

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*А. О. НОВИКОВ*

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для обучающихся Самарского университета по основным образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем

*Составитель А. О. Новиков*

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2024

© Самарский университет, 2024

УДК 621.38(075)

ББК 385я7

Д503

Рецензент канд. тех. наук, доц. В. В. Семенов

Д503        **Дифференциальный усилитель:** методические указания / сост. А. О. Новиков; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Самарский университет. – Самара: Издательство Самарского университета, 2024. – 1 CD-ROM (0,87 Мб). – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.

Методические указания направлены на получение обучающимися практических навыков в курсе «Электроника и схемотехника», содержат теоретические сведения по принципам построения дифференциальных усилителей, методы конструирования усилительного каскада на основе дифференциального усилителя, а также варианты заданий для выполнения лабораторных работ в среде Electronic Workbench 5.12.

Предназначены для обучающихся по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем.

Данные методические указания будут также полезны и студентам других специальностей, изучающих курс схемотехники и обучающихся как по очной, так и заочной форме обучения.

Подготовлено на кафедре информационных систем и технологий.

**Минимальные системные требования:**

PC, процессор Pentium, 160 МГц;

Microsoft Windows XP; мышь;

дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

Редакционно-издательская обработка издательства  
Самарского университета

Подписано для тиражирования 03.04.2024.

Объем издания 0,87 Мб.

Количество носителей 1 диск.

Тираж 11 дисков.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Издательство Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ.....	6
1.1. Теоретическая часть .....	6
1.2. Порядок выполнения работы.....	10
1.3. Содержание отчета .....	15
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ .....	16

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания «Дифференциальный усилитель» сочетают в себе теоретические сведения по принципам построения дифференциальных усилителей, методам конструирования усилительного каскада на основе дифференциального усилителя и задания для выполнения лабораторной работы по курсу «Электроника и схемотехника».

Методические указания подготовлены на основе лекций для обучающихся по специальности 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и по специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем, но могут быть полезны и для студентов других специальностей и направлений.

# 1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

## 1.1. Теоретическая часть

Дифференциальный усилитель (рис. 1) – это симметричный усилитель с двумя входами и двумя выходами, использующийся для усиления разности напряжений двух входных сигналов. В идеальном случае выходное напряжение такого усилителя пропорционально только разности напряжений, приложенных к двум его входам, и не зависит от их абсолютной величины.

Дифференциальный усилитель (ДУ) относится к разряду усилителей постоянного тока (УПТ).

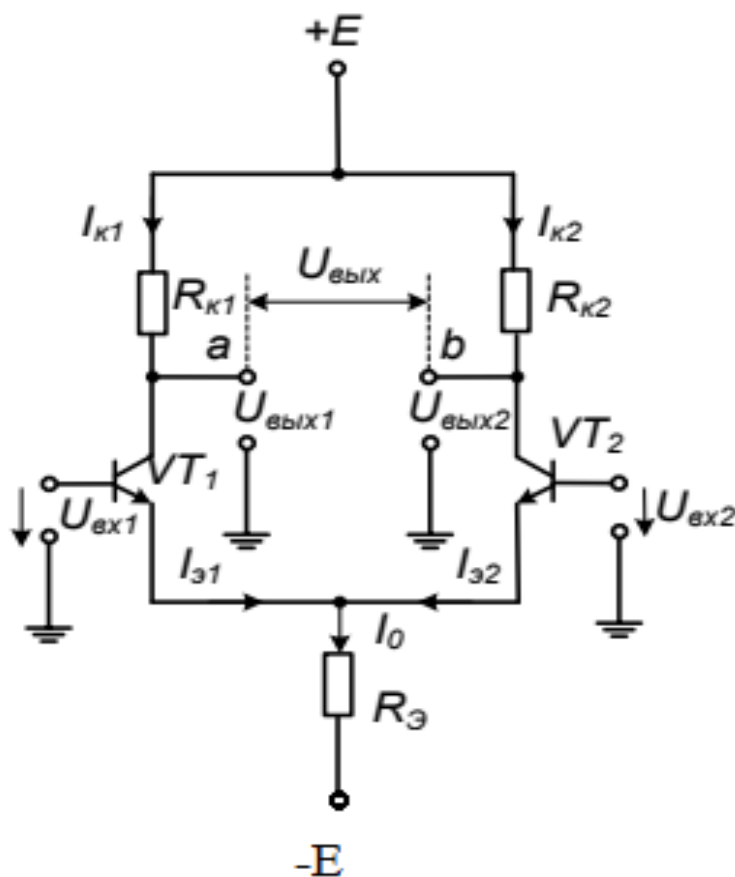


Рис. 1. Дифференциальный усилитель

При отсутствии входного сигнала потенциалы коллекторов будут одинаковы, и выходное напряжение будет равно нулю. Если токи будут изменяться одинаково и одновременно в обеих ветвях схемы, то и в этом случае, если ДУ идеально симметричен, выходное напряжение будет равно нулю.

