

**Исследование коэффициента нелинейных искажений усилителя на
биполярных транзисторах**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы № 6 по курсу
“Проектирование средств измерений и контроля”

Цель работы

Изучить погрешности, характерные для биполярных транзисторов. Получить навыки компьютерного моделирования измерительных схем и использования электроизмерительных приборов программы компьютерного моделирования Multisim для определения нелинейных искажений электронных схем.

1. Исследование коэффициента нелинейных искажений усилителя на биполярных транзисторах

1.1. Общие сведения о транзисторах

Транзистор – полупроводниковый прибор, предназначенный для управления электрическим током.

Существуют разные типы транзисторов: биполярные и полярные, прямой и обратной проводимости. Транзистор – прибор полупроводниковый. В полупроводнике носителями заряда являются электроны или дырки.

Область с избытком электронов обозначается буквой **n** (negative), а область с дырочной проводимостью – **p** (positive).

Все эти приборы по своему характеру работы делятся на две представленные на рис. 1 группы:

1. биполярные
2. полевые

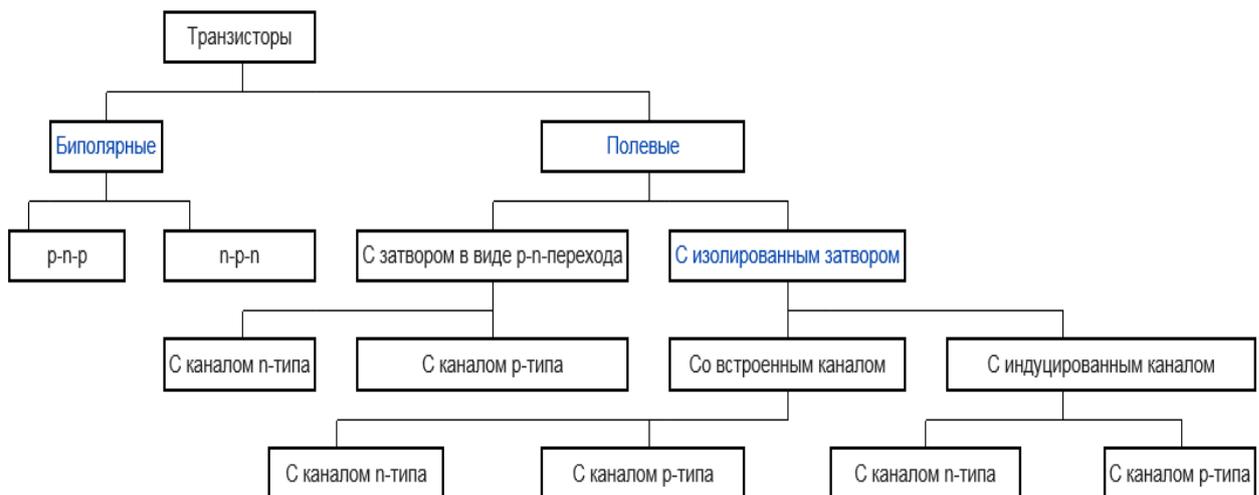
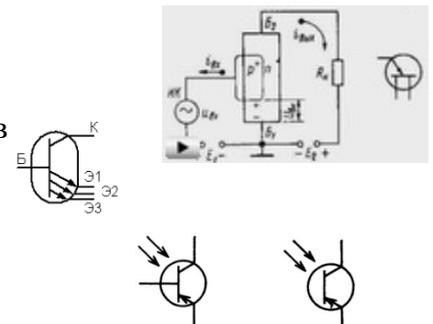


Рис. 1. Виды транзисторов.

Они относятся к одному классу — транзисторы, но происходящие в них процессы сильно отличаются.

Другие разновидности транзисторов

- Однопереходные транзисторы.
- Многоэмиттерные транзисторы (применяются в транзисторно-транзисторной логике для построения логических элементов И-НЕ).
- Баллистические транзисторы на основе углеродных нанотрубок.
- Фототранзисторы.



2. n-p-n

Граница между этими слоями называется переход. Внутреннюю область, разделенную двумя переходами, называют базой. Две внешние области называют эмиттер и коллектор. Монокристалл изготовлен таким образом, что одна внешняя область передает в базу носители энергии и называется эмиттером. Другая внешняя область забирает эти носители и называется коллектором.

На электрической схеме биполярный транзистор обозначается в соответствии с рис.2.

База управляет током между коллектором и эмиттером. Источник питания подключается между эмиттером и коллектором, а на базу подается управляющее напряжение.

Рассмотрим принцип действия на примере n-p-n транзистора. Для его работы необходимо, чтобы коллектор имел более положительный потенциал, чем эмиттер и предельные значения тока коллектора I_k , тока базы I_B и напряжения коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$ не были превышены. В этом случае ток коллектора I_k прямо пропорционален току базы I_B . Такое соотношение можно записать в виде формулы.

$$I_k = h_{21Э} I_B = \beta I_B, \quad (1)$$

где $h_{21Э}$ – коэффициент усиления по току. Его также обозначают как β .

