания кодовых комбинаций на входе ЦАП (верхнее положение - 1, нижнее - 0), генератор E1 – источник опорного напряжения (ИОН), вольтметр V1 показывает величину выходного напряжения.

14.2.8. Установите переключатели в положение, соответствующее кодовой комбинации 0000 и запишите в таблицу 14.2 соответствующее значение выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$ .

14.2.9. Действуя аналогично, занесите в таблицу значения выходных напряжений, соответствующие остальным кодовым комбинациям на входах ЦАП вплоть до 1111.

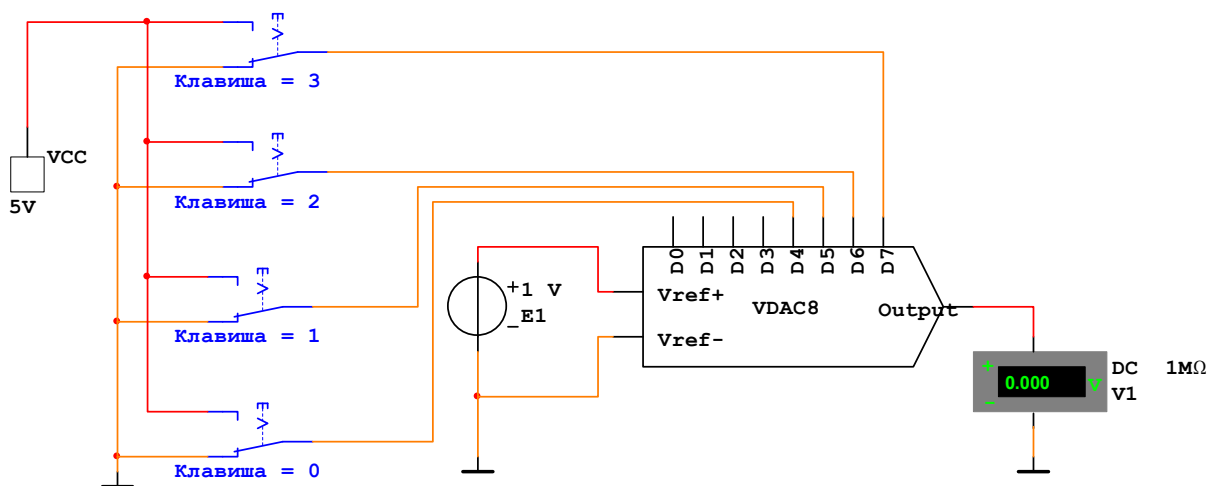


Рис.14.4

Таблица 14.2

Код на входе	$U_{\text{вых}}$	$U_{\text{расч}}$	$\Delta U$	$\Delta U\%$
0000		0		
0001		1h		
---	---	---	---	---
1111		15h		

Определите величину выходного напряжения, соответствующую единице младшего разряда по формуле

$$h = U_{\text{вых max}} / 15 ,$$

где  $U_{\text{вых max}}$  - выходное напряжение, соответствующее кодовой комбинации 1111.

Определите  $U_{\text{расч}}$  для каждой кодовой комбинации и занесите в таблицу. Рассчитайте для каждого значения  $U_{\text{расч}}$  абсолютную и относительную погрешности преобразования по формулам

$$\Delta U = U_{\text{расч}} - U_{\text{вых}} ; \quad \Delta U\% = |\Delta U| / U_{\text{расч}} * 100\% .$$

Результаты занесите в таблицу. По данным таблицы постройте в виде графика характеристику преобразования ЦАП - зависимость выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  от входного кода.

14.2.10. Для изучения совместной работы АЦП и ЦАП при переменном входном напряжении и зависимости погрешности преобразования от частоты тактового генератора соберите схему, приведенную на рис.14.5. Включение двух источников опорного напряжения E1 и E2, присоединенных к схеме подобным образом, дает возможность произвести сдвиг уровня входного двухполярного напряжения и выполнить аналого-цифровое преобразование полученного однополярного сигнала.

