

Защита лабораторной работы №1

Расчет и моделирование усилителя

ст. группы ТСА-313
Уткин Д.С.

Анализ сходных данных и выбор транзистора

- Основным отличием усилительных каскадов является схема нагрузки в выходной цепи (многоконтурная, трансформаторная и тд). Разработаем широкополосный резистивный усилительный каскад, поменяв R_k транзистора на резонансную цепь.

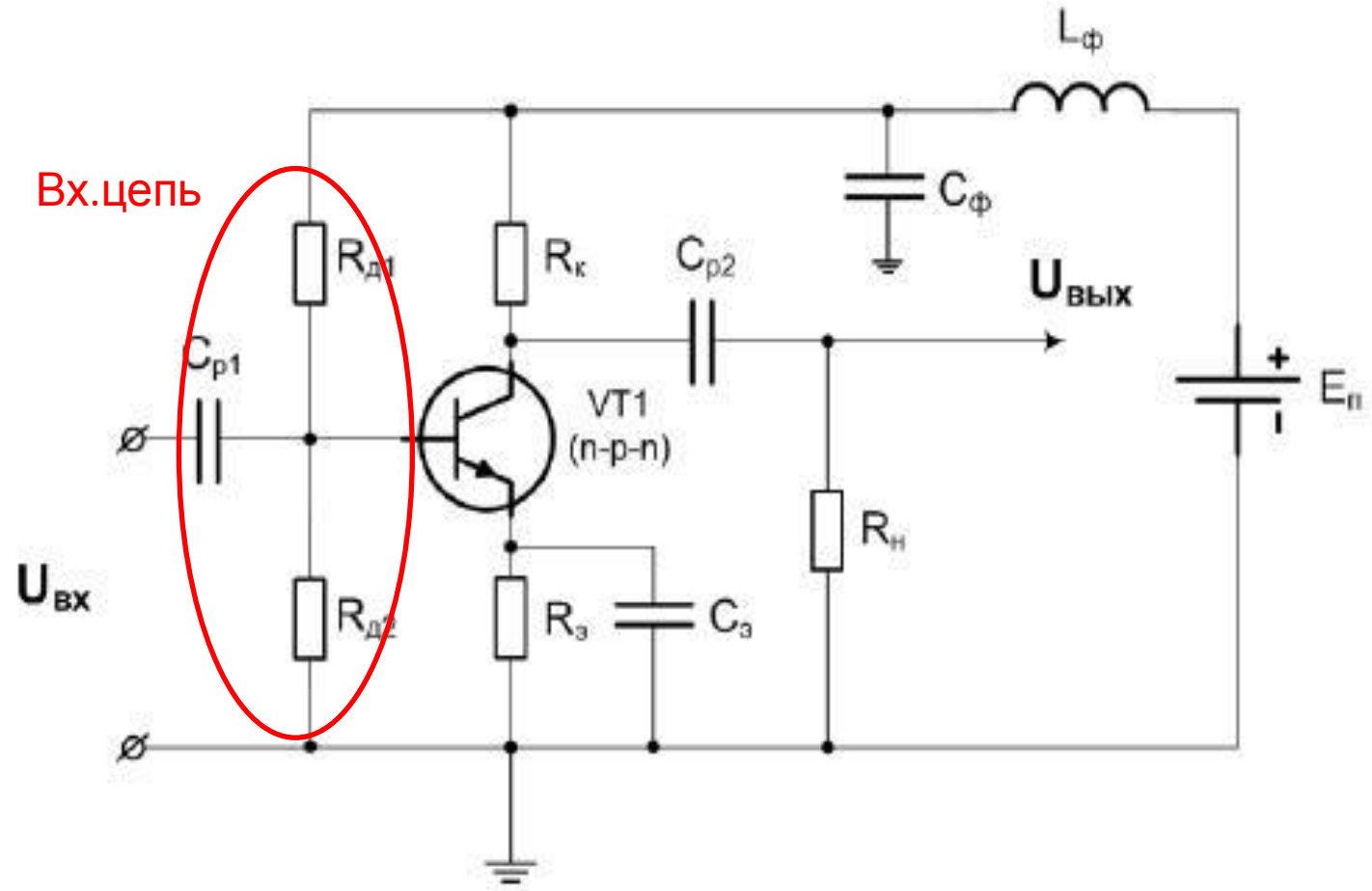


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада

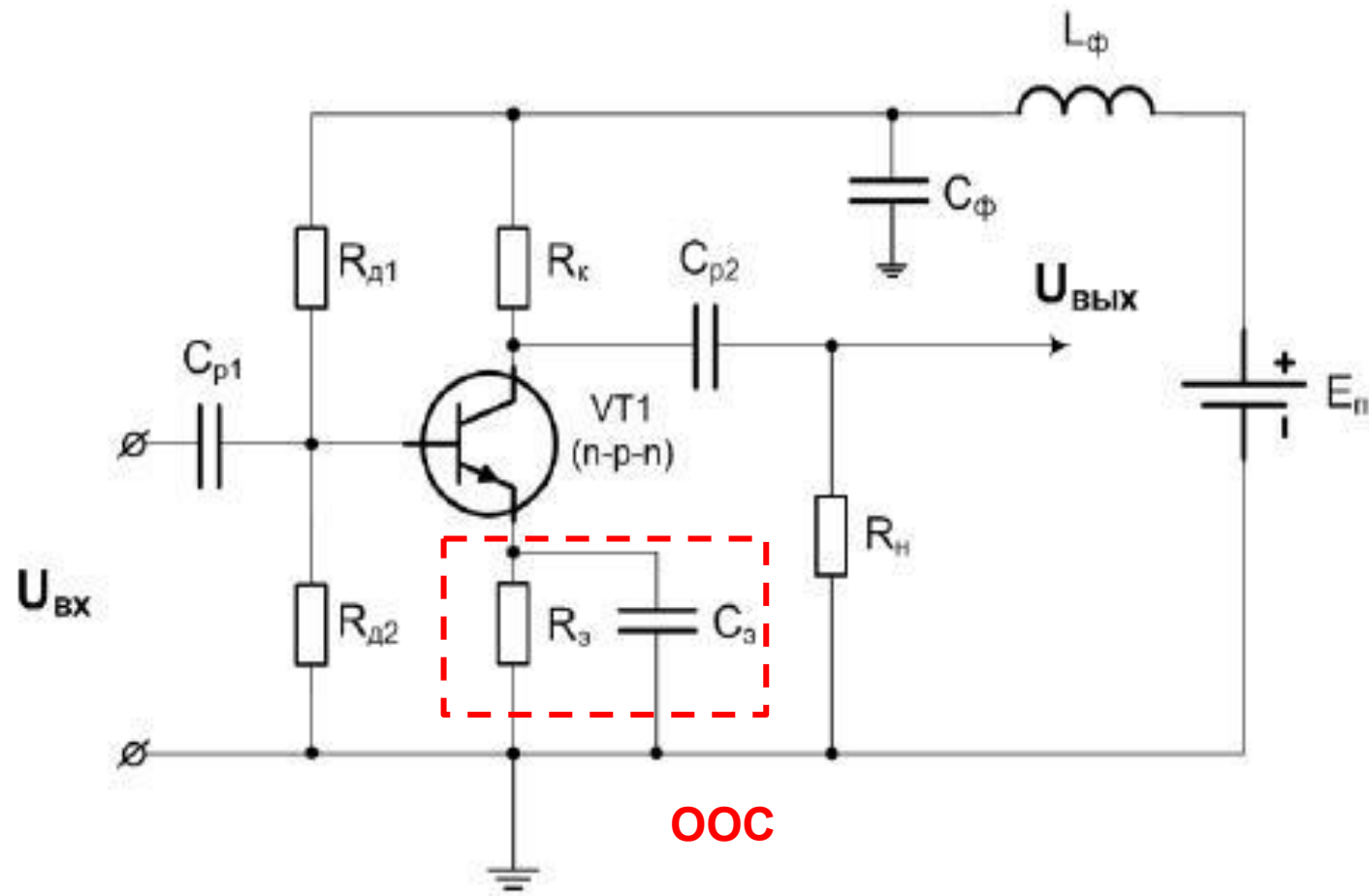


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада

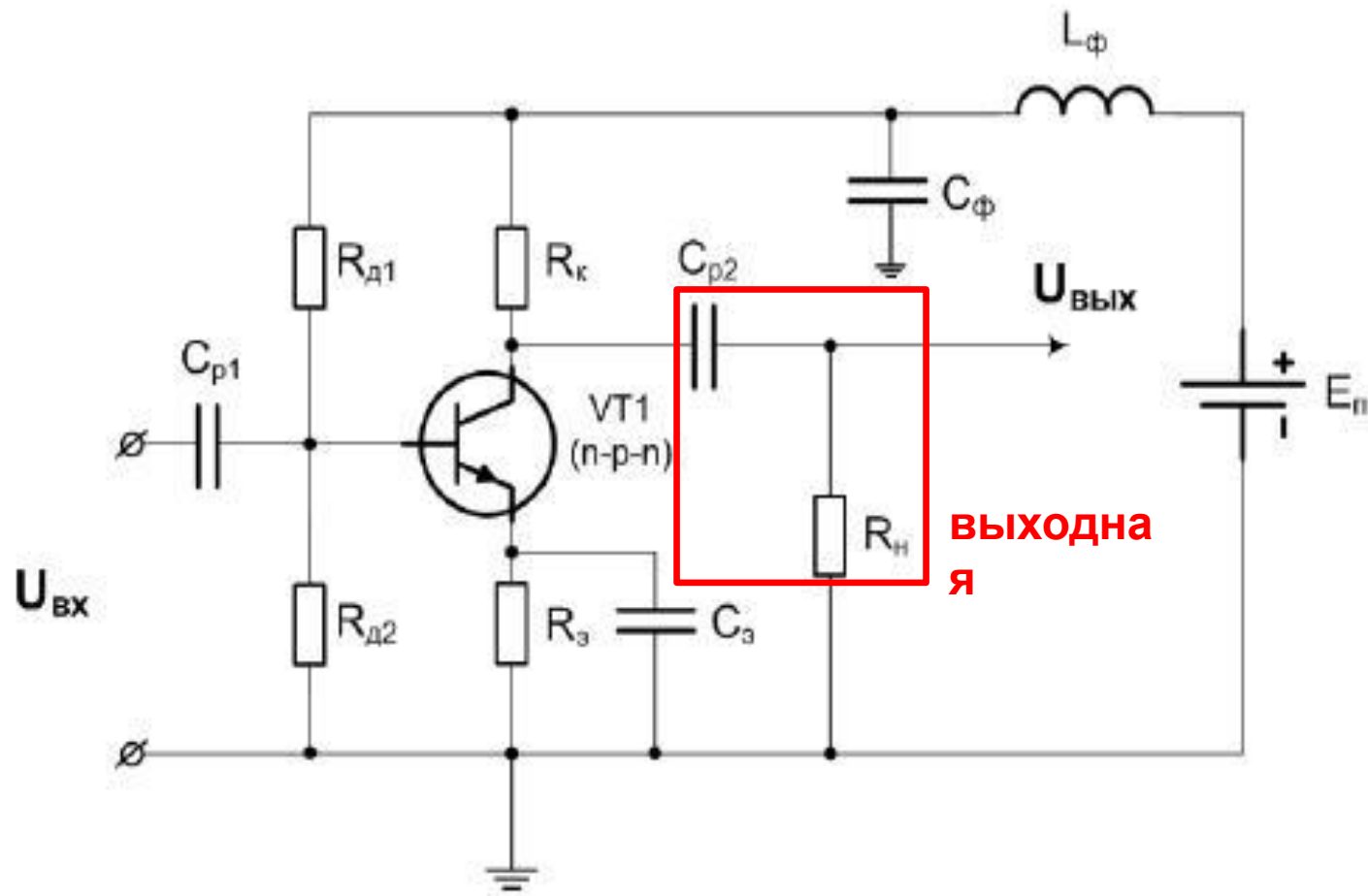


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада

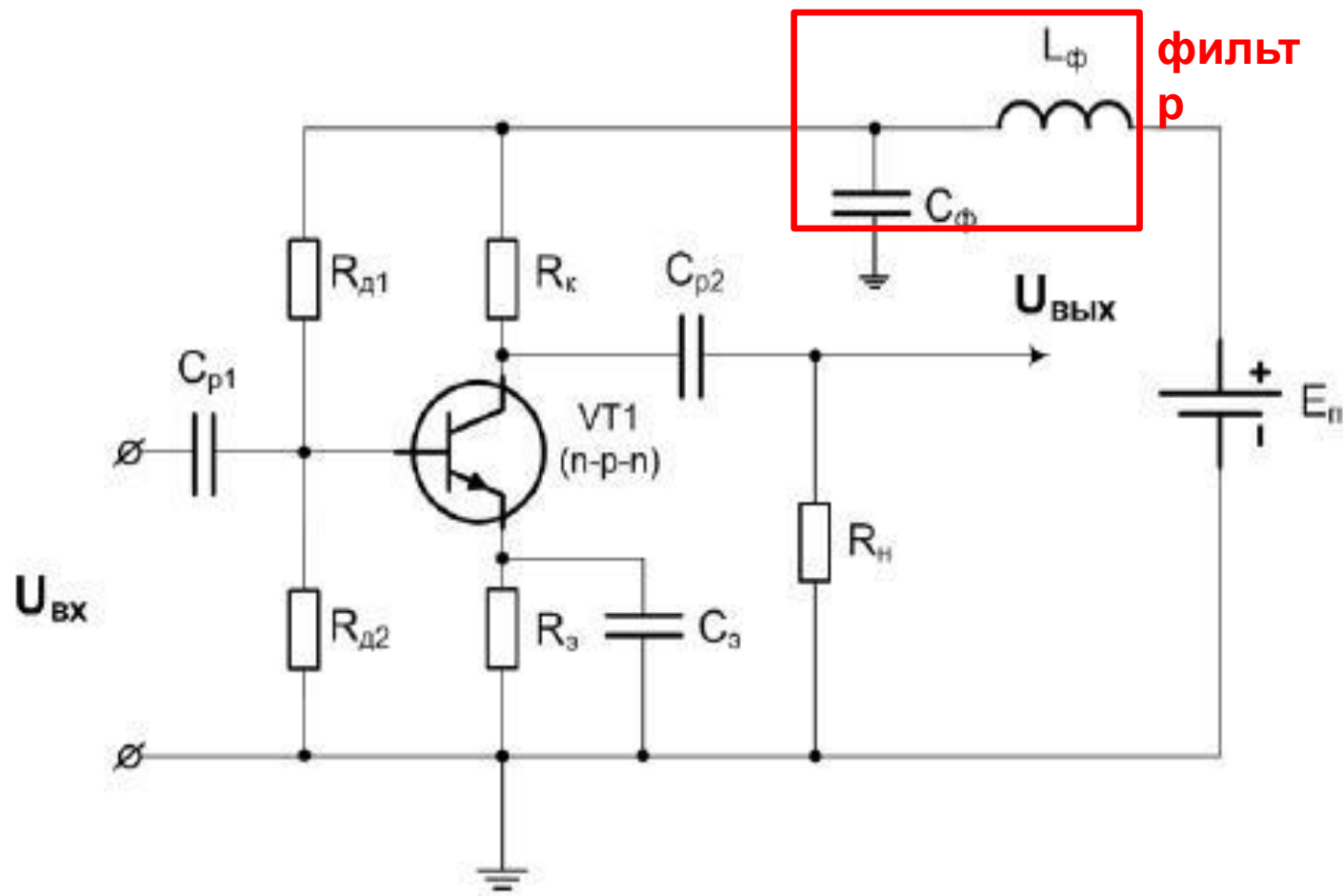


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада

- В исходных данных нет заметок по КПД, тогда рабочем режимом выберем режим А.