Выражение (1) выполняется при напряжениях между базой и эмиттером $U_{БЭ} = U_{БЭ0} + \Delta U_1 - \Delta U_2$ В. Для кремниевых транзисторов $U_{БЭ0} \approx 0,7$ В, а для германиевых – $U_{БЭ0} \approx 0,3$ В. Причем величины $U_{БЭ0}$, ΔU_1 , ΔU_2 зависят от температуры, режимов работы транзисторов и могут различаться даже для приборов одной серии выпуска. Это приводит к **погрешностям, заключающимся в нестабильности постоянных напряжений на элементах схем с транзисторами.** Снижение влияния нестабильности $U_{БЭ0}$ на погрешность работы схемы достигается введением в эмиттерную цепь резисторов, как это показано на рис. 5 и 6.

У реальных транзисторов $\beta \gg 1$. Поэтому основное свойство транзистора – малый ток базы управляет большим током коллектора. Исходя из сказанного, транзистор может работать в четырех режимах:

1. **Режим отсечки транзистора** — в этом режиме переход база-эмиттер закрыт, такое может произойти, когда напряжение база-эмиттер недостаточное (у кремниевых транзисторов оно менее 0,7 В, а у германиевых – менее 0,3 В). В результате ток базы отсутствует и, следовательно, ток коллектора тоже будет отсутствовать.

2. **Активный режим транзистора** — это нормальный режим работы транзистора. В этом режиме напряжение база-эмиттер достаточно для того, чтобы возник ток базы, и переход база-эмиттер открылся. Ток коллектора равняется току базы, умноженному на коэффициент β .

3. **Режим насыщения транзистора** — в этот режим транзистор переходит тогда, когда ток базы становится настолько большим, что мощности источника питания просто не хватает для дальнейшего увеличения тока коллектора. В этом режиме ток коллектора не может увеличиваться вслед за увеличением тока базы.

4. **Инверсный режим транзистора** — этот режим используется крайне редко. В этом режиме коллектор и эмиттер транзистора меняют местами. В результате таких манипуляций коэффициент усиления транзистора очень сильно страдает. Транзистор изначально проектировался не для того, чтобы он работал в таком особенном режиме.

Для понимания того как работает транзистор нужно рассматривать конкретные схемные примеры, поэтому рассмотрим некоторые из них.

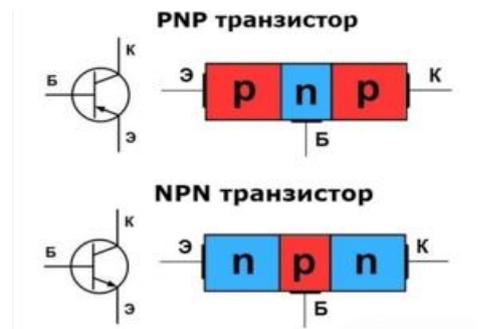
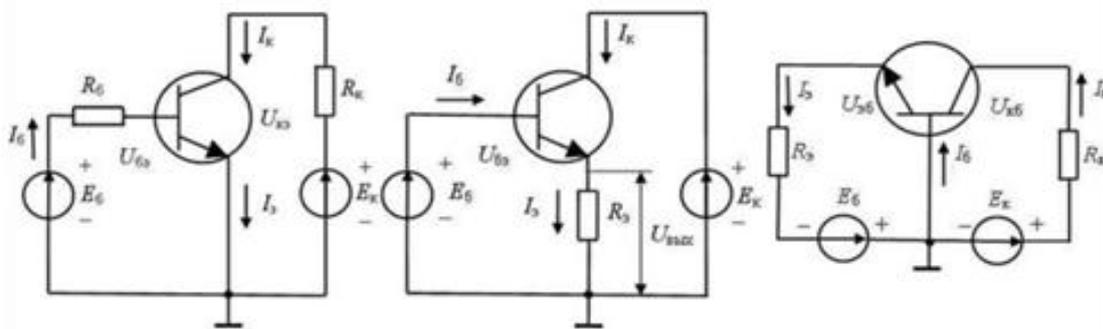


Рис. 2. Обозначение биполярного транзистора



Включение биполярного n-p-n транзистора по схеме с общим эмиттером

Включение биполярного n-p-n транзистора по схеме с общим коллектором

Включение биполярного n-p-n транзистора по схеме с общей базой

Рис. 3 Виды подключения транзистора

На рис. 3 приведены виды подключения транзистора:
 с общим эмиттером ОЭ (происходит усиление напряжения и тока, используется чаще остальных видов);
 с общим коллектором ОК (усиливает ток, часто используется для согласования каскадов с разным сопротивлением);
 с общей базой ОБ (усиливает только ток, используется редко).

1.3. Схемы с использованием биполярного транзистора

1.3.1. Транзистор в ключевом режиме

Транзистор в ключевом режиме это один из случаев транзисторных схем с общим эмиттером. Схема транзистора в ключевом режиме применяется очень часто. К этой транзисторной схеме прибегают при необходимости управления мощной нагрузкой.

Основная суть этого режима заключается в том, что ток базы управляет током коллектора. Причем ток коллектора в β раз больше тока базы. Усиление сигнала по току осуществляется за счет энергии источника питания.

