



Исследование характеристик биполярного транзистора и расчёт усилительного каскада

Николаев Николай Анатольевич

2023

Цель работы

- Изучение входной ВАХ и семейства выходных ВАХ биполярного транзистора в схеме включения с общим эмиттером;
- Расчёт усилительного каскада с общим эмиттером с заданием рабочей точки транзистора с помощью отрицательной обратной связи по току.
- Исследование усилительного каскада с общим эмиттером



Перед выполнением лабораторной работы рекомендуется ознакомиться с теоретическими сведениями из описания лабораторной работы, материалов лекционного курса. Дополнительная информация может быть получена, например, из источников, приведенных в презентации.

ВАХ биполярного транзистора

Исходные данные для построения ВАХ берем из технических характеристик транзистора:

- максимальный ток коллектора
- максимальное напряжение коллектор-эмиттер
- коэффициент усиления по току
- максимальная рассеиваемая мощность.



Для снятия входной ВАХ рекомендуется пересчитать границы изменения тока базы исходя значений максимального тока коллектора и коэффициента усиления по току.

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	75	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	1.0	A
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

ВАХ биполярного транзистора

Symbol	Characteristic	Max			Units
		PN2222A	*MMBT2222A	**PZT2222A	
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625	350	1,000	mW
		5.0	2.8	8.0	mW/°C
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	°C/W

h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$	35	300	
		$I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$	50		
		$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}$	75		
		$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}, T_A = -55^\circ\text{C}$	35		
		$I_C = 150 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}^*$	100		
		$I_C = 150 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}^*$	50		
		$I_C = 500 \text{ mA}, V_{CE} = 10 \text{ V}^*$	40		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage*	$I_C = 150 \text{ mA}, I_B = 15 \text{ mA}$		0.3	V
		$I_C = 500 \text{ mA}, I_B = 50 \text{ mA}$		1.0	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage*	$I_C = 150 \text{ mA}, I_B = 15 \text{ mA}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500 \text{ mA}, I_B = 50 \text{ mA}$		2.0	V

ВАХ биполярного транзистора

Соберите схему эксперимента. В лабораторной работе рассматривается схема включения с общим эмиттером.



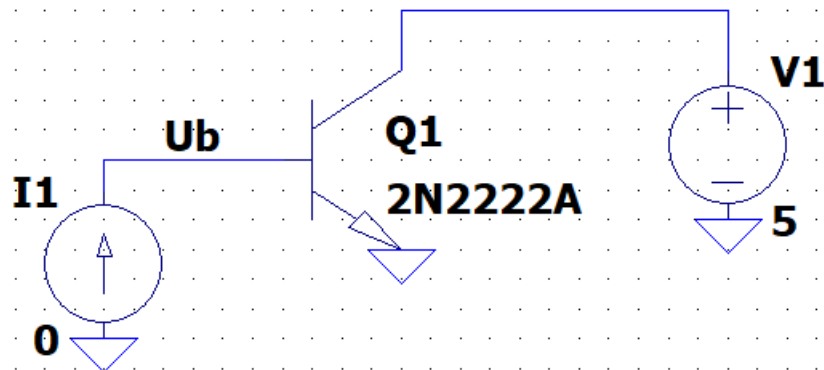
$$I_c = 1 \text{ A}$$

$$P_{\max} = 0.625 \text{ W}$$

$$h_{FE} = 35 \dots 300$$

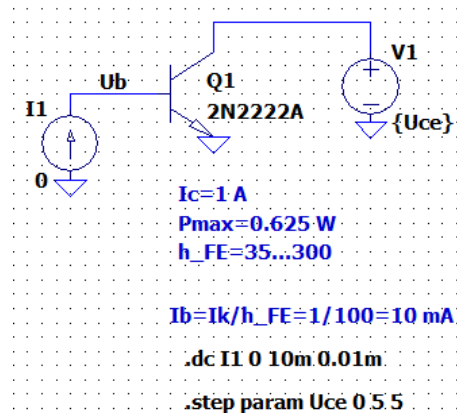
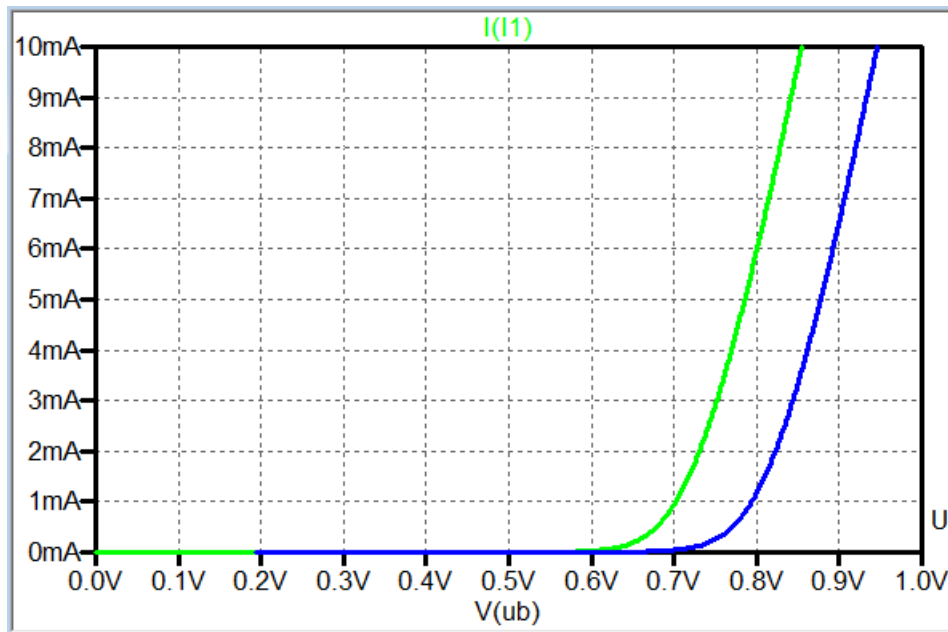
$$I_b = I_c / h_{FE} = 1 / 100 = 10 \text{ mA}$$