Транзистор работает в активном режиме на близких к линейным участкам характеристик, поэтому искажения усиленного сигнала здесь минимальны.

- Каскад выбран с ОЭ. Он обеспечивает максимальное усиление сигнала по мощности.
- В соответствии с заданием в схеме будет использоваться транзистор КТ3107А

Моделирование выходных характеристик и построение нагрузочной прямой

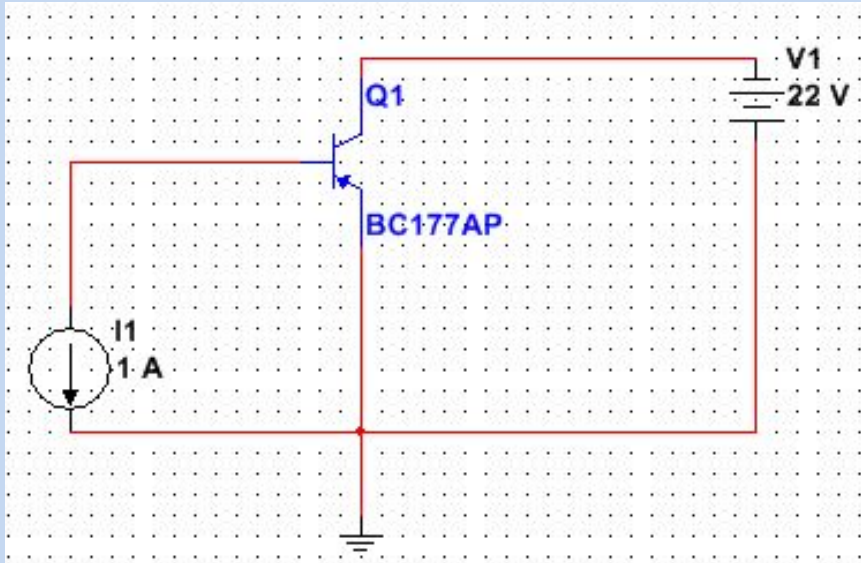


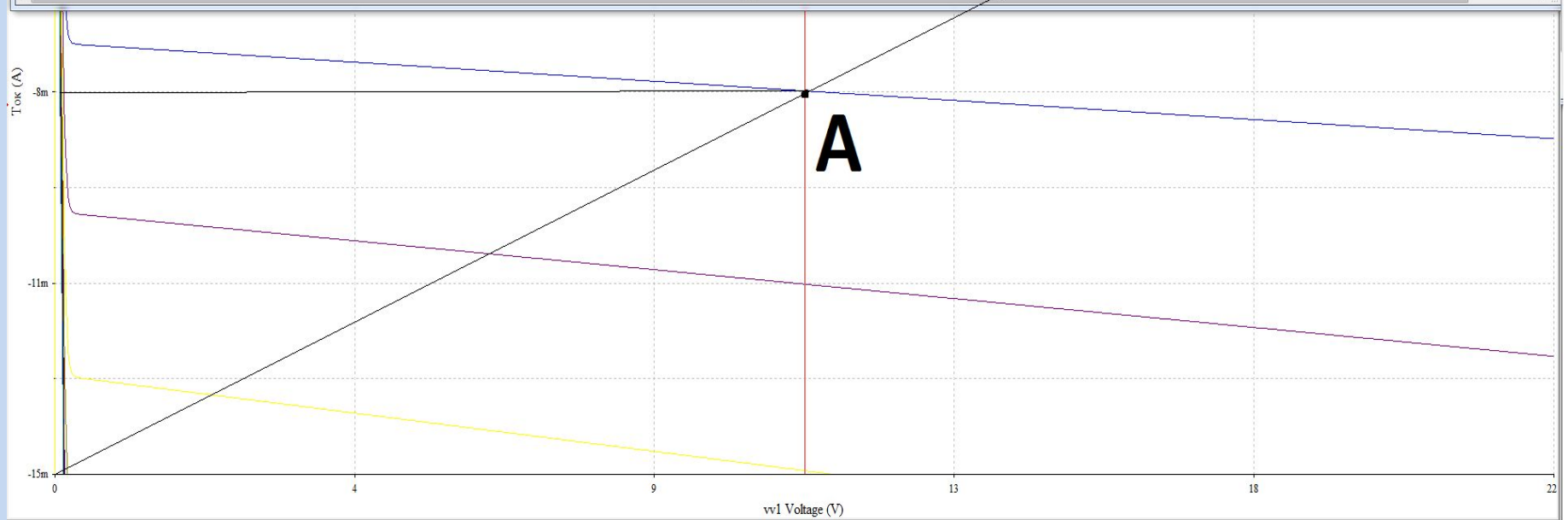
Схема для моделирования выходных характеристик

