

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ЗАДАНИЕ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ В ТРАНЗИСТОРНОМ КАСКАДЕ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

2012

Бородин Максим Викторович
Саликаев Юрий Рафаельевич

Задание рабочей точки в транзисторном каскаде: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) / М.В. Бородин, Ю.Р. Саликаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 19 с.

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

В работе рассматриваются различные способы задания рабочей точки транзисторного каскада с общим эмиттером.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) по дисциплине «Математические модели и САПР электронных приборов и устройств»

© Бородин Максим Викторович, 2012
© Саликаев Юрий Рафаельевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ____ » _____ 2012 г.

ЗАДАНИЕ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ В ТРАНЗИСТОРНОМ КАСКАДЕ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик
_____ М.В. Бородин
_____ Ю.Р. Саликаев
« ____ » _____ 2012 г

Содержание

1 Введение.....	5
2 Лабораторная работа. Задание рабочей точки в транзисторном каскаде...	5
2.1 Цель работы.....	5
2.2 Краткие сведения из теории	5
2.2.1 Задание тока базы с помощью одного резистора.....	5
2.2.2 Задание тока базы с помощью делителя напряжения.....	7
2.3 Порядок проведения экспериментов	12
2.4 Контрольные вопросы	17
3 Содержание отчета.....	18
Список рекомендуемой литературы.....	18

1 Введение

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства. В работе рассматриваются различные способы задания рабочей точки транзисторного каскада с общим эмиттером.

При выполнении работы используются следующие приборы и элементы: биполярный транзистор 2N3904; биполярный транзистор 2N3906; источники постоянной ЭДС; резисторы; амперметры; вольтметры.

2 Лабораторная работа. Задание рабочей точки в транзисторном каскаде

2.1 Цель работы

В ходе выполнения работы необходимо:

- построить нагрузочную линию транзисторного каскада;
- задать рабочую точку транзисторного каскада;
- исследовать параметры рабочей точки транзистора; условия для перевода транзистора в режим насыщения и отсечки;
- определить статический коэффициент передачи транзистора по экспериментальным данным.

2.2 Краткие сведения из теории

2.2.1 Задание тока базы с помощью одного резистора

Схема транзисторного каскада с общим эмиттером представлена на рис. 2.1. Режим, в котором работает каскад, можно определить, построив его нагрузочную линию на выходной характеристике транзистора. Данный способ позволяет описать поведение транзистора в режимах насыщения, усиления и отсечки.

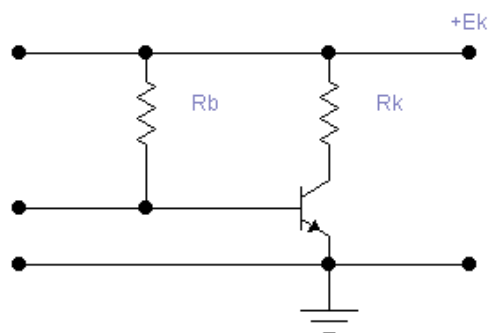


Рисунок 2.1

Режим насыщения определяется следующим условием: ток коллектора не управляется током базы.

$$\beta_{DC} I_B > I_K \approx I_{KH},$$

где I_{KH} - ток коллектора насыщения, определяется сопротивлением R_K в цепи коллектора и напряжением источника питания E_K :

$$I_{KH} \approx \frac{E_K}{R_K}.$$

Этот режим характеризуется низким падением напряжения коллектор-эмиттер (порядка 0,1 В). Для перевода транзистора в этот режим необходимо в базу транзистора подать ток, больший, чем ток насыщения базы I_{BH} :

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta_{DC}}.$$

Ток насыщения базы задается с помощью резистора R_{BH} с сопротивлением, равным:

$$R_{BH} = \frac{E_K - U_{BЭ0}}{I_{BH}} \approx \frac{E_K}{I_{BH}},$$

где $U_{BЭ0}$ - пороговое напряжение перехода база-эмиттер. Для кремниевых транзисторов $U_{BЭ0} = 0,7$ В.