.dc I1 0 15m 0.01m



ВАХ биполярного транзистора

Входная ВАХ биполярного транзистора



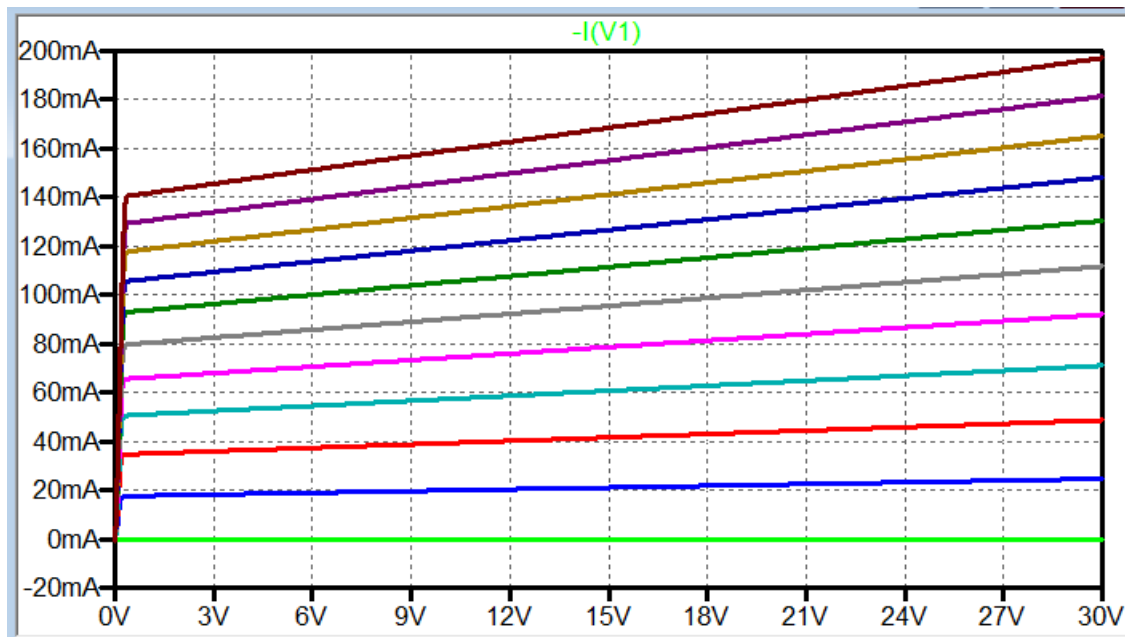
Определить

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{U_{KE} = const} \quad h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{KE}} \right|_{I_B = const}$$

$$h_{11} := \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = 15,26 \text{ Ом} \quad h_{12} := \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{KE}} = 0,0184$$