Определим положение рабочей точки на нагрузочной прямой транзистора. С помощью нее определяем I_{k0} и $U_{кэ0}$ выходной цепи для выбранного режима работы, а так же ток входной цепи $I_{б0}$, который обеспечивает требуемые I_{k0} и $U_{кэ0}$.

Нагрузочная прямая представляется отрезком прямой линии, для построения которой необходимо знать лишь координаты двух точек, лежащих на ней. Эти точки определяются в двух крайних режимах работы транзистора: в полностью закрытом (режим отсечки) и полностью открытом (режим насыщения).

Схема1
Передаточная характеристика на DC

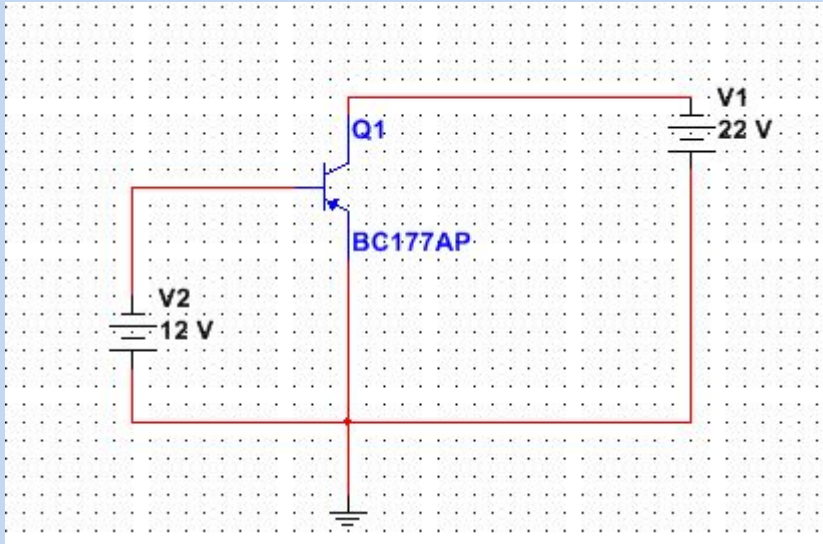
	ii1=0; I (V1)	ii1=1.72e-005; I (V1)	ii1=3.44e-005; I (V1)	ii1=5.16e-005; I (V1)	ii1=6.88e-005; I (V1)	ii1=8.6e-005; I (V1)	ii1=0.0001032; I (V1)	ii1=0.0001204; I (V1)	ii1=0.0001376; I (V1)
x1	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059
y1	-35.7177p	-3.5936m	-7.4796m	-11.2727m	-14.9313m	-18.4524m	-21.8430m	-25.1128m	-28.1128m
x2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
y2	0.0000	1.4883μ	828.0309n	-503.9829n	-2.1567μ	-3.9617μ	-5.8216μ	-7.6746μ	-9.5285μ
dx	-11.0059	-11.0059	-11.0059	-11.0059	-11.0059	-11.0059	-11.0059	-11.0059	-11.0059
dy	35.7177p	3.5951m	7.4805m	11.2722m	14.9291m	18.4484m	21.8372m	25.1051m	28.1051m
1/dx	-90.8600m	-90.8600m	-90.8600m	-90.8600m	-90.8600m	-90.8600m	-90.8600m	-90.8600m	-90.8600m
1/dy	27.9973G	278.1584	133.6815	88.7139	66.9832	54.2051	45.7934	39.8326	35.0000
min x	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
max x	22.0000	22.0000	22.0000	22.0000	22.0000	22.0000	22.0000	22.0000	22.0000
min y	-74.8379p	-4.0432m	-8.4178m	-12.6887m	-16.8087m	-20.7745m	-24.5936m	-28.2768m	-31.1128m
max y	1.0666e-030	1.4883μ	828.0309n	-503.9829n	-2.1567μ	-3.9617μ	-5.8216μ	-7.6746μ	-9.5285μ
offset x	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
offset y	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



В данном случае этой рабочей точке соответствует базовый ток $I_{B0} = -34.4 \mu\text{A}$.

Ток коллектора покоя $I_{K0} = -8 \text{ mA}$ при напряжении $U_{КЭ} = -11 \text{ V}$