14.2.11. Установите форму выходного напряжения функционального генератора - синусоида, амплитуду - 1В. Активизируйте схему. Зарисуйте осциллограммы напряжений входного и выходного сигналов для следующих значений частоты тактового генератора: 5 кГц, 10 кГц, 20 кГц, 50 кГц. Сделайте выводы.

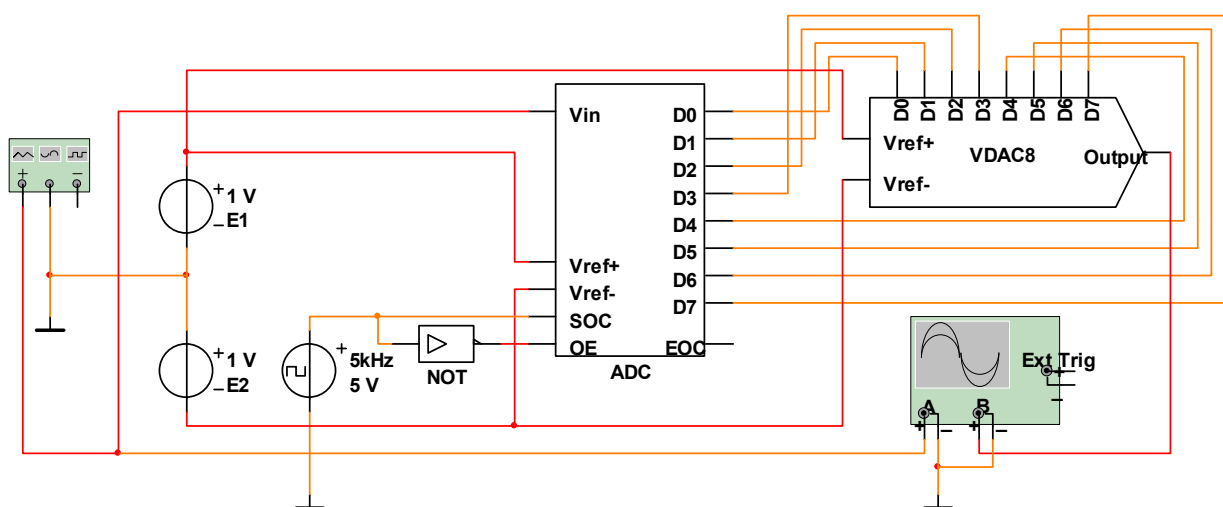


Рис.14.5

### 14.3. Содержание отчета

- 14.3.1. Цель работы.
- 14.3.2. Исследуемые схемы.
- 14.3.3. Результаты измерений в виде таблиц и графиков.
- 14.3.4. Выводы.

#### 14.4. Контрольные вопросы

- 14.4.1. Дайте определение АЦП и ЦАП и изобразите их обозначения с указанием выводов.
- 14.4.2. Дайте определение основных параметров АЦП и ЦАП.
- 14.4.3. Изобразите характеристики преобразования АЦП и ЦАП.
- 14.4.4. Приведите примеры схемных реализаций АЦП и ЦАП.
- 14.4.5. Как практически определяются погрешности АЦП и ЦАП?



## Лабораторная работа № 15

### Изучение выпрямителей и стабилизаторов напряжения

#### 15.1. Цель работы

Изучение различных схем выпрямителей и линейных стабилизаторов напряжения.

#### 15.2. Порядок выполнения работы

15.2.1. Для исследования двухполупериодного выпрямителя со средней точкой соберите схему, приведенную на рис.15.1. Активизируйте схему. Запишите показания вольтметров, а также срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости входного и выходного напряжений. Повторите измерения при емкостях конденсатора  $C$  100 мкФ и 2000 мкФ. Сделайте выводы о работе данного выпрямителя и емкостного фильтра.