В режиме усиления ток коллектора меньше тока I_{KH} и описывается уравнением нагрузочной прямой:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KЭ}}{R_K}.$$

Рабочая точка в статическом режиме задается током базы и напряжением на коллекторе. Она определяется точкой пересечения нагрузочной прямой и выходной характеристики транзистора. Базовый ток транзистора определяется как ток через сопротивление в цепи базы R_B (см. рис. 2.1):

$$I_B = \frac{E_R - U_{BЭ0}}{R_B}.$$

Ток коллектора вычисляется по формуле:

$$I_K = \beta_{DC} \cdot I_{BH}.$$

Напряжение коллектор-эмиттер определяется из уравнения нагрузочной прямой:

$$U_{KЭ} = E_K - I_K \cdot R_K.$$

В режиме отсечки ток коллектора равен нулю и не создает на резисторе R_K падения напряжения. Следовательно, напряжение $U_{KЭ}$ максимально и равно напряжению источника питания E_K . Ток коллектора с учетом тепловых токов определяется из следующего выражения:

$$I_K = I_{KЭ0} + \beta_{DC} \cdot I_B = (\beta_{BC} + 1) \cdot I_{KB0} + \beta_{DC} \cdot I_B \approx \beta_{DC} \cdot (I_{KB0} + I_B),$$

где $I_{КЭ0}$, $I_{КБ0}$ - обратные токи переходов коллектор-эмиттер и коллектор-база соответственно. Коэффициент нестабильности тока коллектора (S) из-за влияния тепловых токов в схеме определяется как:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{КБ0}} = 1 + \beta_{DC} \approx \beta_{DC}.$$

Как следует из этого выражения, при рассматриваемом способе задания тока базы коэффициент нестабильности зависит от статического коэффициента передачи, который для транзисторов одного и того же типа может сильно различаться.

2.2.2 Задание тока базы с помощью делителя напряжения

NPN-транзистор

Схема задания тока базы NPN-транзистора с помощью делителя напряжения в каскаде с общим эмиттером представлена на рис. 6.

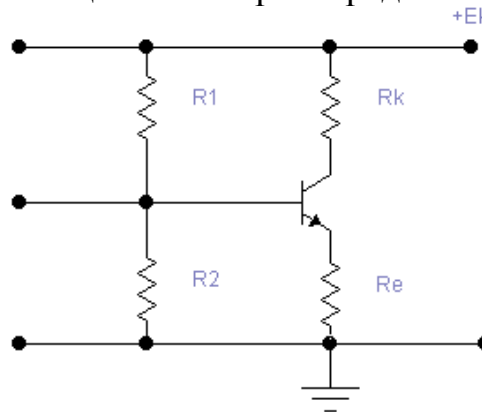


Рисунок 2.2

Аналогично пункту 2.2.1 рассмотрим режимы насыщения, усиления и отсечки. Ток коллектора в режиме насыщения описывается следующим выражением:

$$I_{KH} = \frac{E_K}{R_K - R_э}.$$

Независимо от сопротивления резисторов R_1 и R_2 делителя напряжения ток насыщения базы определяется из выражения:

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta_{DC}},$$

а напряжение U_B на базе равно:

$$U_B = E_K \cdot \frac{R_э}{R_э + R_K} + U_{БЭ0}.$$

Это же напряжение задается делителем напряжения. Зная E_K и U_B , можно определить отношение сопротивлений плеч делителя:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{E_K - U_B}{U_B}.$$

Суммарное сопротивление делителя обычно выбирается так, чтобы ток, протекающий через него, был примерно в 10 раз меньше тока коллектора. Составив систему уравнений и решив ее, можно найти сопротивления R_1 и R_2 плеч делителя, которые обеспечивают ток базы, необходимый для перевода транзистора в режим насыщения. Аналогичным образом каскад рассчитывается и в усилительном режиме, но с учетом следующих выражений.

Ток коллектора в усилительном режиме описывается уравнением нагрузочной прямой:

$$I_K = \frac{E_R - U_{КЭ} - U_{Э}}{R_K},$$

где $U_{Э} = I_{Э} \cdot R_{Э}$, $I_{Э}$ - ток эмиттера.

Ток базы определяется из выражения:

$$I_B = \frac{I_K}{\beta_{DC}}.$$

Ток коллектора связан с током эмиттера следующим выражением:

$$I_K = I_{Э} - I_B.$$

Напряжение на базе транзистора равно:

$$U_B = I_{Э} \cdot R_{Э} + U_{БЭ0}.$$

Далее рассчитываются сопротивления R_1 и R_2 делителя напряжения. Суммарное сопротивление делителя должно обеспечивать больший по сравнению с током базы ток делителя (обычно ток делителя берут в 10 раз меньше тока коллектора).