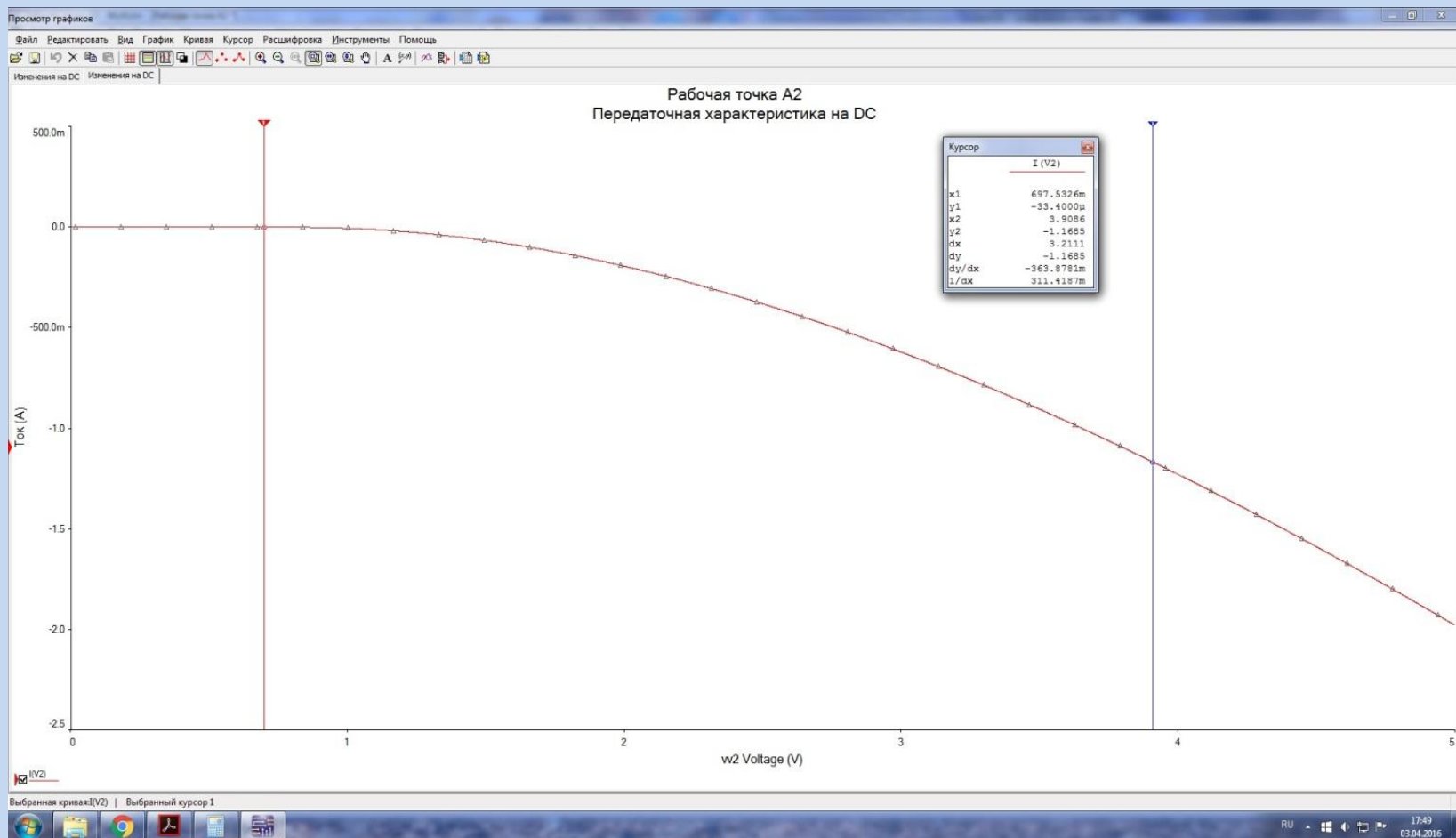
Моделирования входной характеристики



Входная характеристика необходима для нахождения требуемого смещения на базе. Определим его, используя I_b , полученные по выходным характеристикам.

Схема для моделирования входной характеристики

Построим входную характеристику и по ней определим недостающую координату рабочей точки



Координаты рабочей точки на рабочей характеристике

Напряжение база-эмиттер по

$U_{БЭ0} = 698.422 \text{ мВ};$

Ток базы покоя: $I_{Б0} = -34.4 \text{ мкА}.$

Моделирование передаточной характеристики

Передаточная характеристика биполярного транзистора - это зависимость выходного напряжения коллектор- эмиттер $U_{кэ}$ от входного напряжения база-эмиттер $U_{бэ}$.

При моделировании передаточной статической характеристики важным является определение координат рабочей точки транзистора с учетом цепей нагрузки и термостабилизации $R_{тс} = R_{э}$ (усл. согласования)

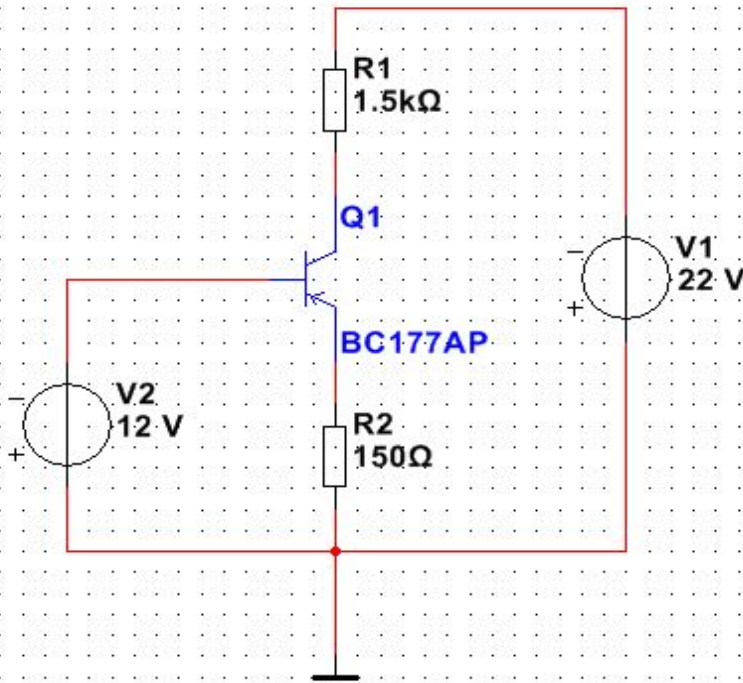
Рассчитаем напряжения базы покоя и коллектора транзистора в режиме А, воспользовавшись известным выражением для неразветвленного участка цепи:

$$U_{Б0} = U_{БЭ0} + U_{Rэ} = U_{БЭ0} + (I_{К0} + I_{Б0}) \cdot R_{э} = -698.422 \text{ мВ} + (-8 \text{ мА} \cdot 150 \text{ Ом}) = -1.898 \text{ В};$$

$$U_{К0} = U_{КЭ0} + (I_{К0} \cdot R_{э}) = -11 \text{ В} + (-8 \text{ мА} \cdot 150 \text{ Ом}) = -12.2 \text{ В}.$$

Сравним значение с моделированным значением, собрав схему для моделирования передаточной характеристики. При этом допускается расхождение с расчетными величинами в пределах 10%.