В зависимости от характера входного сигнала будет формироваться выходное напряжение. Различают два разных вида входных сигналов:

1. Синфазный сигнал – на базах обоих транзисторов действуют два напряжения, одинаковые по величине и совпадающие по фазе. Потенциалы баз транзисторов меняются одинаково, что вызовет одинаковые по величине изменения потенциалов коллекторов. Если схема ДУ абсолютно симметрична ( $R_{k1} = R_{k2}$ ), то напряжение на выходе ДУ будет равно нулю («дрейф нуля» отсутствует). В реальном ДУ любые изменения температуры, напряжения питания, появление помех, старение элементов приводят к появлению синфазного сигнала. Только при идеально симметричной схеме ДУ не произойдет изменения напряжения на выходе в режиме дифференциального сигнала при наличии синфазного сигнала, и «дрейф нуля» на выходе полностью будет отсутствовать.

2. Дифференциальный сигнал – на базы VT1 и VT2 подаются два одинаковых по величине, но противоположных по фазе сигнала.

$$U_{\text{вх1}} = \frac{e_{\text{диф}}}{2}; U_{\text{вх2}} = -\frac{e_{\text{диф}}}{2}.$$

Возрастание потенциала базы одного транзистора сопровождается одновременным уменьшением базы другого. Таким образом, под воздействием входного дифференциального сигнала базовые токи транзисторов получают приращения  $\pm \Delta I_b$ : приращения тока  $\Delta I_{b1}$  будет положительным, а  $\Delta I_{b2}$  – отрицательным. Следовательно, это вызовет приращения токов коллектора и эмиттера ( $\pm \Delta I_k$ ,  $\pm \Delta I_e$ ). В результате происходит одновременное возрастание потенциала коллектора одного транзистора (VT2) и уменьшение потенциала коллектора другого транзистора (VT1).

В идеальном случае выходное напряжение такого усилителя пропорционально только разности напряжений, приложенных к двум его входам, и не зависит от их абсолютной величины. Коэффициент усиления для дифференциального сигнала будет равен

$$K_{\text{диф}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}}} \approx \frac{1}{2} h_{21э} \frac{R_{k1}}{R_{11э}}.$$

Коэффициент ослабления синфазного сигнала будет равен

$$K_{\text{осл}} = \frac{K_{\text{диф}}}{K_{\text{синф}}}.$$

Усиление синфазного сигнала в дифференциальном усилителе можно значительно уменьшить, если резистор  $R_3$  заменить источником тока (рис. 2).