ВАХ биполярного транзистора

Выходная ВАХ биполярного транзистора

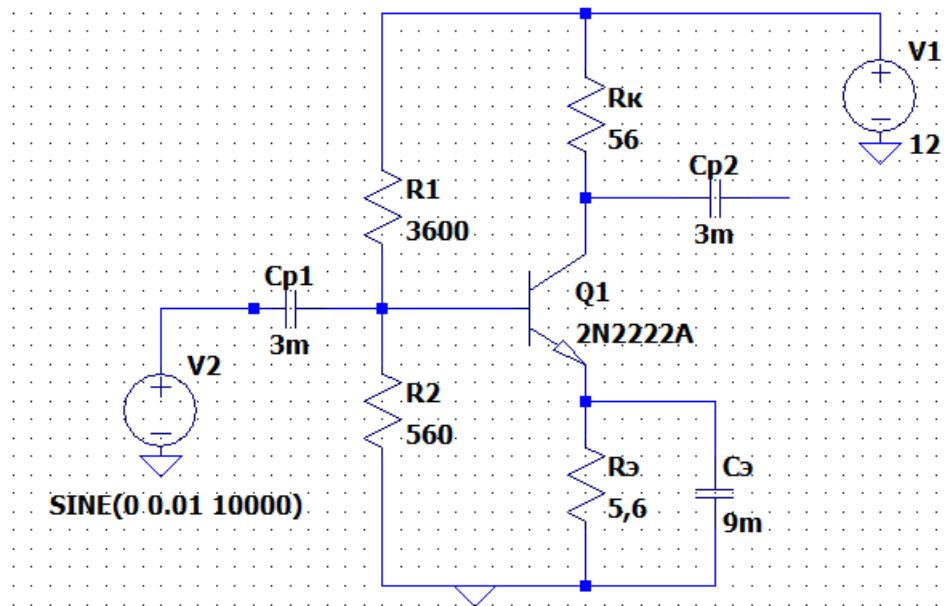


По выходной ВАХ
можно определить

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{\Delta U_{КЭ} = const}$$

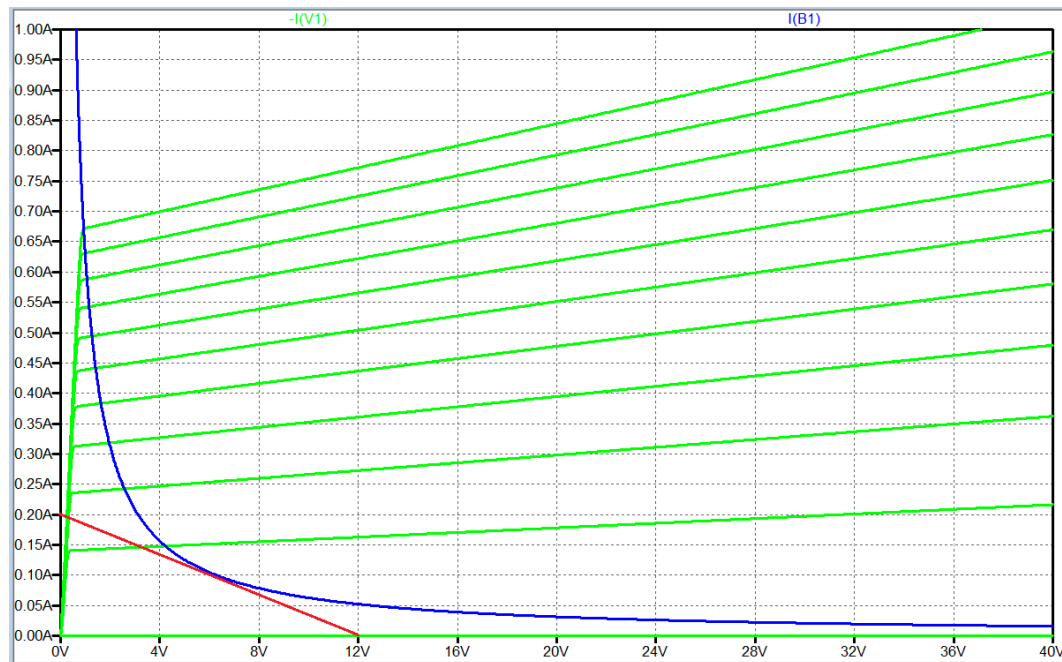
$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} \right|_{I_B = const}$$

Задание рабочей точки

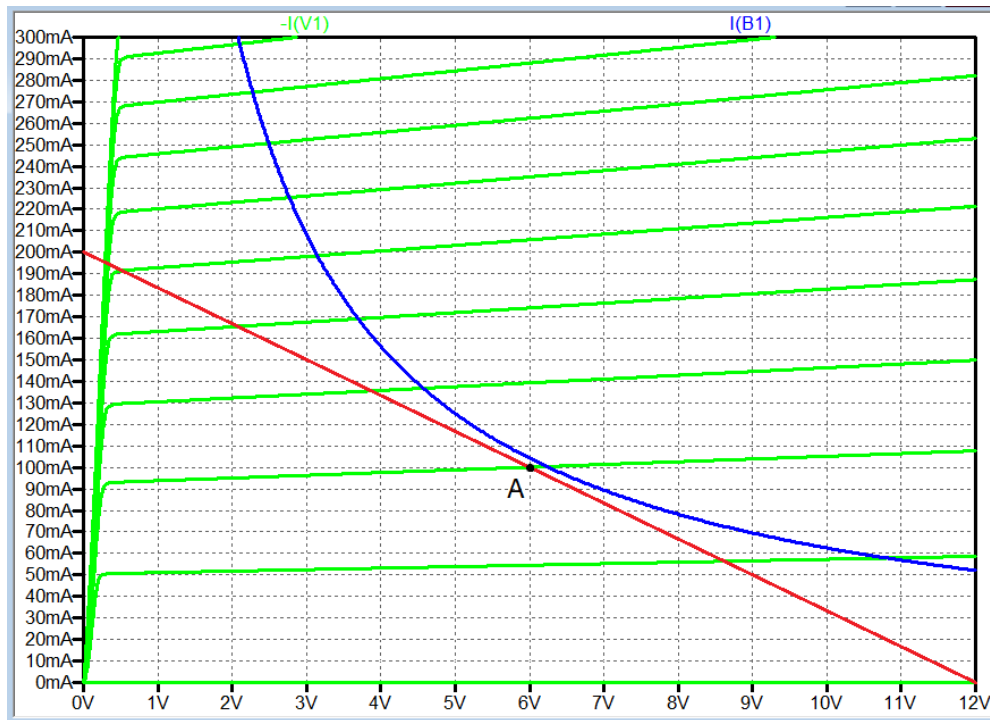


Задание рабочей точки

Зададим напряжение питания усилительного каскада $(0.3...0.9)U_{KЭ_{max}}$



Задание рабочей точки



Рассчитаем



$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{\Delta U_{KЭ} = const}$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KЭ}} \right|_{I_B = const}$$