Рабочая точка определяется точкой пересечения нагрузочной прямой и выходной характеристики транзистора. При известных значениях сопротивлений R_1 и R_2 ток базы транзистора равен:

$$I_B = \frac{U_B - U_{БЭ0}}{R_{ЭКБ}},$$

где U_B - напряжение на базе транзистора. Если $\beta R_{Э} \gg R_2$, то:

$$U_B = E_K \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad R_{ЭКБ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

Ток эмиттера определяется по падению напряжения на сопротивлении $R_{Э}$ в цепи эмиттера и вычисляется как разность потенциалов U_B и $U_{БЭ0}$:

$$I_{Э} = \frac{U_B - U_{БЭ0}}{R_{Э}}.$$

Значение напряжения коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$ вычисляется по закону Кирхгофа:

$$U_{КЭ} = E_K - I_K \cdot R_K - I_{Э} \cdot R_{Э}.$$

Коэффициент нестабильности тока коллектора (S) из-за влияния тепловых токов в схеме при условии, что $U_{Э} > U_{БЭ0}$, определяется как:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{КБ0}} = \frac{1 + \beta_{DC}}{1 + \beta_{DC} \cdot \frac{R_{Э}}{R_{Э} + R_B}} \approx 1 + \frac{R_B}{R_{Э}},$$

где $R_b = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.

Как следует из этого выражения, при данном способе задания тока базы коэффициент неустойчивости определяется элементами схемы и практически не зависит от характеристики транзистора, что улучшает стабильность рабочей точки.

PNP-транзистор

Схема задания тока базы с помощью делителя напряжения в каскаде с общим эмиттером на PNP-транзисторе представлена на рис. 2.3. Для данной схемы справедливы выражения, приведенные в предыдущем пункте для схемы с NPN-транзистором, со следующей поправкой: полярности напряжений и направления токов нужно поменять на обратные.

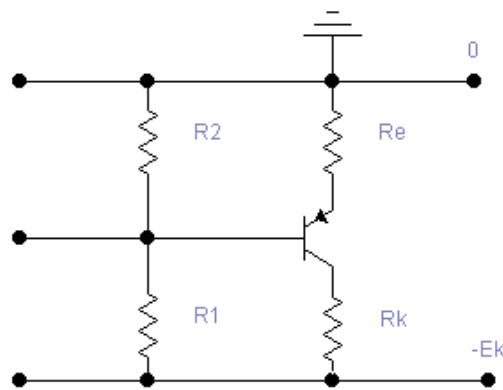


Рисунок 2.3

2.2.3 Задание тока базы с помощью дополнительного источника в цепи эмиттера

Схема задания тока базы с помощью дополнительного источника в цепи эмиттера в каскаде с общим эмиттером на NPN-транзисторе представлена на рис. 2.4.

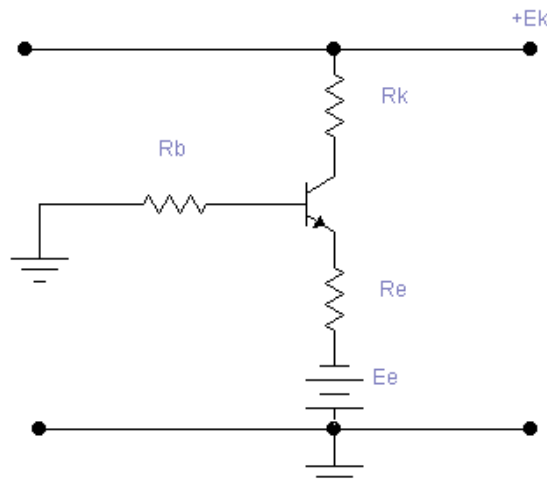


Рисунок 2.4

Ток коллектора в режиме насыщения равен:

$$I_{KH} \approx \frac{E_K + E_{\mathcal{E}}}{R_K + R_{\mathcal{E}}}.$$

Ток коллектора в усилительном режиме описывается уравнением нагрузочной прямой:

$$I_K = \frac{E_K + E_{\mathcal{E}} - I_{\mathcal{E}} \cdot R_{\mathcal{E}}}{R_K}.$$

Напряжение на базе транзистора U_B определяется из следующего выражения:

$$U_B = I_{\mathcal{E}} \cdot R_{\mathcal{E}} - E_{\mathcal{E}} + U_{BЭ0}.$$

Это же напряжение равно падению напряжения на резисторе R_B :

$$U_B = -I_B \cdot R_B.$$

Ток эмиттера вычисляется по падению напряжения на сопротивлении $R_{\mathcal{E}}$:

$$I_{\mathcal{E}} = \frac{U_{\mathcal{E}} + E_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}}} = \frac{U_B - U_{BЭ0} + E_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}}}.$$

Примечание: U_B имеет отрицательное значение.

