

## **СХЕМОТЕХНИКА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине  
«Схемотехника электронных устройств» для студентов дневной формы  
обучения, обучающихся по направлениям: 11.03.01 Радиотехника, 11.03.02  
Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 11.03.03  
Конструирование и технология электронных средств, а также по специальности  
11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Составитель: Тепляков А.П.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Интерфейс программного комплекса Multisim .....	4
Правила выполнения работ .....	6
Лабораторная работа № 1. Исследование резисторных каскадов предварительного усиления .....	7
Лабораторная работа № 2. Исследование усилителей с обратной связью .....	14
Лабораторная работа № 3. Исследование усилителя с мощным двухтактным выходным каскадом .....	20
Лабораторная работа № 4. Исследование усилительных каскадов на базе интегрального операционного усилителя .....	25
Список рекомендуемой литературы .....	30

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Схемотехника электронных устройств» для студентов дневной формы обучения обучающихся по направлениям: 11.03.01- Радиотехника, 11.03.02 - Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств, а также по специальности - 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Работы выполняются в электронной системе Multisim. Электронная система моделирования Multisim имитирует реальное рабочее место исследователя, оборудованное измерительными приборами, работающими в реальном масштабе времени. С ее помощью можно создавать, моделировать как простые, так и сложные аналоговые и цифровые устройства. В данном методическом указании представлены лабораторные работы по исследованию характеристик усилительных устройств аналоговой техники:

- исследование резисторных каскадов предварительного усиления;
- исследование усилителей с обратной связью;
- исследование усилителя с мощным двухтактным выходным каскадом;
- исследование усилительных каскадов на базе интегрального операционного усилителя.

## ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА MULTISIM

Интерфейс пользователя состоит из нескольких основных элементов, которые представлены на рисунке 1.

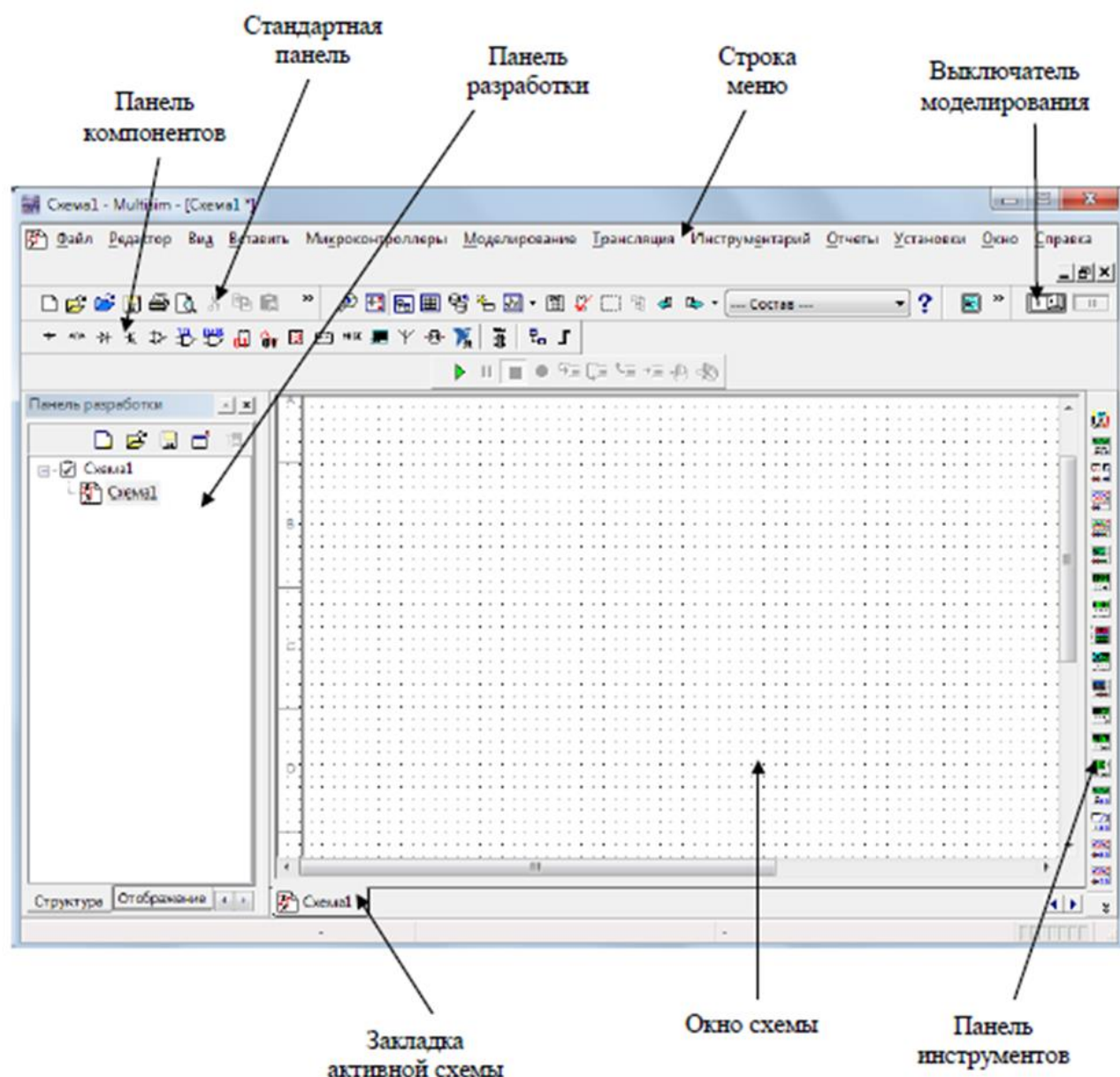


Рис. 1. Среда Multisim

### Окно разработки (Design Toolbox)

В окне разработки находятся средства управления различными элементами схемы. Закладка **Доступность** (Visibility) позволяет скрыть или отобразить слои схемы рабочей области. Закладка **Иерархия** (Hierarchy) отображает взаимосвязь между файлами открытого проекта в виде древовидной структуры. Закладка **Проект** (Project) содержит

информацию об открытом проекте. Пользователь может добавить файлы в папки открытого проекта, изменить доступ к файлам и создать архив проекта.

## Работа с приборами

### Генератор сигналов

Генератор сигналов (function generator) – это источник напряжения, который может генерировать синусоидальные, пилообразные прямоугольные импульсы. Можно изменить форму сигнала, его частоту, амплитуду, коэффициент заполнения и постоянный сдвиг.

Лицевая панель генератора и прочих устройств открывается двойным щелчком на символе соответствующего устройства.

