

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.

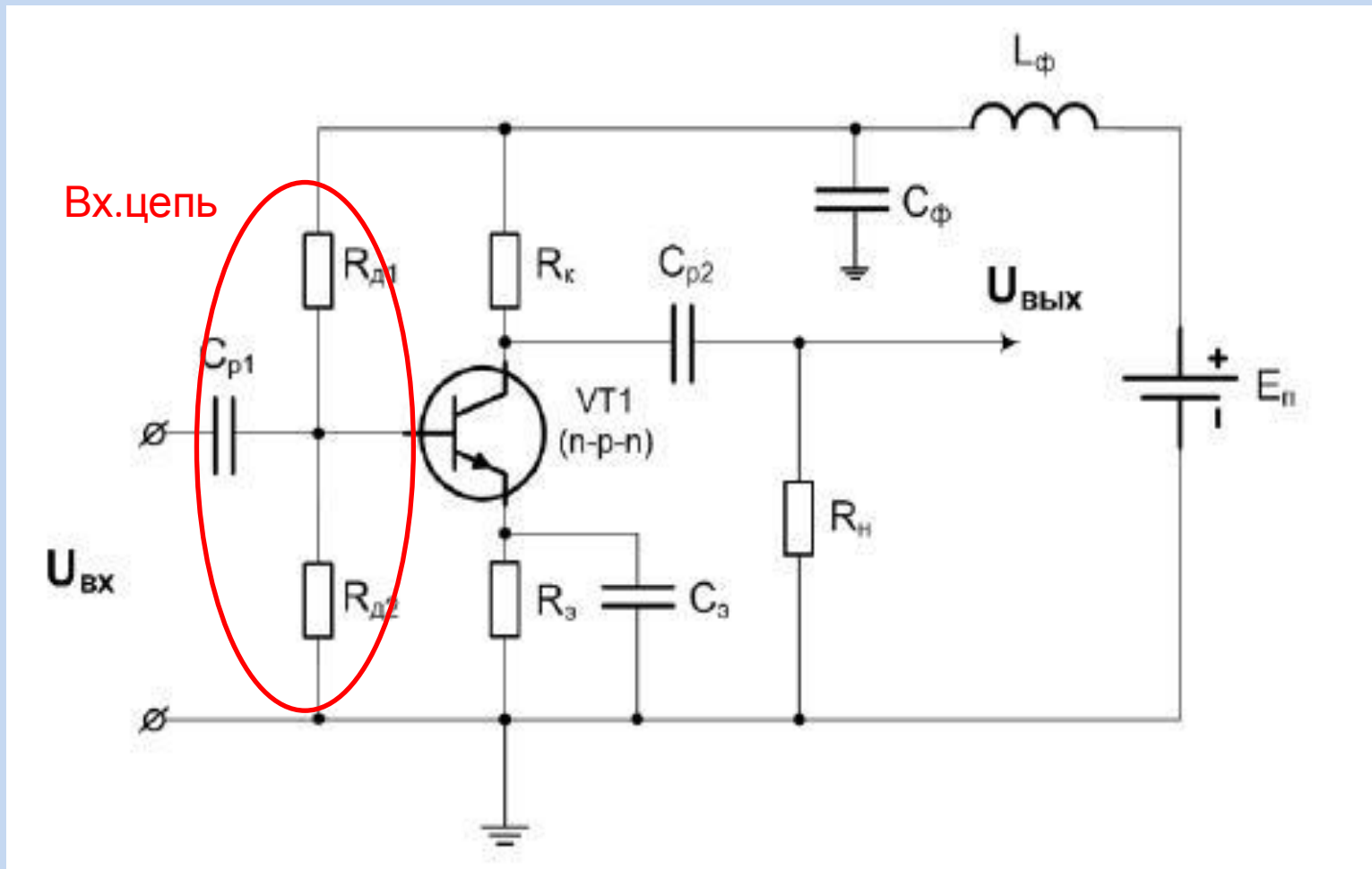


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада

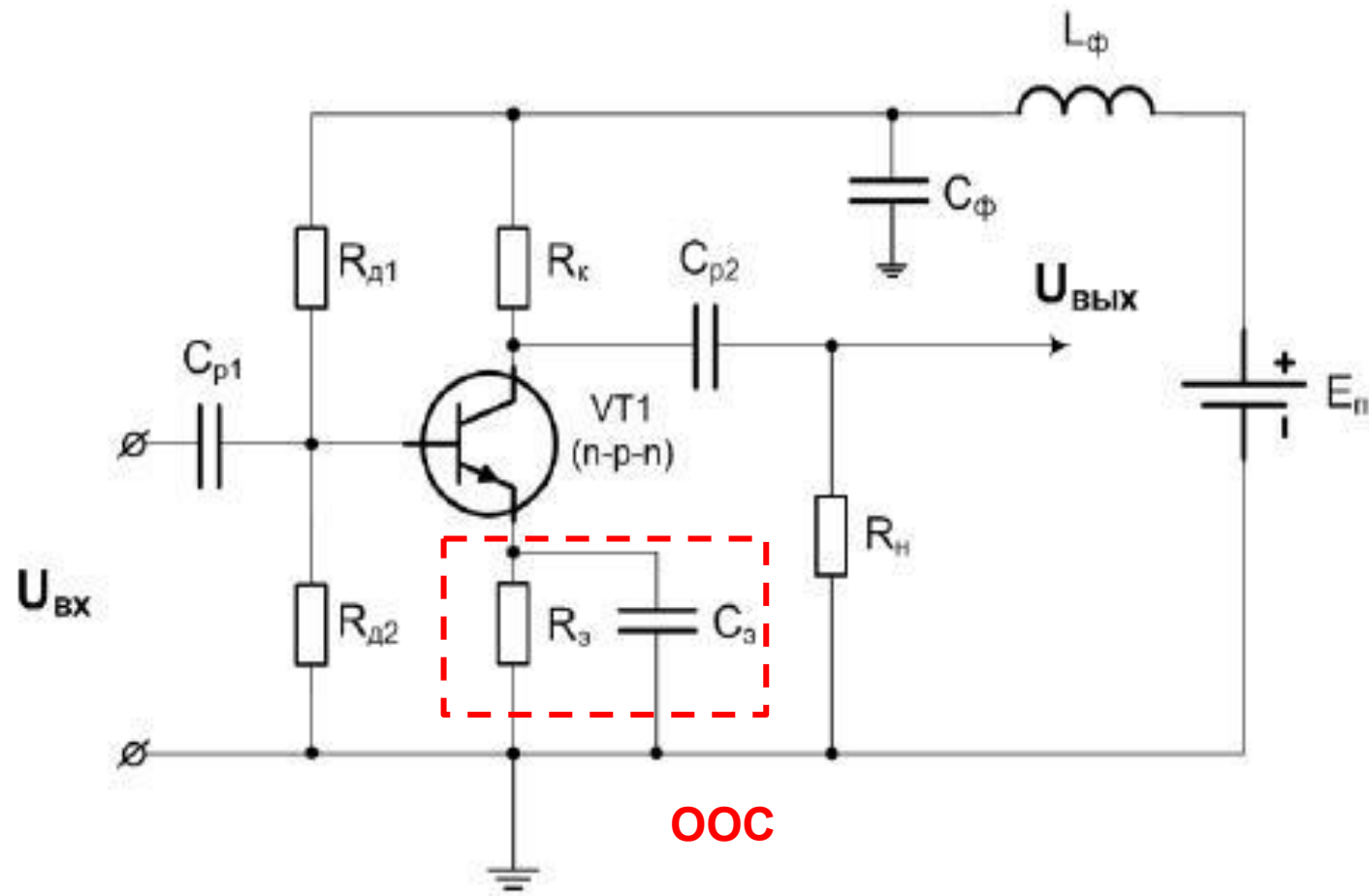


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада

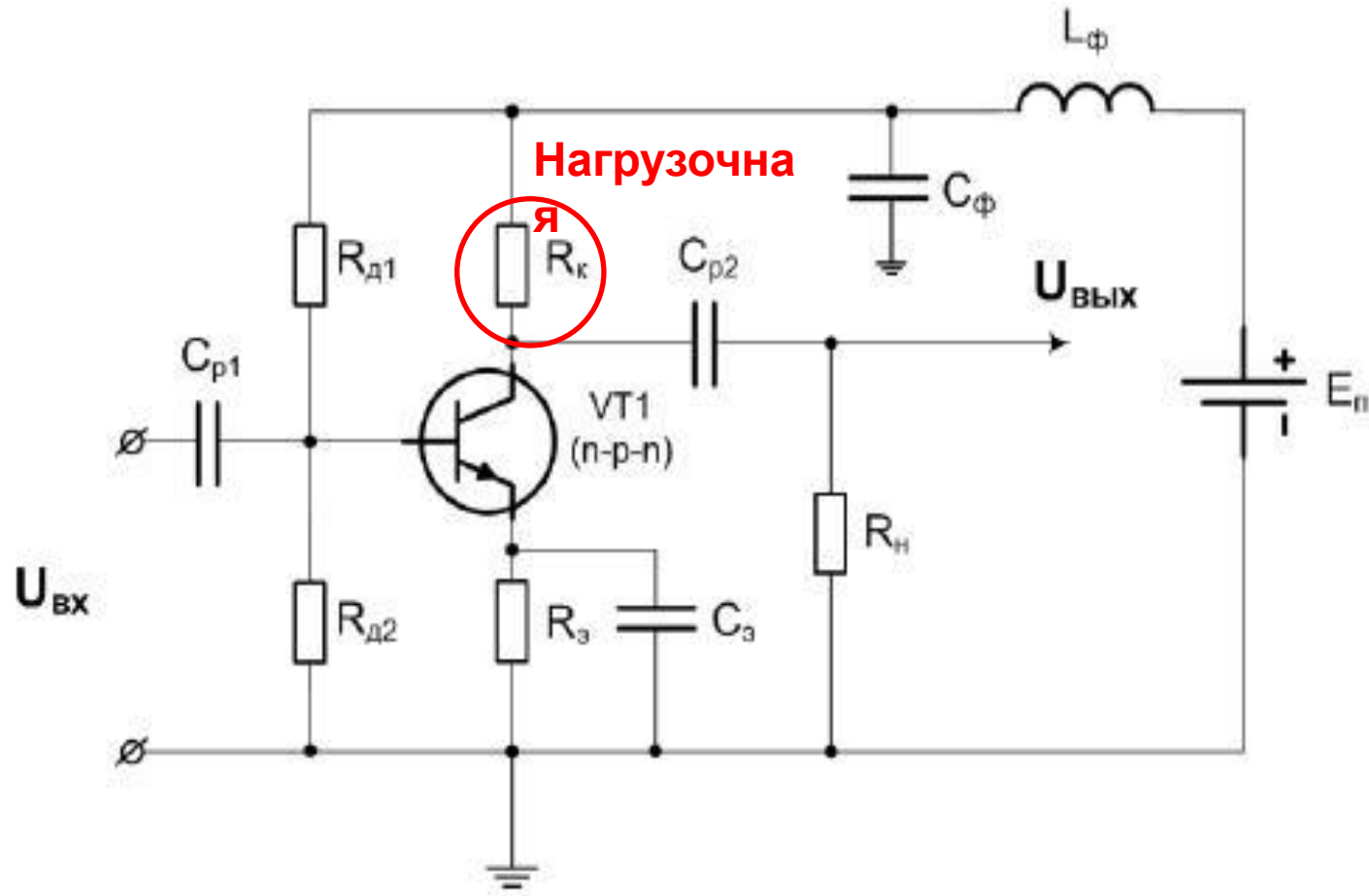


