

Лекция 2

Биполярные транзисторы

Биполярным плоскостным транзистором (bipolar junction transistor – BJT) называют полупроводниковый прибор, имеющий два взаимодействующих между собой p - n -перехода. В зависимости от последовательности чередования областей с различным типом проводимости различают n - p - n транзисторы и p - n - p транзисторы.

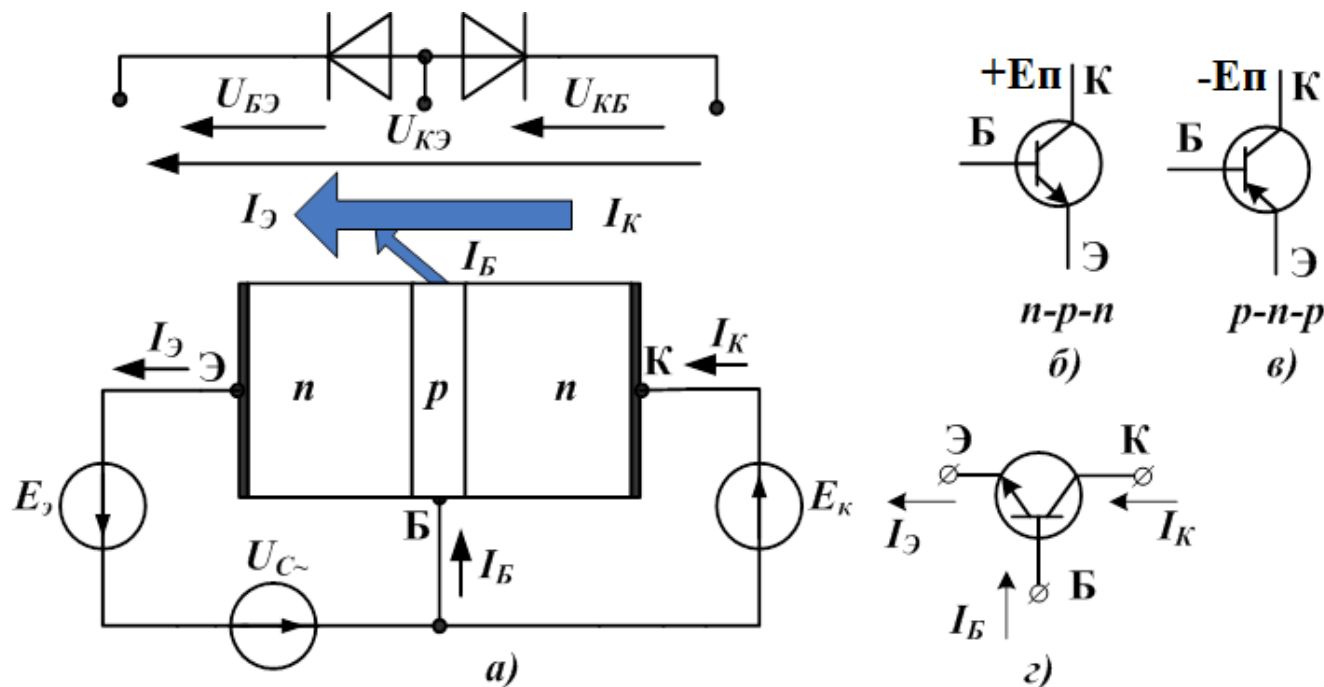
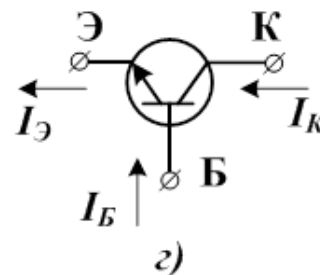


Схема с общей базой транзистора n - p - n .



Транзистор называется биполярным потому, что физические процессы в нем связаны с движением носителей обоих знаков (свободных дырок и электронов).

Средний слой биполярного транзистора называют базой **Б**, один крайний слой называют коллектором **К**, другой крайний слой называют эмиттером **Э**.

В транзисторе n - p - n основные носители электроны.

В транзисторе p - n - p основные носители дырки.

В схеме с общей базой (ОБ) – база это общий электрод входной и выходной цепи.

Схема с общим эмиттером:

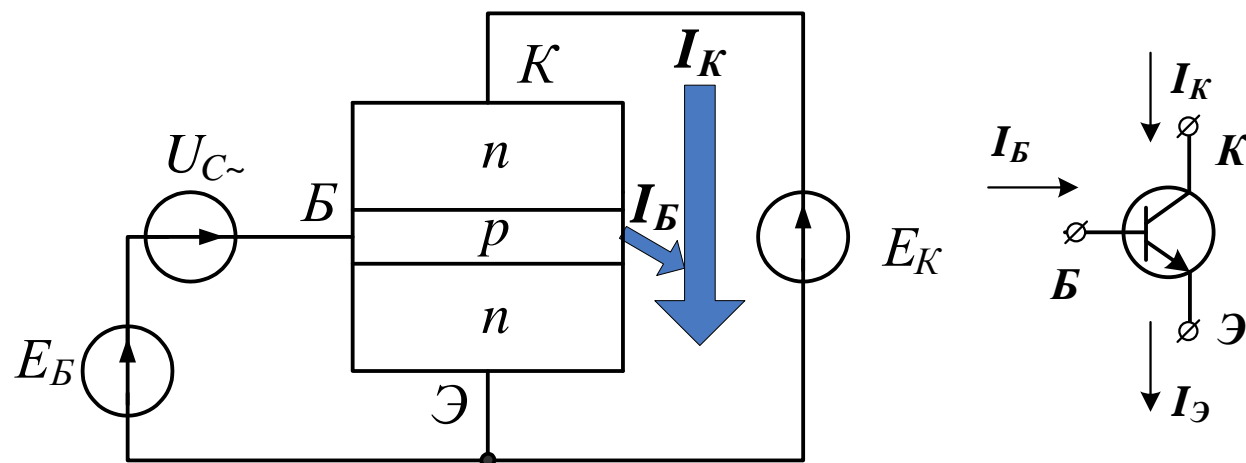
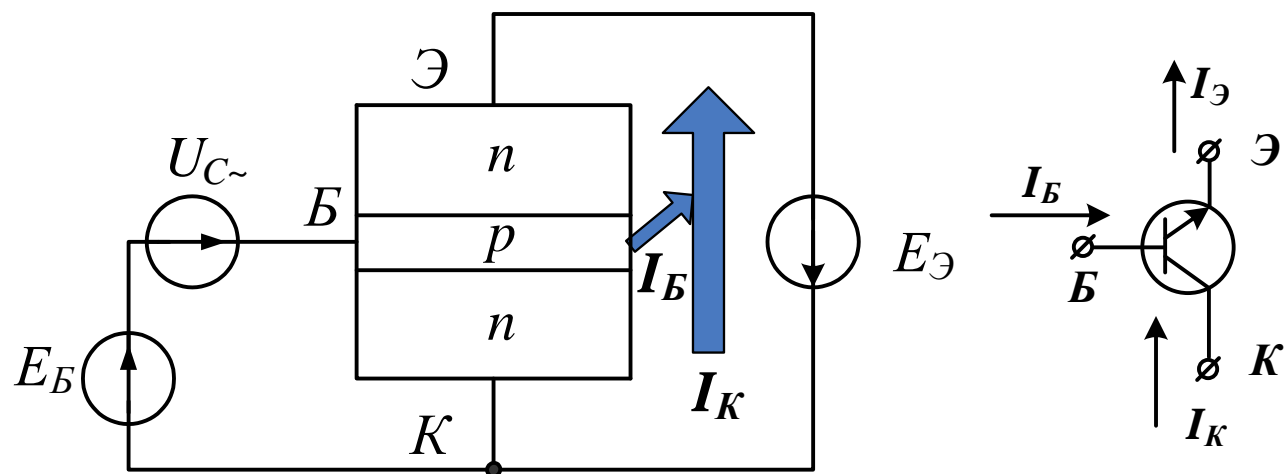


Схема с общим коллектором



В зависимости от полярности напряжений, приложенных к электродам транзистора различают следующие режимы его работы: линейный (усилительный), насыщения, отсечки, инверсный.

- В линейном режиме эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный - в обратном. На схемах *n-p-n* транзисторов (рис.2.1- рис.2.3) полярности напряжений соответствуют линейному режиму.
- В режиме насыщения оба перехода смещены в прямом направлении.
- В режиме отсечки оба перехода смещены в обратном направлении.
- В инверсном режиме коллекторный переход смещен в прямом направлении, а эмиттерный в обратном.

Принцип работы биполярного транзистора

Работа транзистора основана на управлении токами электродов путем изменения напряжений, приложенных к переходам транзистора.

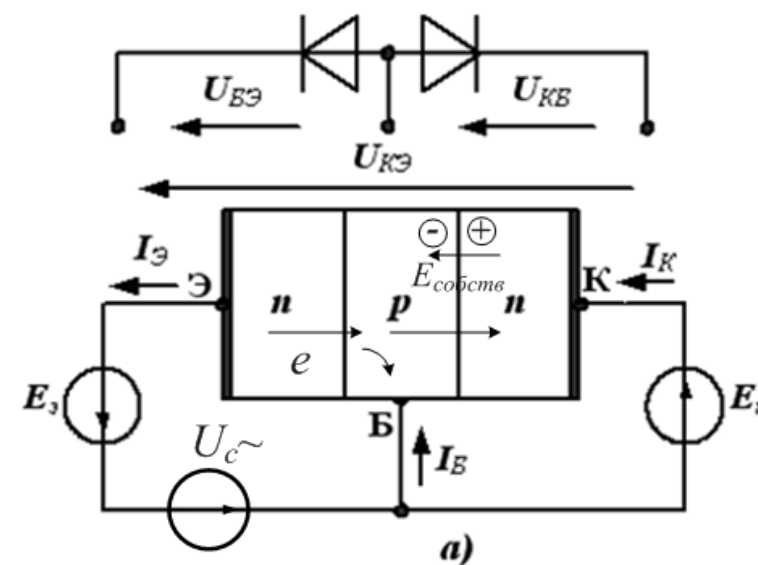


Схема с общей базой

В линейном режиме приложенное к базе напряжение $U_{БЭ}$ (для n - p - n транзистора $U_{БЭ} > 0$) открывает переход база-эмиттер. Свободные электроны инжектируются из эмиттера в базу, образуя ток эмиттера $I_Э$ в цепи эмиттера. Большая часть электронов, инжектированных из эмиттера в базу, втягивается сильным электрическим полем p - n пере-

хода между базой и коллектором, образуя ток коллектора I_K в цепи коллектора. Незначительная часть свободных электронов, инжектированных из эмиттера в базу, образует ток I_B

В схеме рис.3.3 $I_{\mathcal{E}} = I_K + I_B$.

$I_K = \alpha I_{\mathcal{E}}$, $\alpha = 0,95 - 0,99$ - коэффициент передачи тока эмиттера.

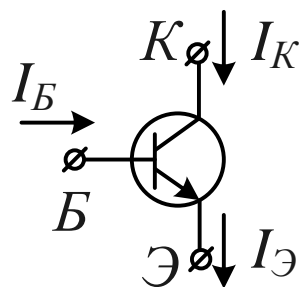


Рис.3.3

$$I_B = I_{\mathcal{E}} - I_K = \frac{I_K}{\alpha} - I_K = I_K \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) = I_K \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right).$$

Получим: $\frac{I_K}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta$ - коэффициент передачи

тока базы.