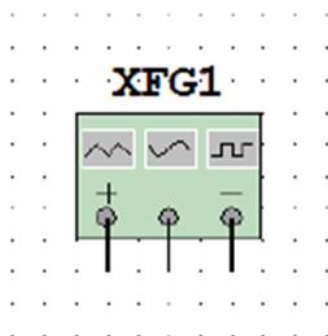


Рис. 2. Символ генератора сигналов

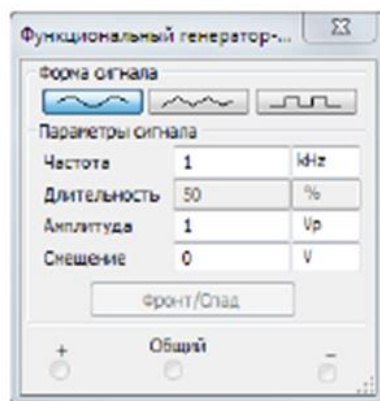


Рис. 3. Лицевая панель генератора сигналов

### Осциллографы

В Multisim есть несколько модификаций осциллографов, которыми можно управлять как настоящими. Они позволяют устанавливать параметры развертки и напряжения, выбирать тип и уровень запуска измерений.

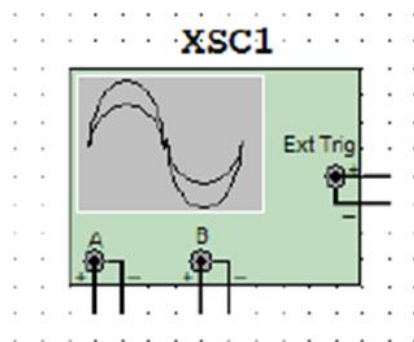


Рис. 4. Символ осциллографа

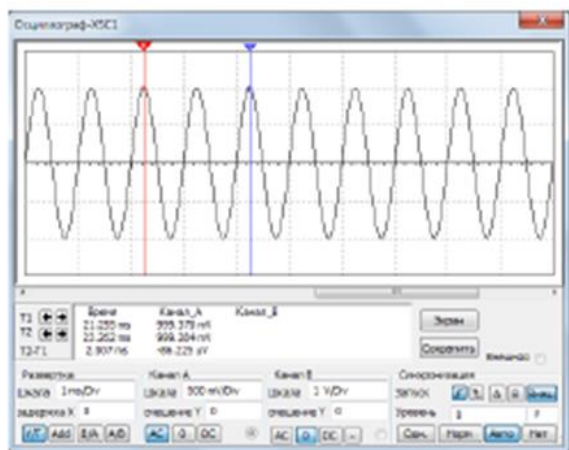


Рис. 5. Лицевая панель осциллографа



## **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **1. Подготовка к работе**

При подготовке к работе следует:

- по конспектам лекций и рекомендованной литературе изучить теоретический материал, относящийся к данной работе;
- ознакомиться с описанием, выполнить домашнее задание и продумать ответы на контрольные вопросы;
- составить краткую программу выполнения лабораторной работы;
- ознакомиться с применяемой в работе программой Multisim.

### **2. Выполнение работ в лаборатории**

Лабораторные работы выполняются только в часы, предусмотренные расписанием, бригадами по 2–4 человека. Выполнению работы предшествует проверка готовности студента к работе, при этом студент должен представить все материалы, подготовленные в соответствии с п. 1, и ответить на вопросы преподавателя по теории предстоящей работы и методике ее выполнения. Если результаты проверки готовности будут признаны удовлетворительными, студент получает допуск к работе.

Работа в лаборатории считается законченной только после просмотра и утверждения полученных результатов преподавателем.

### **3. Оформление отчета и зачет по работе**

Отчет о выполненной работе должен быть составлен индивидуально на листах писчей бумаги формата А4. Графический материал и все результаты лабораторной работы выполняются дома на компьютере. Расчету отдельных величин должно предшествовать краткое объяснение и буквенное обозначение формул. Зачет по работе студент получает только после представления отчета.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗИСТОРНЫХ КАСКАДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛЕНИЯ

#### 1. Цель работы

Изучение принципиальных схем резисторных каскадов предварительного усиления и назначения отдельных элементов схемы, экспериментальное исследование влияния различных элементов схемы каскада с общим эмиттером (ОЭ) на его основные показатели – частотную характеристику, коэффициенты усиления по напряжению и току, входное и выходное сопротивления.

#### 2. Домашнее задание

2.1. Для исследуемого каскада ОЭ (рис. 1.1) построить нагрузочные линии постоянного и переменного токов при следующих условиях:

$$U_{ок} = 7,5 \text{ В}; I_{ок} = 10 \text{ мА}; E_k = 15 \text{ В}; U_{вых} = 2 \text{ В}.$$

*Примечание: Отечественный аналог транзистора BC548A – КТ3102А.*

2.2. По динамическим входным и выходным характеристикам определить входное и выходное сопротивления каскада, коэффициенты усиления по напряжению и току в точке покоя с коэффициентами ( $U_{ок}$ ;  $I_{ок}$ ).

2.3. Аналитически вычислить показатели, указанные в п. 2.2 при условии, что транзистор имеет следующие параметры:

$$r_b = 100 \text{ Ом}; h_{21э} = 100; r_k = 1 \text{ МОм}.$$

2.4. Изучить основные принципы работы с пакетом Multisim.

#### 3. Экспериментальные исследования

3.1. На частоте  $f = 1 \text{ кГц}$  снять и построить амплитудные характеристики при различных значениях сопротивлений нагрузки. Найти сквозные коэффициенты усиления по напряжению.

3.2. Не изменяя сопротивления нагрузки, снять частотные характеристики и определить диапазон рабочих частот:

а) при различных значениях разделительных конденсаторов;

б) при включенном и выключенном конденсаторе  $C_0$ , имитирующем паразитную емкость.

3.3. Измерить входное и выходное сопротивление каскада, найти коэффициент усиления по току.





3.4. Снять частотную характеристику каскада с общим истоком (рис. 1.2) и измерить его входное сопротивление.

#### 4. Методические указания к выполнению работы

4.1. Аналитический расчет показателей усилительного каскада по переменному току производится в следующей последовательности:

Входное сопротивление каскада  $r_{вх}$  без учета делителя  $R_6$  в цепи смещения базы:

$$r_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_6} = r_6 + (1 + h_{213})r_3,$$

где  $r_3 = \frac{26}{I_{03}}$  ( $r_3$  в Омах, при  $I_{03}$  в миллиамперах).