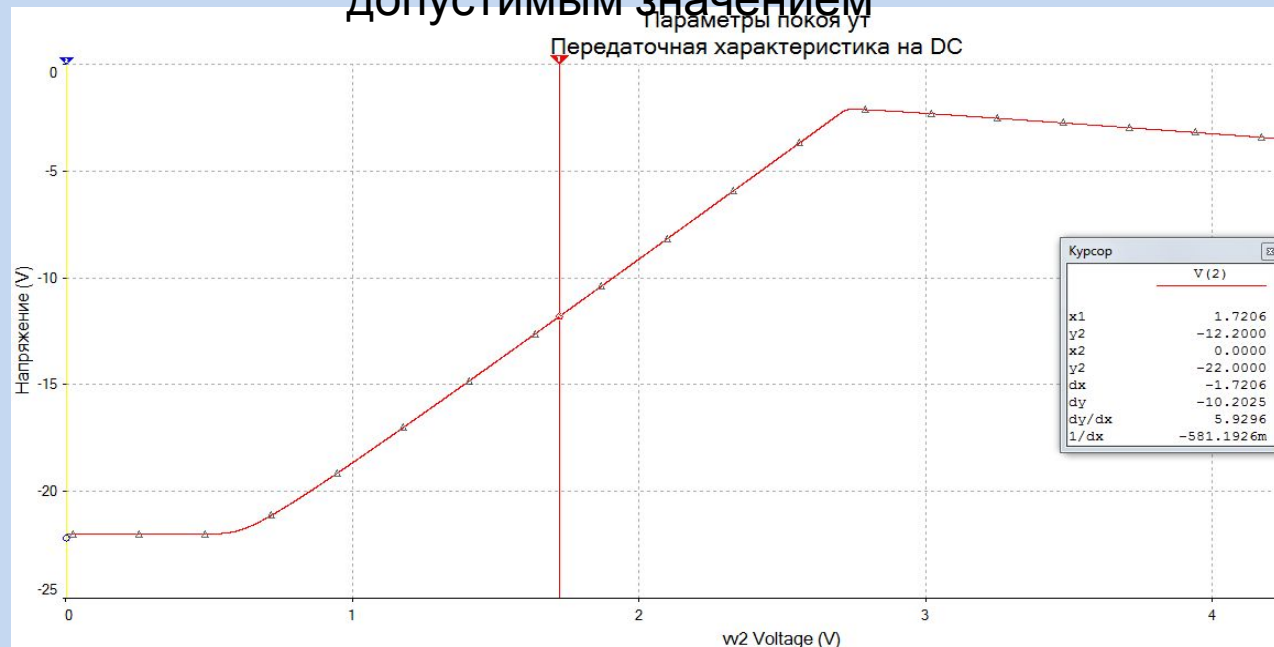
Схема для моделирования передаточной характеристики



С помощью напряжения коллектора покоя (-12.2 В) найдем напряжение $U_B = 1.72$

Погрешность равна 9% и является допустимым значением

Координаты рабочей точки на передаточной характеристике



Определение параметров ПОКОЯ

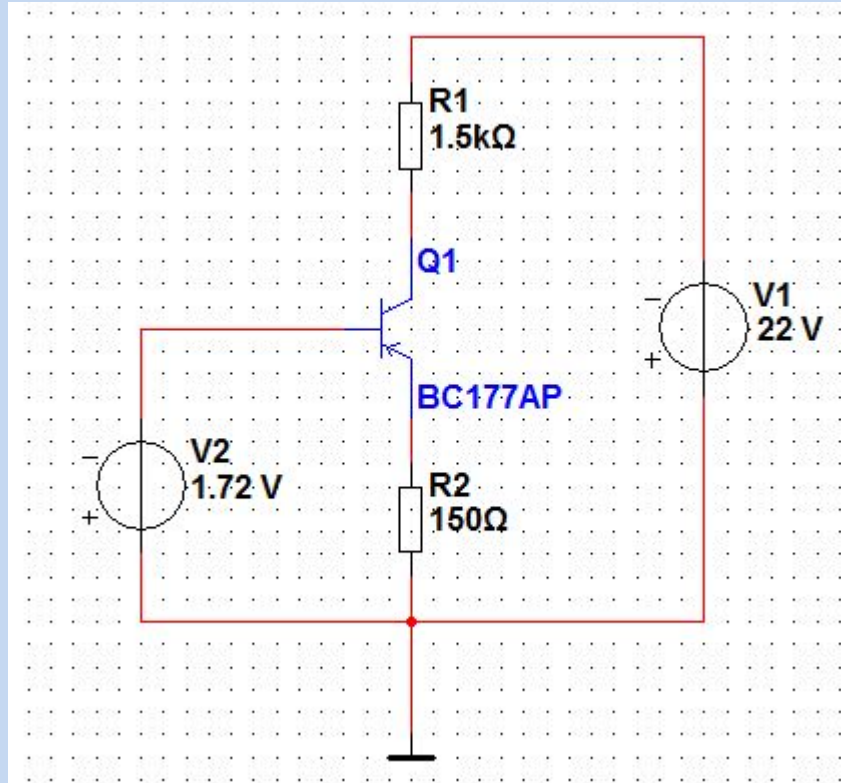


Схема для определения параметров покоя транзистора

Изменим номинал базового источника напряжения.

Найдём все потенциалы и токи в режиме А работы транзистора

Рабочая точка DC	
V(1)	-1.02439
V(2) Uк	-11.80327
V(3)	-22.00000
V(4) Uб	-1.72000
I(V1) Iк	-6.79782 м
I(V2) Iб	-31.44164 у

Потенциалы и токи в режиме А работы транзистора

Для выбранного режима работы К передачи:

$$h_{21c} = I_{k0} / I_{E0} = -6.7978 \text{ мА} / -31.4416 \text{ мкА} = 216.2$$

Расчёт и моделирование цепей, задающих режим работы транзистора по постоянному току

- Цель: определение номиналов резистивного делителя

$$I_{\text{д}} = 10 * I_{\text{б0}} = 10 * (-31.4416 \text{ мкА}) = -314.416 \text{ мкА.}$$

Найдём ток $I_{\text{рд2}} = I_{\text{д}} - I_{\text{б0}} = -314.416 \text{ мкА} - (-31.4416 \text{ мкА}) = -282.9744 \text{ мкА}$

По закону Ома:

$$R_{\text{д2}} = U_{\text{б0}} / I_{\text{рд2}} = -1.72 \text{ В} / -282.9744 \text{ мкА} = 6.078 \text{ кОм.}$$

Найдём сопротивление резистора $R_{\text{д1}}$:

$$R_{\text{д1}} = (E_{\text{п}} - U_{\text{б0}}) / I_{\text{д}} = (22 \text{ В} - (-1.72 \text{ В})) / -314.416 \text{ мкА} = 64.501 \text{ кОм.}$$

После определения номиналов резисторов $R_{\text{д1}}$ и $R_{\text{д2}}$ расчёт резистивного делителя считается законченным.