Ток коллектора связан с током эмиттера следующим выражением:

$$I_R = I_{\mathcal{E}} - I_B \approx I_{\mathcal{E}}.$$

Значение напряжения коллектор-эмиттер вычисляется из закона Кирхгоффа для напряжений:

$$U_{KЭ} = E_K + E_{\mathcal{E}} - I_K \cdot R_K - I_{\mathcal{E}} \cdot R_{\mathcal{E}}.$$

Коэффициент нестабильности тока коллектора (S) определяется как:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{KB0}} = \frac{1 + \beta_{DC}}{1 + \beta_{DC} \cdot R_{\mathcal{E}} / (R_{\mathcal{E}} + R_B)}.$$

Рассматриваемая схема характеризуется таким же коэффициентом нестабильности, как и предыдущая.

2.2.4 Задание тока базы с помощью резистора в цепи база-коллектор

Схема задания тока базы с помощью резистора в цепи база-коллектор в каскаде с общим эмиттером представлена на рис. 2.5.

Ток коллектора в усилительном режиме описывается уравнением:

$$I_K = \frac{E_K - U_{БЭ}}{R_K}.$$

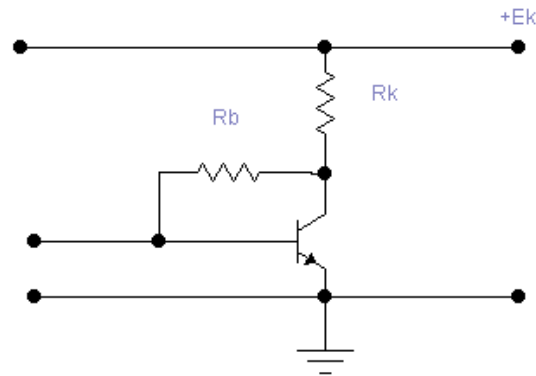


Рисунок 2.5

Рабочая точка определяется точкой пересечения нагрузочной прямой и выходной характеристики транзистора. Ток базы определяется из выражения:

$$I_B = \frac{U_{КЭ} - U_{БЭ0}}{R_B}.$$

Как видно из выражения, ток базы зависит от напряжения коллектор-эмиттер, что делает схему менее чувствительной к разбросу значений статического коэффициента передачи устанавливаемых в нее транзисторов.

Ток коллектора в схеме определяется по формуле:

$$I_K = \frac{E_K - U_{БЭ}}{R_K \cdot (\beta_{DC} + 1) / \beta_{DC} + R_B / \beta_{DC}}.$$

Значение напряжения коллектор-эмиттер вычисляется по закону Кирхгофа для напряжений:

$$U_{КЭ} = E_K - I_K \cdot R_K (\beta_{DC} + 1) / \beta_{DC}.$$

Коэффициент нестабильности тока коллектора (S) из-за влияния тепловых токов в схеме с резистором в цепи база-коллектор определяется как:

$$S = \frac{dI_K}{dI_{КБ0}} = \frac{1 + \beta_{DC}}{1 + \beta_{DC} \cdot R_K / (R_B)} \approx \frac{R_B}{R_K}.$$

Как следует из выражения, коэффициент нестабильности этой схемы несколько выше, чем у схемы с сопротивлением R_E в цепи эмиттера.

2.3 Порядок проведения экспериментов

Создайте новый проект в программе QUCS. В названии проекта не рекомендуется использовать пробелы и русские символы.

Задание 1. Исследование параметров рабочей точки при задании тока базы с помощью одного резистора.

1. Создать схему согласно рис. 2.6. Здесь и в последующих схемах будет использоваться режим моделирования на постоянном токе, для чего на схему должен быть помещен соответствующий значок. Запустить симуляцию. Занести в отчет результат измерений для тока базы, тока коллектора, напряжения коллектор-эмиттер и напряжения база-эмиттер.