На рисунке 4 изображена схема работы транзистора в ключевом режиме. В этой схеме при открытом транзисторе ток коллектора определяется как напряжение электропитания, уменьшенное на напряжение насыщения перехода коллектор – эмиттер $U_{кЭнас}$ (типичное значение от 0,1 до 0,5 В) и деленное на сопротивление мощной нагрузки.

Произведем расчет схемы.

Пусть минимальное значение коэффициента усиления транзистора $\beta = 10$. Тогда для открытия транзистора ток базы должен быть не менее 10 мА.

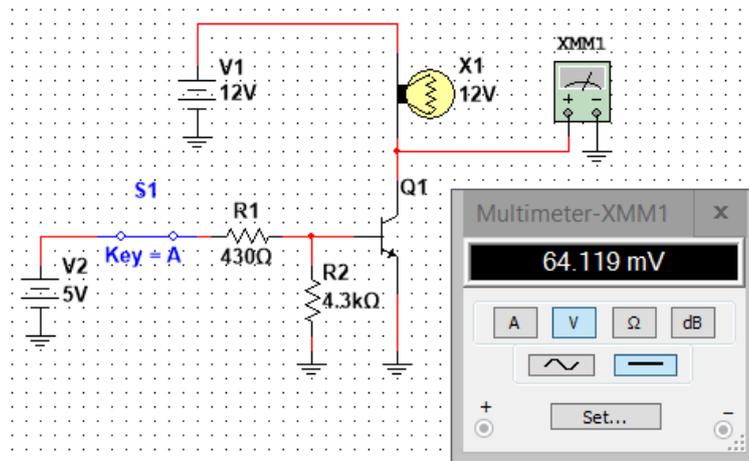


Рис. 4. Схема работы транзистора в ключевом режиме.

$$I_B = \frac{I_K}{\beta} = \frac{100\text{мА}}{10} = 10\text{мА}$$

Необходимый ток I_B известен. Напряжение на базовом резисторе будет $U_R = U_{\text{общ}} - U_{BЭ} = 5\text{В} - 0,6\text{В} = 4,4\text{В}$ Такое значение напряжения на резисторе получилось из-за того, что на переходе база-эмиттер падает напряжение от 0,6 В до 0,7 В и это надо учитывать.

В результате, мы находим сопротивление резистора $R_b = \frac{U_R}{I_B} = \frac{4,4\text{В}}{10\text{мА}} = 440\text{Ом}$. Из ряда допустимых номиналов сопротивления резисторов выбираем $R_b = 430\text{Ом}$.

Закрытие транзистора происходит при подаче нулевого потенциала на его базу. В схеме рис. 4 при отключенном напряжении +5 В база транзистора будет полностью отключена от источников электропитания. В этом случае из-за наводок от электромагнитных полей и по прочим причинам возможно появление на базовом выводе напряжения отличающегося от нулевого значения.

Чтобы такого эффекта не происходило между базой и эмиттером подключают еще один резистор $R_{бэ}$. Этот резистор выбирают номиналом как минимум в 10 раз больше базового резистора R_b (в нашем случае – это резистор 4,3кОм).

1.3.2. Эмиттерный повторитель

Эмиттерный повторитель представлен на рис. 5 Он является частным случаем транзисторных схем с общим коллектором.

Отличительной чертой схемы с общим коллектором от схемы с общим эмиттером (вариант с транзисторным ключом) является то, что эта схема не усиливает сигнал по напряжению.

Действительно, допустим приложили к базе мы 10 вольт, при этом мы знаем, что на переходе база-эмиттер падает около 0,6-0,7 В. Выходит, что на выходе (на эмиттере, на нагрузке R_H) будет напряжение базы минус 0,6В.

$$U_H = U_b - 0,6\text{В} = 10\text{В} - 0,6\text{В} = 9,4\text{В}$$

Схема включения транзистора с общим коллектором не усиливает сигнал по напряжению, но усиливает ток сигнала, то есть является усилителем мощности.

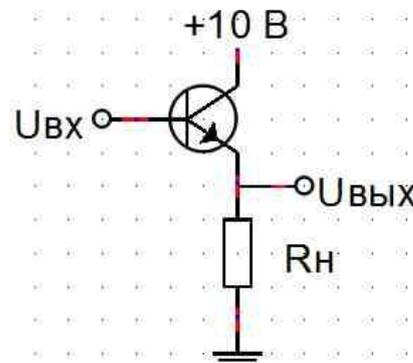


Рис. 5. Эмиттерный повторитель

1.3.3. Усилитель переменного напряжения

Схема усилителя переменного напряжения представлена на рис. 6 Он является частным случаем транзисторных схем с общим эмиттером.

Схема усилителя по рис. 4 работает нестабильно. Это обусловлено зависимостью соответствующего активному режиму транзистора напряжения на переходе база-эмиттер (это напряжение называют «рабочей точкой») от температуры p-n (p-n-p) перехода.

Для стабилизации рабочей точки используется отрицательная обратная связь по току в виде резистора $R_э$.