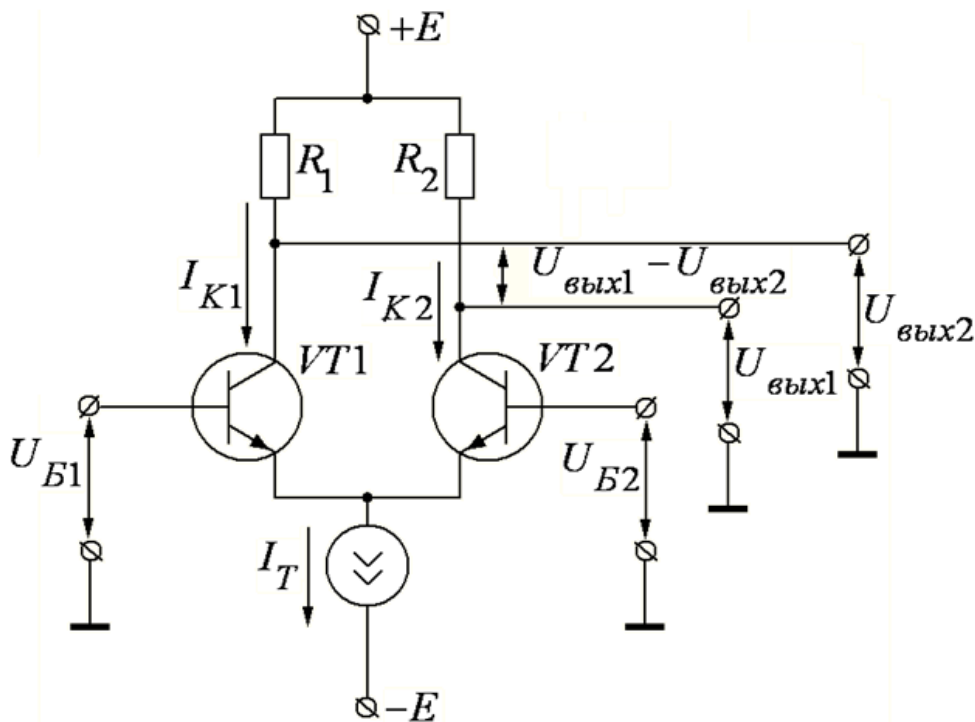


Рис. 2. Дифференциальный усилитель с источником постоянного тока

Источник тока в эмиттерной цепи поддерживает полный эмиттерный ток постоянным, и он в силу симметрии схемы равномерно распределяется между двумя коллекторными цепями. Следовательно, сигналы  $U_{вых1}$  и  $U_{вых2}$  на выходе схемы не изменяются при синфазных входных напряжениях.

Схема источника постоянного тока представлена на рис. 3.

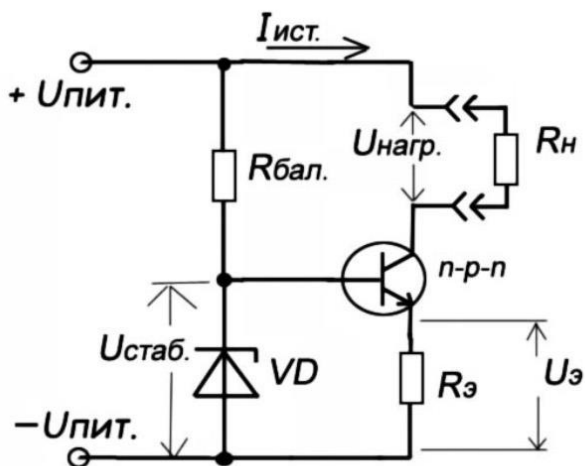


Рис. 3. Схема источника постоянного тока



Работа источника постоянного тока основана на свойстве стабилитрона VD поддерживать стабильное напряжение  $U_{стаб}$  при изменении напряжения питания и режима работы транзистора. При этом падение напряжения на резисторе  $R_э$

$$U_э = U_{стаб} - U_{бэ}$$

также будет неизменным, так как падение напряжения на переходе эмиттер-база транзистора слабо зависит от протекающего тока.

Ток источника тока протекает через сопротивление нагрузки, переход коллектор-эмиттер транзистора и резистор  $R_э$ , не зависит от сопротивления нагрузки и равен

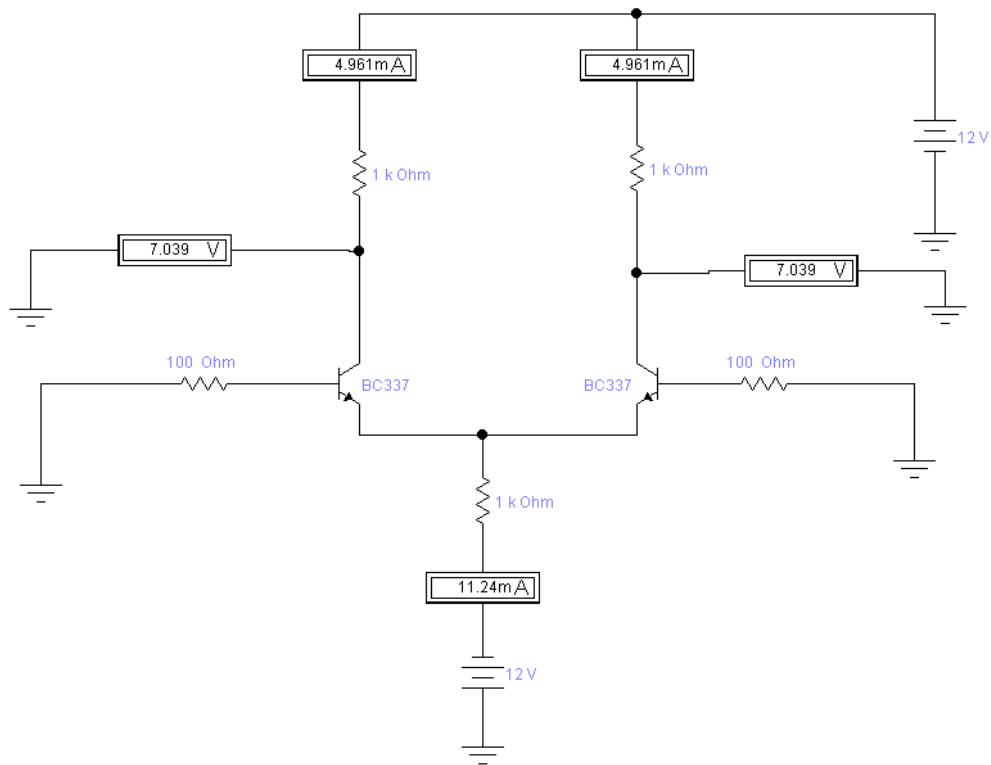
$$I_{ист} = \frac{U_{стаб} - U_{бэ}}{R_э}.$$