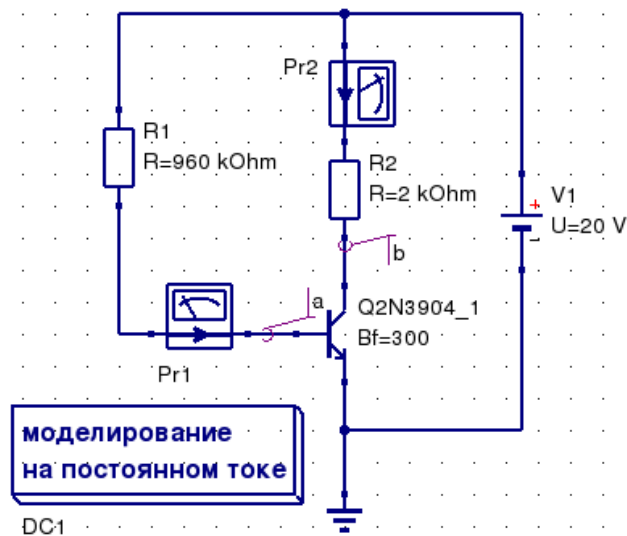


Рисунок 2.6

2. Для схемы на рис. 2.6 по формулам из раздела «Краткие сведения из теории» вычислить базовый ток, напряжение коллектор-эмиттер. Ток коллектора вычислить, используя значения тока базы, полученные в п. 1 и значение β_{DC} , полученное в задании 1.1 работы №4. Сравните результаты с экспериментальными данными.

3. Построить нагрузочную прямую по постоянному току на выходной характеристике транзистора 2N3904, полученного в задании 3 работы №4. Используя значения токов и напряжений, полученных в пункте 1, определить рабочую точку (Q) на нагрузочной линии и отметить ее положение на графике.

4. Двойным щелчком на изображении транзистора открыть окно свойств компонента.

Измените коэффициент передачи по току (Bf) до 200, потом нажмите Применить. Нажмите ОК, чтобы вернуться к схеме. Изменение коэффициента β позволяет убедиться, что замена транзисторов приводит к

изменению тока коллектора. Запустить симуляцию. Записать результаты измерений для тока базы, тока коллектора и напряжения коллектор-эмиттер.

5. По новым значениям напряжения коллектор-эмиттер и тока коллектора определить новую рабочую точку на нагрузочной прямой, построенной в п. 3. Отметить ее положение на графике.

6. Восстановите прежние значения коэффициента передачи по постоянному току (β_F) транзистора 2N3904 (204).

7. Подсчитать сопротивление R_B , необходимое для перевода транзистора в режим насыщения. Подставить в схему значение сопротивления R_1 , чуть меньшее подсчитанного. Провести моделирование. Записать результаты измерений для тока базы, тока коллектора и напряжения коллектор-эмиттер.

8. Уменьшить значение R_1 на более значительную величину и снова активизировать схему. Если транзистор находится в режиме насыщения, то изменение тока коллектора очень мало даже при очень большом изменении тока базы.

Задание 2. Исследование параметров рабочей точки при задании тока базы с помощью делителя напряжения (NPN-транзистор).

1. Создать схему согласно рис. 7. Провести симуляцию. Занести в отчет результаты измерений для тока базы, тока коллектора, тока эмиттера и напряжений. Вычислить коэффициент передачи β_{DC} .