$\beta \approx 20 - 200$ - определяет усиление транзистора.

$$I_{\mathcal{E}} = I_K + I_B = \beta I_B + I_B = (\beta + 1) I_B.$$

Применение биполярных транзисторов

Биполярные транзисторы применяются в схемах усилителей, генераторов и преобразователей электрических сигналов, изготавливаются из кремния, германия или арсенида галлия и делятся на низкочастотные (до 3 МГц), среднечастотные (до 30 МГц), высокочастотные (до 300 МГц) и сверхвысокочастотные (более 300 МГц). По мощности транзисторы бывают маломощные (до 300 мВт), средней мощности (до 1,5 Вт) и большой мощности (более 1,5 Вт).

Схема с общим эмиттером

Работу транзистора в схеме ОЭ рассчитывают по входным и выходным ВАХ.

Входная ВАХ – зависимость тока базы от напряжения база-эмиттер $I_B(U_{БЭ})_{U_{КЭ}=const}$.

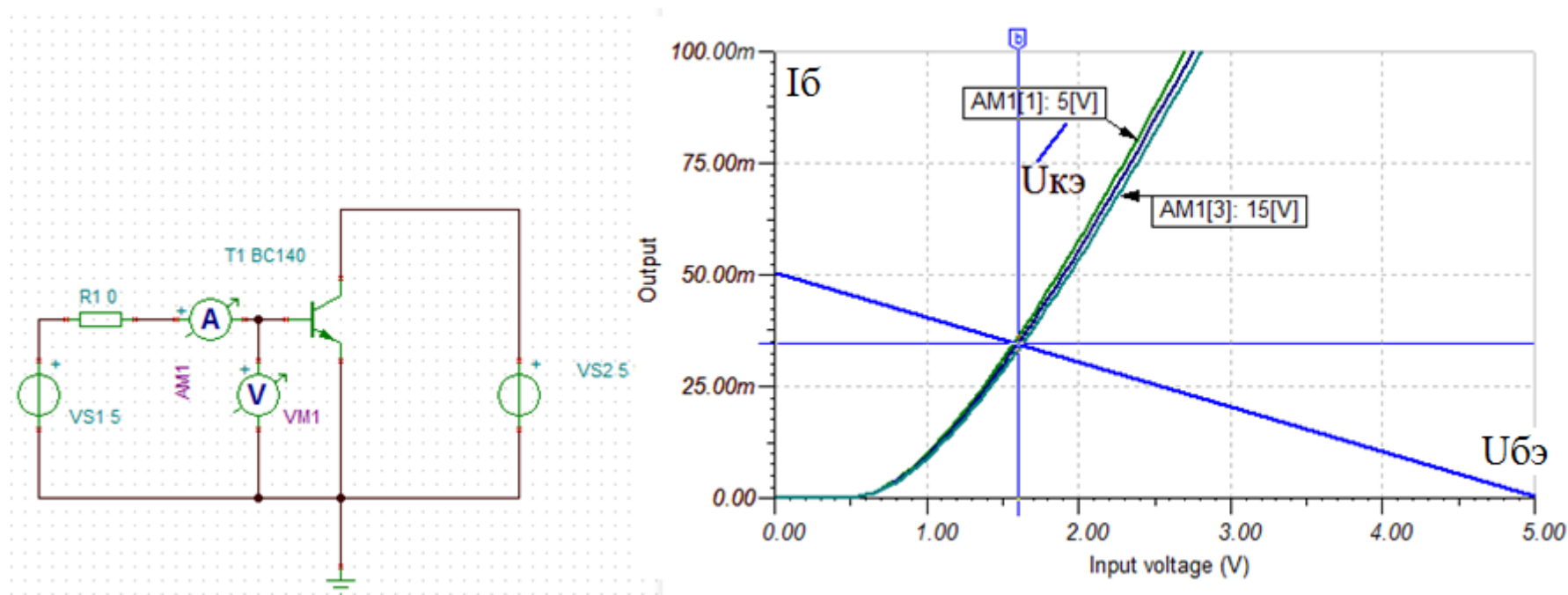


Рис.2.4. Входные ВАХ

Выходной вольтамперной характеристикой транзистора в схеме ОЭ называют зависимость тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер при постоянном значении тока базы $I_K(U_{КЭ})_{I_B=const}$.

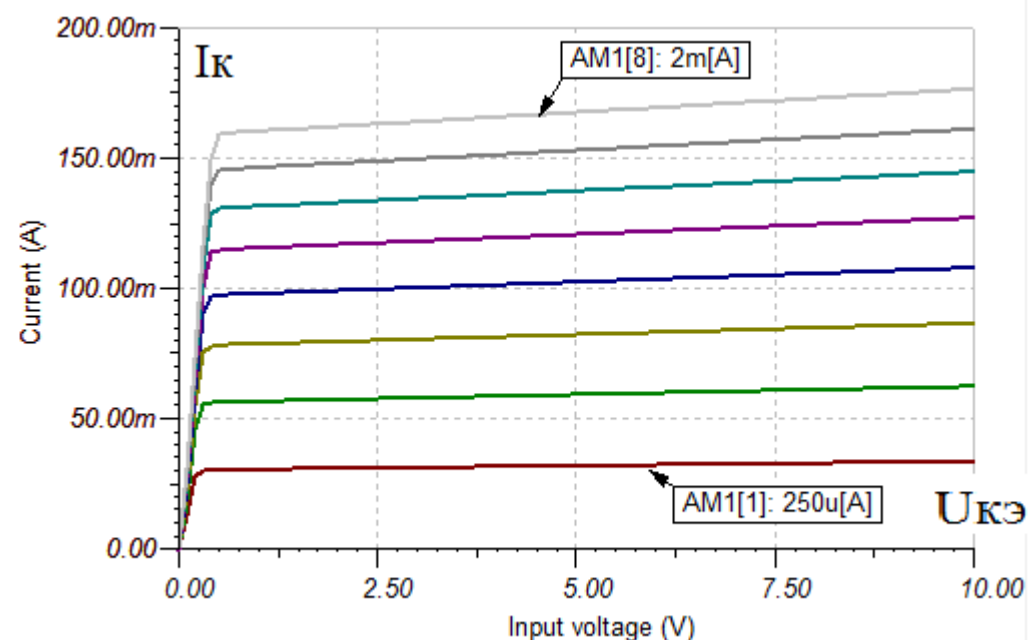
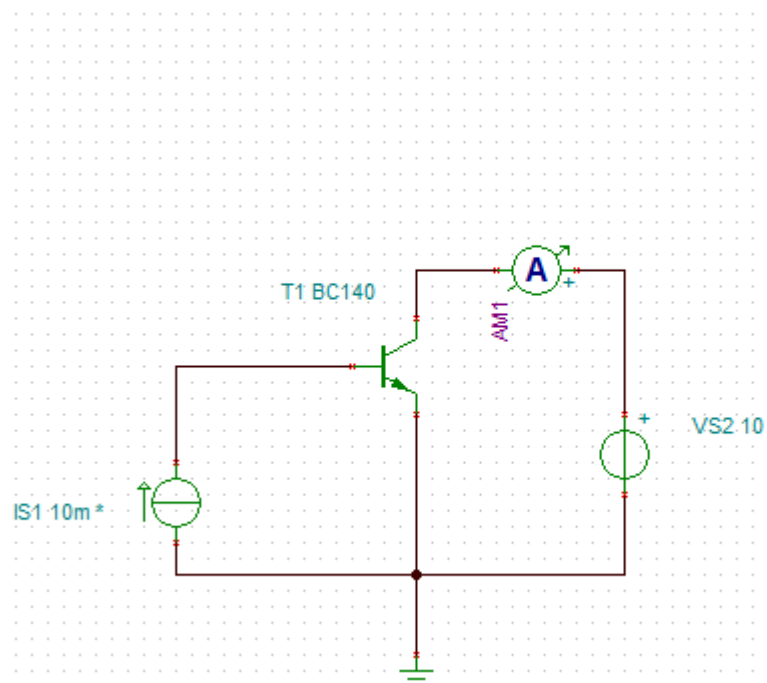


Рис.2.5. Выходные ВАХ

Графический расчет режима покоя выходной и входной цепи

для малых сигналов.