$$R_{ВЫХ VT} = \frac{1}{h_{22}}$$

$$h_{21} := \frac{\Delta I_k}{\Delta I_B} = 130,6667$$

$$h_{22} := \frac{\Delta I_k}{\Delta U_{KЭ}} = 0,0013 \text{ см}$$

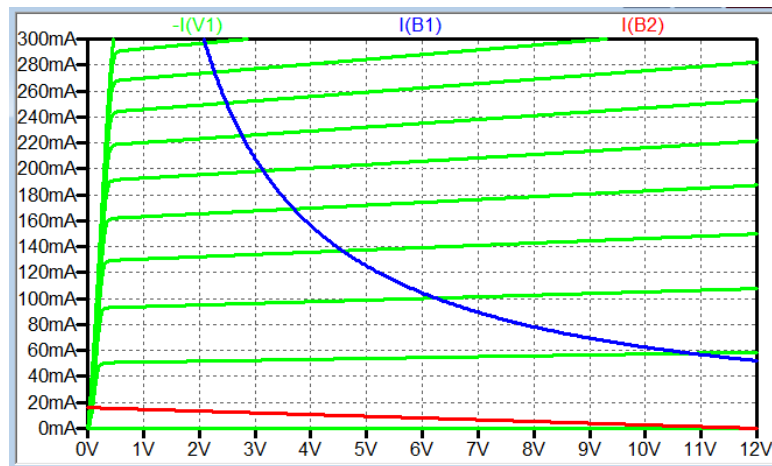
$$R_{ВЫХ} := \frac{1}{h_{22}} = 791,5567 \text{ Ом}$$

Задание рабочей точки

Выберем значения сопротивлений R_K и $R_Э$ Из условия передачи максимальной мощности от источника энергии к потребителю (согласованный режим) [5].

Выберем $R_K = (0,3 \dots 1) R_{ВЫХ_{VT}} = 680 \text{ Ом}$.

Выберем $R_Э = (0,05 \dots 0,15) R_K = 68 \text{ Ом}$



Задание рабочей точки

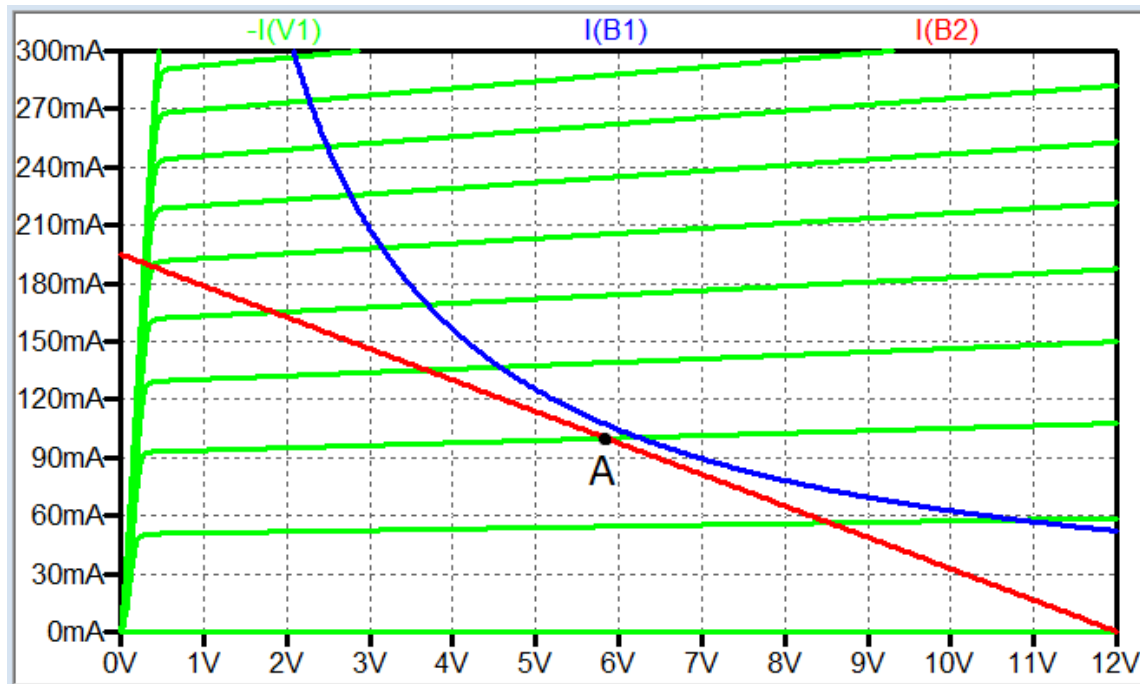
Чтобы увеличить коэффициенты усиления каскада с ОЭ, величину R_K выбирают в 3...5 раз больше, чем R_H .

Предположим, что данный каскад является промежуточным и его нагрузкой является аналогичный усилитель, но значение R_H определяется входным сопротивлением транзистора $R_H = R_{BX_{VT}}$.

Таким образом выберем $R_K = 56 \text{ Ом}$ и $R_3 = 5,6 \text{ Ом}$.



Задание рабочей точки



Для точки А имеем

$$U_{КЭП} = 5,84 \text{ В}$$

$$I_{КП} = 100 \text{ мА}$$

$$I_{БП} = 0,6 \text{ мА}$$

$$U_{БЭП} = 0,77 \text{ В}$$

Расчет элементов схемы

Зададим ток делителя $I_d = 5I_{\beta\Pi}$

Таким образом $I_{R_1} = I_d = 3 \text{ мА}$

Зная ток, текущий через резистор R_1 , можно найти значение его сопротивления

$$R_1 = \frac{E_K - U_{\beta\epsilon_0} - U_{R_3}}{I_{R_1}}$$

$$R_1 := \frac{E_K - U_{\beta\epsilon_0} - U_{R_3}}{I_d} = 3555,5467$$

где $U_{R_3} = (I_{K_0} + I_{\beta_0})R_3 = E_K - I_{K_0}R_K - U_{K\epsilon_0}$

Таким образом имеем $U_{R_3} = 0,56 \text{ В}$, тогда $R_1 = 3,555 \text{ кОм}$.