### Варианты задания

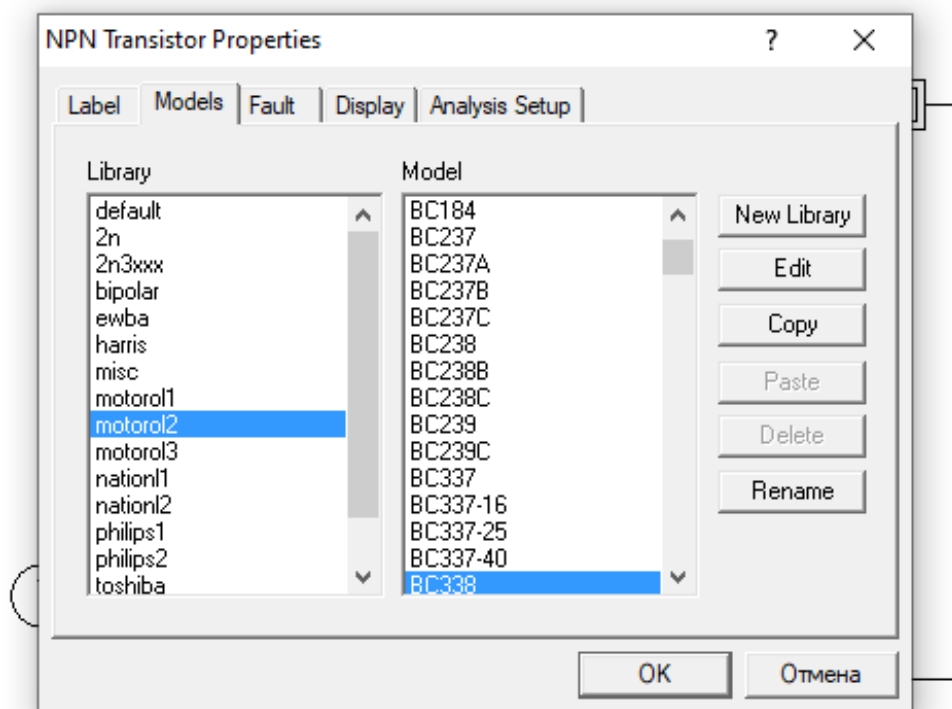
№ варианта	Транзисторы	Ток Ист, ма.
1	BC337	2
2	BC338	3
3	BC368	4
4	BC372	5
5	BC373	6
6	BC489	2
7	BC517	3
8	BC546	4
9	BC817-16	5
10	BC817-25	6
11	BC549	2
12	BC550B	3
13	BC618	4
14	BC635	5
15	BC637	6
16	BC639	2
17	BC337-16	3
18	BC337-25	4
19	BC337-40	5
20	BC338-16	6
21	BC338-25	2
22	BC338-40	3
23	BC489A	4
24	BC489B	5
25	BC546A	6

## 1.2. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему для настройки дифференциального усилителя.



Транзисторы выбирать в соответствии с вариантом задания из папки.



Выбрать напряжения источников питания транзисторного каскада  $E_{\text{п}}$  в пределах от 10 до 15 вольт.

В режиме настройки устанавливаем сигналы  $U_{\text{ex1}}$  и  $U_{\text{ex2}}$  равными нулю.