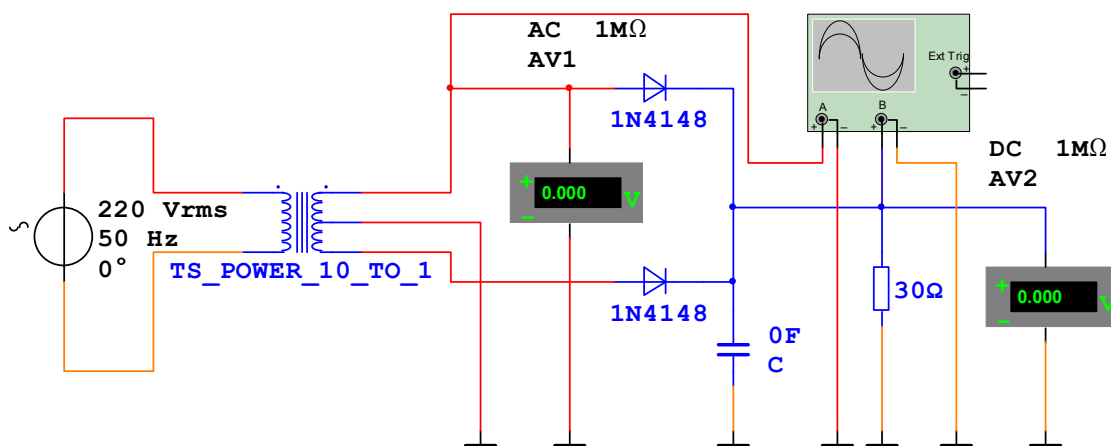


Рис.15.1

15.2.2. Для исследования двухполупериодного мостового выпрямителя соберите схему, приведенную на рис.15.2. Повторите измерения п.15.2.1. Сделайте выводы в плане сравнения рассмотренных схем.

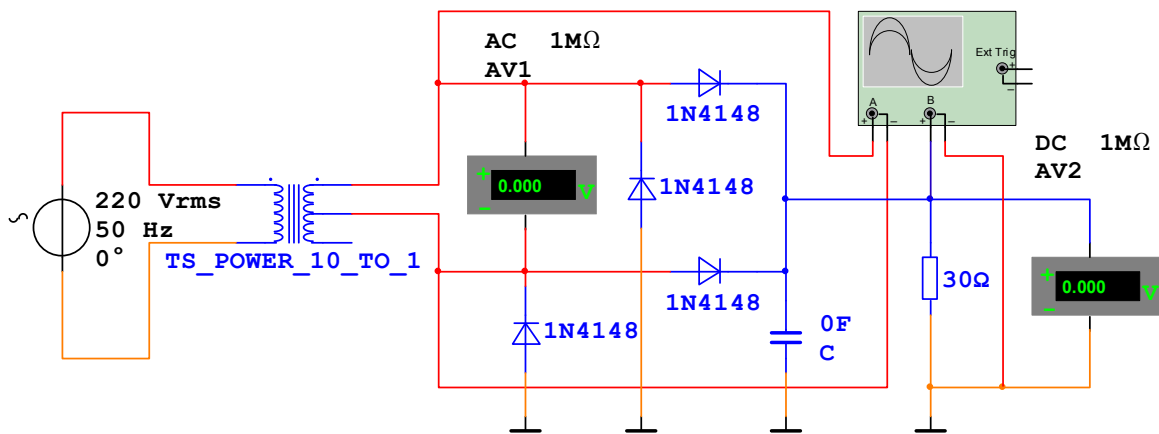


Рис.15.2

15.2.3. Для исследования индуктивного фильтра в последней схеме установите емкость конденсатора С 100 мкФ. Включите между конденсатором С и нагрузкой выпрямителя последовательно соединенные индуктивность 100 мГ и резистор 6 Ом (реальная величина омического сопротивления катушки с такой индуктивностью). Отсоедините вход канала А осциллографа от трансформатора и подсоедините его к конденсатору фильтра С. Активизируйте схему. Запишите показания вольтметров, а также срисуйте с экрана осциллографа временные зависимости напряжений на входе и выходе индуктивного фильтра. Повторите измерения при величине индуктивности 500 мГ, и сопротивлении резистора 20 Ом. Сделайте выводы о работе индуктивного фильтра.