Выберем стандартное значение сопротивления из ряда E96 $R_1 = 3,6 \text{ кОм}$.

Далее находим значение сопротивления резистора

$$R_2 = \frac{U_{\beta\epsilon_0} + U_{R_3}}{I_{R_1} - I_{\beta_0}}$$

$$R_2 := \frac{U_{\beta\epsilon_0} + U_{R_3}}{I_d - I_{\beta_0}} = 555,5667$$

Получаем $R_2 = 555 \text{ Ом}$. Выберем стандартное значение сопротивления из ряда E96 $R_3 = 0,56 \text{ кОм}$.

Расчет элементов схемы

Рассчитаем значение емкостей конденсаторов.



Для расчета емкости конденсаторов можно воспользоваться соотношениями

$$C_{\text{э}} = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{\text{H}} R_{\text{э}}}$$

$$C_{\text{э}} := \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot R_{\text{э}}} = 0,0009$$

$$C_{\text{p1}} = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{\text{H}} R_{\text{BX}}}$$

$$C_{\text{p1}} := \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot R_{\text{BX}}} = 0,0003$$

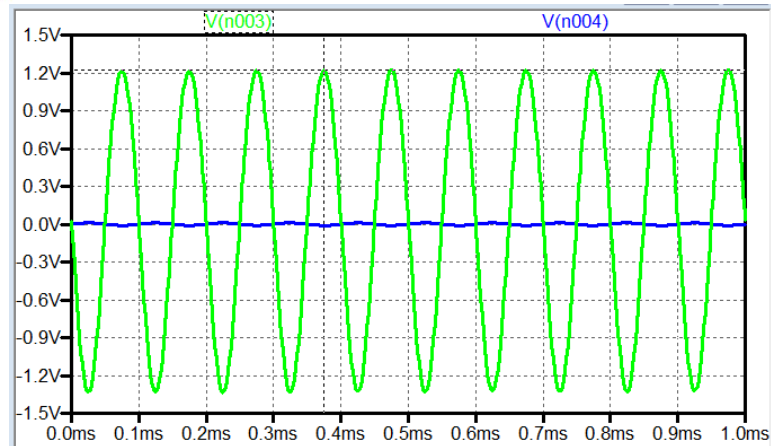
$$C_{\text{p2}} = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{\text{H}} R_{\text{H}}}$$

$$C_{\text{p2}} := \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot R_{\text{H}}} = 0,0003$$

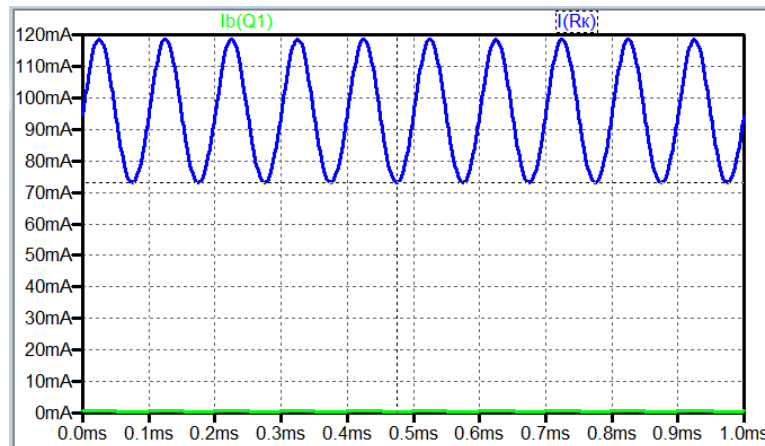
При расчете C_{p2} предположим, что нагрузкой является аналогичный каскад, т.о.