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада

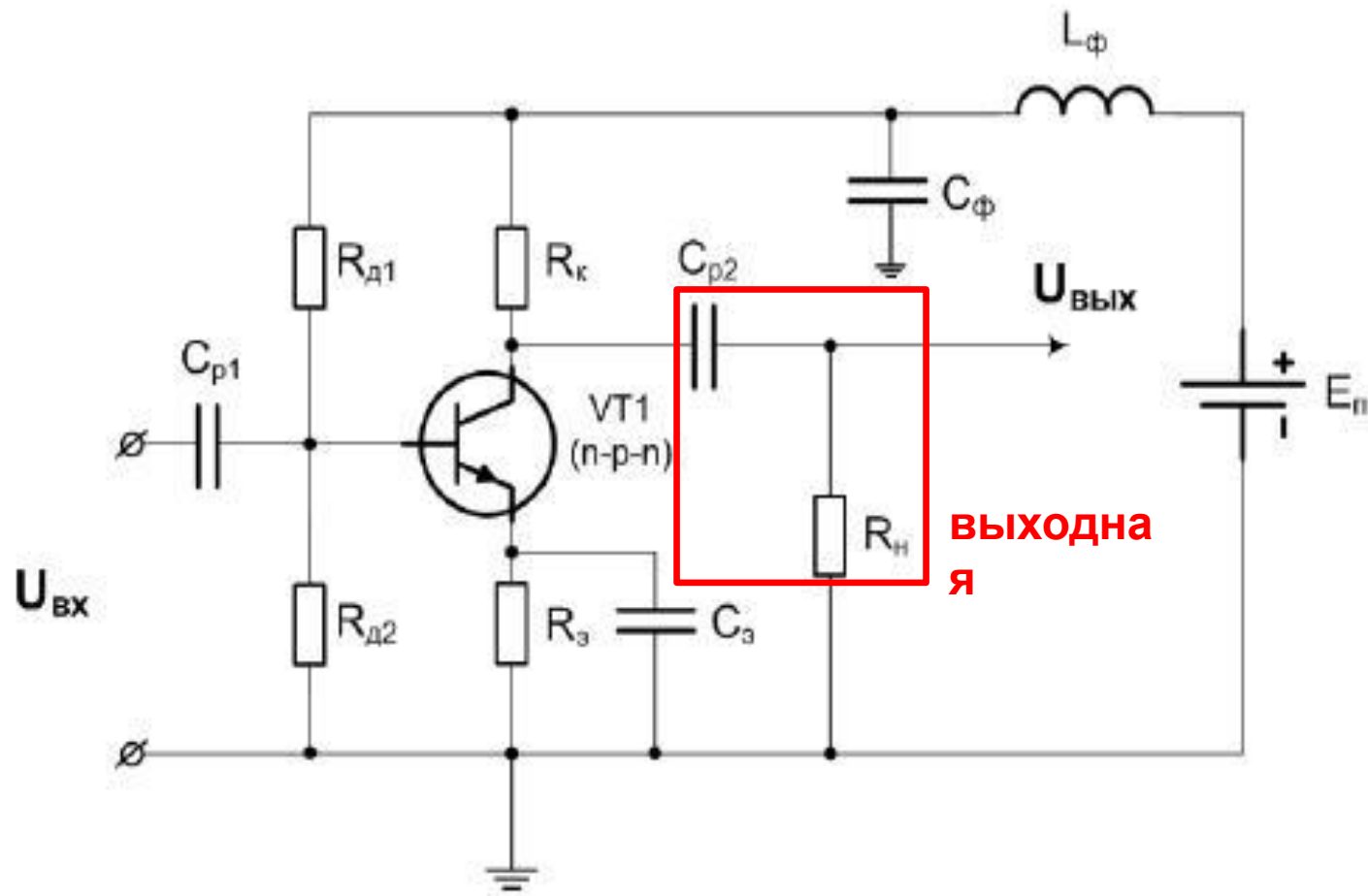
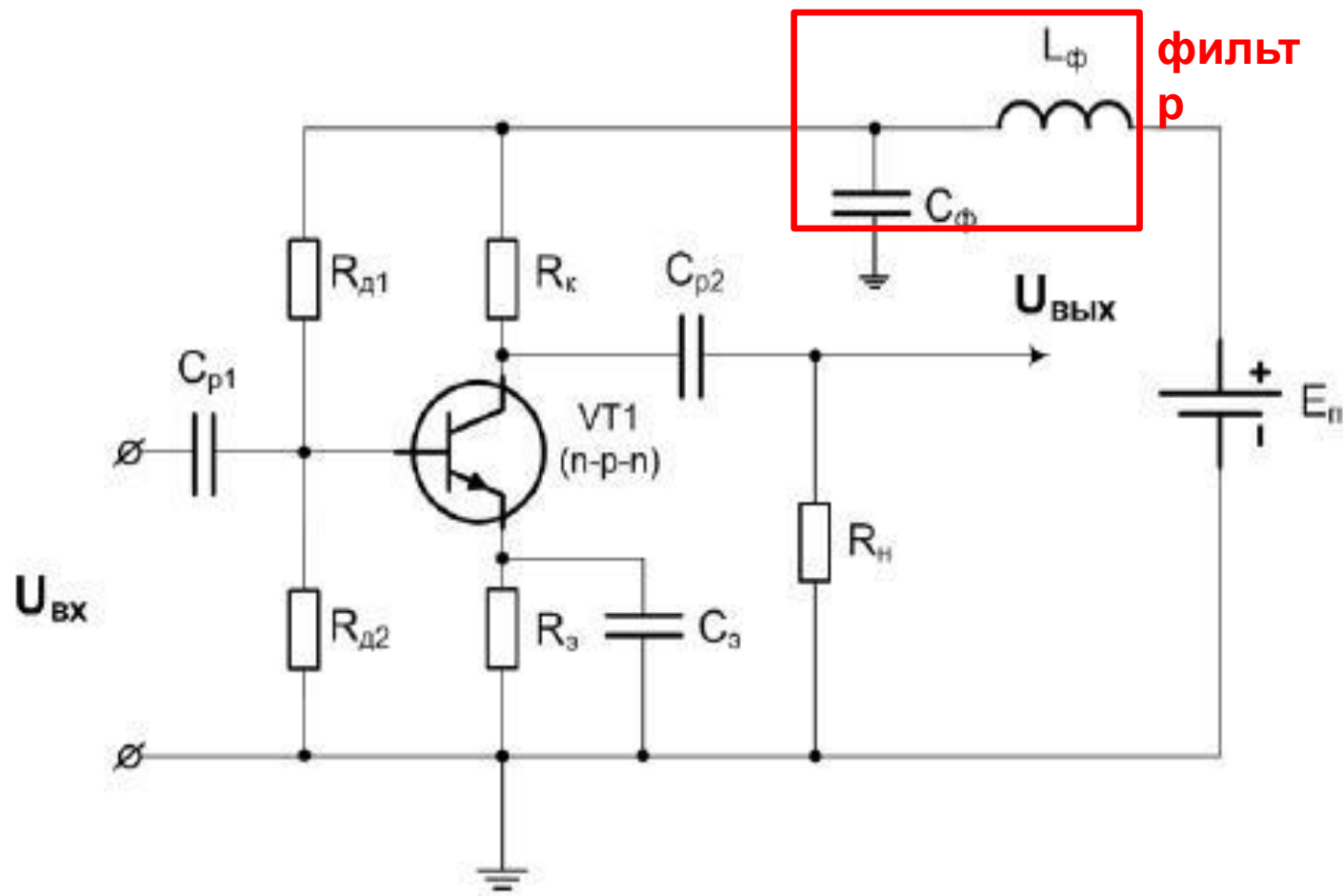