Конденсаторы C_1 и C_2 являются разделительными: C_1 препятствует связи по постоянному току источника входного сигнала и усилителя, а C_2 служит для разделения по постоянному току коллекторной цепи и нагрузки.

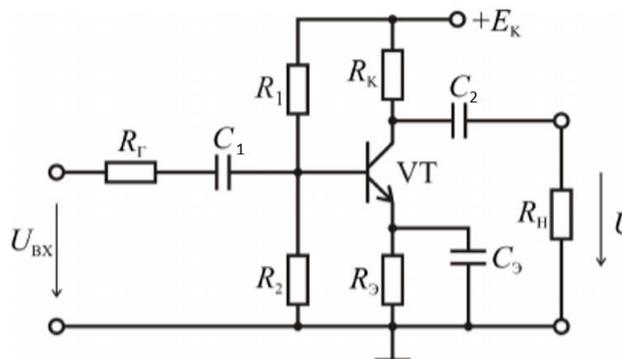


Рис. 6. Усилитель переменного напряжения.

Емкости C_1 и C_2 выбирают такими, что на частоте переменной составляющей их сопротивлением можно пренебречь. Резистор R_r учитывает внутреннее сопротивление источника сигнала. Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель напряжения, определяющий положение рабочей точки эмиттерного перехода.

Резистор в цепи коллектора преобразует изменение тока коллектора в выходное напряжение. На выходе цепи включен резистор нагрузки R_H , с которого снимается усиленный сигнал.

Резистор $R_Э$ является цепью отрицательной обратной связи. Конденсатор в цепи эмиттера шунтирует резистор $R_Э$. Ёмкость этого конденсатора выбирают такой, чтобы его сопротивление $X_Э$ на минимальной частоте сигнала было минимальным: $X_Э=1/(\omega C_Э) \ll R_Э$. За счёт этого увеличивается коэффициент усиления переменной составляющей.

Поскольку в схеме действуют источники переменного (источник сигнала на входе) и постоянного напряжения, для расчета используем метод наложения. Проанализируем цепь отдельно для постоянной и переменной составляющих. Напомним, что анализ по постоянной составляющей называют анализом в режиме большого сигнала, а по переменной составляющей – анализом в режиме малого сигнала.

Проведем расчет схемы рис. 6 по постоянному току.

Выберем напряжение электропитания схемы $E_K = 12$ В. Выходной сигнал, который равен напряжению U_K на коллекторе транзистора VT должен меняться на максимально возможную величину. Его максимальное значение $U_{Kmax} = E_K$ при закрытом транзисторе VT, а минимальное $U_{Kmin} = E_K R_Э / (R_Э + R_K) + U_{KЭнас}$ – при открытом транзисторе VT. Для стабильной работы схемы без существенного уменьшения амплитуды выходного сигнала необходимо выбрать величину падения напряжения на $R_Э$ при открытом транзисторе в 2–3 раза больше величины $U_{БЭ}=0,7$ В. Возьмем это напряжение равным, например $U_Э=2$ В. При больших значениях коэффициента усиления транзистора β можно принять ток эмиттера равным току коллектора $I_Э=I_K$. Требования к току коллектора противоречивы. С одной стороны при его увеличении снижается выходное сопротивление схемы и растет мощность выходного сигнала, а с другой стороны при этом возрастают потребляемая энергия и требования по увеличению емкости конденсатора $C_Э$. Реально величину I_K выбирают такой, которая рекомендована в паспортных данных транзистора VT. Для примера возьмем $I_K = 0,1$ А. Тогда получим $R_Э=2 \text{ В} / 0,1 \text{ А} = 20 \text{ Ом}$.

Для обеспечения максимального изменения напряжения U_K на коллекторе транзистора VT при отсутствии входного напряжения ($U_{ВХ}=0$ В) напряжение на коллекторе U_{K0} должно быть:

$$U_{K0} = U_Э + U_{KЭнас} + (E_K - U_Э - U_{KЭнас}) / 2 = (E_K + U_Э + U_{KЭнас}) / 2 = (12 + 2 + 0,4) / 2 = 7,2 \text{ В}.$$

Далее произведем расчет R_K . Напряжение на резисторе: $12 - 7,2 = 4,8$ В. Ток через резистор: $I_{K0} = 100$ мА. Сопротивление резистора $R_K = 4,8 / 0,1 = 48$ Ом.

Произведем расчет резисторов R_1 и R_2 . Ток, протекающий через образованный резисторами делитель должен значительно превосходить ток базы I_B транзистора VT.

$$I_B \ll E_K / (R_1 + R_2). \text{ Откуда } R_1 + R_2 \ll E_K / I_B = E_K / (I_K / \beta).$$

Типовое значение коэффициента усиления транзистора $\beta > 100$. Для нашего случая имеем: $R_1 + R_2 \ll 12 / (0,1 / 100) = 12$ кОм.

$$\text{Выберем } R_1 + R_2 = 3 \text{ кОм}.$$

Напряжение на эмиттере транзистора VT при отсутствии входного сигнала: $U_{Э0} = I_{K0} R_Э = 2$ В. Требуемое напряжение на базе транзистора VT будет $U_{Б0} = U_{Э0} + 0,7 = 2,7$ В.