15.2.4. Для исследования параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне соберите схему, приведенную на рис.15.3.

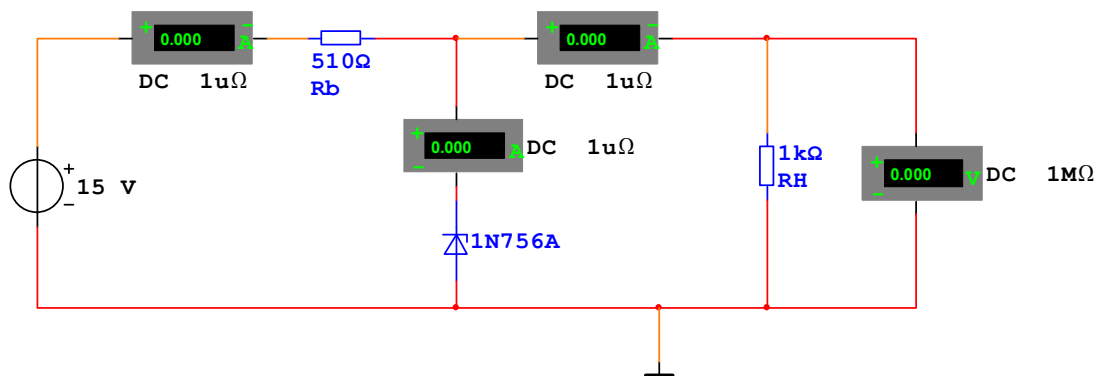


Рис.15.3

15.2.5. Активизируйте схему. Запишите показания измерительных приборов. Повторите измерения при следующих значениях сопротивления нагрузки:  $R_H$  1.6 кОм, 2.4 кОм и  $\infty$  (1 МОм). Постройте нагрузочную характеристику стабилизатора – зависимость выходного напряжения от тока нагрузки.

15.2.6. Определите выходное сопротивление стабилизатора при изменении сопротивления нагрузки  $R_H$  от  $R_1 = 1$  кОм до  $R_2 = 1.6$  кОм по формуле

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_1 R_2 (U_2 - U_1) / (U_1 R_2 - U_2 R_1),$$

где  $U_1$  – выходное напряжение при  $R_H = R_1$ ,  $U_2$  – выходное напряжение при  $R_H = R_2$ ,

15.2.7. Измените входное напряжение на 18 В. Для сопротивления нагрузки 1 кОм проведите измерения и определите коэффициент стабилизации по формуле

$$K_{\text{СТ}} = (\Delta U_{\text{ВХ}} / U_{\text{ВХ ср}}) / (\Delta U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ ср}}),$$

где  $\Delta U_{\text{ВХ}} = 18 - 15 = 3$  (В),  $U_{\text{ВХ ср}} = (18 + 15) / 2 = 16.5$  (В),

$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 18\text{В}) - U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 15\text{В})$ ,

$U_{\text{ВЫХ ср}} = (U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 18\text{В}) + U_{\text{ВЫХ}}(\text{при } U_{\text{ВХ}} = 15\text{В})) / 2$ .

15.2.8. Рассчитайте КПД стабилизатора для сопротивлений нагрузки 1 кОм и 1.6 кОм при входном напряжении 15 В и сопротивления нагрузки 1 кОм при входном напряжении 18 В. Сделайте выводы о зависимости параметров стабилизатора от величин входного напряжения и сопротивления нагрузки.

15.2.9. Для исследования компенсационного стабилизатора напряжения на операционном усилителе соберите схему, приведенную на рис.15.4.