Входное сопротивление каскада  $R_{вх}$  с учетом делителя  $R_6$ :

$$R_{вх} = r_{вх} || R_6, \text{ где } R_6 = R_{61} || R_{62},$$

Коэффициент усиления по току:

$$K_I = h_{213} \frac{R_6}{R_6 + r_{вх}} \cdot \frac{R_K}{R_K + R_H}.$$

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} \cong h_{213} \frac{R_K || R_H}{R_{вх}}.$$

Сквозной коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U^* = \frac{U_{вых}}{E_{ист}} = \frac{R_{вх}}{R_{ист} + R_{вх}} \cdot K_U = h_{213} \frac{R_K || R_H}{R_{ист} + R_{вх}}.$$

Выходное сопротивление:

$$R_{вых} \cong R_K || r_K \cong R_K.$$

4.2. Открыть файлы с исследуемыми схемами. В данной работе используются файлы 1.1.ms11 – 1.2.ms11. Для открытия этих файлов нужно на стандартной панели щелкнуть по кнопке **Открыть файл**, затем в появившемся окне выбрать нужный файл и щелкнуть по кнопке **Открыть**.

Включение и выключение схемы осуществляется с помощью выключателя моделирования:







$$R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{мввых1}} - U_{\text{мввых2}}}{I_{\text{н2}} - I_{\text{н1}}},$$

где  $I_{\text{н2}} = \frac{U_{\text{мввых2}}}{R_{\text{н2}}}$ ;  $I_{\text{н1}} = \frac{U_{\text{мввых1}}}{R_{\text{н1}}}$ .

Внутреннее сопротивление источника сигнала при этом равно сопротивлению  $R_{\text{доб}}$ .

4.3.4. При снятии АЧХ каскада с общим истоком, следует заполнить таблицу 1.3. Амплитуду сигнала на входе установить  $U_{\text{мвх}} = 100$  мВ.

Таблица 1.3

f, кГц	0,01	0,02	0,04	0,07	0,1	1	10	20	40	70	100	200	500	700
$U_{\text{мввых}}$ , В														