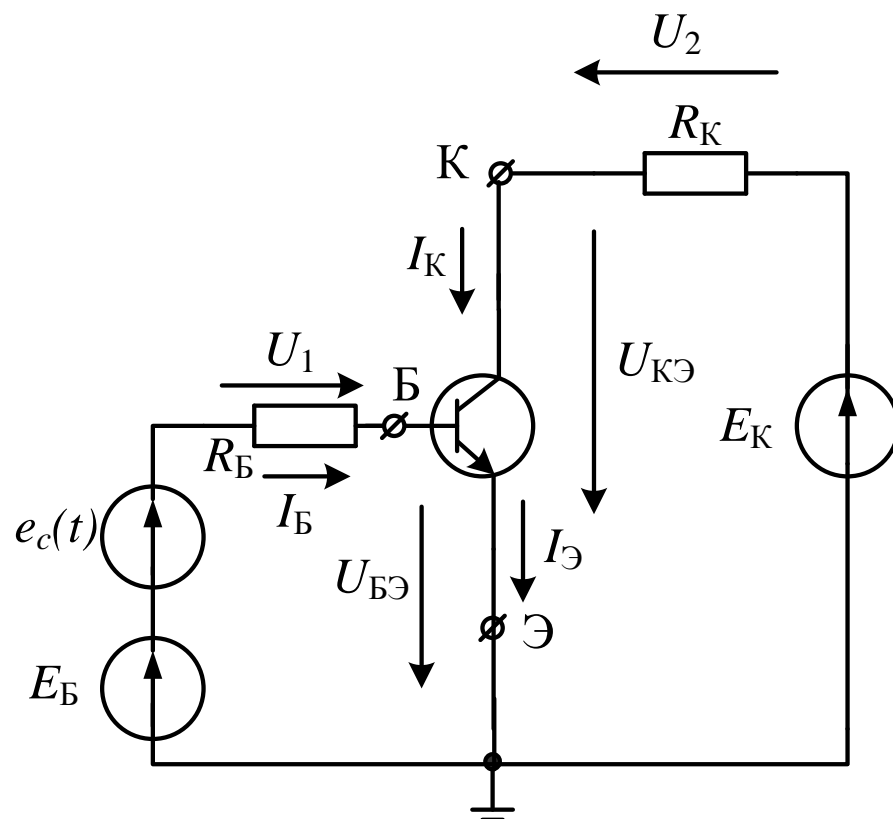


Схема ОЭ

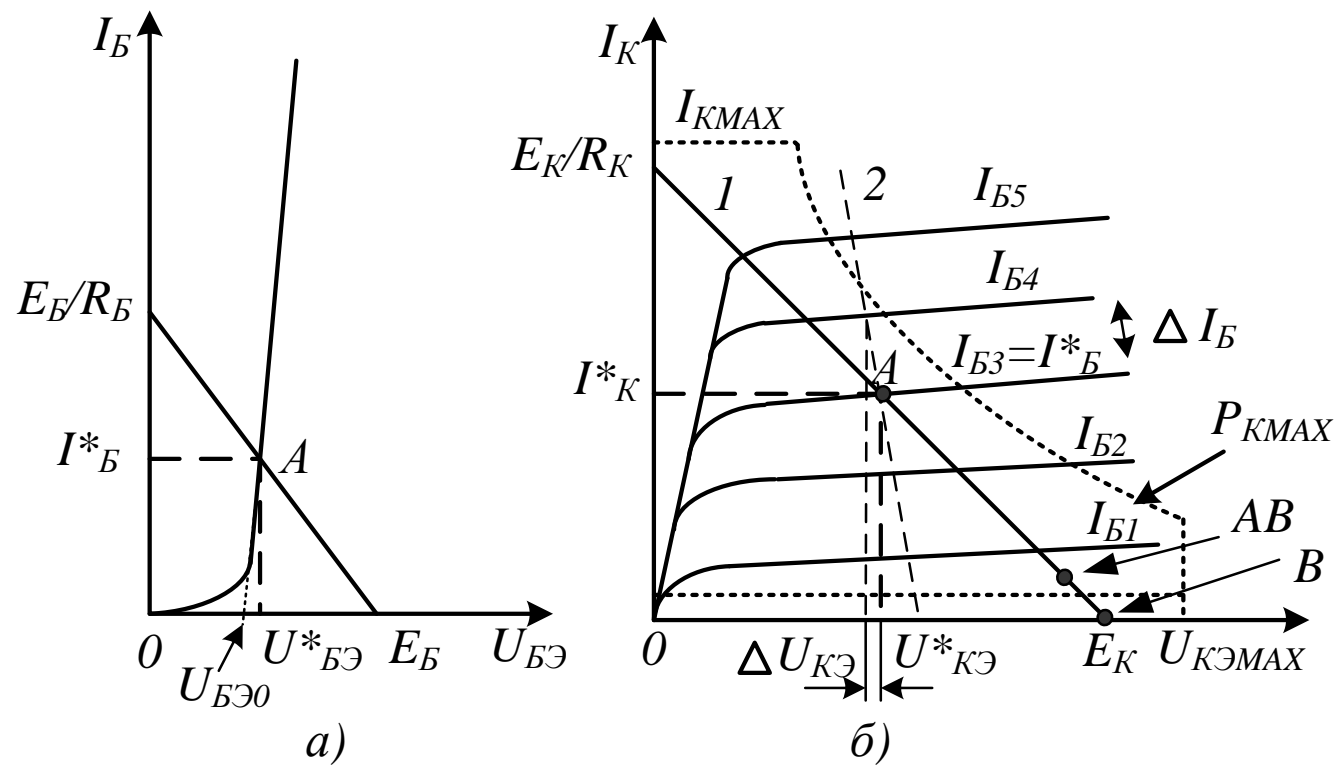
$$E_K = U_{КЭ} + I_K R_K$$

Нагрузочная линия выходной цепи:

$$I_K = \frac{E_K}{R_K} - \frac{U_{КЭ}}{R_K}$$

Нагрузочная линия выходной цепи:

$$I_B = \frac{E_B}{R_B} - \frac{U_{БЭ}}{R_B}$$



Входная (а) и выходные (б) характеристики
биполярного транзистора

U_{BE0} - напряжение отсечки, $I_B \approx 0$.

На выходных ВАХ строим нагрузочную прямую для заданных E_K , R_K . Выбираем рабочую точку А: $U_{KЭ}^* \approx \frac{E_K}{2}$.

На графике в точке А находим I_B^* .

На входной ВАХ находим $U_{БЭ}^*$ и ток базы I_B^* . Выбираем R_B .

Классы работы усилителя:

Класс А — линейный режим для малого сигнала (большой постоянный ток — недостаток);

Класс В — для большого сигнала (искажения малых амплитуд);

Класс АВ — для большого сигнала.

Область рабочих режимов транзистора отмечена пунктирными линиями и ограничивается максимальными допустимыми значениями тока коллектора $I_{КМАХ}$, напряжения $U_{КМАХ}$, мощности рассеяния $P_{КМАХ} \approx U_{КЭ} I_{КЭ}$ и нелинейными искажениями при малых значениях тока коллектора.

Эквивалентные схемы биполярных транзисторов

В линейном режиме усиления малого сигнала биполярный транзистор описывают системой уравнений четырехполюсника в H - параметрах:

$$u_{БЭ} = h_{11} \cdot i_B + h_{12} \cdot u_{КЭ}$$

$$i_K = h_{21} \cdot i_B + h_{22} \cdot u_{КЭ}$$

где

$$h_{11} = \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta i_B} \Big|_{u_{КЭ}=const}, \quad h_{12} = \frac{\Delta u_{БЭ}}{\Delta u_{КЭ}} \Big|_{i_B=const},$$

$$h_{21} = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_B} \Big|_{u_{КЭ}=const}, \quad h_{22} = \frac{\Delta i_K}{\Delta u_{КЭ}} \Big|_{i_B=const}$$

H -параметры биполярного транзистора можно рассчитать по вольтамперным характеристикам и определить экспериментально. Их типовые значения находятся в пределах:

$$h_{11} = 10^3 - 10^4 \text{ Ом}, \quad h_{12} = 2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3},$$

$$h_{21} = 20 - 200, \quad h_{22} = 10^{-5} - 10^{-6} \text{ См.}$$

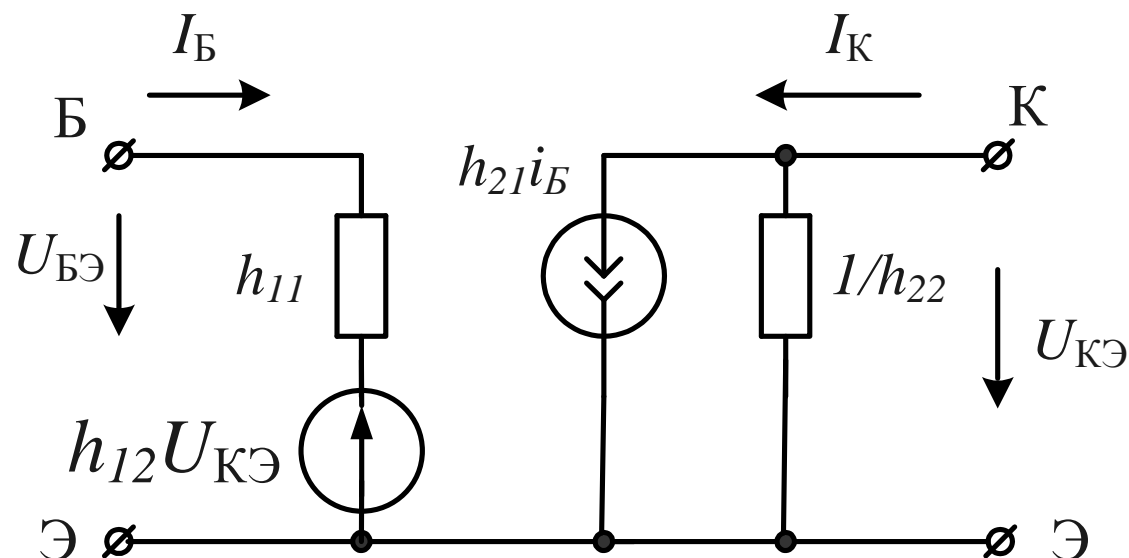


Схема замещения биполярного транзистора
на постоянном токе и низких частотах

Если не учитываем емкости переходов и инерционность транзистора, получим схему замещения биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ, в режиме малого сигнала.

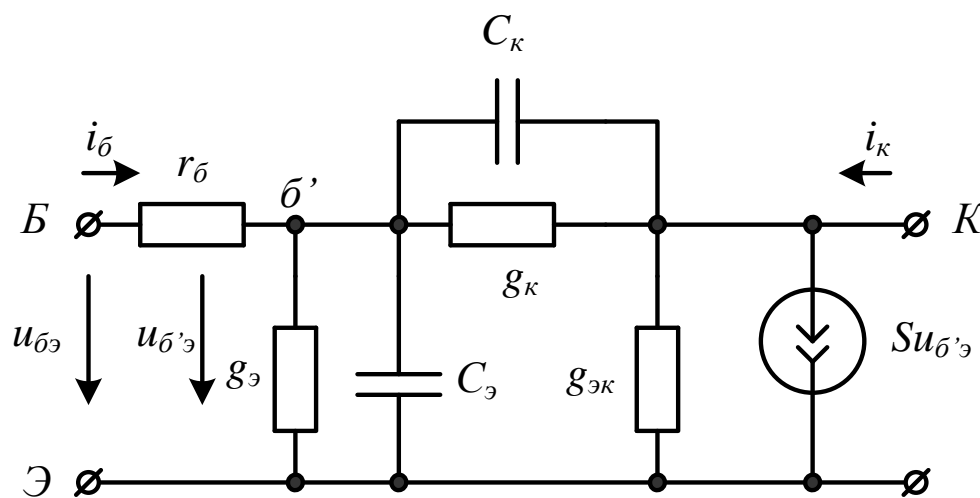
В этой схеме:

$$h_{11} = R_{вх}, \quad 1/h_{22} = R_{вых} - \text{входное и выходное сопротивления;}$$

$h_{21} \cdot i_B$ - источник тока, управляемый током базы i_B .

Биполярный транзистор представляет собой источник тока, управляемый током.

На высоких частотах применяют более точные модели транзисторов. Наиболее распространенными являются модели, основанные на схеме замещения Джиаклетто, в которой:

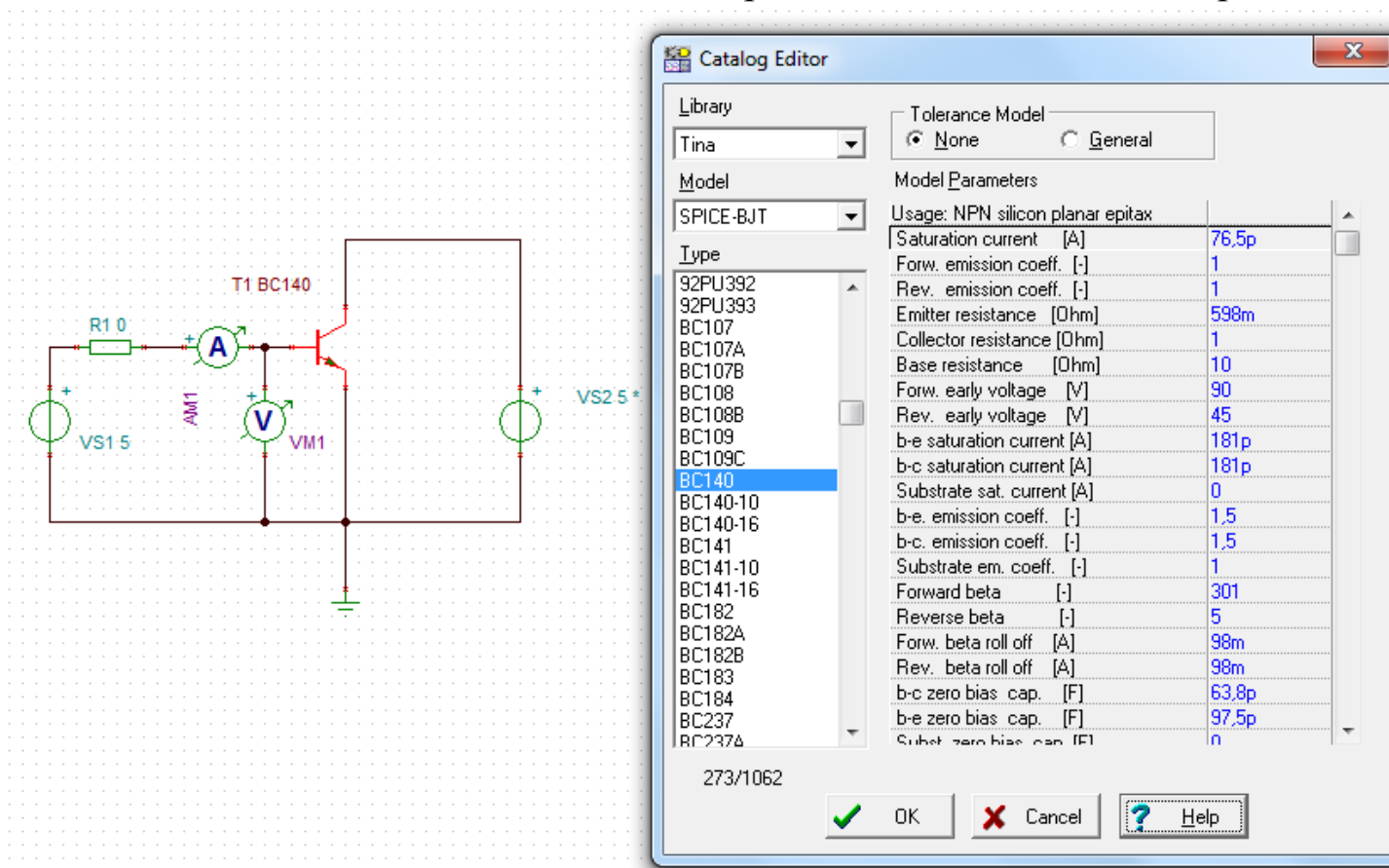


r_b - распределенное сопротивление базы, g_b и C_b - полная проводимость эмиттерного перехода, g_c и C_c - учитывают влияние коллекторного перехода, g_{ce} учитывает связь между эмиттером и коллектором. Усиительные свойства транзистора учтены крутизной S .