Рассчитываем  $R_{\text{э}}$ :

$$U_{R_{\text{э}}} = E_{\text{п}} - U_{\text{бэ}}, \quad R_{\text{э}} = \frac{U_{R_{\text{э}}}}{I_{R_{\text{э}}}},$$

где  $E_{\text{п}}$  – напряжение источника питания;

$U_{\text{бэ}}$  – падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора, принимаем равным 0,8В;

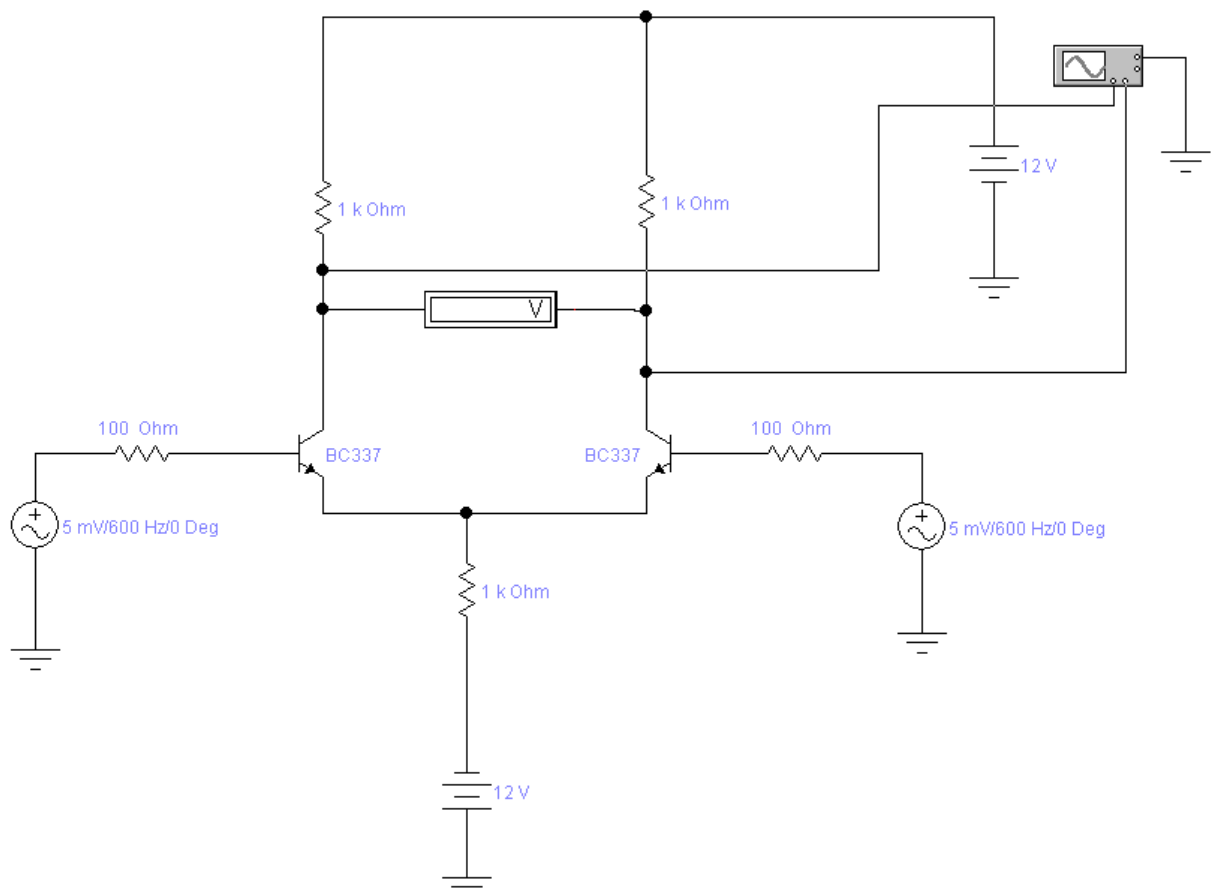
$I_{R_{\text{э}}}$  – заданный ток.

Контролируем заданный ток при помощи амперметра.

Рассчитываем  $R_{\text{к1}}$  и  $R_{\text{к2}}$  для получения напряжения на коллекторах транзисторов напряжений, равных половине напряжения питания  $E$ .

Контролируем полученные напряжения при помощи вольтметров.

2. Измерить коэффициент усиления синфазного сигнала.