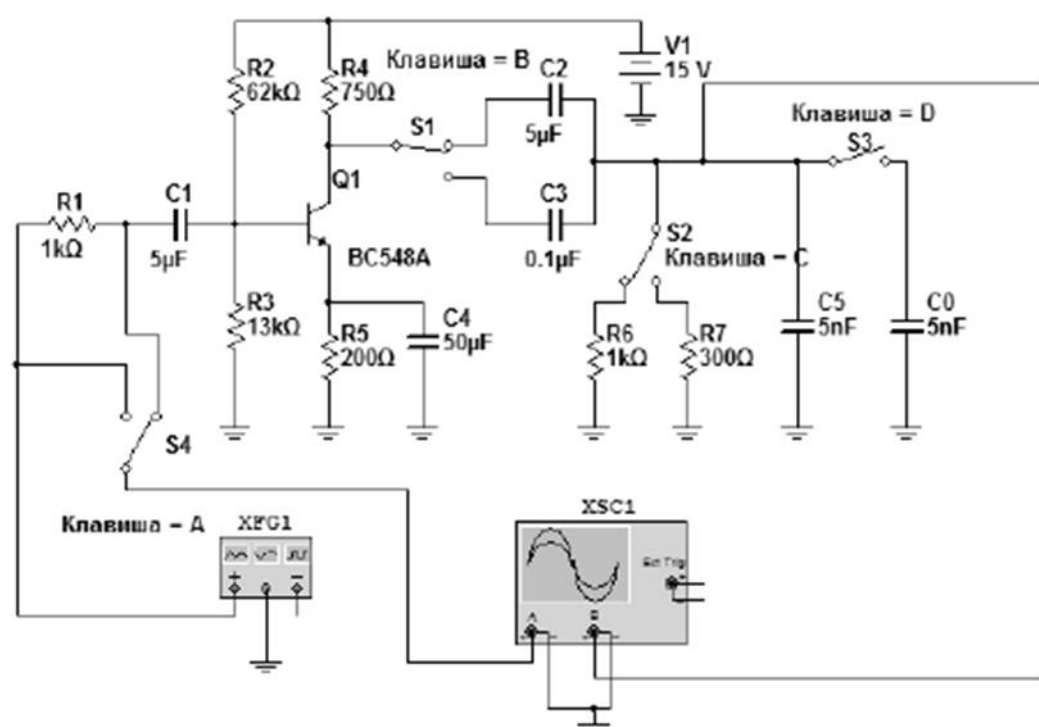


Рис. 1.1. Принципиальная схема каскада усилителя с общим эмиттером



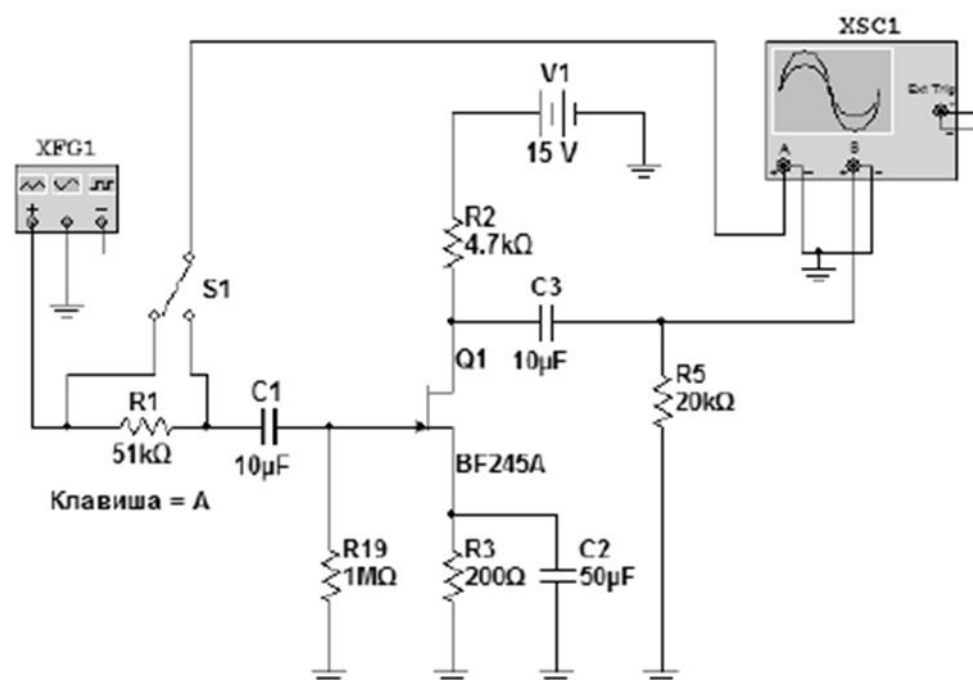


Рис. 1.2. Принципиальная схема каскада усилителя с общим истоком

## 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Что называется амплитудной характеристикой усилителя?
- 5.2. Что называется динамическим диапазоном усилителя, в каких единицах он измеряется?
- 5.3. Чем ограничивается динамический диапазон усилителя?
- 5.4. Как экспериментально снимается амплитудная характеристика?
- 5.5. Что называется амплитудно-частотной характеристикой?
- 5.6. Какие элементы схемы усилителя и как влияют на амплитудно-частотную характеристику?
- 5.7. Что называется фазовой характеристикой?
- 5.8. Как экспериментально снимаются АЧХ и ФЧХ?
- 5.9. Как экспериментально измеряются входное и выходное сопротивления усилителя?
- 5.10. Что называется частотными искажениями и в каких единицах они измеряются?
- 5.11. Вывести формулу для коэффициентов усиления по напряжению и по току на средних частотах.
- 5.12. Какой порядок имеют коэффициенты усиления по току, напряжению, входное и выходное сопротивления каскадов ОЭ, ОК и ОБ?
- 5.13. Построить эквивалентные схемы каскада ОЭ на нижних, средних и верхних частотах.



- 5.14. Динамические входные и выходные характеристики, порядок их построения.
- 5.15. Привести варианты схем подачи на базу транзистора при питании от одного источника.
- 5.16. Дать определение нижней и верхней частот рабочего диапазона.
- 5.17. Как зависят величины входного сопротивления и коэффициентов усиления от положения точки покоя?
- 5.18. Характерные особенности усилительных каскадов на полевых транзисторах.
- 5.19. От чего зависит коэффициент усиления напряжению каскада на полевом транзисторе?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

#### 1. Цель работы

Исследование влияния обратной связи на основные технические показатели усилителя: амплитудно-частотную характеристику, уровень помех, входное и выходное сопротивления, стабильность величины коэффициента усиления.

#### 2. Расчетное задание

2.1. Определить коэффициент передачи цепи обратной связи усилителя, имеющего без обратной связи коэффициент усиления по напряжению  $K_u = 100$ , если глубина обратной связи  $A$  равна  $A = 20$  дБ.

2.2. Рассчитать эмиттерный повторитель по следующим исходным данным:  $R_{вх} \geq 10$  кОм;  $E_k = 15$  В;  $f_H = 100$  Гц;  $f_B = 20$  кГц;  $R_H = 500$  Ом;  $E_{ист} = 1$  В;  $R_{ист} = 10$  кОм.

#### 3. Экспериментальные исследования

Принципиальные схемы исследуемых каскадов приведены на рис. 2.1 и 2.2 (данным схемам соответствуют файлы 2.1.ms11 – 2.2.ms11).