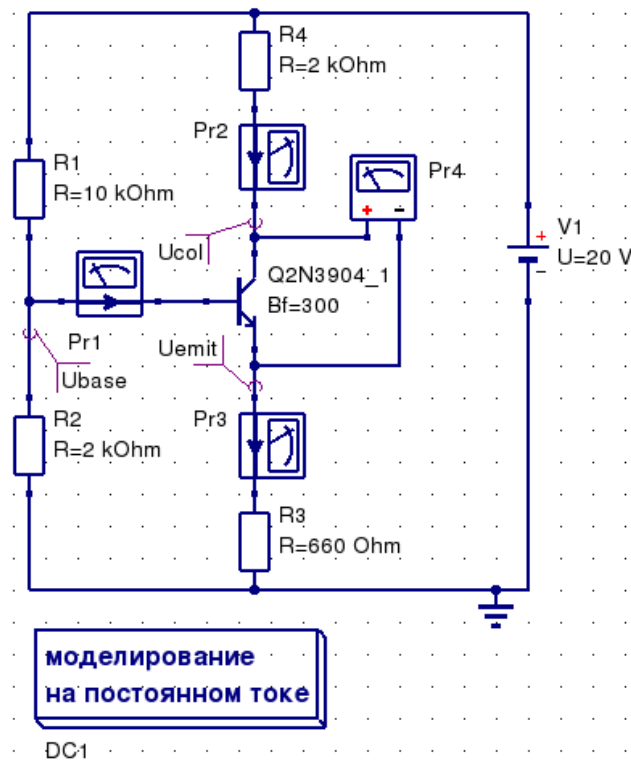


Рисунок 2.7

2. Для схемы рис. 2.7 по формулам из раздела «Краткие сведения из теории» вычислить значение напряжения в точке U_{base} . Вычислить ток эмиттера и рассчитать ток коллектора по полученному значению тока эмиттера ($U_{БЭ} \approx 0,7$ В), вычислить значение напряжения коллектор-эмиттер по полученным ранее току коллектора и току эмиттера.

3. Построить нагрузочную прямую по постоянному току по выходной характеристике транзистора 2N3904 из задания 3 работы №4. Используя значения токов и напряжений, полученных в пункте 1, определить рабочую точку (Q) и отметить ее положение на графике.

4. Двойным щелчком на изображении транзистора открыть окно свойств компонента. Измените коэффициент передачи по току (β_f) до 200, потом нажмите Применить. Нажмите ОК, чтобы вернуться к схеме. Изменение коэффициента β позволяет убедиться, что замена транзисторов приводит к изменению тока коллектора. Запустить симуляцию. Записать результаты измерений для тока базы, тока коллектора и напряжения коллектор-эмиттер.

5. По новым значениям напряжения база-эмиттер и тока коллектора определить положение рабочей точки на нагрузочной прямой, построенной в разделе 3 и отметить ее положение на графике.

6. Восстановите прежнее значение коэффициента передачи по постоянному току (β_F) транзистора 2N3904.

7. Провести расчеты параметров цепи базы, необходимые для перевода транзистора в режим насыщения. Провести измерения так же, как в задании 1. Занести в отчет результаты измерений для тока базы, тока коллектора, напряжения на базе и напряжения коллектор-эмиттер.

Задание 3. Задание тока базы с помощью делителя напряжения (PNP-транзистор)

1. Создать схему согласно рис. 2.8. Провести моделирование. Занести в отчет результаты измерений для тока базы, тока коллектора, тока эмиттера, напряжения коллектор-эмиттер и напряжения на базе. Вычислить статический коэффициент передачи β_{DC} .

2. Для схемы рис. 2.8 по формулам из раздела «Краткие сведения из теории» вычислить значение напряжения в точке U_{base} . Вычислить ток эмиттера и рассчитать ток коллектора по полученному значению тока эмиттера ($U_{БЭ} \approx 0,7$ В), вычислить значение напряжения коллектор-эмиттер по полученным ранее току коллектора и току эмиттера. Сравнить результаты с экспериментальными данными.