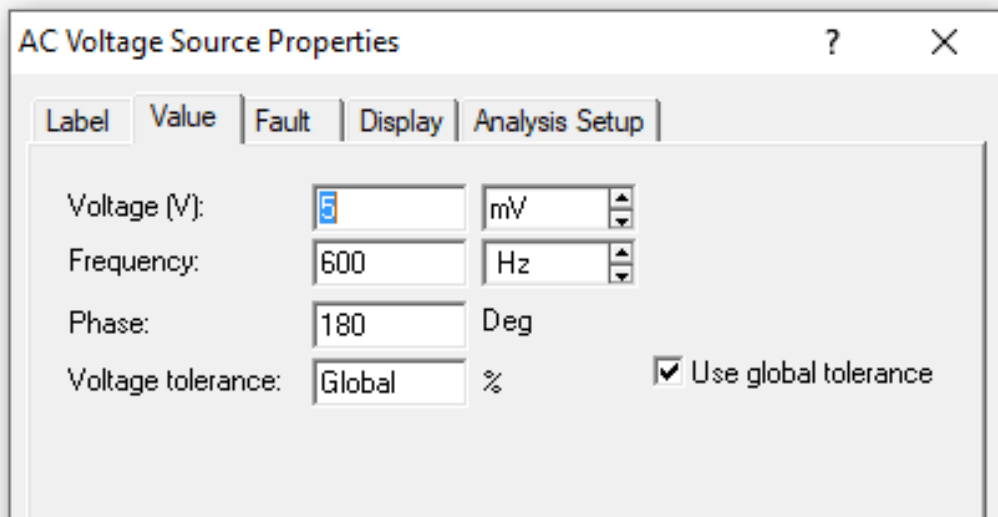
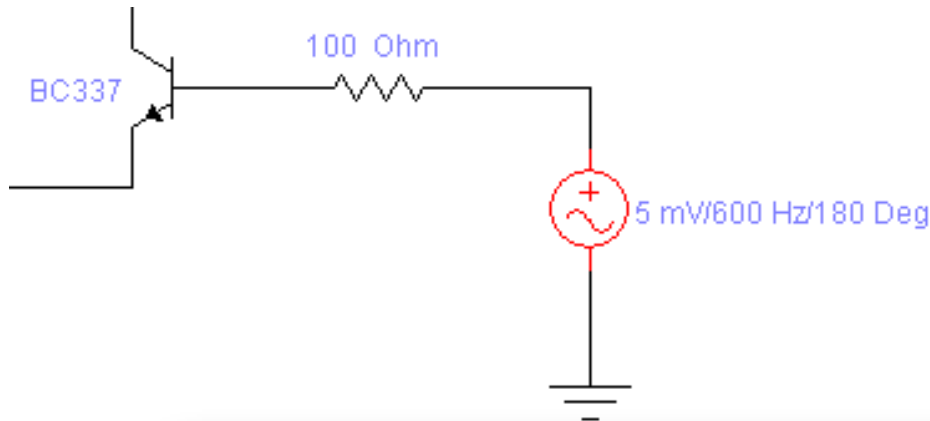


Рекомендуемые параметры входных сигналов: напряжение 1-5мВ, частота – звукового диапазона.

Зарисовать осциллограммы.

Измерить коэффициент усиления дифференциального сигнала.

Для получения дифференциального сигнала необходимо изменить фазу одного из входных напряжений на 180 град.



Необходимо учитывать, что величина дифференциального сигнала в этом случае увеличится в два раза.