Моделирование усилительного каскада с резистивным делителем

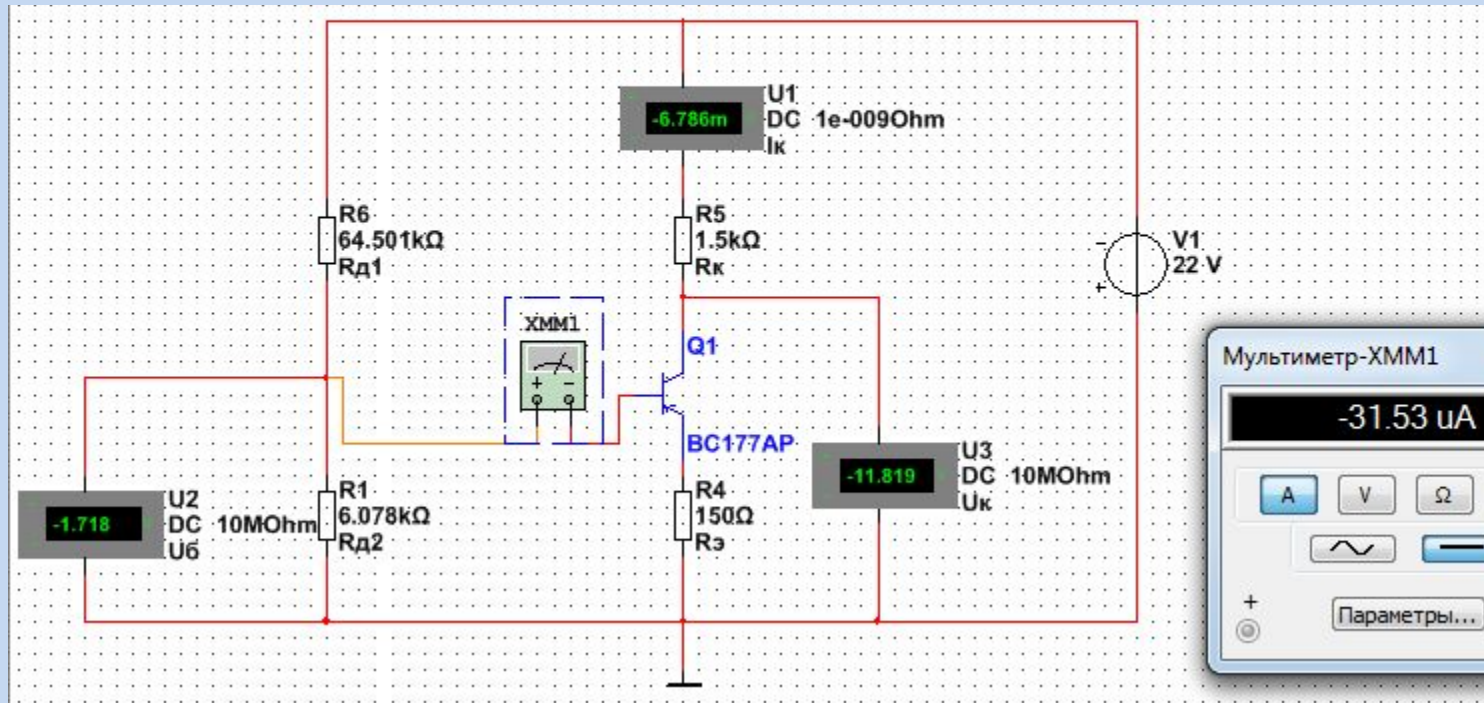


Схема для моделирования резистивного делителя

Таким образом, после включения питания в цепях, задающих режим А работы транзистора BC177AP, установятся следующие значения покоя:

$$U_{к0} = -11.819 \text{ В}, I_{к0} = -6.786 \text{ мА}$$

$$U_{б0} = -1.718 \text{ В}, I_{б0} = -31.53 \text{ мкА}$$

Анализ результатов моделирования по постоянному току

Параметр	Статические характеристики	Резистивный делитель	Погрешность моделирования
I _{Б0}	-31.44 мкА	-31.53 мкА	0.2%
U _{Б0}	-1.72 В	-1.718 В	0.1%
I _{К0}	-6.7978 мА	-6.786 мА	0.1 %
U _{К0}	-11.803 В	-11.819 В	0.1%

Расчёт транзисторного усилительного каскада по переменному току

$$C_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot \frac{R_{э2}}{1000}} = \frac{1}{2 \cdot 3.142 \cdot 1600 \text{кГц} \cdot 0.1350 \text{М}} = 7.372 \text{ нФ}$$

исключает влияние отрицательной обратной связи на частоте входного сигнала

$$C_{p1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot X_{cp1}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 1600 \text{кГц} \cdot 20.10 \text{М}} = 4.949 \text{ нФ}$$

обеспечивают большое сопротивление постоянному току на входе и выходе усилителя, их сопротивления должны быть много меньше с одной стороны входного, а с другой – выходного сопротивления усилительного каскада

$$C_{p2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot X_{cp2}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 1600 \text{кГц} \cdot 15 \text{Ом}} = 6,631 \text{ нФ}$$

$$L_\phi = X_{L\phi} / (2 \cdot \pi \cdot f_c) = 150 \text{кОм} / 2 \cdot 3.14 \cdot 1600 \text{кГц} = 15 \text{мГн}.$$

служит для блокировки цепи протекания переменной составляющей выходного сигнала в цепь питания каскада.

$$C_\phi = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot X_{сф}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 1600 \text{кГц} \cdot 1.5 \text{Ом}} = 66.31 \text{ нФ}$$

служит для замыкания цепи протекания переменной составляющей входного сигнала в обход источника питания