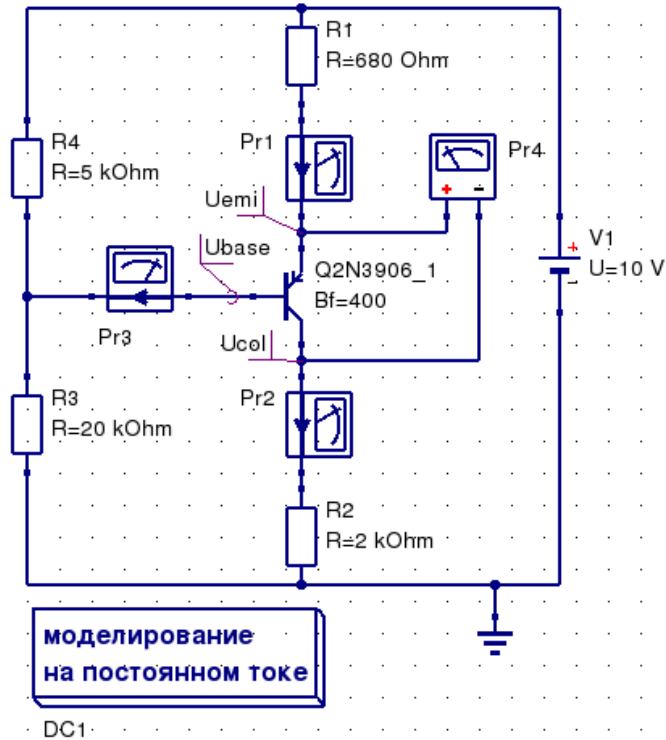


Рисунок 2.8

3. В свойствах транзистора измените коэффициент передачи по току до 200. Провести моделирование. Занести в отчет результаты измерений для тока базы, тока коллектора и напряжения коллектор-эмиттер.

4. Восстановите прежнее значение коэффициента передачи по постоянному току транзистора 2N3906.

Задание 4. Исследование параметров рабочей точки при задании тока базы с помощью дополнительного источника в цепи эмиттера

1. Создать схему согласно рис. 2.9. Провести симуляцию. Занести в отчет результаты измерений для тока базы, тока коллектора, тока эмиттера, напряжения коллектор-эмиттер и напряжения на базе. Вычислить статический коэффициент передачи β_{DC} .

2. Для схемы на рис. 2.9 по формулам из раздела «Краткие сведения из теории» вычислить напряжение в точке U_{base} по измеренному ранее значению тока базы, рассчитать ток эмиттера и вычислить ток коллектора по величине тока эмиттера ($U_{BЭ} \approx 0,7$ В). Вычислить значение напряжения коллектор-эмиттер по полученным значениям тока эмиттера и тока коллектора.

3. Для схемы рис. 2.9 построить нагрузочную прямую на выходной характеристике транзистора 2N3904 из задания 3 предыдущей работы. По результатам, полученным в предыдущем пункте, определить рабочую точку (Q) и отметить ее положение на графике.

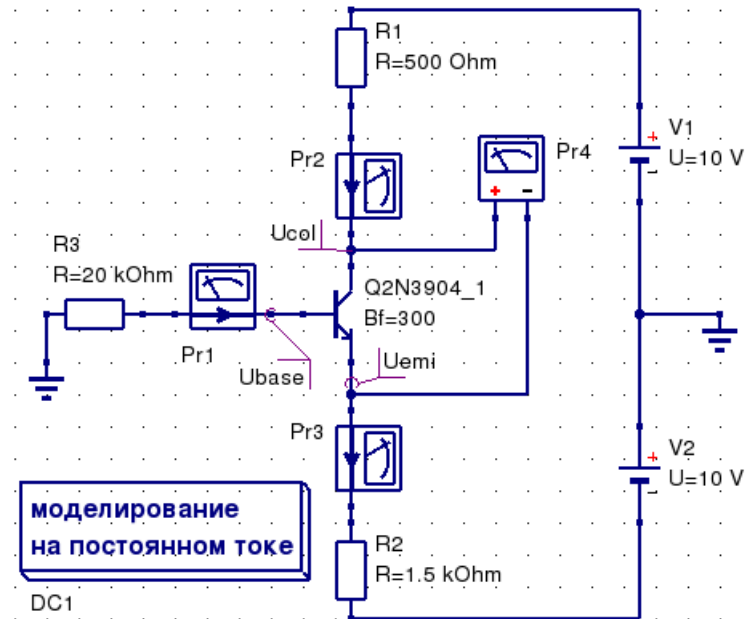


Рисунок 2.9

4. В свойствах транзистора измените коэффициент передачи по току до 200. Провести моделирование. Занести в отчет результаты измерений для тока базы, тока коллектора и напряжения коллектор-эмиттер.

5. По новым значениям напряжения база-эмиттер и тока коллектора определить положение рабочей точки на нагрузочной прямой, построенной в пункте 3, и отметить ее положение на графике.

6. Восстановить прежнее значение коэффициента передачи по постоянному току транзистора 2N3904.

Задание 5. Исследование параметров рабочей точки при задании тока базы с помощью резистора в цепи база-коллектор

1. Создать схему согласно рис. 2.10. Провести моделирование. Занести в отчет результаты измерений для тока базы, тока коллектора, тока эмиттера, напряжения коллектор-эмиттер.

Вычислить статический коэффициент передачи β_{DC} .