Произведем расчет номиналов R_1 и R_2 путем решения системы уравнений:

$$R_1 + R_2 = 3 \text{ кОм};$$

$$R_2 / (R_1 + R_2) = 2,7 / 12.$$

Получим $R_1 = 2,325$ кОм, $R_2 = 675$ Ом. Из номинальных рядов номиналов резисторов выберем $R_1 = 2,4$ кОм, $R_2 = 680$ Ом.

Произведем расчет схемы для сигнала переменного напряжения. Допустим, что усиливаемый сигнал лежит в частотном диапазоне от 100 до 15000 Гц. На входе схемы для переменного напряжения конденсатором C_1 и параллельно соединенными сопротивлениями резисторов R_1 , R_2 и βR_3 образован фильтр высоких частот первого порядка.

$$R_{ex} = 1 / [1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / (R_3 \beta)] \approx 650 \text{ Ом}$$

Для передачи сигнала с минимальными искажениями необходимо обеспечить его граничную частоту f_1 ниже 100 Гц:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_{ex} C_1} < 100 \text{ Гц.}$$

Откуда получим: $C_1 > 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$, или $C_1 = 20 \text{ мкФ}$.

Также для снижения искажений необходимо выполнить условие $R_1 \ll R_{ex}$.

Для выходных цепей аналогично необходимо выполнить условие $R_H \gg R_K$. В этом случае граничная частота f_2 фильтра высоких частот определяется сопротивлением резистора R_K и емкостью конденсатора C_2 . Граничная частота f_2 должна быть ниже 100 Гц:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_K C_2} < 100 \text{ Гц.}$$

Откуда получим: $C_2 > 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, или $C_2 = 5 \text{ мкФ}$.

Для рассчитанной схемы коэффициент усиления постоянного напряжения приблизительно равен $R_K / R_3 = 2,4$. Для увеличения коэффициента усиления в частотном диапазоне от 100 до 20000 Гц до коэффициента усиления тока транзистором $\beta = 100$ необходимо обеспечить выполнение условия:

$$\beta / (\omega C_3) < R_3 \text{ или } C_3 > \beta / (\omega R_3) = 100 / (6,28 \cdot 100 \cdot 20) = 8000 \text{ мкФ.}$$

Это достаточно большая величина емкости. Выберем электролитический конденсатор емкостью 2000 мкФ.

Еще одним источником погрешности схемы рис. 4.6 является зависимость коэффициента усиления тока β реального транзистора от величины тока базы и нелинейная зависимость тока базы от входного напряжения $U_{вх}$. Это приводит к различию усиления положительной и отрицательной полуволн переменного сигнала. Если на вход усилителя, собранного по схеме рис. 4.6, подается синусоидальный сигнал, то сигнал на выходе схемы будет содержать 2, 3, 4, 5 и другие гармоники. Они появляются из за нелинейности (зависимости от амплитуды входного сигнала) коэффициента усиления схемы. Такая погрешность оценивается показателем, называемым коэффициентом нелинейных искажений.

Коэффициент нелинейных искажений равен отношению среднеквадратичной суммы спектральных компонентов выходного сигнала, отсутствующих в спектре входного сигнала, к среднеквадратичной сумме всех спектральных компонент входного сигнала

$$K_H = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2 + \dots}} \quad (2)$$

Так как величина выходного сигнала не может превышать напряжений электропитания, дополнительное увеличение нелинейных искажений возможно в случае амплитуды выходного сигнала приближающегося к напряжениям электропитания схемы.

Проведем моделирование схемы рис. 6 с помощью программы Multisim. Схема и результаты ее испытаний приведены на рис. 7.

Для определения погрешностей работы схемы ее выходной сигнал подключен к измерителю постоянного напряжения, осциллографу и анализатору спектра.

На экране осциллографа видно, что амплитуда нижней части выходного сигнала превышает амплитуду верхней части. Это может быть обусловлено не только изменением коэффициента усиления тока β , но и повышенным значением постоянного напряжения на

коллекторе транзистора (8,668 V вместо ранее рассчитанных 7,2 V). Можно попытаться снизить эти искажения путем уменьшения сопротивления R1.