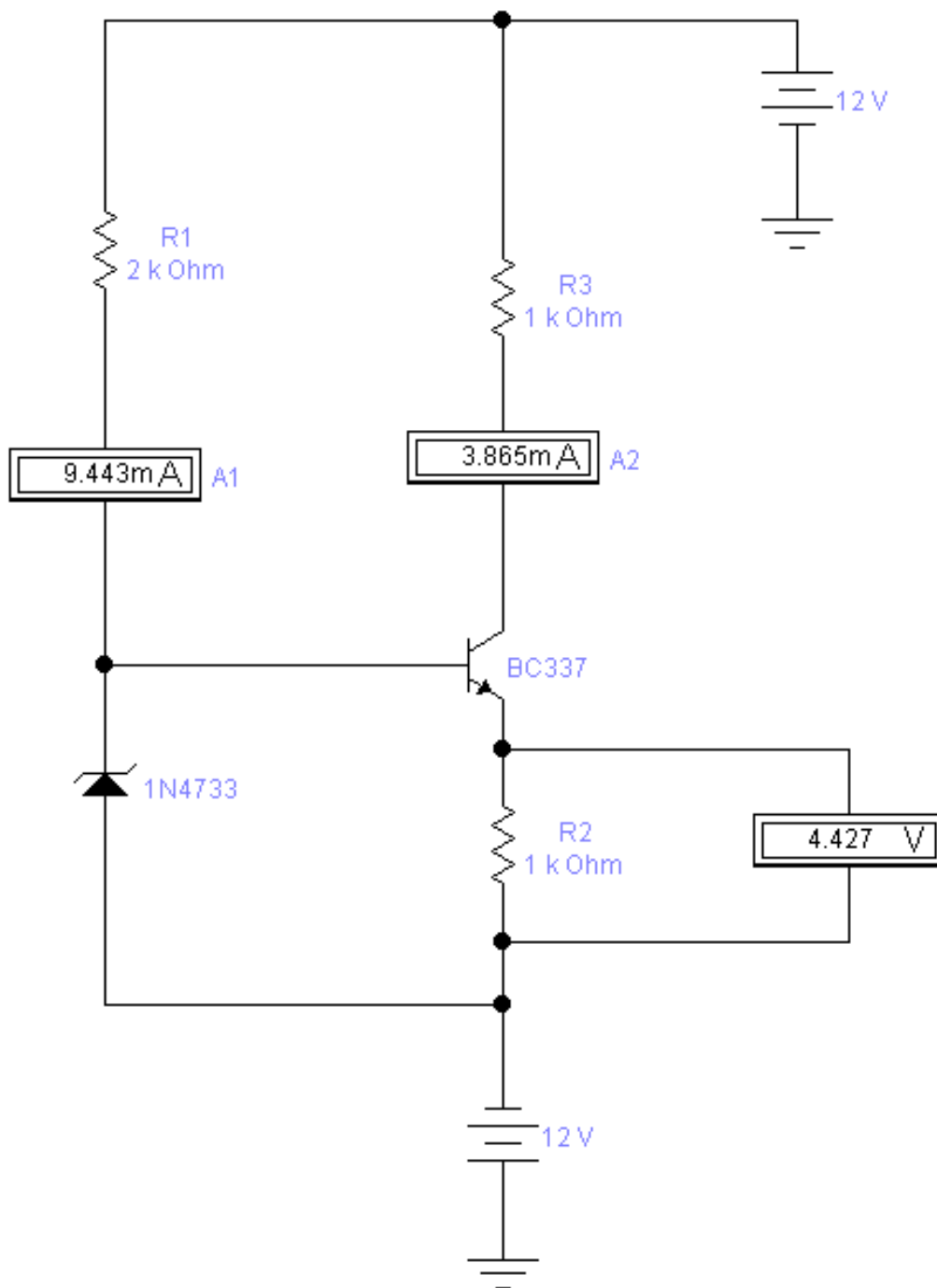
Рассчитать коэффициент ослабления синфазного сигнала.

3. Собрать схему для настройки источника постоянного тока согласно [рис. 3](#).

Так как источник постоянного тока будет интегрирован в схему дифференциального усилителя, то источники питания выбираем точно такие же.

При помощи резистора R1 устанавливаем номинальный ток для стабилитрона 5мА и контролируем его амперметром A1.

Рассчитываем сопротивление резистора R2 по формуле (1).