SPICE – модель применяют в программах моделирования

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) – программа моделирования интегральных схем – 1973 г.

Л.О. Чуа, Пен-Мин-Лин. Машинный анализ электронных схем. Москва, Энергия. 1980 г. 638 с.

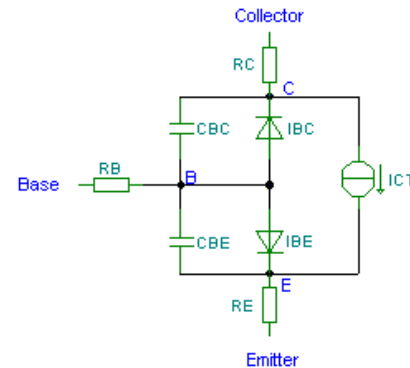


SPICE - BJT model

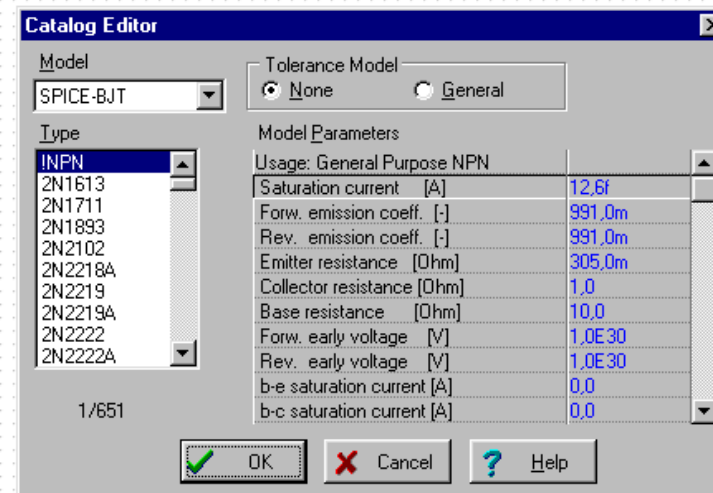
Symbol



Equivalent circuit



Parameters:



I_S	Saturation current
N_F	Forward emission coefficient
N_R	Reverse emission coefficient
R_E	Emitter resistance
R_C	Collector resistance
R_B	Base resistance
I_{KF}	Forward beta roll off
I_{KR}	Reverse beta roll off
C_{JC}	Base-collector zero bias capacitance
C_{JE}	Base-emitter zero bias capacitance
V_{JC}	Base-collector built-in potential
V_{JE}	Base-emitter built-in potential

Equations of the temperature effects

- $V_T = \frac{kT}{q}$
- $I_S(T) = I_S \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^3 \cdot \exp\left[\frac{E_G \cdot q}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$
- $I_{SE}(T) = I_{SE} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{N_F}} \cdot \exp\left[\frac{E_G \cdot q}{N_F \cdot k} \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$
- $I_{SC}(T) = I_{SC} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{N_R}} \cdot \exp\left[\frac{E_G \cdot q}{N_R \cdot k} \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$
- $B_F(T) = B_F \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^3$
- $B_R(T) = B_R \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^3$

Current equations

- $Q1 = \frac{1}{1 - \frac{V_{BC}}{V_{AF}} - \frac{B_{VE}}{V_{AR}}}$
- $Q2 = \frac{I_S(T) \cdot \left(e^{\frac{V_{BE}}{N_F V_T}} - 1\right)}{I_{KF}} + \frac{I_S(T) \cdot \left(e^{\frac{V_{BC}}{N_R V_T}} - 1\right)}{I_{KR}}$
- $Q_B = Q1 \cdot \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \cdot Q2}}{2}$
- $I_{CT} = \frac{I_S(T) \cdot \left(e^{\frac{V_{BE}}{N_F V_T}} - e^{\frac{V_{BC}}{N_R V_T}}\right)}{Q_B}$

Constants

- q electron charge
- k Boltzmann's constant
- T_0 27 ° C

Equations

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

$$B_F = B_{F0} + (T - T_0) \cdot \mathcal{G}_B$$

$$I_S = I_{S0} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^3 \cdot \exp\left[\frac{E_G \cdot q}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$$

$$I_{CC} = I_S \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1\right]$$

Расчет усилителя на биполярном транзисторе

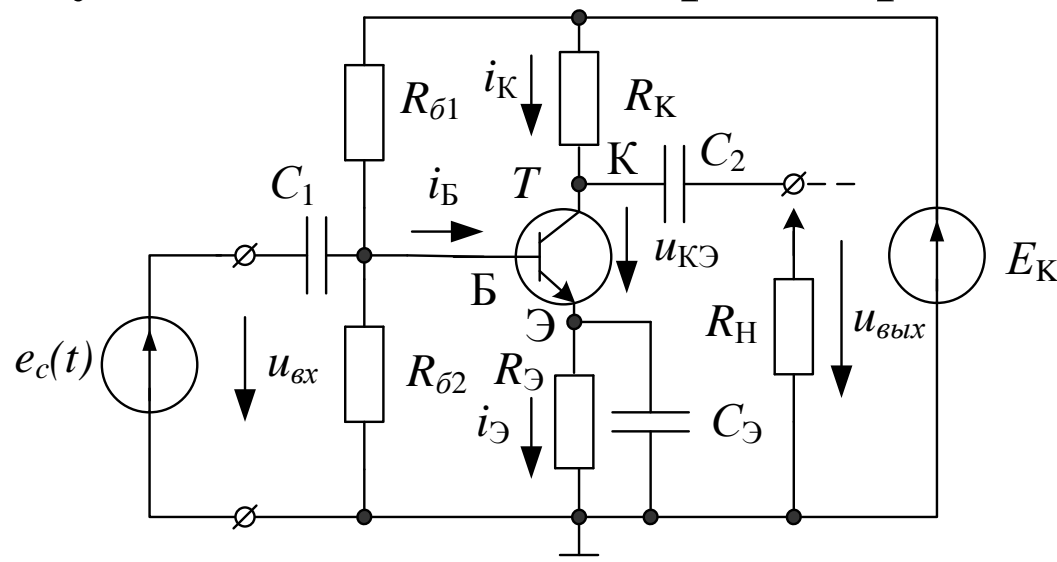


Схема усилительного транзисторного каскада с общим эмиттером

Исходные данные: транзистор BC140, $R_{Б1}=R_{Б2}=100\text{кОм}$, $R_K=400\text{ Ом}$, $R_э=100\text{ Ом}$, $R_H=2\text{ кОм}$, $E_K=10\text{ В}$.

Для стабилизации рабочей точки в линейных усилительных каскадах обычно применяют схему с общим эмиттером и отрицательной обратной связью.

Резисторы $R_{б1}$, $R_{б2}$ задают фиксированное напряжение на базе и номинальный ток базы I_B^* .

Резистор $R_Э$ создает *отрицательную обратную связь по постоянному току* и служит для стабилизации режима транзистора.

Емкость $C_Э$ называется блокировочной, устраняет отрицательную обратную связь по переменной составляющей и увеличивает усиление.

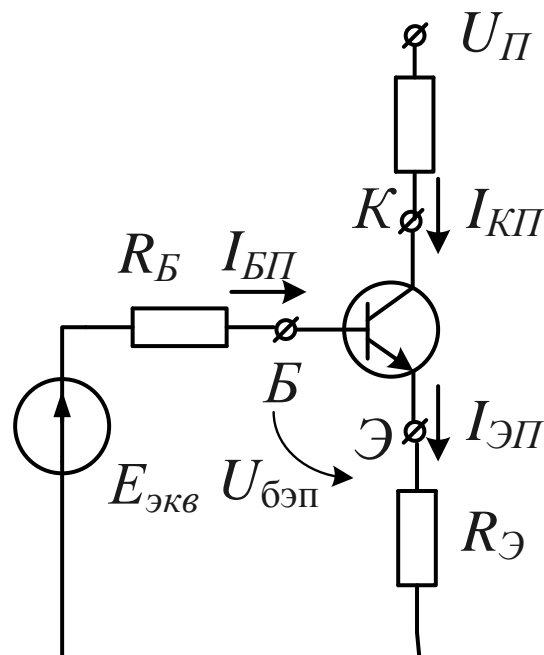
Входной переменный сигнал через разделительную емкость C_1 поступает на базу транзистора и усиливается.

Усиленный выходной сигнал с резистора R_K через разделительную емкость C_2 поступает на нагрузку R_H , которой может быть следующий усилительный каскад.

Если напряжение входного сигнала $u_{вх}$ невелико, то работу усилительного транзисторного каскада можно представить в виде *наложения режима покоя* с постоянным источником ЭДС E_K и с постоянными составляющими тока базы $I^*_Б$, тока коллектора $I^*_К$ и тока эмиттера $I^*_Э$, соответствующими точке А на рабочей характеристике, *и режима малого сигнала* с переменными составляющими $i_B, i_K, u_{вх}, u_{вых}$.