2. По формулам из раздела «Краткие сведения из теории» вычислить ток коллектора, используя значения β_{DC} , вычисленное ранее. $U_{БЭ} \approx 0,7$ В. По полученному току коллектора вычислить значения напряжения коллектор-эмиттер.

3. Для схемы рис. 2.10 построить нагрузочную прямую по выходной характеристике транзистора 2N3904. По результатам, полученным в предыдущем пункте, определить рабочую точку (Q) и отметить ее положение на графике.

4. В свойствах транзистора изменить коэффициент передачи по току до 200. Провести моделирование. Занести в отчет результаты измерений

для тока базы, тока коллектора, тока эмиттера и напряжения коллектор-эмиттер.

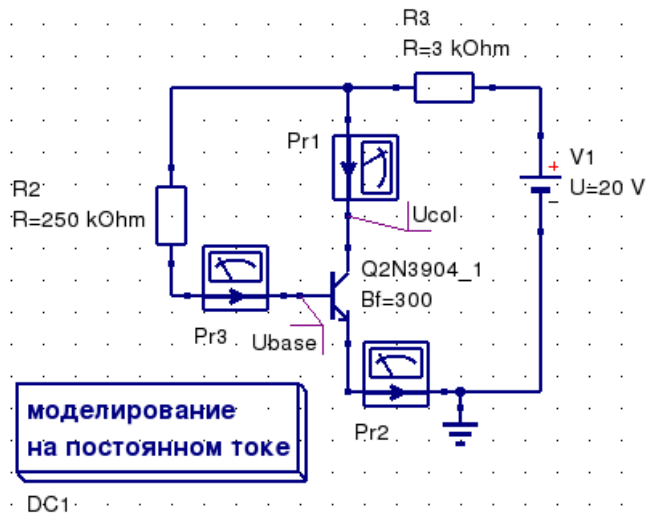


Рисунок 2.10

5. По новым значениям напряжения база-эмиттер и тока коллектора определить положение рабочей точки на нагрузочной прямой, построенной в пункте 3, и отметить ее положение на графике.

6. Восстановить прежнее значение коэффициента передачи по постоянному току транзистора 2N3904.

2.4 Контрольные вопросы

1. Как сильно отличаются расчетные и экспериментальные данные?
2. Изменится ли положение рабочей точки при изменении статического коэффициента передачи тока?
3. Какие условия необходимо выполнить, чтобы перевести транзистор в режим отсечки?
4. На сколько различаются напряжения на коллекторе на рис. 2.6 и 2.7?
5. Чему равно напряжение коллектор-эмиттер в режиме насыщения?
6. Какова связь между током коллектора и током эмиттера?
7. В чем преимущество схемы со смещением в цепи базы над схемой со смещением в цепи эмиттера?
8. В чем преимущество схемы с делителем напряжения в цепи базы над схемой со смещением в цепи эмиттера?
9. Какую роль играет сопротивление R_3 в цепи эмиттера для стабильности работы схемы? В чем она заключается?
10. Какая из вышеописанных схем обладает большей стабильностью?

3 Содержание отчета

По лабораторной работе необходимо составить отчёт, который должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие сведения из теории, содержащие расчётные формулы;
- схемы, собранные при проведении экспериментов в среде QUCS;
- результаты расчётов и экспериментов в виде таблиц и графиков;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по проведённой работе.

Список рекомендуемой литературы

1. Основы компьютерного моделирования наносистем / Ибрагимов И.М. , Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. – М.: Изд-во «Лань» , 2010.- 384 с. ISBN 978-5-8114-1032-3: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=156
2. Поршневу С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. + CD. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 736 с. ISBN 978-5-8114-1063-7 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=650
3. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / Петров М.Н., Гудков Г.В. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 464 с. ISBN 978-5-8114-1075-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=661
4. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учебник для вузов / Е. М. Кудрявцев. - М. : Академия, 2011. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-6004-0
5. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 131 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
6. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем : / И. Влаха, К. Сингхал ; пер.: А. Ф. Обьедков, Н. Н. Удалов, В. М. Демидов ; ред. пер. А. А. Туркина. - М. : Радио и связь, 1988. - 560 с. - ISBN 5-256-00054-3
7. Компьютерное моделирование и проектирование: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 94 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2548>
8. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.

Учебное пособие

Бородин М.В., Саликаев Ю.Р.

Задание рабочей точки в транзисторном каскаде

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40