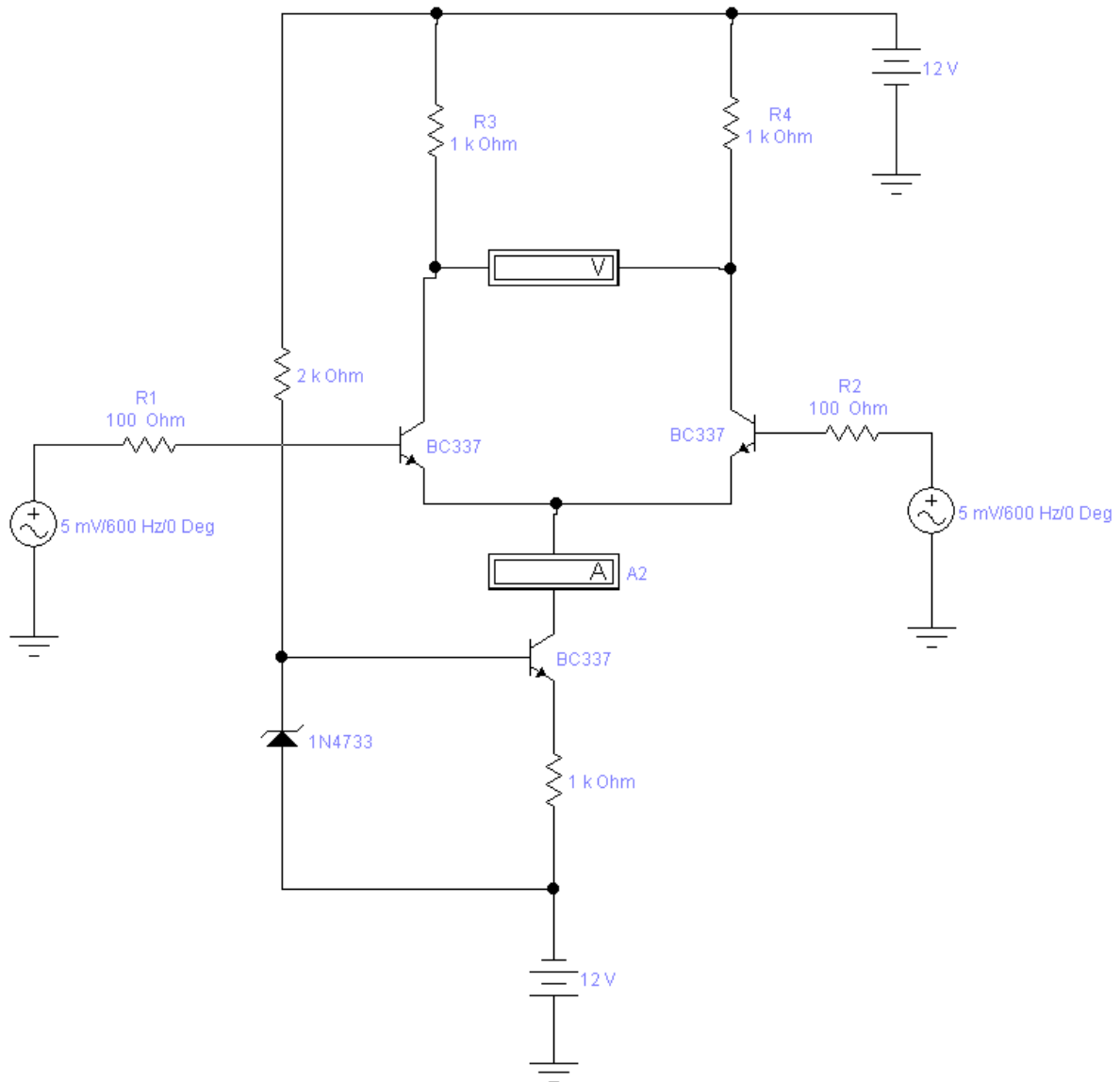
При помощи резистора R2 устанавливаем заданный ток через нагрузочное сопротивление R3 и контролируем его амперметром A2.

**Важно!** Если ток отличается от заданного значения, подстраиваем его, изменяя значение R2.

Строим график зависимости силы тока от сопротивления нагрузки.

4. Собрать схему дифференциального усилителя с источником постоянного тока.

Для этого объединяем схемы, собранные и настроенные в П1 и П3.



Измеряем коэффициент усиления дифференциального сигнала.

Измеряем коэффициент усиления синфазного сигнала.

Рассчитываем коэффициент ослабления синфазного сигнала.

5. Исследовать, как будут меняться коэффициенты, при малом нарушении симметричности каскада. Для этого:

1. Изменим значение R1 или R2 на несколько процентов.

Измеряем коэффициент усиления дифференциального сигнала.

Измеряем коэффициент усиления синфазного сигнала.

Рассчитываем коэффициент ослабления синфазного сигнала.

2. Изменим значение R3 или R4 на несколько процентов.

Измеряем коэффициент усиления дифференциального сигнала.

Измеряем коэффициент усиления синфазного сигнала.

Рассчитываем коэффициент ослабления синфазного сигнала.

### **1.3. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Результаты всех расчетов.
2. Все принципиальные схемы.
3. Результаты всех измерений.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колмбет, Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов / Е.А. Колмбет. – Москва: Радио и связь, 1991. – 187 с.
2. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк. – Москва: Мир, 1982. – 828 с.
3. Хоровиц, П. Искусство схемотехники. В 3 т. Т.1 / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. – 4-е изд. перераб. и доп. – Москва: Мир, 1993. – 413 с.