**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

|  |  |
| --- | --- |
| Logo  Description automatically generated | **«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

Факультет РЛ

Кафедра РЛ6 «Технологии приборостроения»

**Домашнее задание №2**

по курсу «Электроника»

**Анализ и синтез усилительного каскада на биполярном транзисторе**

Вариант № 14

Выполнили студенты группы РЛ-41 Худяков А.С., Костышина В.Ю. и Мельников А.Н.

Преподаватель Крайний В.И.

Москва 2022

**Семинар 1**

**1. Расчет параметров модели заданного биполярного транзистора**

Исходные параметры модели транзистора 2T316Г : Is=2.753f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=96 Bf=86.5 Ne=2.496 Ise=12.8p Ikf=97.23m Xtb=1.5 Var=55 Br=.6577 Nc=2 Isc=15.5p Ikr=.12 Rb=70.6 Rc=8.35 Cjc=4.089p Vjc=.65 Mjc=.33 Fc=.5 Cje=1.16p Vje=.69 Mje=.33 Tr=27.84n Tf=78.97p Itf=.151 Vtf=25 Xtf=2

Из справочника [1] определяем максимальное значение коллекторного тока 50 мА.

**Схема для исследования выходных характеристик биполярного транзистора**

Diagram

Description automatically generated

**Окно задания параметров построения выходных характеристик**

Graphical user interface

Description automatically generated

**Семейство выходных характеристик**

A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

**Схема для исследования входных характеристик биполярного транзистора**

Diagram, schematic

Description automatically generated

**Окно задания параметров построения входных характеристик**

Graphical user interface, application

Description automatically generated

**Семейство входных характеристик**

Chart, line chart

Description automatically generated

**Определение тока коллектора и напряжения база-эмиттер в режиме насыщения**

Ток насыщения, напряжение коллектор-эмиттер снимаем с ВАХ выходных характеристик, напряжение база-эмиттер находим с помощью ВАХ входных характеристик.

Chart, box and whisker chart

Description automatically generated

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0.366 | 0.847 | 1.146 | 1.470 | 1.669 |
|  | 0.012 | 0.072 | 0.111 | 0.142 | 0.167 |
|  | 0.3 | 1.5 | 2.7 | 3.9 | 5 |
|  | 0.791 | 0.922 | 1.023 | 1.119 | 1.206 |

– напряжение коллектор-эмиттер; – ток насыщения коллектора; – ток базы; – напряжение база-эмиттер.

**Расчётной выходной проводимости**

Таблица заполнена по данным, взятым из Micro-Cap12 (скриншот представлен ниже)

Chart, box and whisker chart

Description automatically generated

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *, В* | 10 | 11 |
|  | 167.280 | 168.915 |

- ток коллектора;

*-* напряжение коллектор-эмиттер.

**Расчёт статического коэффициента передачи по току**

(при =5 В)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *, А* | 0.011 | 0.068 | 0.106 | 0.135 | 0.159 |
| *, А* | 0.0003 | 0.0015 | 0.0027 | 0.0039 | 0.005 |
| *BF ()* | 36.6 | 45.3 | 39.259 | 34.615 | 31.8 |

Chart, box and whisker chart

Description automatically generated

**Определение напряжения насыщения**

(при заданном )

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *, А* | 0.003 | 0.015 | 0.027 | 0.039 | 0.05 |
| *, А* | 0.0003 | 0.0015 | 0.0027 | 0.0039 | 0.005 |
|  | 127 | 228 | 341 | 460 | 562 |

На скриншотах ниже приведены примеры снятия для первых двух столбцов.

Chart, line chart

Description automatically generated

**Расчет параметров модели биполярного транзистора в программе Model**

В программу Model вбиваем полученные выше характеристики. В результате имеем 4 окна с расчётами характеристик транзистора, которые нам нужно перенести в программу Micro-Cap 12.

Окно расчётов 1

Chart, line chart

Description automatically generated

Окно расчётов 2

A picture containing chart

Description automatically generated

Окно расчётов 3

Chart

Description automatically generated

Окно расчётов 4

Chart, scatter chart

Description automatically generated

**Схема для исследования выходных характеристик биполярного транзистора (совмещение характеристик)**

Строим схему для исследования выходных характеристик биполярного транзистора и выбираем биполярный транзистор из библиотеки Micro-Cap12

Diagram, schematic

Description automatically generated

, ,, – резисторы для уменьшения влияния транзисторов друг на друга; – внутреннее сопротивление источника.