Расчет режима покоя

1. Строим эквивалентную схему.



$$E_{\text{экв}} = \frac{U_{\text{П}} R_{\text{Л}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{Л}}} \quad R_{\text{б}} = \frac{R_{\text{Б}} R_{\text{Л}}}{R_{\text{Б}} + R_{\text{Л}}}$$

$$E_{\text{экв}} = 5\text{В}, \quad R_{\text{б}} = 50 \text{ кОм}$$

2. Для входной цепи по второму закону Кирхгофа:

$$E_{\text{экв}} = I_{\text{бп}} R_{\text{б}} + U_{\text{бэп}} + I_{\text{эп}} R_{\text{Э}}.$$

$$\text{Но: } I_{\text{эп}} = I_{\text{б}} + I_{\text{к}} = I_{\text{б}} + h_{21\text{э}} I_{\text{б}}.$$

Получим уравнение **нагрузочной прямой** для входной характеристики:

$$E_{\text{экв}} = I_{\text{бп}} R_{\text{б}} + U_{\text{бэп}} + (1 + h_{21\text{э}}) I_{\text{бп}} R_{\text{Э}}$$

Опорные точки:

$$U_{xx} = E_{\mathcal{E}} = 5\text{В}, \quad I_{K3} = \frac{E_{\mathcal{E}}}{(R_B + (1 + h_{21\mathcal{E}})R_{\mathcal{E}})} = \frac{E_{\mathcal{E}}}{R_{\text{вх}}}.$$

3. Определяем h_{21} :

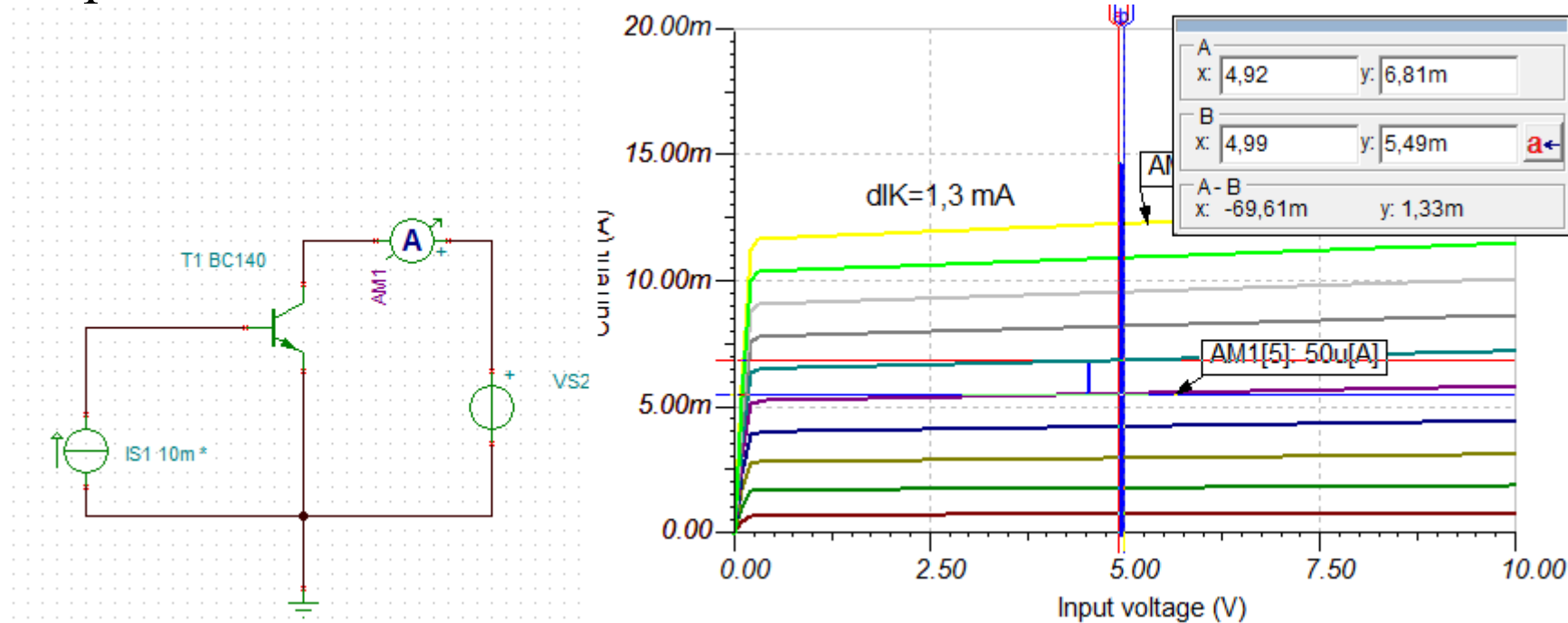


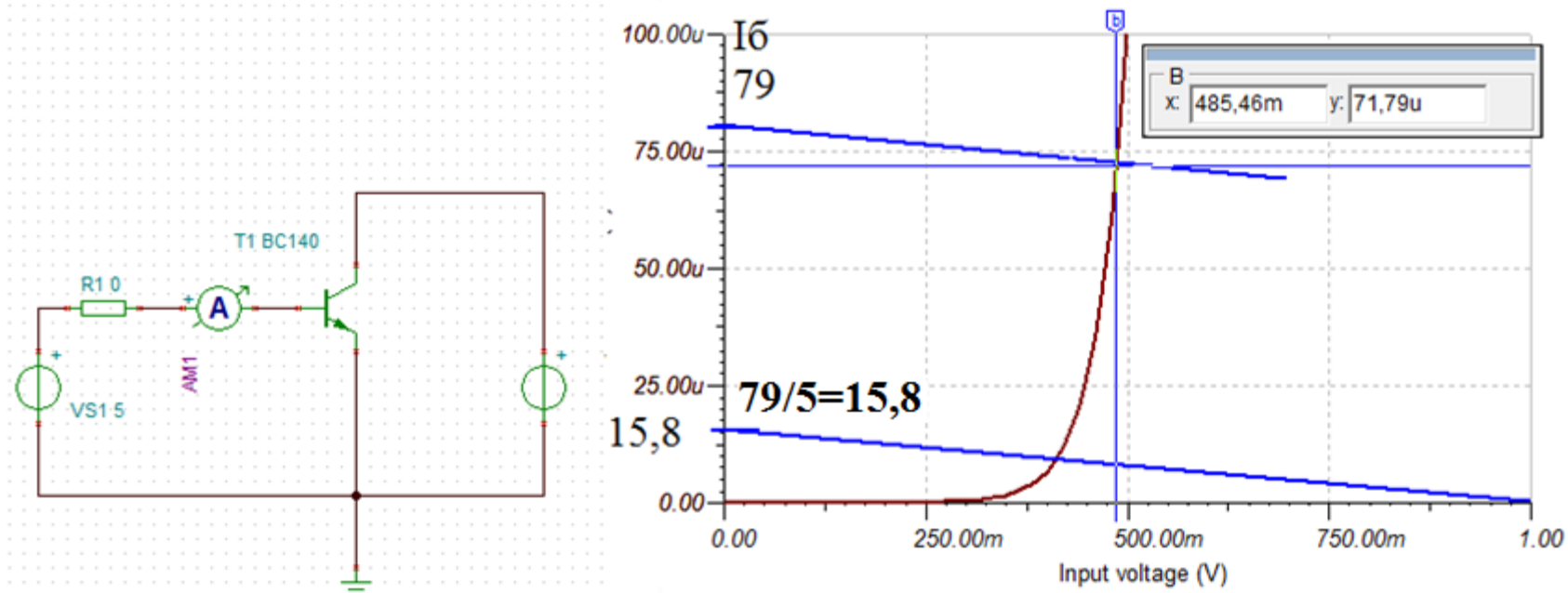
Рис.2.5. Выходные ВАХ

Снимаем ВАХ для токов базы 10 мкА – 100мкА. Находим для

$$U_K = E_K / 2 = 5V : h_{21\beta} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{1,3mA}{10\mu A} = 130 = \beta.$$

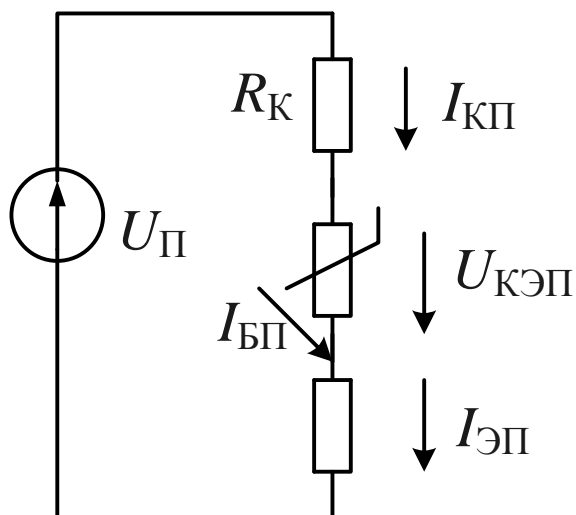
$$I_{K3} = \frac{5}{(50 \cdot 10^3 + (1 + 130)100)} = \frac{5}{63100} = 79\mu A.$$

4. На входной ВАХ находим рабочую точку:



Напряжение $U_{БЭП} = 485$ мВ, $I_{БП} = 72$ мкА.

5. Расчет выходной цепи



По второму закону Кирхгофа:

$$U_{\Pi} = I_{\text{КП}} R_K + U_{\text{КЭП}} + I_{\text{ЭП}} R_{\text{Э}}.$$

Уравнение нагрузочной прямой:

$$U_{\text{КЭП}} = U_{\Pi} - I_{\text{КП}} R_K - \left(I_{\text{КП}} + \frac{I_{\text{КП}}}{h_{21\text{э}}} \right) R_{\text{Э}} \approx$$

$$\approx U_{\Pi} - I_{\text{КП}} (R_K + R_{\text{Э}}).$$

Точки пересечения нагрузочной прямой с осями:

$$U_{\text{ХХ}} = U_{\Pi} = 10\text{В}, I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\Pi}}{R_K + R_{\text{Э}}} = \frac{10}{500} = 20\text{мА}.$$

6. Моделируем выходные ВАХ

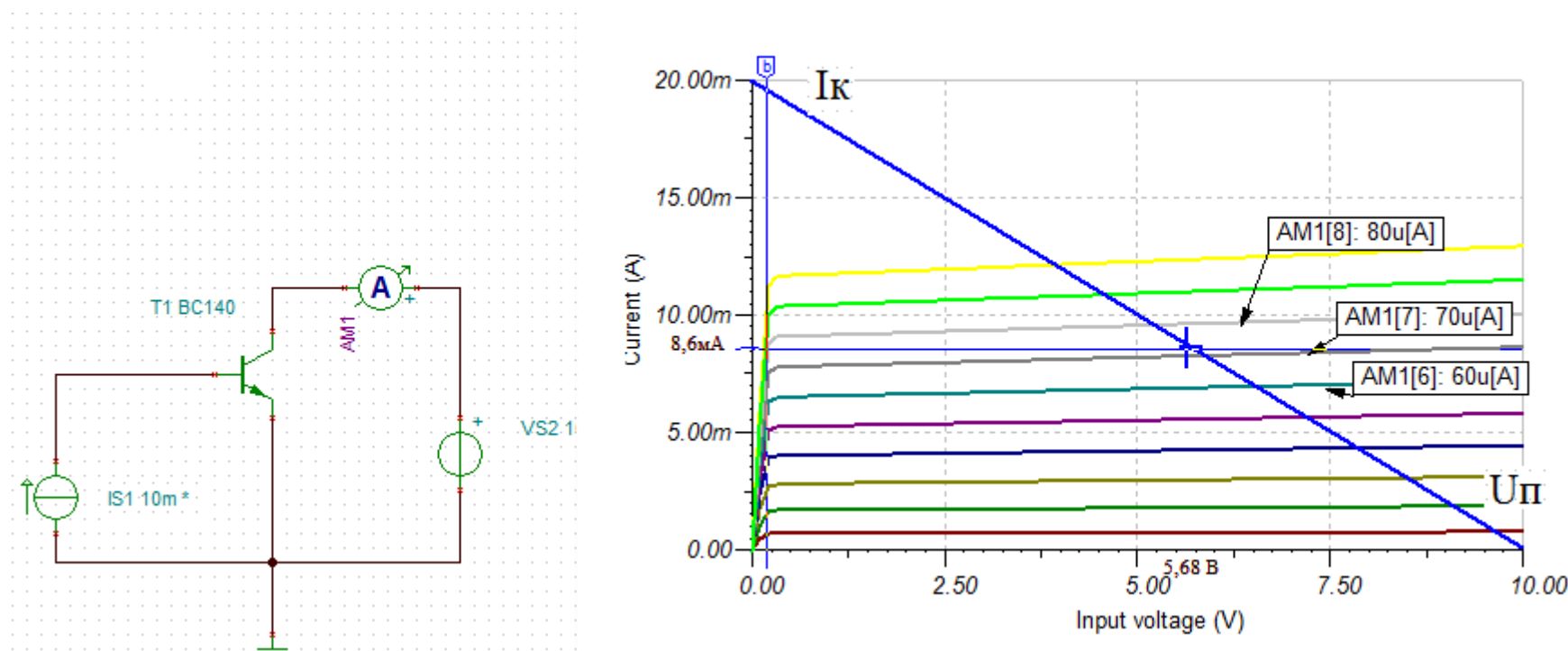


Рис.3.13

Получили в точке В: $U_{KЭ} = 5,68 \text{ В}$, $I_{КП} = 8,6 \text{ мА}$
 7. Проводим моделирование схемы усилителя