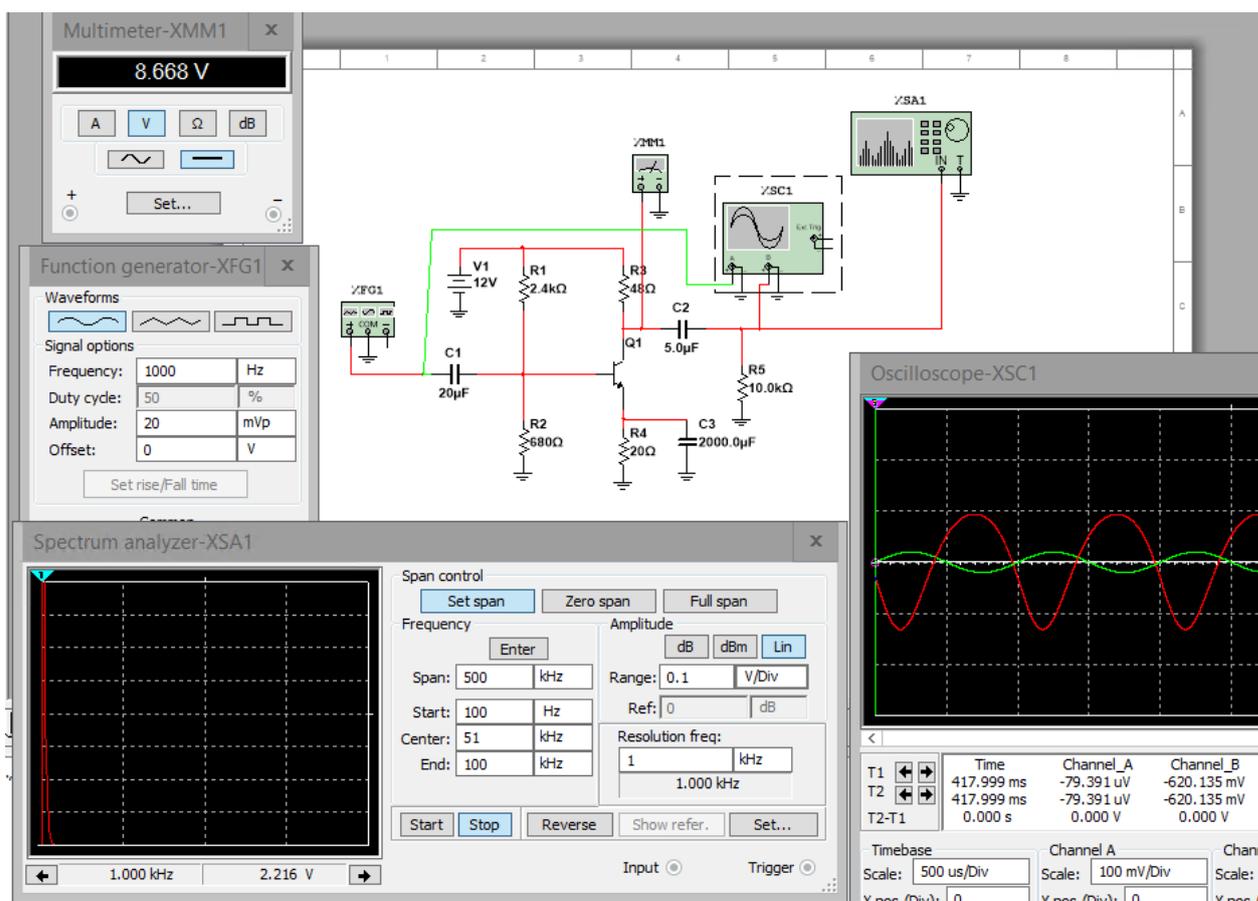


Рис. 7. Результаты моделирования рассчитанной схемы усилителя.

Оценка характеризующего этот вид погрешности коэффициента нелинейных искажений определяется с помощью анализатора спектра. Под его экраном на рис. 7 указана частота 1 кГц и соответствующее ей напряжение 2,216 V.

Переключение анализируемой частоты сигнала производится клавишами ← и →, которые расположены под экраном анализатора спектра.

На рисунках 8 а, б, в приведены результаты гармонического анализа сигнала. Они отражены в таблице 1.

Результаты анализа спектра сигнала

Таблица 1

| | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Частота, kHz | 1 | 1,826 | 2,240 | 3,066 | 2 |
| Напряжение, V | 2,216 | 0,696 | 0,298 | 0,044 | 0,529 |

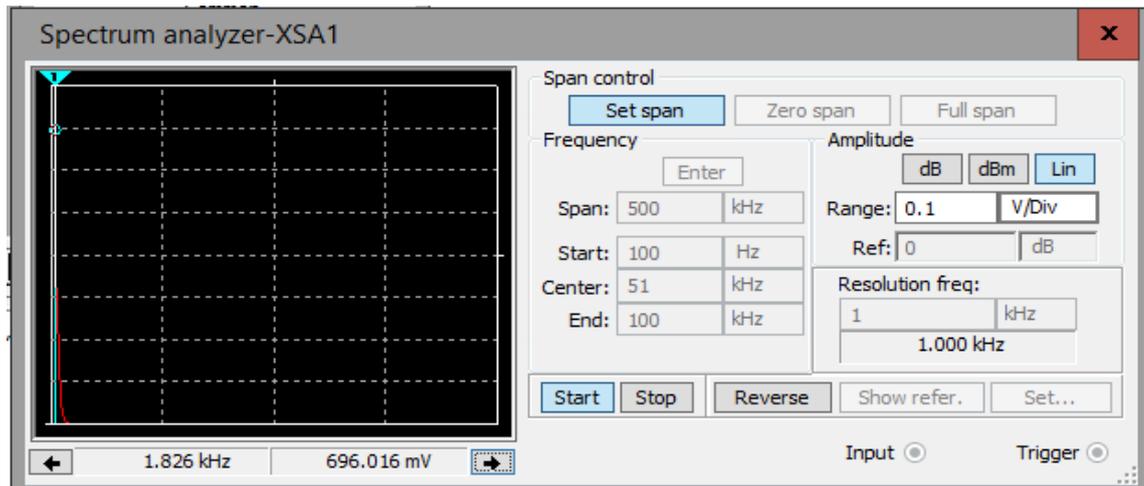
Определяется коэффициент нелинейных искажений по формуле 2. При вычислениях ограничимся тремя гармониками, так как более высокие гармоники имеют чрезвычайно низкие значения и практически не влияют на результат.