Схема однотактного широкополосного усилительного каскада



фильтр

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

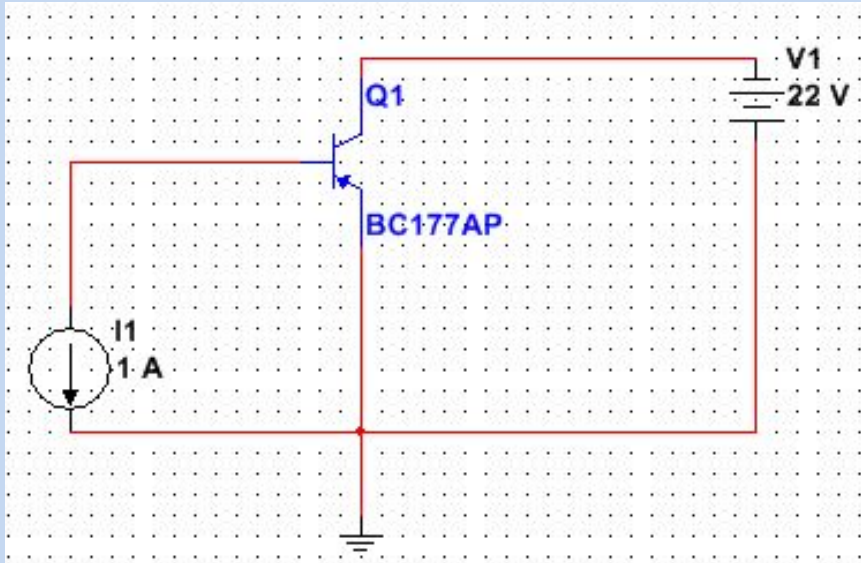


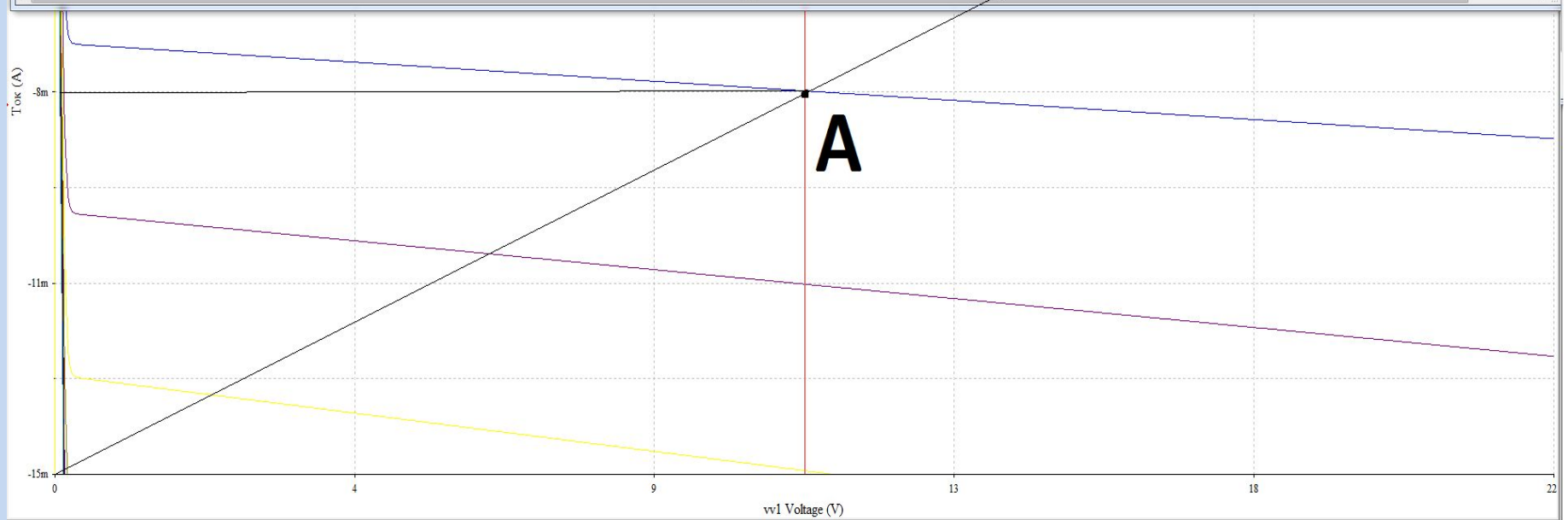
Схема для моделирования выходных характеристик

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

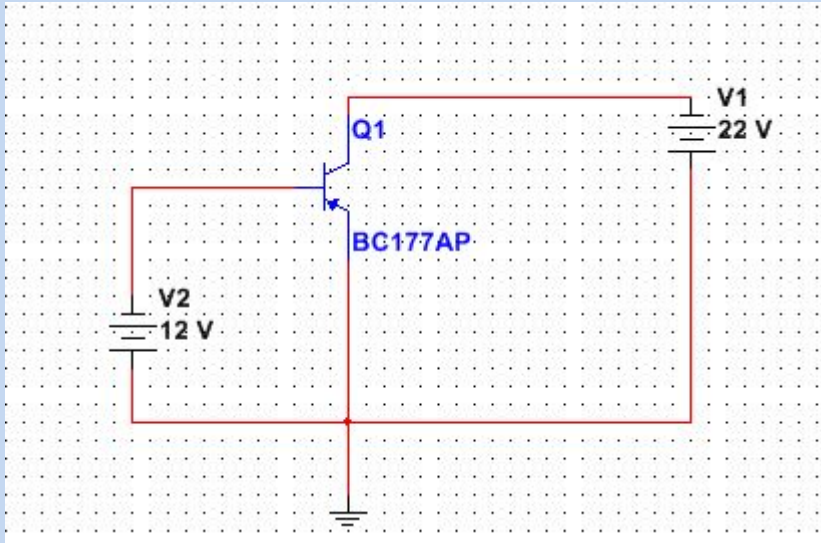
	ii1=0; I (V1)	ii1=1.72e-005; I (V1)	ii1=3.44e-005; I (V1)	ii1=5.16e-005; I (V1)	ii1=6.88e-005; I (V1)	ii1=8.6e-005; I (V1)	ii1=0.0001032; I (V1)	ii1=0.0001204; I (V1)	ii1=0.0001376; I (V1)
x1	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059	11.0059
y1	-35.7177p	-3.5936m	-7.4796m	-11.2727m	-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	-31.7280m
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 $U_{KЭ} = -11 \text{ V}$