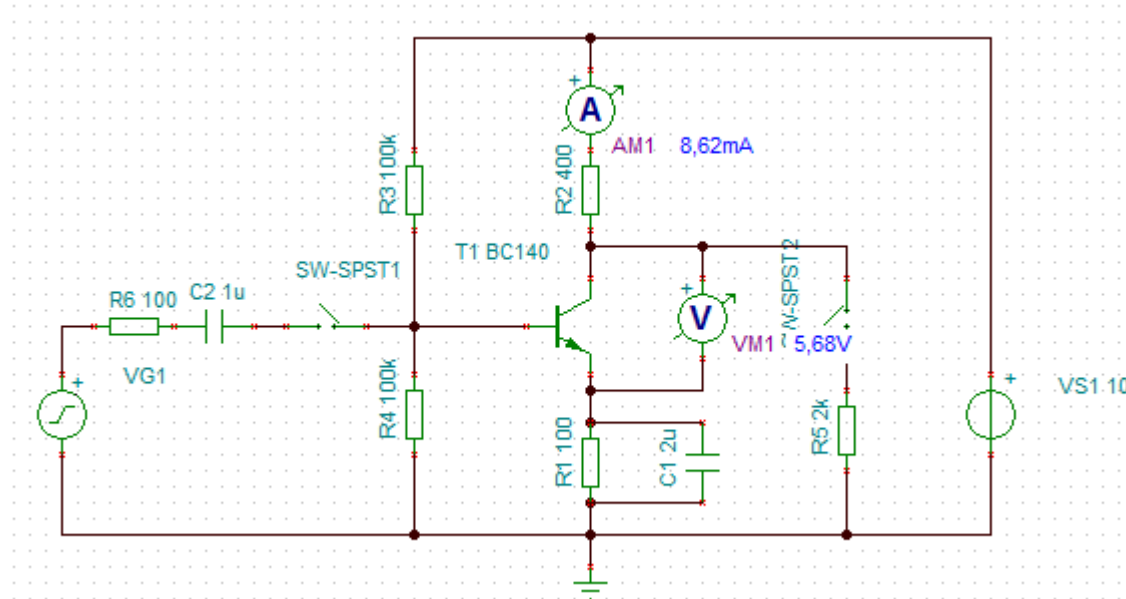


Рис.2.18

Результаты совпадают !

Расчет амплитуд переменных составляющих

Задан переменный входной сигнал $u(t) = E_m \sin 2\pi ft$,
 $E_m = 50 \text{ мВ}$, $f = 1 \text{ кГц}$.

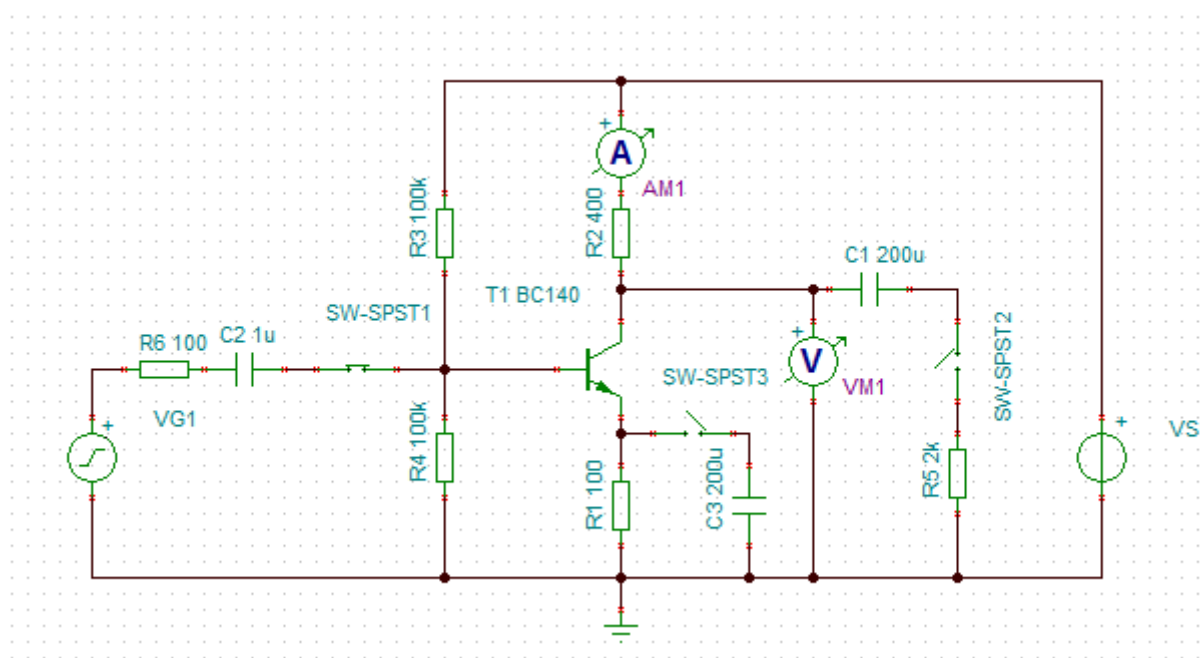
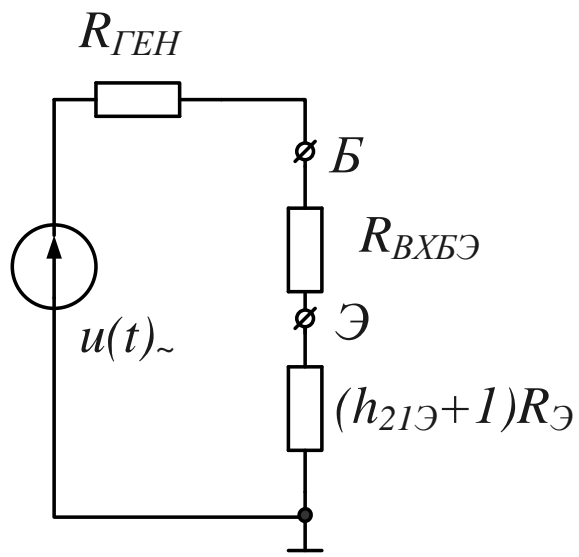


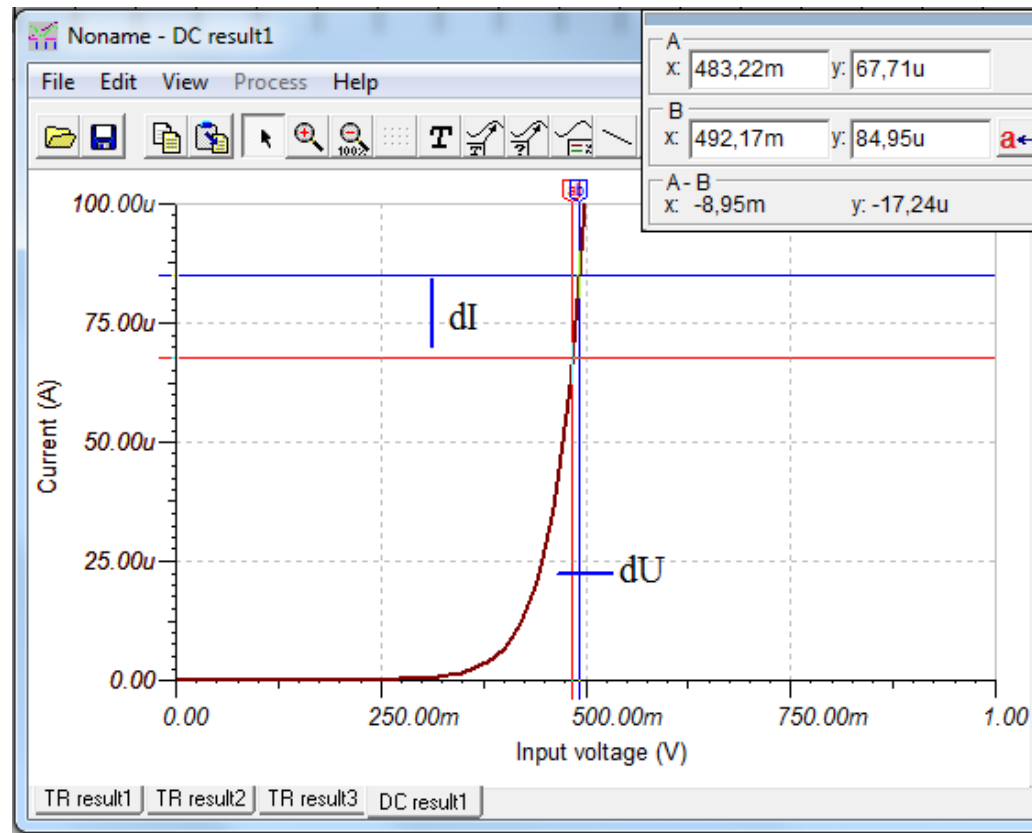
Рис.3.15

Эквивалентная схема базовой цепи для малой переменной составляющей
1. По входной ВАХ находим:

$$R_{BXБЭ} = h_{11} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_{БЭ}} = \frac{(492 - 483)10^{-3}}{(85 - 68)10^{-6}} = 529 \text{ Ом.}$$



$R_B = 50 \text{ кОм}$ не учитываем.



$$2. R_{B\Sigma} = R_{ГЕН} + R_{ВХБЭ} + (h_{21Э} + 1)R_{Э} = \\ = 100 + 529 + (130 + 1)100 = 13729 \text{ Ом}.$$

Отрицательная обратная связь: $(h_{21Э} + 1)R_{Э} = 13100 \text{ Ом}.$

3. $I_{Bm} = \frac{E_m}{R_{B\Sigma}} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{13729} = 3,64 \text{ мкА}$.
4. $I_{Km} = I_{Bm} h_{21\text{Э}} = 3,64 \cdot 10^{-6} \cdot 130 = 473 \text{ мкА}$.
5. $U_{Km} = I_{Km} R_K = 473 \cdot 10^{-6} \cdot 400 = 189280 \cdot 10^{-6} = 189 \text{ мВ}$.
6. $u_{RK}(t) = i_K(t) R_K = (8,6 + 0,473 \sin 2\pi ft) \cdot 10^{-3} 400 =$
 $= 3,44 + 0,189 \sin 2\pi ft \text{ В.}$
7. $u_K(t) = E_K - u_{RK}(t) = 6,56 - 0,189 \sin 2\pi ft \text{ В.}$