Из таблицы 1 видно, что мы имеем значения первой и третьей гармоник выходного сигнала. При линейной аппроксимации зависимости напряжения от частоты приближенно амплитуду второй гармоники определим как:

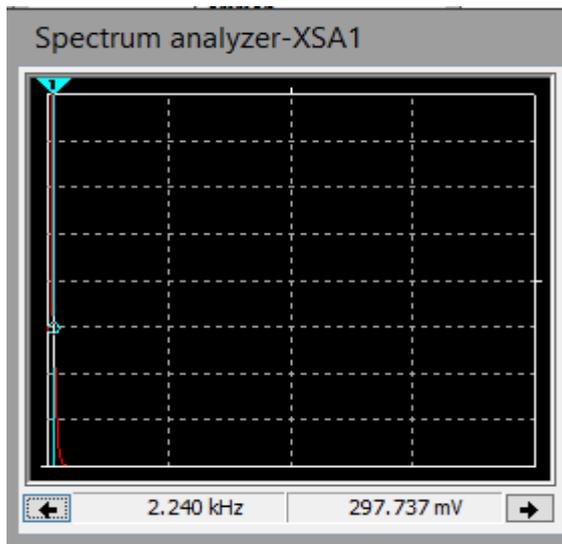
$$U_2 = 0,696 - (0,696 - 0,298)(2 - 1,826) / (2,24 - 1,826) = 0,529 \text{ V.}$$

Далее, используя выражение 2, вычислим коэффициент нелинейных искажений:

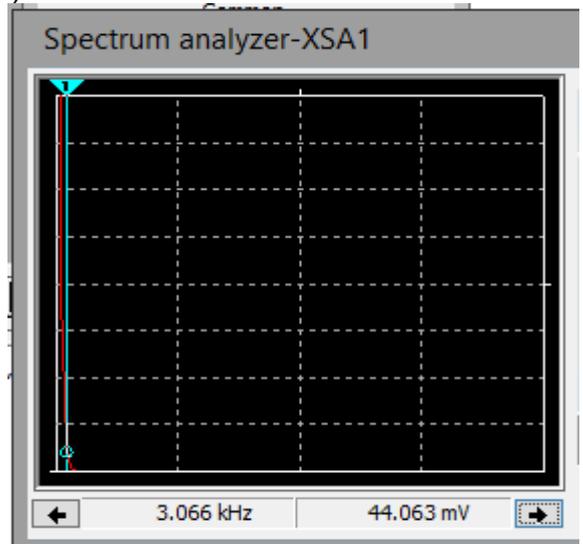
$$K_H = \frac{\sqrt{0,529^2 + 0,044^2}}{\sqrt{2,216^2 + 0,529^2 + 0,044^2}} = 0,233 = 23,3\%$$



a)



б)



в)

Рис. 8. Результаты анализа спектра сигнала

Таким образом, одной из основных причин возникновения нелинейных искажений является зависимость коэффициента преобразования аналитического сигнала от амплитуды этого сигнала. Кстати, этот вид погрешности характерен и для схем с использованием полевых и JGBT транзисторов.

Одним из способов снижения нелинейных искажений является создание схем на двух параллельно работающих по возможности идентичных транзисторах. Транзисторы должны работать в противофазе, то есть когда у одного транзистора коэффициент усиления по току β снижается, то у другого он должен увеличиваться.

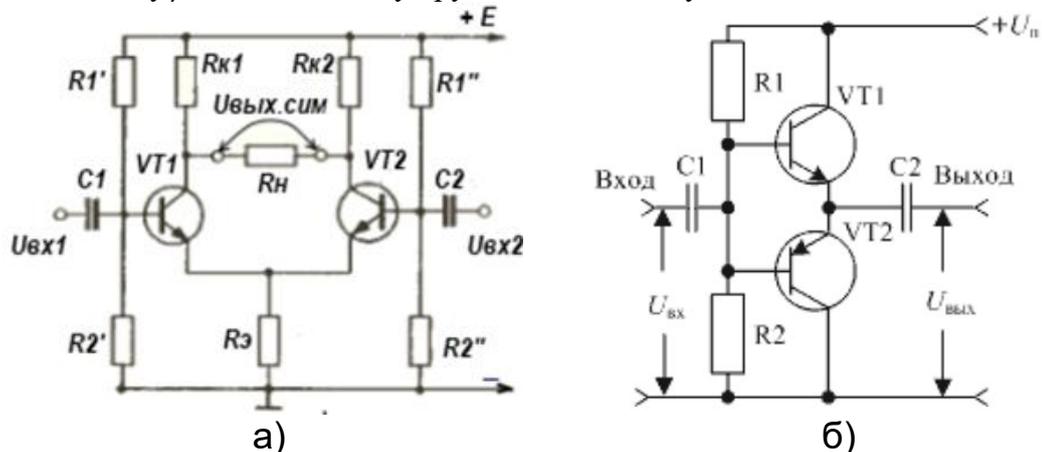


Рис. 9. Дифференциальный каскад (а) и двухтактный усилитель (б).