Моделирование усилительного каскада по переменному току

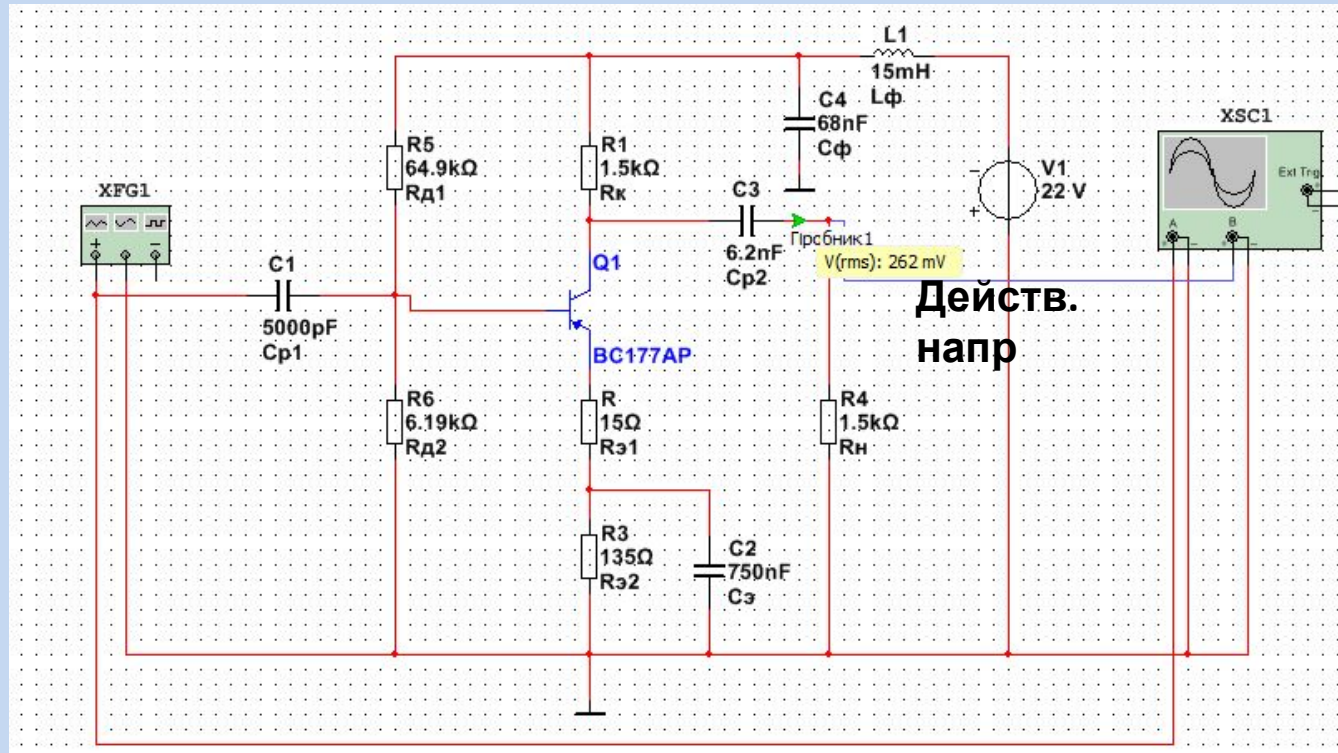


Схема для моделирования усилительного каскада по переменному току

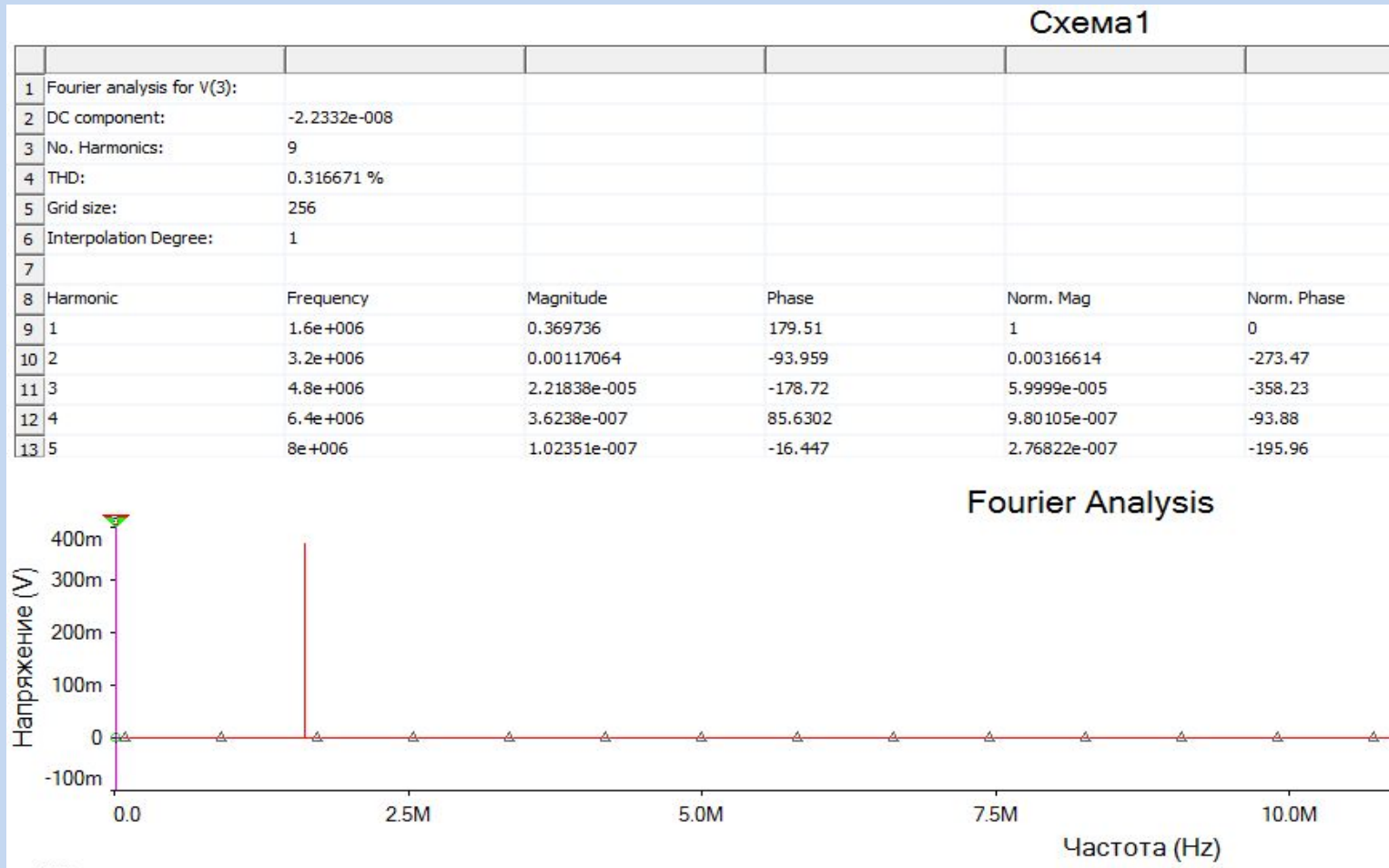
Установим амплитуду на входе каскада 10 мВ и оценим форму сигнала на экране осциллографа



$$K_u = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}} = 401.233 \text{ мВ} / 9.997 \text{ мВ} = 40.14 (>35)$$

Сигнал на входе и выходе усилительного каскада

Для измерения уровня нелинейных искажений при усилении сигнала разложим гармонический сигнал в ряд Фурье



Спектральная характеристика сигнала в нагрузке

Основная мощность сосредоточена на частоте усиливаемого сигнала, что свидетельствует о низком уровне искажений. Коэффициент гармоник (THD) составляет $K_g = 0.316671\%$. Мощность $P_H = I_H U_H = U_D^2 / R_H = (262 \text{ мВ})^2 / 150 \text{ Ом} = 45.76 \text{ мкВт}$. (>35)