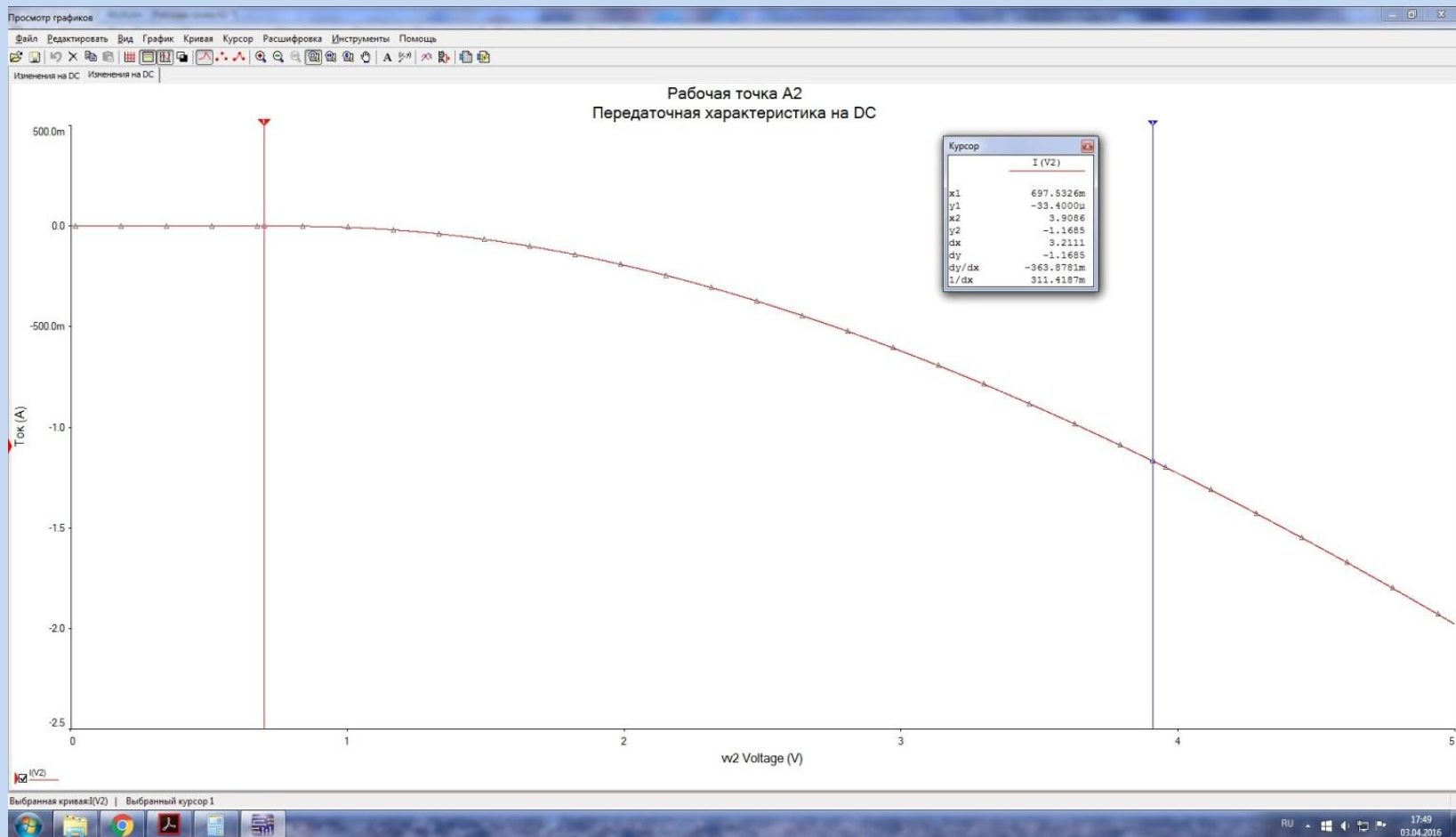
Моделирования входной характеристики



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 $R_1 = R_2$ (усл. согласования)

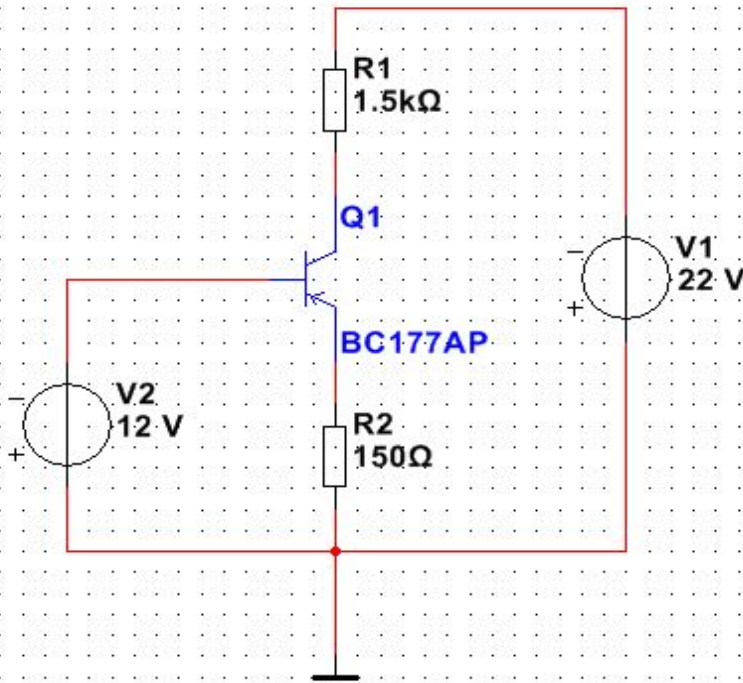
Рассчитаем напряжения базы покоя и коллектора транзистора в режиме А, воспользовавшись известным выражением для неразветвленного участка цепи:

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

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

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

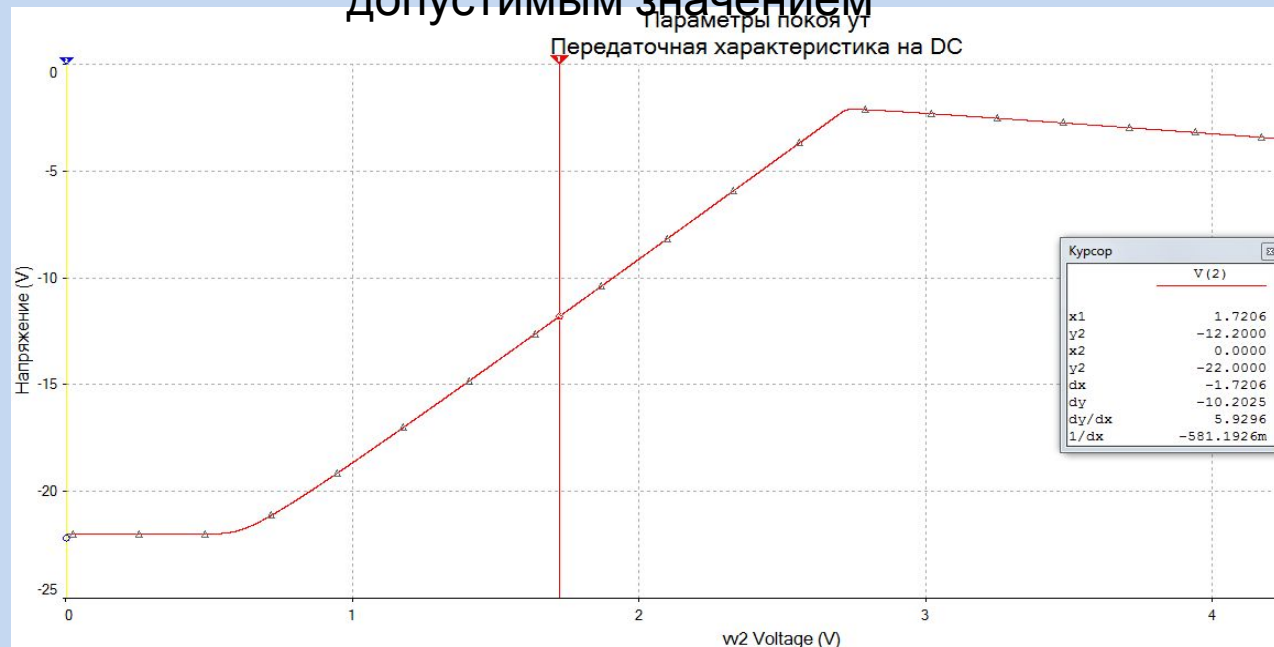
Схема для моделирования передаточной характеристики