При параллельном включении транзисторов получаем изображенную на рис. 9а схему дифференциального усилителя, а при последовательном – представленную на рис. 9б схему двухтактного усилителя. Однако из за нелинейной зависимости коэффициента усиления по току β от величины входного сигнала полностью устранить нелинейные искажения усилителя невозможно.

Дополнительным способом снижения влияния нестабильности коэффициента преобразования на погрешность результатов измерений является использование схем с отрицательной обратной связью. Принцип ее работы пояснен рис. 10. Эта схема описывается уравнением:

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} \frac{K}{1+K\beta} \quad (3)$$

Для наибольшей эффективности работы схемы необходимо обеспечить максимально возможную величину коэффициента усиления K ($K \rightarrow \infty$). В этом случае из (3) получается:

$$U_{ВЫХ} = \frac{U_{ВХ}}{\beta} \quad (4)$$

Действительно, если K будет изменяться от 10^5 до 10^6 (в 10 раз), а $\beta = 0,1$, то общий коэффициент усиления всей системы будет изменяться от 9,999 до 9,9999 (на 0,09 %).

Более подробно такие системы будут рассмотрены в лабораторной работе, посвященной исследованию операционных усилителей.

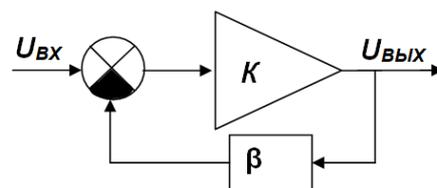


Рис. 10. Система с отрицательной обратной связью

2. Задание к лабораторной работе и составление отчета

Для указанных в соответствии с Вашим вариантом в таблице 2 данных произвести расчет схемы рис. 6. С помощью моделирования схемы в программной среде Multicim-13 проверить правильность выполненных расчетов и при необходимости произвести подбор номинала резистора R1. Снять АЧХ усилителя для диапазона частот от 100 до 15 000 Гц. Определить коэффициент нелинейных искажений схемы на частоте 1 кГц.

Данные для расчета схемы усилителя.

Таблица 2.

| № варианта | Частотный диапазон, Гц | Напряжение электропитания, В | Коэффициент усиления по току, β |
|------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 100-15000 | 9 | 100 |
| 2 | 50-18000 | 10 | 150 |
| 3 | 20-20000 | 12 | 200 |
| 4 | 200-10000 | 15 | 250 |
| 5 | 300-10000 | 20 | 300 |
| 6 | 100-15000 | 30 | 350 |
| 7 | 50-18000 | 9 | 400 |
| 8 | 20-20000 | 10 | 100 |
| 9 | 200-10000 | 12 | 150 |
| 10 | 300-10000 | 15 | 200 |
| 11 | 100-15000 | 20 | 250 |
| 12 | 50-18000 | 30 | 300 |
| 13 | 20-20000 | 9 | 350 |
| 14 | 200-10000 | 10 | 400 |
| 15 | 300-10000 | 12 | 100 |
| 16 | 100-15000 | 15 | 150 |
| 17 | 50-18000 | 20 | 200 |
| 18 | 20-20000 | 30 | 250 |
| 19 | 200-10000 | 9 | 300 |

| № варианта | Частотный диапазон, Гц | Напряжение электропитания, В | Коэффициент усиления по току, β |
|------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 20 | 300-10000 | 10 | 350 |
| 21 | 100-15000 | 12 | 400 |
| 22 | 50-18000 | 15 | 100 |
| 23 | 20-20000 | 20 | 150 |
| 24 | 200-10000 | 30 | 200 |
| 25 | 300-10000 | 9 | 250 |

Составление отчета

Выполнить изложенные выше задания. Оформить все полученные результаты в виде файла Word (.doc или .docx). Отчет должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, № группы, ФИО.
2. Цель работы.
3. Названия заданий к экспериментальным исследованиям.
4. Схемы исследуемых цепей.
5. Результаты экспериментальных измерений и теоретических расчетов. Временные диаграммы и графики, построенные по результатам измерений и расчетов.
6. Выводы и сопоставление результатов измерений и расчетов.

Образец оформления отчета приведен в ПРИЛОЖЕНИИ 1 описания первой лабораторной работы. Отчет сформировать в виде файла Word (.doc или .docx). К отчету приложить модель исследуемых схем в виде файла Multicim (.ms13 или .ms14). Эти два файла необходимо передать преподавателю, прикрепляя их на странице задания по кнопке «Загрузить файл».