Параметры модели транзистора (q2T316g), полученные в программе Model в виде SPICE файла :

Graphical user interface, text, application

Description automatically generated

.MODEL part0 NPN (IS=9.96322F BF=80.6761 NF=1.06609 VAF=94.0119 IKF=197.192M + ISE=990.962F NE=1.56307 BR=1M IKR=10M ISC=100P NC=2 RE=1.99899 RC=2 CJE=2P + MJE=500M CJC=5P MJC=500M TF=1N XTF=500M VTF=10 ITF=10M TR=10N EG=1.11)

**Окно задания параметров**

Graphical user interface

Description automatically generated

**Семейство выходных характеристик транзисторов**

Chart

Description automatically generated with medium confidence

Рассчитаем относительную погрешность:

Chart

Description automatically generated

Получаем, что наша погрешность не превышает 10%, следовательно, можем не изменять характеристики смоделированного транзистора.

Итоговый результат (характеристики транзистора исходного и смоделированного) представлены ниже:

.model q2T316g NPN(Is=2.753f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=96 Bf=86.5 Ne=2.496

+ Ise=12.8p Ikf=97.23m Xtb=1.5 Var=55 Br=.6577 Nc=2 Isc=15.5p Ikr=.12

+ Rb=70.6 Rc=8.35 Cjc=4.089p Vjc=.65 Mjc=.33 Fc=.5 Cje=1.16p Vje=.69

+ Mje=.33 Tr=27.84n Tf=78.97p Itf=.151 Vtf=25 Xtf=2)

.model q2T316gay NPN(Is=9.96322f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=94.0119 Bf=80.6761 Ne=1.56307

+ Ise=990.962f Ikf=197.192m Xtb=1.5 Var=55 Br=1m Nc=2 Isc=15.5p Ikr=10m

+ Rb=70.6 Rc=2 Cjc=5p Vjc=.65 Mjc=500m Fc=.5 Cje=2p Vje=.69

+ Mje=500m Tr=10n Tf=1n Itf=10m Vtf=10 Xtf=500m)

**Семинар 2**

**Расчет и настройка усилительного каскада**

Задано: кОм, В.

Так как рабочая точка должна лежать в середине нагрузочной прямой, то B.

Используя закон Кирхгофа, рассчитаем мА.

Схема для настройки имеет вид:

Diagram, schematic

Description automatically generated

На семействе выходных характеристик построим нагрузочную прямую.

Graphical user interface

Description automatically generated

Видно, что рабочая точка имеет следующие параметры:

В, мА. При этом мА и мА

Используя динамический анализ по постоянному току (Dynamic DC) на основе полученных данных при помощи функции Slider определяем значение сопротивления резистора .

Diagram

Description automatically generated

Получаем Ом.

Выбираем резистор в соответствии с сеткой Е24 с номинальным значением сопротивлением Ом.

Table

Description automatically generated

При этом получаем

Diagram

Description automatically generated

Дополним каскад, рассчитанный по постоянному току, виртуальным генератором сигналов (Voltage Source).

Chart, box and whisker chart

Description automatically generated

Проведем анализ работы схемы во временной области при различных амплитудах входного сигнала, задав частоту генератора входного сигнала 1 кГц.

Окно параметров анализа

Graphical user interface, text, application

Description automatically generated

Chart, line chart

Description automatically generated

Увеличим амплитуду входного сигнала до 100 мВ.

Chart, line chart

Description automatically generated

Увеличим амплитуду входного сигнала до 1 В.

Chart, line chart

Description automatically generated

Определим спектр сигнала на выходе усилительного каскада при амплитуде сигнала на входе 10 мВ. Окно задания анализа имеет вид :

Chart, line chart

Description automatically generated

Определим коэффициент нелинейных искажений К по первым пяти гармоникам. Для этого воспользуемся программой MatLab, в которую перенесем данные графика и проведем расчет.

Text, letter

Description automatically generated

Таким образом, коэффициент нелинейных искажений составил .

**Выводы :** в результате проведённой работы были определены параметры модели библиотечного биполярного транзистора КТ315А, после чего он был добавлен в библиотеку программы Micro-Cap 9. Был создан и исследован каскад усиления на основе полученного транзистора, проведен расчет по постоянному току, проведен анализ работы по переменному току получен спектр сигнала на выходе и рассчитан коэффициент нелинейных искажений. Проведено исследование работы ключа на заданном биполярном транзисторе с нелинейной обратной связью.

**Список использованных источников**

1. Полупроводниковые приборы : Транзисторы. Справочник / В.Л.Аронов, A.В.Баюков, А.А.Зайцев и др. Под общ. ред. Н.Н.Горюнова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1985 904с.,ил.