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

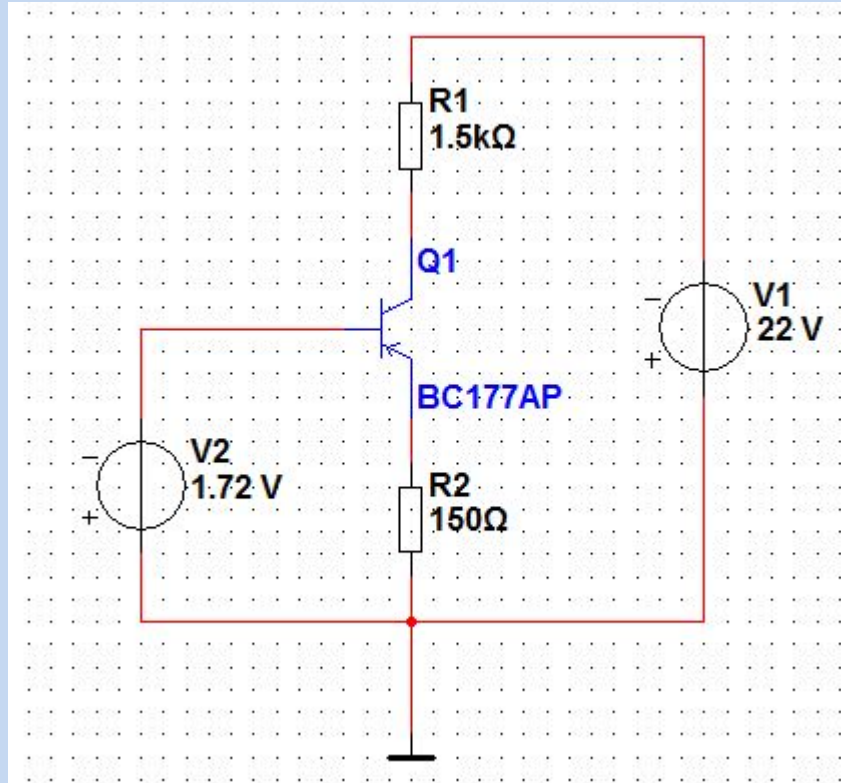


Схема для определения параметров покоя транзистора

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:

$$h_{21c} = I_{k0} / I_{b0} = -6.7978 \text{ мА} / -31.4416 \text{ мкА} = 216.2$$

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.

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.