$$R_{\text{H}} = R_{\text{BX}}$$

Определение параметров схемы

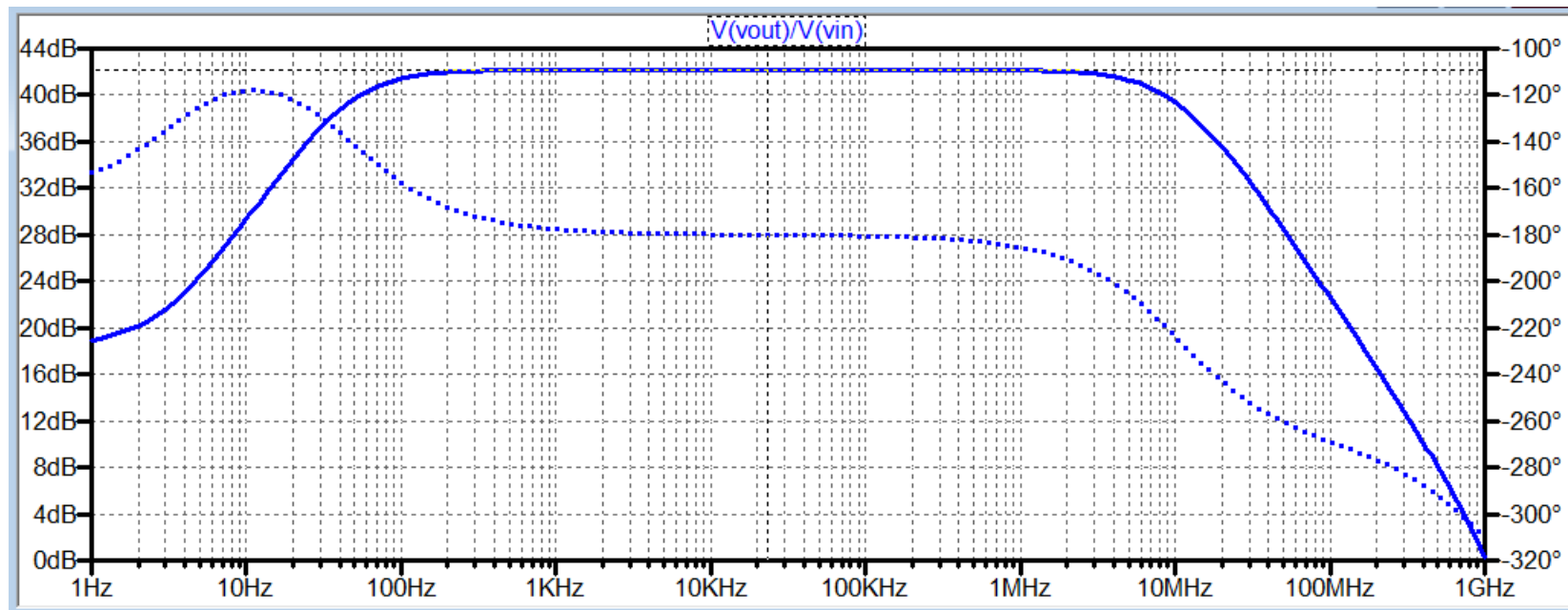


$$K_U = \frac{1,21}{0,01} = 121$$



$$K_I = \frac{(118,56 - 73,1)10^{-3}}{(749,75 - 408)10^{-6}} = 133$$

Частотная характеристика

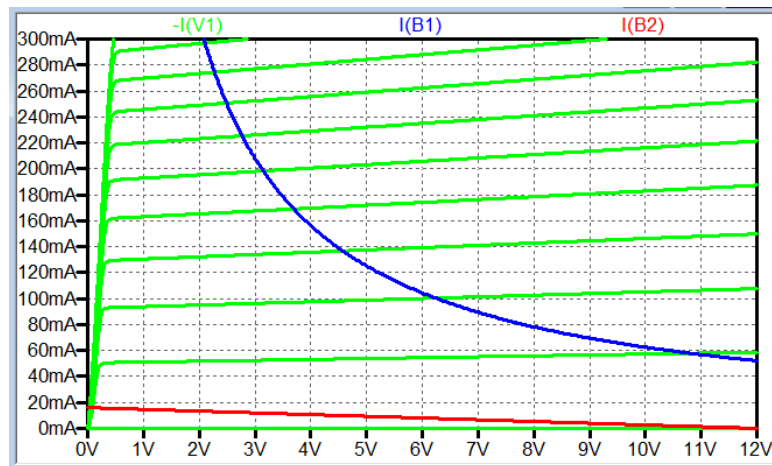


Задание рабочей точки

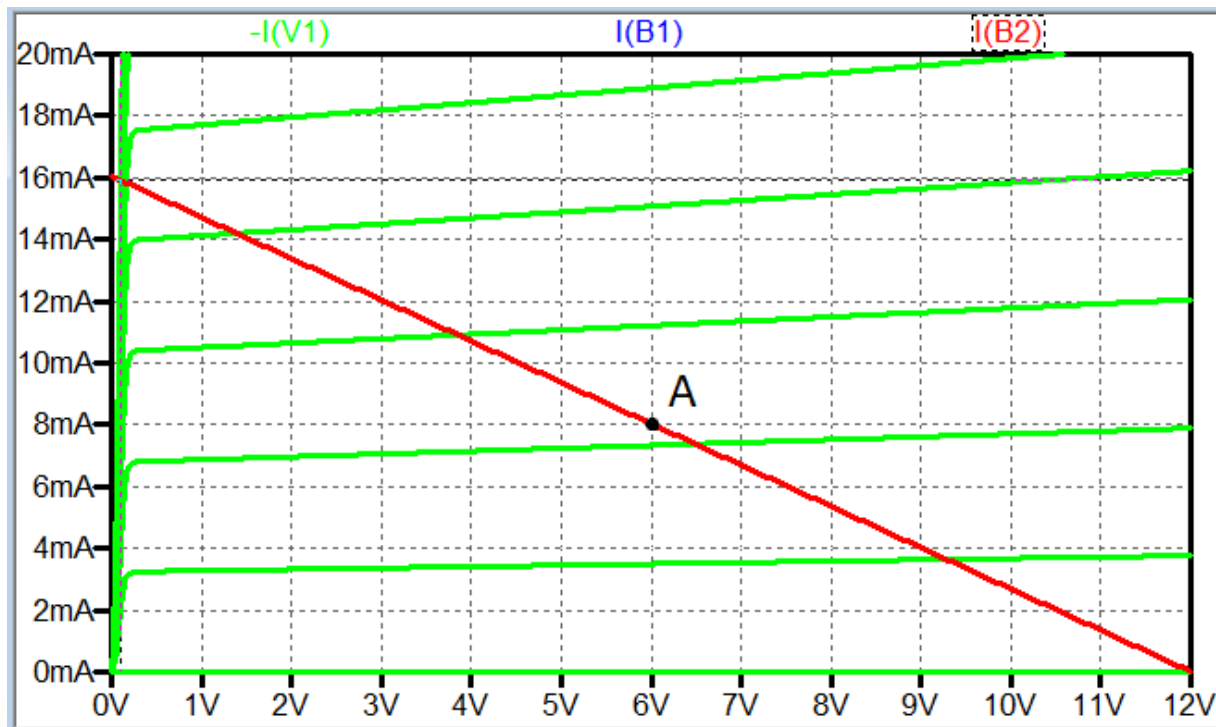
Выберем значения сопротивлений R_K и $R_Э$ Из условия передачи максимальной мощности от источника энергии к потребителю (согласованный режим) [5].