3.1. Не изменяя сопротивления нагрузки, снять амплитудные характеристики двухкаскадного усилителя на частоте  $f = 1$  кГц при наличии и отсутствии обратной связи (рис. 2.1).

3.2. Не изменяя сопротивления нагрузки, снять амплитудно-частотные характеристики усилителя при наличии и отсутствии обратной связи. Определить верхнюю и нижнюю частоты рабочего диапазона.

3.3. На частоте  $f = 1$  кГц определить входное и выходное сопротивления при наличии и отсутствии обратной связи.

3.4. На частоте  $f = 1$  кГц измерить изменение сквозного коэффициента усиления в зависимости от изменения сопротивления нагрузки при наличии и отсутствии обратной связи.

3.5. Снять амплитудно-частотные характеристики эмиттерного повторителя, измерить его выходное и входное сопротивления (рис. 2.2).

*Примечание: входное и выходное сопротивления усилителя определяются по методике, изложенной в лабораторной работе № 1.*

#### 4. Методические указания к выполнению работы

В процессе расчета эмиттерного повторителя необходимо определить:

- тип транзистора;
- сопротивление резистора в цепи  $R_3$  и номиналы резисторов  $R_{61}$ ,  $R_{62}$  в цепи смещения базы;
- емкости разделительных конденсаторов.

Расчет производится в следующей последовательности:

4.1.1. Выбирается транзистор по допустимым напряжению  $U_{кз}$ , току  $I_k$  и мощности рассеяния  $P_{кдоп}$ , удовлетворяющей условию  $f_{h21э} \gg f_в$ , где  $f_{h21э}$  – предельная частота,  $f_в$  – верхняя частота рабочего диапазона.

4.1.2. Рассчитываются  $h_k$  параметры транзистора при его включении по схеме с общим коллектором:

$$h_{11к} = h_{11э}; h_{12к} \approx 1; h_{21к} \approx 1 + h_{21э}; h_{22к} \approx h_{22э}.$$

4.1.3. Определяется сопротивление резистора  $R_3$ :

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{03}},$$

где  $U_{R3}$  может быть определено из соотношения

$$\frac{E_{ист}}{R_{ист} + R_{вх}} \cdot R_{вх} \leq U_{R3} \leq 0,5E_K,$$

а ток покоя  $I_{ок} \approx I_H + (5 \div 10)I_{ко}$ ,

где ток нагрузки  $I_H = \frac{U_H}{R_H} \cong \frac{E_{ист}}{R_{ист} + R_{вх}} \cdot \frac{R_{вх}}{R_H}$ ;

$I_{ко}$  – обратный (неуправляемый) ток коллектора.

4.1.4. Определяется ток делителя цепи смещения базы:

$$I_d \cong (3 \div 5) \cdot I_{об},$$

где ток смещения базы  $I_{об} \cong \frac{I_{03}}{h_{21к}}$ .

4.1.5. Определяются сопротивления делителя смещения:

$$R_{61} = \frac{E_K - U_{об} - U_{R3}}{I_d + I_{об}}; \quad R_{62} = \frac{U_{R3} + U_{об}}{I_d},$$



где  $U_{об}$  – напряжение смещения базы.

4.1.6. Рассчитывается входное сопротивление эмиттерного повторителя:

- без учета делителя  $R_6$ :

$$r_{вх} \cong h_{11к} + h_{21к} \cdot R_{э\sim};$$

- с учетом делителя:

$$R_{вх} = r_{вх} || R_6;$$

где  $R_{э\sim} = R_3 || R_H$  – сопротивление нагрузки эмиттера по переменному току;  $R_6 = R_{61} || R_{62}$ .