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

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

Моделирование усилительного каскада по переменному току

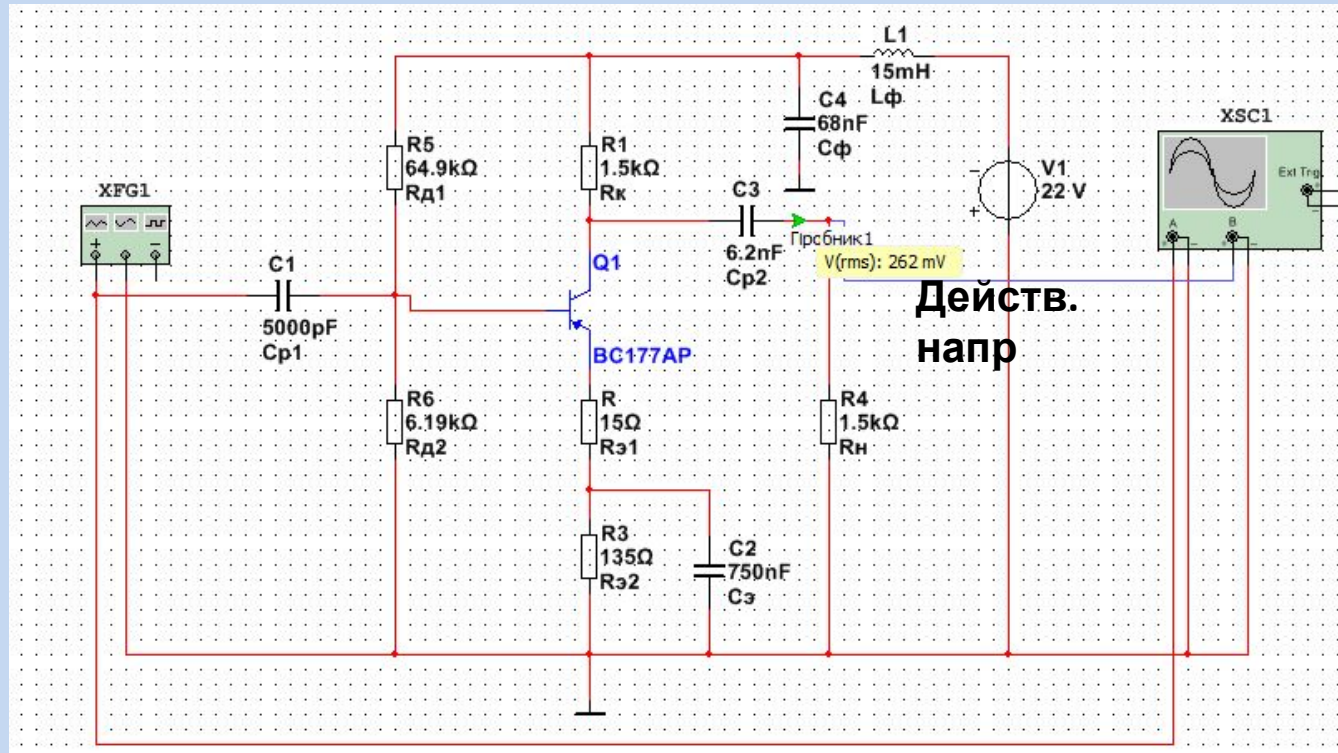


Схема для моделирования усилительного каскада по переменному току

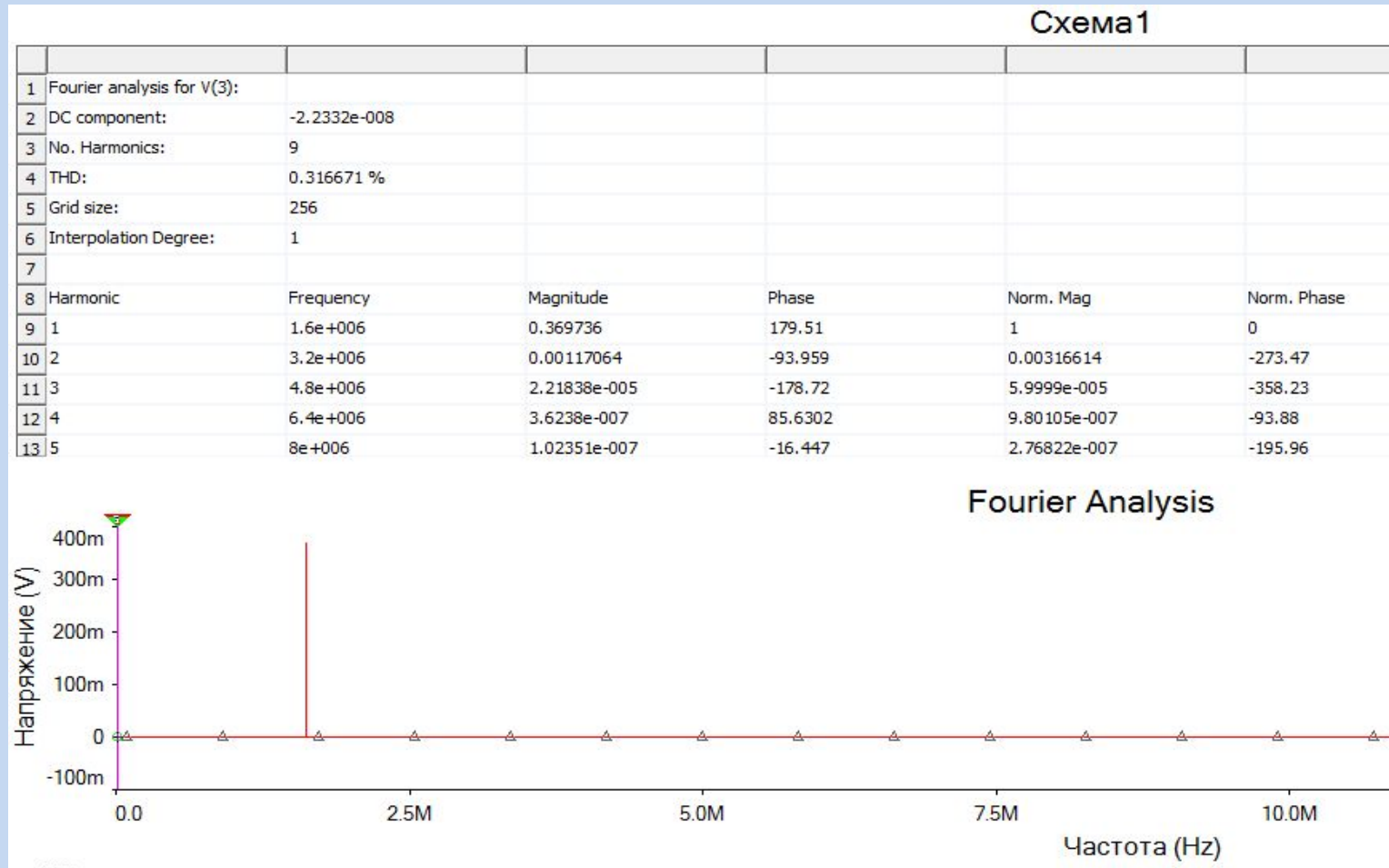
Установим амплитуду на входе каскада 10 мВ и оценим форму сигнала на экране осциллографа



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

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)