Выберем $R_K = (0,3 \dots 1) R_{ВЫХ_{VT}} = 680 \text{ Ом}$.

Выберем $R_Э = (0,05 \dots 0,15) R_K = 68 \text{ Ом}$



Задание рабочей точки



Для точки А имеем

$$U_{КЭП} = 6 \text{ В}$$

$$I_{КП} = 8 \text{ мА}$$

$$I_{БП} = 0,045 \text{ мА}$$

$$U_{БЭП} = 0,7 \text{ В}$$

Расчет элементов схемы

Зададим ток делителя $I_d = 5I_{\beta\Pi}$

Таким образом $I_{R_1} = I_d = 0,2 \text{ мА}$

Зная ток, текущий через резистор R_1 , можно найти значение его сопротивления

$$R_1 = \frac{E_K - U_{\beta\epsilon_0} - U_{R_3}}{I_{R_1}} \quad R_1 := \frac{E_K - U_{\beta\epsilon_0\Pi} - U_{R_3}}{I_d} = 47790,8444$$

где $U_{R_3} = (I_{K_0} + I_{\beta_0})R_3 = E_K - I_{K_0}R_K - U_{K\epsilon_0}$

Таким образом имеем $U_{R_3} = 0,55 \text{ В}$, тогда $R_1 = 47,8 \text{ кОм}$.

Выберем стандартное значение сопротивления из ряда E96 $R_1 = 51 \text{ кОм}$.

Далее находим значение сопротивления резистора

$$R_2 = \frac{U_{\beta\epsilon_0} + U_{R_3}}{I_{R_1} - I_{\beta_0}} \quad R_2 := \frac{U_{\beta\epsilon_0\Pi} + U_{R_3}}{I_d - I_{\beta\Pi}} = 6928,1111$$

Получаем $R_2 = 6928 \text{ Ом}$. Выберем стандартное значение сопротивления из ряда E96 $R_3 = 7,5 \text{ кОм}$.

Расчет элементов схемы

Рассчитаем значение емкостей конденсаторов.



Для расчета емкости конденсаторов можно воспользоваться соотношениями

$$C_{\text{э}} = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{\text{H}} R_{\text{э}}}$$

$$C_{\text{э}} := \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot R_{\text{э}}} = 7,0215 \cdot 10^{-5}$$

$$C_{\text{p1}} = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{\text{H}} R_{\text{BX}}}$$

$$C_{\text{p1}} := \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot R_{\text{BX}}} = 0,0003$$

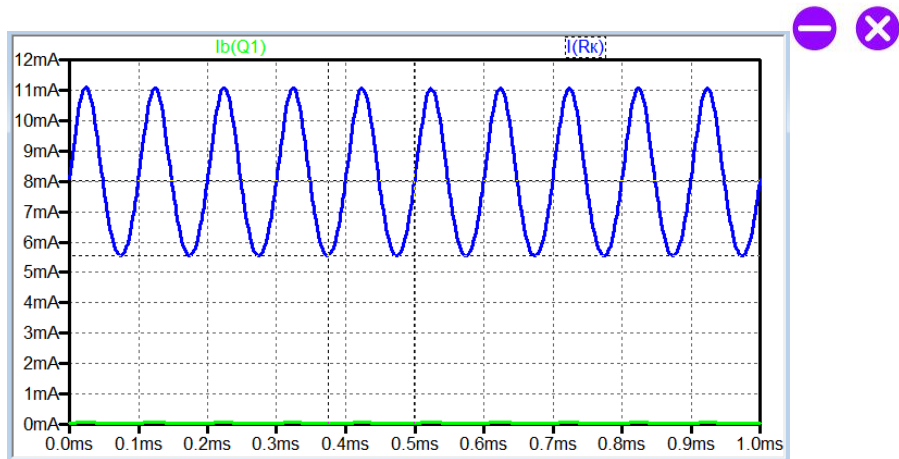
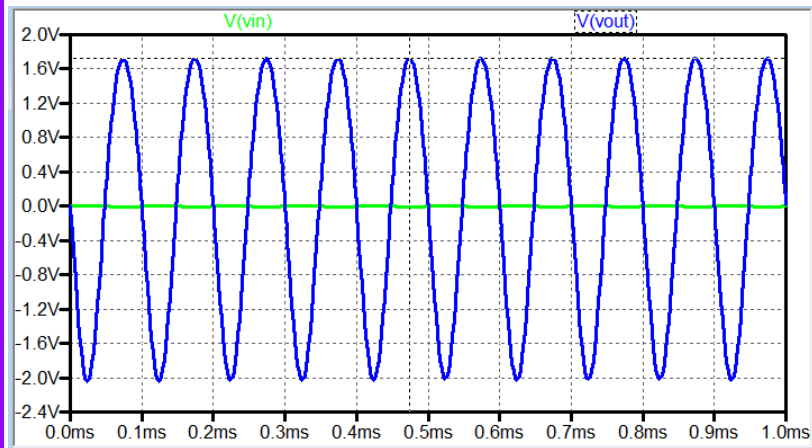
$$C_{\text{p2}} = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{\text{H}} R_{\text{H}}}$$

$$C_{\text{p2}} := \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot R_{\text{H}}} = 0,0003$$