Если величина входного сопротивления  $R_{вх}$  окажется меньше заданной, то следует увеличить  $R_3$ , увеличив до возможно большей величины  $U_{R3}$ , или выбрать транзистор с большим значением статического коэффициента передачи тока базы  $h_{21э}$  и повторить расчет с п. 4.1.3 заново.

4.1.7. Рассчитывается выходное сопротивление:

$$R_{вых} \cong \frac{R_{ист} + h_{11к}}{h_{21к}}.$$

4.1.8. Определяется коэффициент усиления по напряжению:

$$K_u = \frac{h_{21к} \cdot R_{э\sim}}{h_{11к} + h_{21к} \cdot R_{э\sim}}.$$

4.1.9. Определяется напряжение сигнала на нагрузке:

$$U_H = U_{вых} = \frac{R_{вых}}{R_{вх} + R_{ист}} \cdot K_u \cdot E_{ист},$$

где  $\frac{R_{вых}}{R_{вх} + R_{ист}} = \alpha$  – коэффициент передачи напряжения источника

сигнала во внутреннюю цепь.

4.1.10. Определяются емкости разделительных конденсаторов:

$$C_1 \geq \frac{0,16}{f_H \cdot (R_{ист} + R_{вх}) \cdot \sqrt{M_H^2 - 1}};$$

$$C_2 \geq \frac{0,16}{f_H \cdot (R_{вых} + R_H) \cdot \sqrt{M_H^2 - 1}},$$



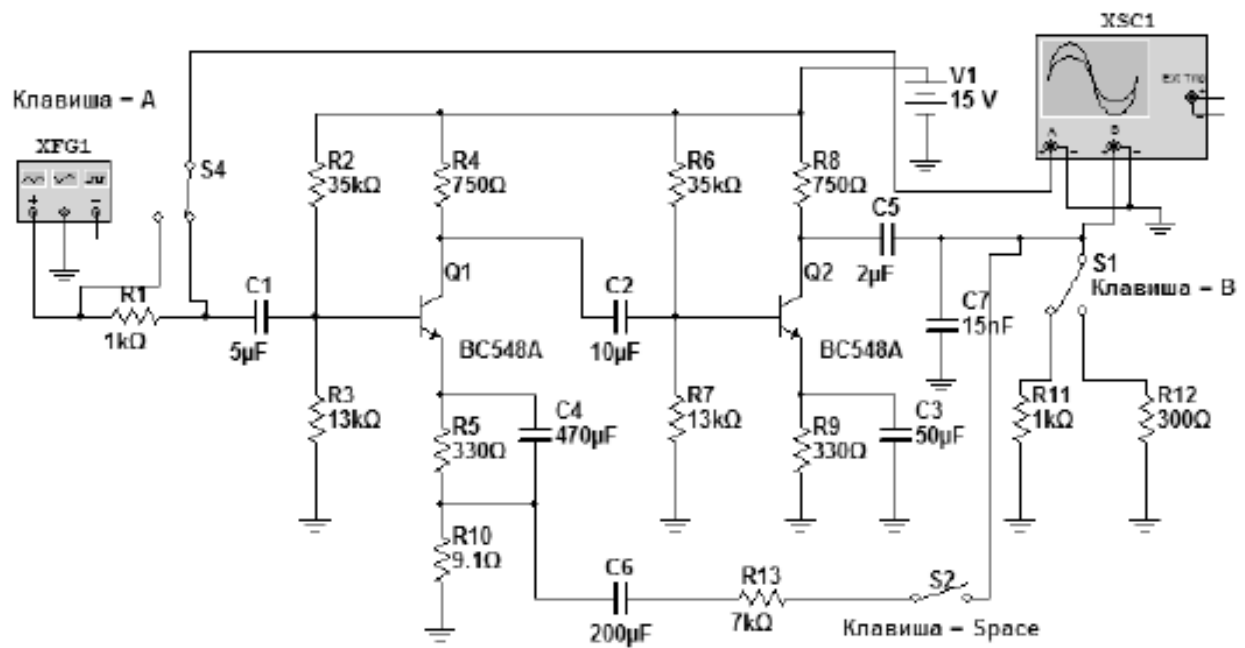


Рис. 2.1. Принципиальная схема двухкаскадного усилителя с обратной связью

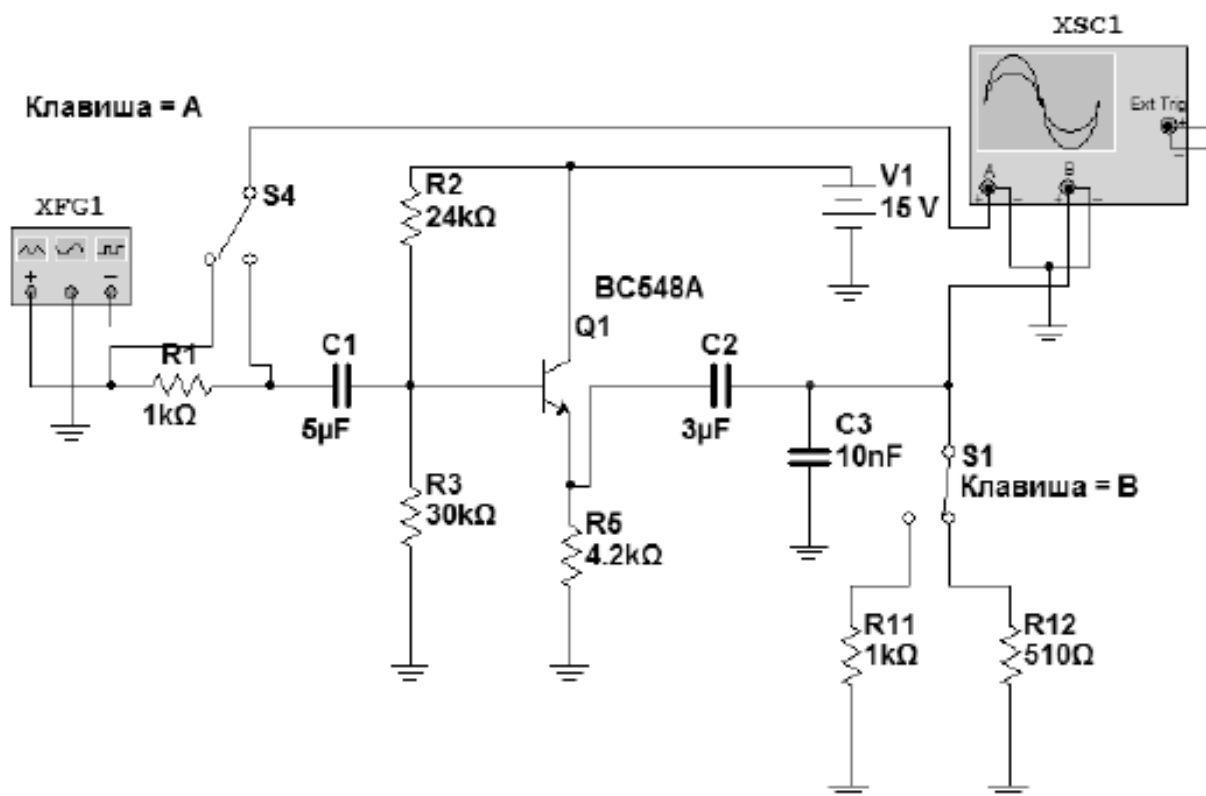


Рис. 2.2. Принципиальная схема эмиттерного повторителя



## 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Что называется обратной связью?
- 5.2. Способы снятия и введения обратной связи.
- 5.3. Изобразить принципиальные схемы усилителей с последовательной и параллельной обратной связью по напряжению и по току.
- 5.4. Как влияет обратная связь на частотную, фазовую и переходную характеристики?
- 5.5. Как влияет обратная связь различного вида на входное и выходное сопротивление усилителя?
- 5.6. Привести примеры использования положительной обратной связи.
- 5.7. Что называется самовозбуждением усилителя и в чем его причины?
- 5.8. Почему в многокаскадных усилителях, охваченных общей отрицательной обратной связью, может возникать самовозбуждение?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ С МОЩНЫМ ДВУХТАКТНЫМ ВЫХОДНЫМ КАСКАДОМ

#### 1. Цель работы

Изучение схемы, принципа действия, характеристик и энергетических показателей двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности в режимах классов В и АВ.

#### 2. Расчетное задание

2.1. По семейству выходных характеристик оконечного транзистора КТ943Г определить оптимальное сопротивление нагрузки  $R_{\text{норт}}$  и максимальную выходную мощность  $P_{\text{выхmax}}$ , приняв для каждого плеча  $E_{\text{кп}} = 7,5 \text{ В}$ .

2.2. Построить эпюры токов, иллюстрирующих режим класса В.

#### 3. Экспериментальные исследования

Принципиальная схема усилителя с мощным двухтактным выходным каскадом представлена на рис. 3.1.

##### 3.1. Усилитель мощности в режиме класса В.

3.1.1. При отключенной обратной связи снять и построить амплитудные характеристики усилителя.

3.1.2. При отключенной обратной связи снять и построить зависимость выходной мощности  $P_{\text{вых}}$  от сопротивления нагрузки  $R_{\text{н}}$  на частоте  $f = 1000 \text{ Гц}$ . Входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  устанавливать максимальным  $U_{\text{вх}} = U_{\text{вхmax}}$ . Величина  $U_{\text{вхmax}}$  определяется визуально по началу ограничения амплитуды выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  на экране осциллографа. Определить из графика  $P_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$  оптимальное значение сопротивления нагрузки  $R_{\text{норт}}$  и максимальную величину выходной мощности  $P_{\text{выхmax}}$ . Все последующие пункты задания выполняются при  $R_{\text{н}} = R_{\text{норт}}$ .

3.1.3. При отключенной обратной связи на частоте  $f = 1000 \text{ Гц}$  снять зависимости выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  и потребляемого от источника питания тока  $I_0$  от входного напряжения:

$$U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}}) \text{ и } I_0 = \varphi(U_{\text{вх}}).$$