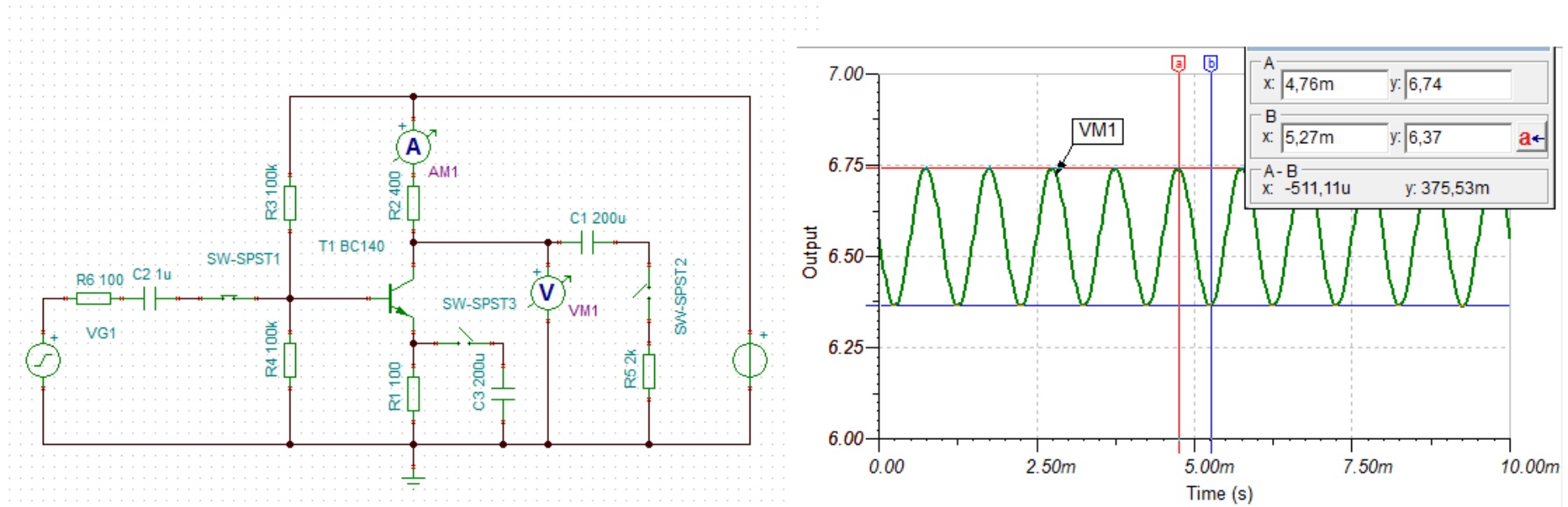


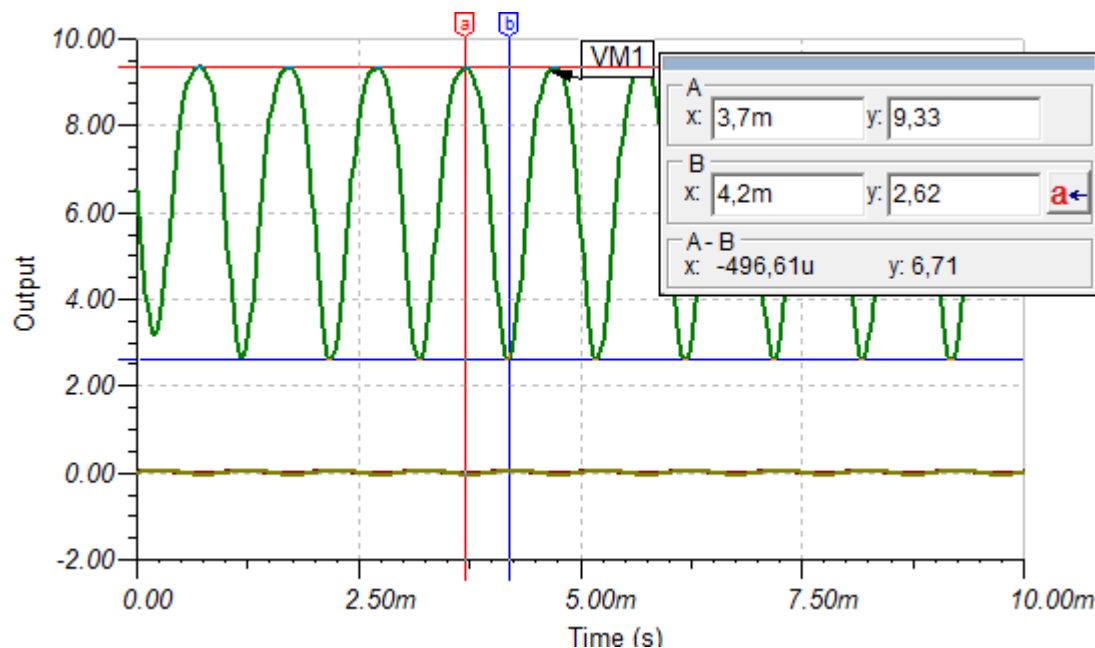
Рис.2.18

В схеме рис.2.18 коэффициент усиления с обратной связью:

$$K_U = \frac{U_{Km}}{E_m} = \frac{95 \text{ мВ}}{50 \text{ мВ}} = 1,9$$

$$K_{U(\text{дб})} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 20 \lg 1,9 = 5,57 \text{ дб}$$

Шунтируем R_3 блокировочной емкостью C3.

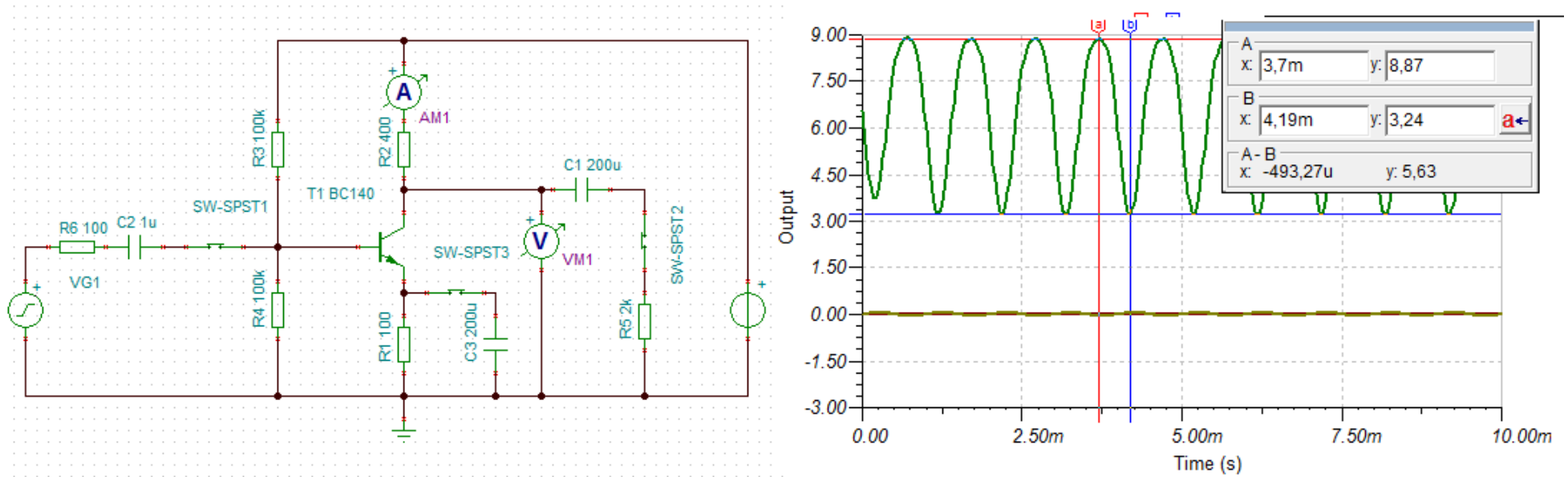


Размах (двойная амплитуда, peak-to-peak) равен 6,71

$$K_U = \frac{U_{Km}}{E_m} = \frac{3,36}{50 \text{ мВ}} = 67.$$

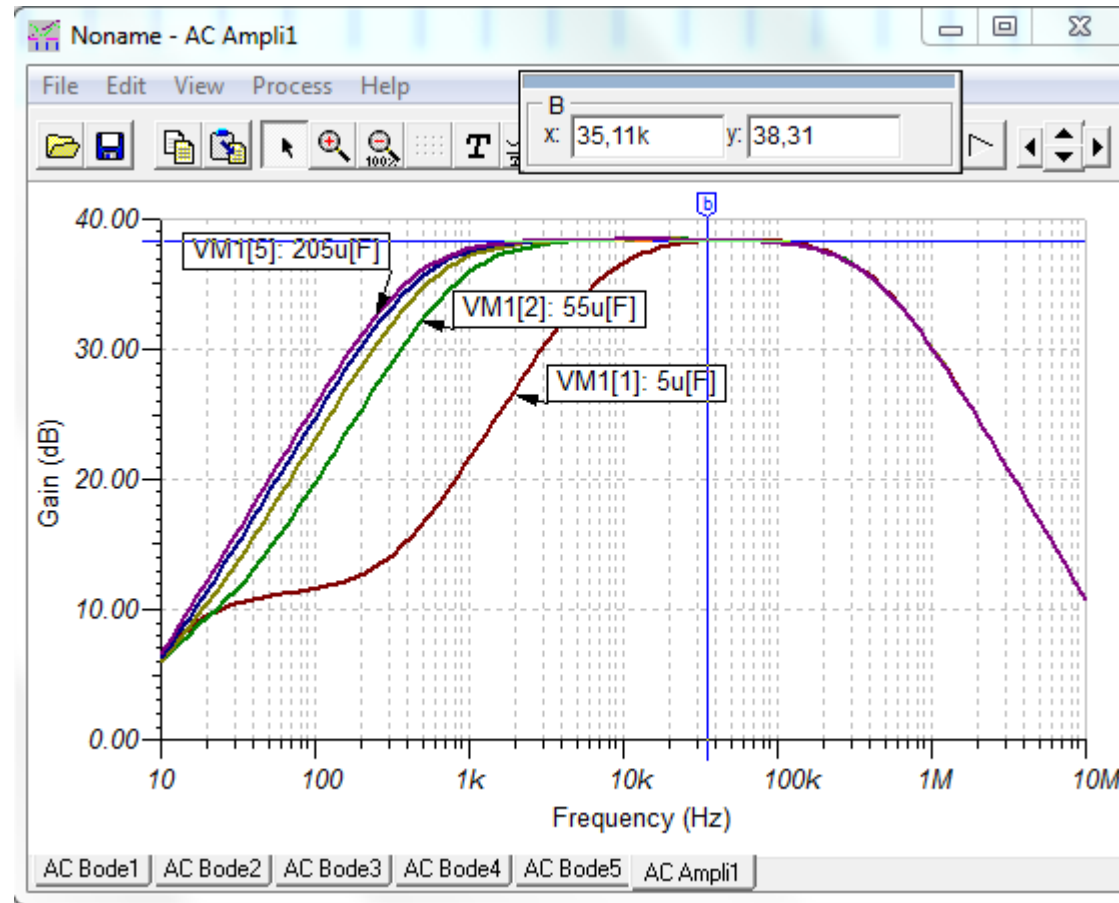
$$K_{U(\text{дб})} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 20 \lg 67 = 36,52 \text{ дб}$$

В схеме рис.2.18 включаем нагрузку:



$$K_U = \frac{U_{Km}}{E_m} = \frac{2,81}{50\text{mV}} = 56. \quad (34,9\text{дБ})$$