При расчете C_{p2} предположим, что нагрузкой является аналогичный каскад, т.о.

$$R_{\text{H}} = R_{\text{BX}}$$

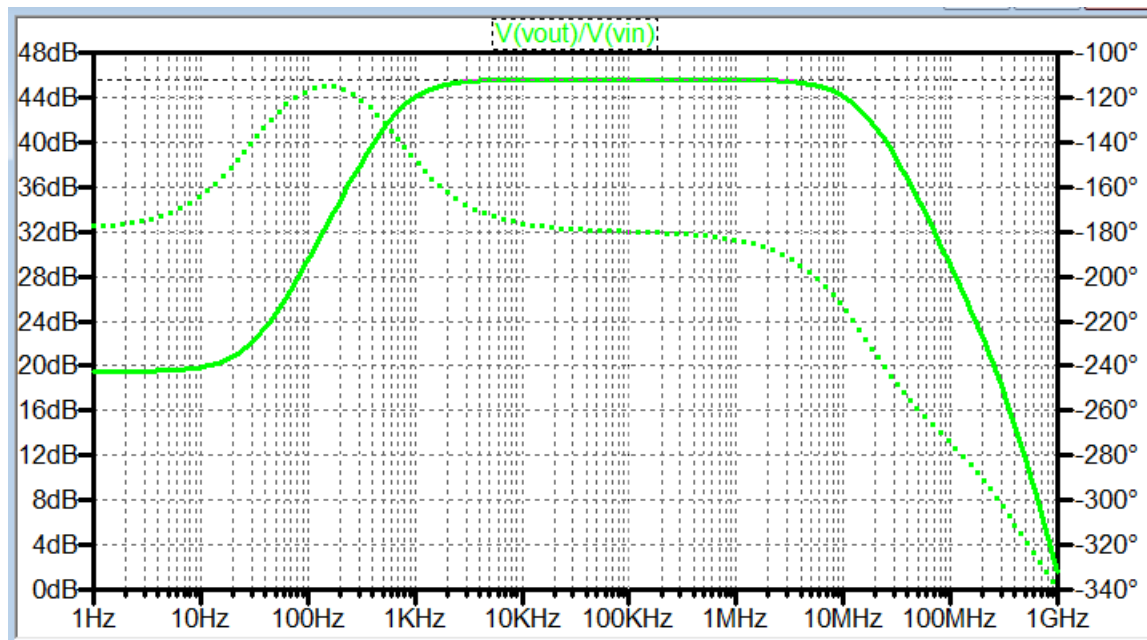
Определение параметров схемы



$$K_U = \frac{1,726}{0,01} = 172,6$$

$$K_I = \frac{(11,06 - 5,54)10^{-3}}{(60,82 - 30,12)10^{-6}} = 179,8$$

Частотная характеристика



Практическое исследование



1. После сборки схемы проверить режим работы по постоянному току.
2. Исследовать работу схемы при подаче гармонического входного сигнала, частота 1...10 кГц.
3. Снять осциллограмму максимального по амплитуде неискаженного выходного сигнала
4. Исследовать влияние величины емкости разделительного и шунтирующего конденсаторов на работу схемы
5. Рассчитать коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности
6. Снять амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада.

Список использованных источников

1. Гуртов, В. А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие / В. А. Гуртов. – Москва, 2005. – 492 с
2. Платт Ч. Энциклопедия электронных компонентов. Том 1. Резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, переключатели, преобразователи, реле, транзисторы: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 352 с.: ил.
3. Электроника. Теория и практика – 4-е издание.: Пер. с англ. / Саймон Монк, Пауль Шерц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 1168 с.: ил.
4. <https://www.chipdip.ru/>
5. Родюков М.С., Коновалов Н.Н. Электроника. Расчёт усилительного каскада с общим эмиттером: методические указания по выполнению домашней работы, 2-е изд., испр.— М.: МГУПИ, 2011г. 48с.
6. <https://www.ruselectronic.com/bipolyarniy-tranzistor/#i-36>
7. Бочаров Л.Н. Расчет электронных устройств на транзисторах/ Бочаров Л.Н., Жебряков С.К., Колесников И.Ф. – М.: Энергия, 1978
8. Расчет усилительных устройств: Учеб. пособие / В.И. Давидич, Ю.Т. Давыдов, Ю.Ю. Мартюшев, Б.М. Породин, А.Н. Харламов: под ред. Ю.Т. Давыдова. – М.: Изд-во МАИ, 1993



**Спасибо
за внимание!**

it^{'s}**MO** *re than a*
UNIVERSITY

Nikolay.A.Nikolaev@gmail.com