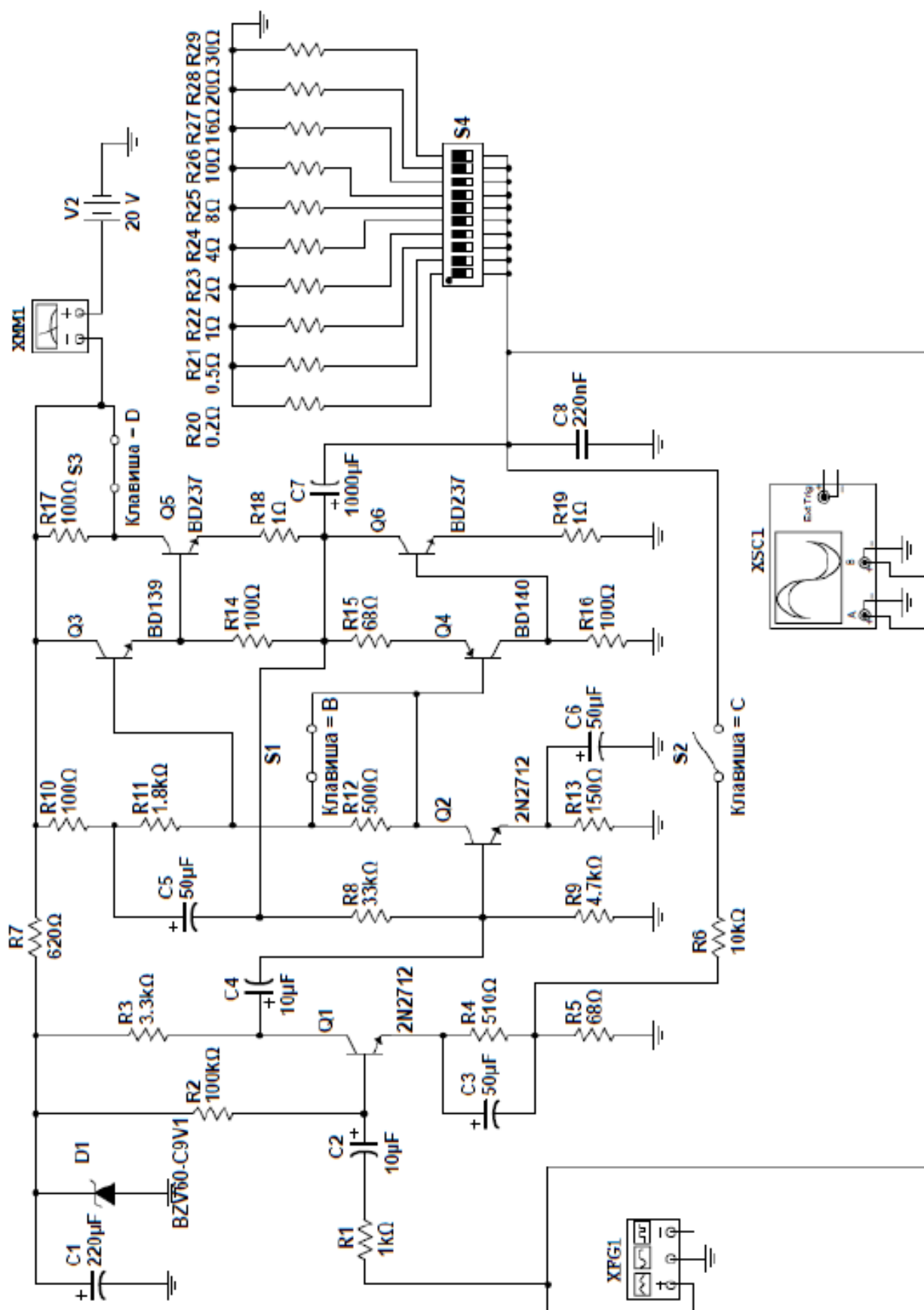


Рис. 3.1. Принципиальная схема усилителя с мощным двухтактным выходным каскадом

## 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Как работает двухтактный бестрансформаторный каскад?
- 5.2. Какие энергетические соотношения в усилителе мощности, работающем в режиме класса В?
- 5.3. С какой целью в усилителях мощности вместо режима В часто используют режим АВ?
- 5.4. Причина возникновения нелинейных искажений гармонического сигнала типа «ступенька»?
- 5.5. Какими особенностями обладают составные транзисторы верхнего и нижнего плеч усилителя?
- 5.6. Как производится построение выходной динамической характеристики по переменному току для режимов А и АВ?
- 5.7. Какие цепи обратной связи применены в схеме усилителя и их назначение?
- 5.8. Назначение конденсатора  $C_7$ . Исходя из каких условий рассчитывается его величина?
- 5.9. От каких величин и как зависит необходимое напряжение питания двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности?
- 5.10. Как аналитически определить сопротивление нагрузки, при котором усилитель отдает максимальную мощность, и чему равна его величина?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ НА БАЗЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

#### 1. Цель работы

Изучение принципов построения усилительных каскадов на базе операционного усилителя, назначения отдельных элементов принципиальных схем каскадов, экспериментальное исследование каскадов с различными цепями внешней отрицательной обратной связи.

#### 2. Расчетное задание

Рассчитать и представить графически принципиальную электрическую схему инвертирующего усилителя, построенного на базе операционного усилителя К140УД8Б, который должен обладать входным сопротивлением  $R_{вх} = 10 \text{ кОм}$  и сквозным коэффициентом усиления по напряжению  $K_U^* = 10$ , если источник сигнала имеет следующие параметры:

$$E_{ист} = 0,1 \text{ В}; R_{ист} = 10 \text{ кОм}.$$

#### 3. Экспериментальные исследования

3.1. На частоте  $f = 1 \text{ кГц}$  снять и построить амплитудные характеристики неинвертирующего и инвертирующего усилителей при различных сопротивлениях обратной связи.

3.2. На частоте  $f = 1 \text{ кГц}$  измерить входное  $R_{вх}$  и выходное  $R_{вых}$  сопротивления неинвертирующего и инвертирующего усилителей при различных сопротивлениях обратной связи.

3.3. Снять и построить амплитудно-частотные характеристики избирательного усилителя и инвертирующего усилителя при различных сопротивлениях обратной связи.

*Примечание: Зарубежный аналог операционного усилителя К140УД8Б – MC1556G.*

#### 4. Методические указания к выполнению работы

4.1. Открыть файлы с исследуемыми схемами. В данной работе используются файлы: 4.1.ms11 (неинвертирующий усилитель), 4.2.ms11 (инвертирующий усилитель), 4.3.ms11 (избирательный усилитель).





## Амплитудно-частотные характеристики инвертирующего усилителя:

Таблица 4.4

$f, \text{ МГц}$											
$U_{\text{вх}}, \text{ В};$ $R_{\text{oc}} = 10 \text{ кОм}$											
$U_{\text{вх}}, \text{ В};$ $R_{\text{oc}} = 200 \text{ кОм}$											