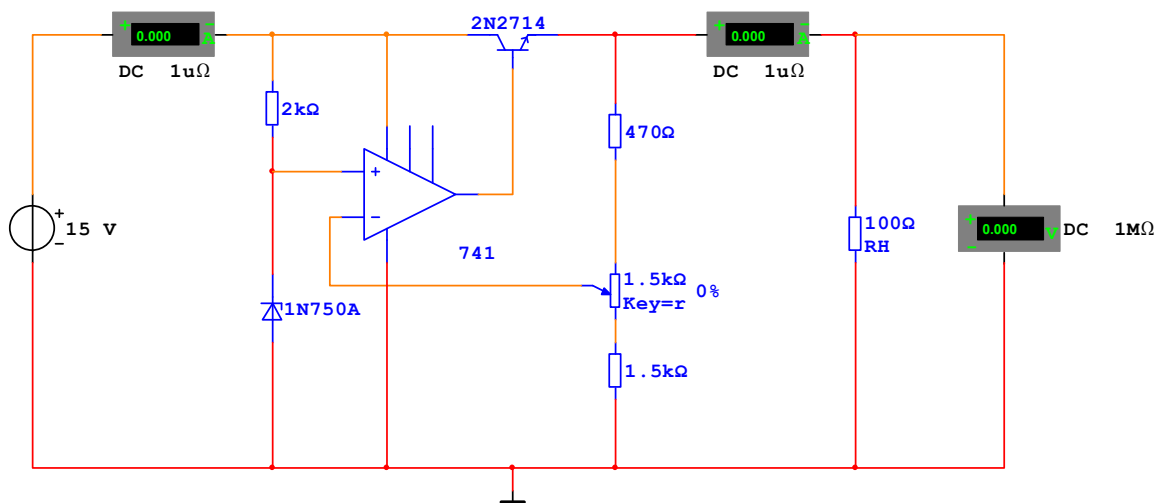


Рис.15.4

15.2.10. Проведите измерения и расчеты аналогично пп. 15.2.6 – 15.2.8 для сопротивлений нагрузки  $R_H$  100 Ом и 160 Ом при сопротивлениях переменного резистора  $\text{Key}=\text{r}$ , соответствующих 0% и 100% (всего 6 измерений). Сделайте выводы о зависимости параметров стабилизатора от величин входного и выходного напряжения и сопротивления нагрузки.

15.2.11. В последней схеме отсоедините верхний вывод резистора 2 кОм, включенного последовательно со стабилитроном, от входа стабилизатора, и подсоедините его на выход стабилизатора (к эмиттеру транзистора – регулирующего элемента). Проведите измерения и расчеты как в предыдущем случае. Сделайте выводы.

### 15.3. Содержание отчета.

15.3.1. Цель работы.

15.3.2. Исследуемые схемы.

15.3.3. Полученные характеристики и параметры выпрямителей и стабилизаторов.

15.3.4. Выводы.

### 15.4. Контрольные вопросы

15.4.1. Приведите основные параметры изученных схем выпрямителей.

15.4.2. В чем состоят достоинства и недостатки рассмотренных схем?

15.4.3. Объясните принципы работы емкостного и индуктивного фильтров.

15.4.5. Приведите основные параметры стабилизаторов напряжения.

15.4.6. Объясните принципы работы параметрического стабилизатора напряжения.

15.4.7. Объясните принципы работы компенсационного стабилизатора напряжения.

15.4.8. Дайте сравнительную характеристику рассмотренных схем стабилизаторов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марченко А.Л. Основы электроники. Учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2008.
2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника. – Ростов на Дону: «Феникс», 2009.
3. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств.– М.: Издательский дом«Додэка-XXI», 2009.– 528 с.

*Учебное пособие*

Геннадий Львович Штрапенин

**Электротехника и электроника**

Методическое руководство к лабораторным работам

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, УрГУПС  
Редакционно-издательский отдел.

---