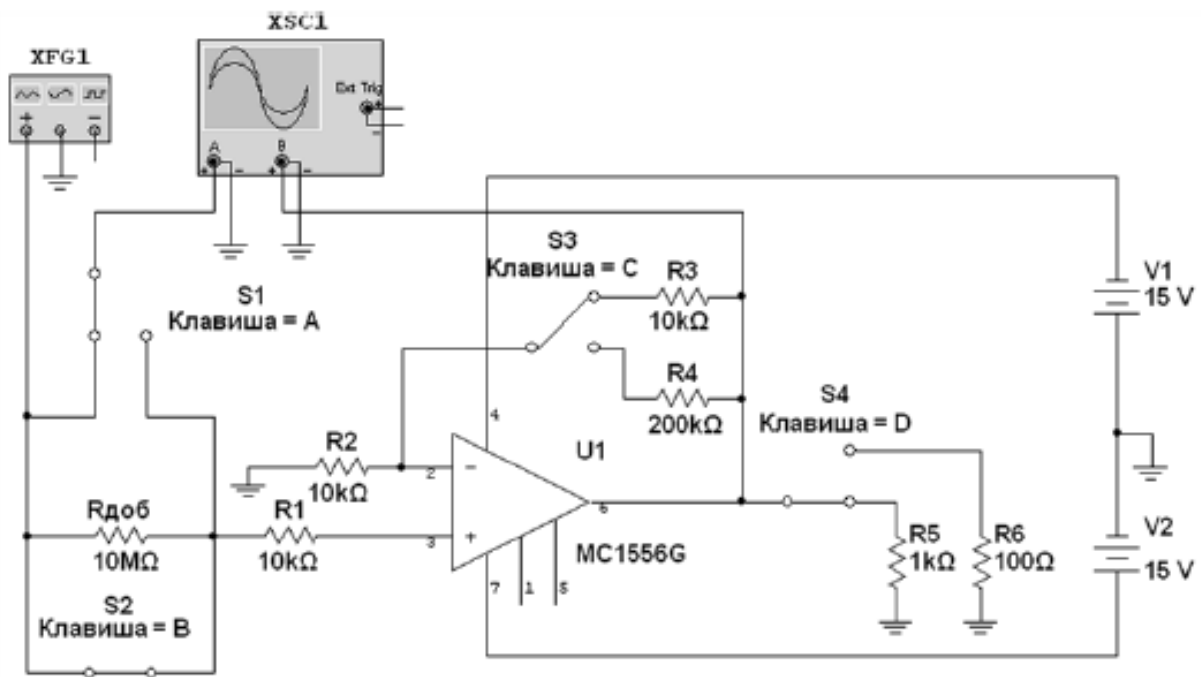


Рис. 4.1. Принципиальная схема неинвертирующего усилителя

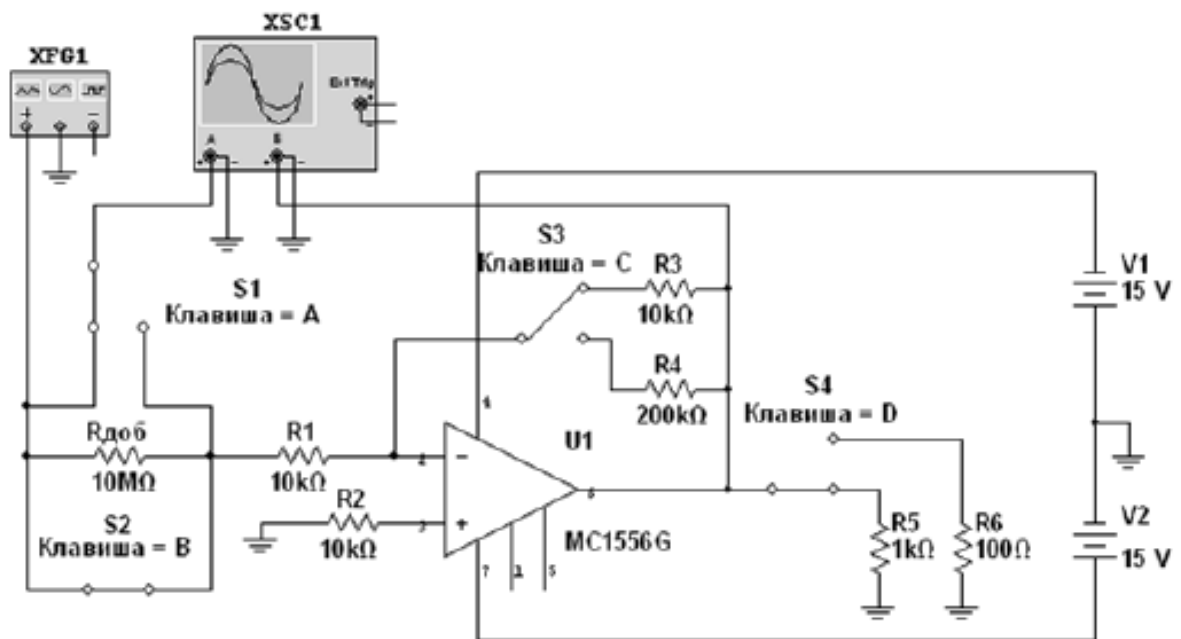


Рис. 4.2. Принципиальная схема инвертирующего усилителя

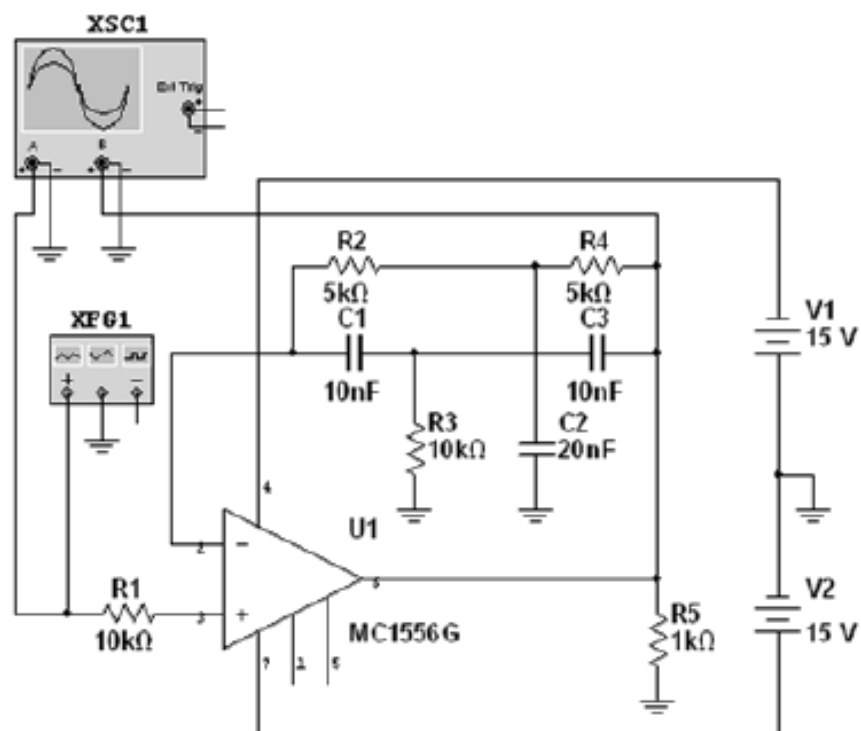


Рис. 4.3. Принципиальная схема избирательного усилителя



## 5. Контрольные вопросы

5.1. Каким условиям должен удовлетворять идеальный операционный усилитель?

5.2. Дать определения основным параметрам операционного усилителя:

- напряжения смещения;
- разность входных токов;
- диапазон допустимых синфазных и дифференциальных напряжений;
- коэффициент подавления синфазного сигнала;
- скорость нарастания выходного напряжения;
- частота единичного усиления.

5.3. Вывести аналитические выражения для:

- повторителя сигнала;
- инвертирующего усилителя;
- неинвертирующего усилителя;
- сумматоров сигналов;
- интегрирующего усилителя;
- дифференцирующего усилителя;
- логарифмирующего усилителя;
- дифференциального усилителя.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов, В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : учебн. пособие для вузов / В. Н. Павлов. – М. : Издательский центр «Академия», 2008.
2. Павлов, В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : учебник для вузов / В. Н. Павлов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003.
3. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: справочник /под ред. Б. Л. Перельмана. – М. : Радио и связь, 1981.
4. Горбоконенко, А. Д. Проектирование аналоговых электронных устройств / А. Д. Горбоконенко. – Ульяновск, 1995.
5. Марченко, А. Л. Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде Multisim: учебное пособие для вузов / А. Л. Марченко, С. В. Освальд. – М. : ДМК Пресс, 2010.
6. Введение в Multisim – National Instruments.  
[ftp://ftp.ni.com/pub/branches/russia/software/multisim\\_gettingstarted.pdf](ftp://ftp.ni.com/pub/branches/russia/software/multisim_gettingstarted.pdf)