АЧХ в режиме холостого хода при изменении C_3



Выбор блокировочной емкости:
 На нижней частоте f_H должно быть:

$$X_{CЭ} = \frac{1}{2\pi f_H CЭ} \leq \frac{RЭ}{5 \sim 10} = \frac{100}{10} = 10 \text{ Ом}.$$

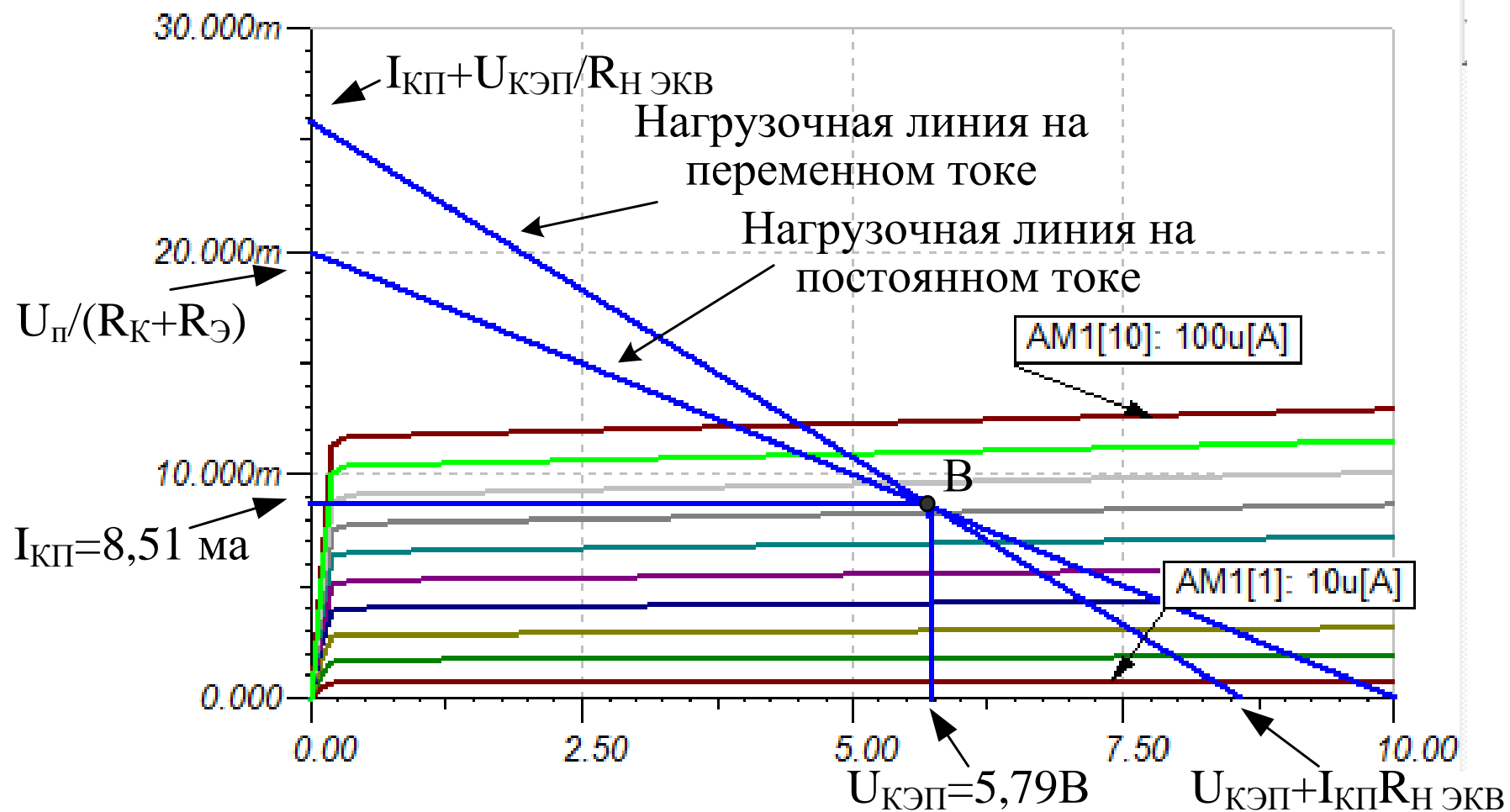
$$\text{Для } f_H = 100 \text{ Гц получим: } CЭ > \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10} = 159 \text{ мкФ}.$$

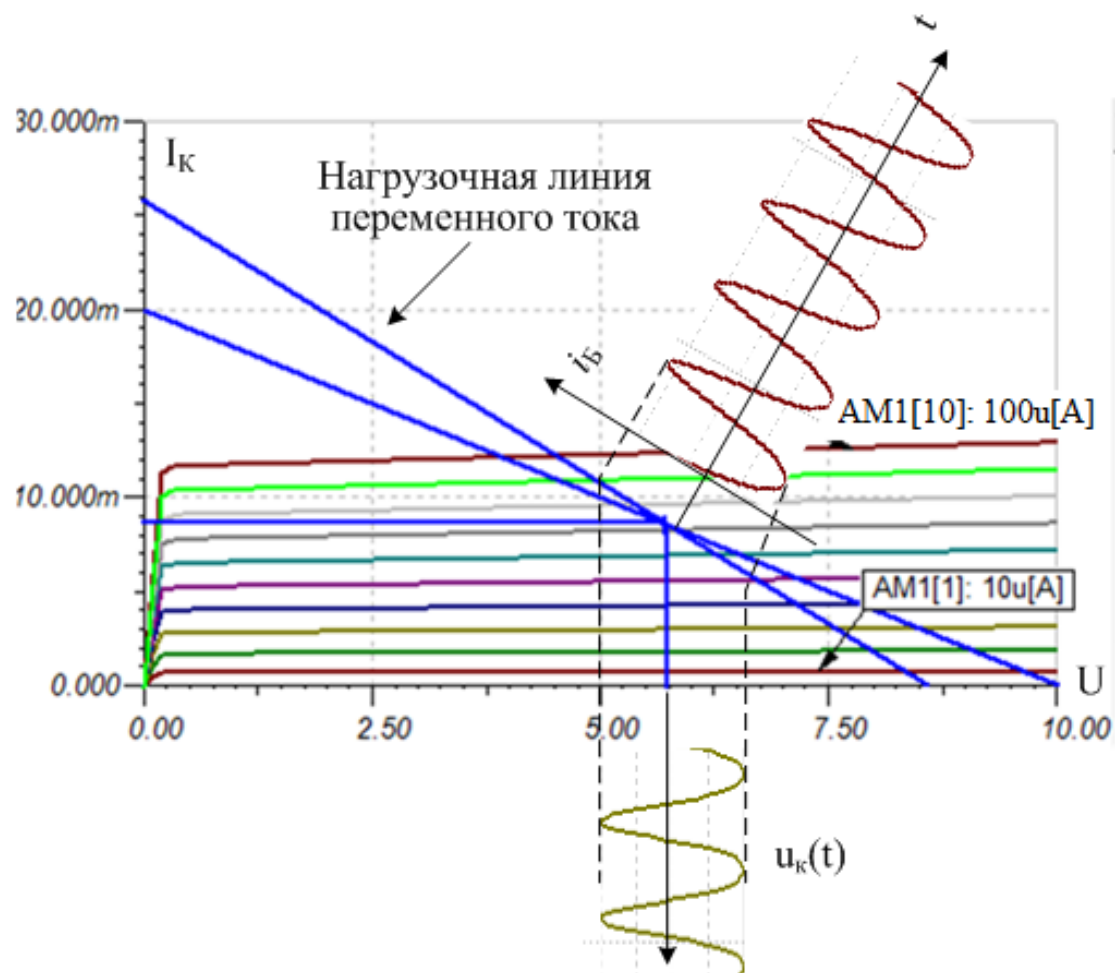
Нагрузочная прямая для переменного сигнала

В режиме покоя мы не учитываем сопротивление нагрузки R_H , так как оно отделено от сопротивления коллектора R_K разделительной емкостью C_2 .

На малом переменном сигнале сопротивление $RЭ$ будет закорочено блокировочной емкостью $CЭ$, а R_K и R_H будут включены параллельно и эквивалентное сопротивление нагрузки для наших параметров составит:

$$R_{H\text{ экв}} = \frac{R_K R_H}{R_K + R_H} = \frac{400 \cdot 2000}{2400} = 333,3 \text{ Ом}.$$





Изменение переменного тока базы в пределах от 55мкА до 90 мкА вызывает изменение переменного напряжения на коллекторе в пределах от 5В до 6,5В.

Схема с общей базой

Входными характеристиками схемы с общей базой будут зависимости тока эмиттера I_E от напряжения эмиттер-база $U_{БЭ}$ при различных значениях напряжения коллектор- база $U_{КБ}$.

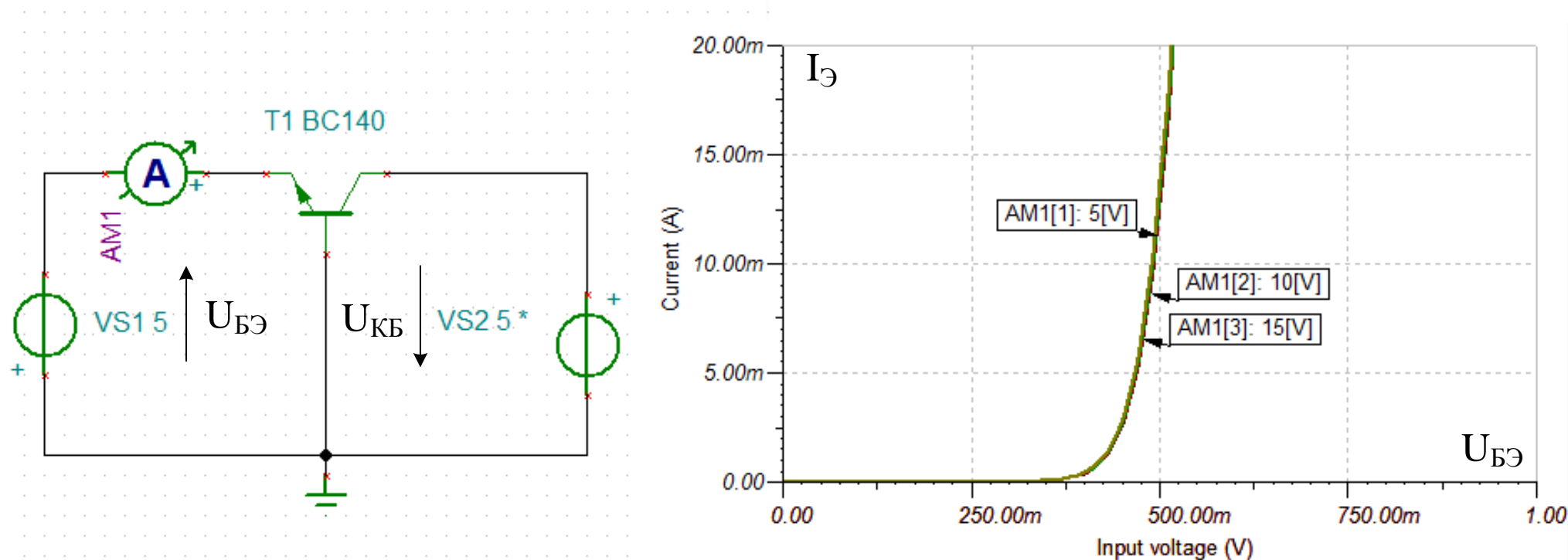
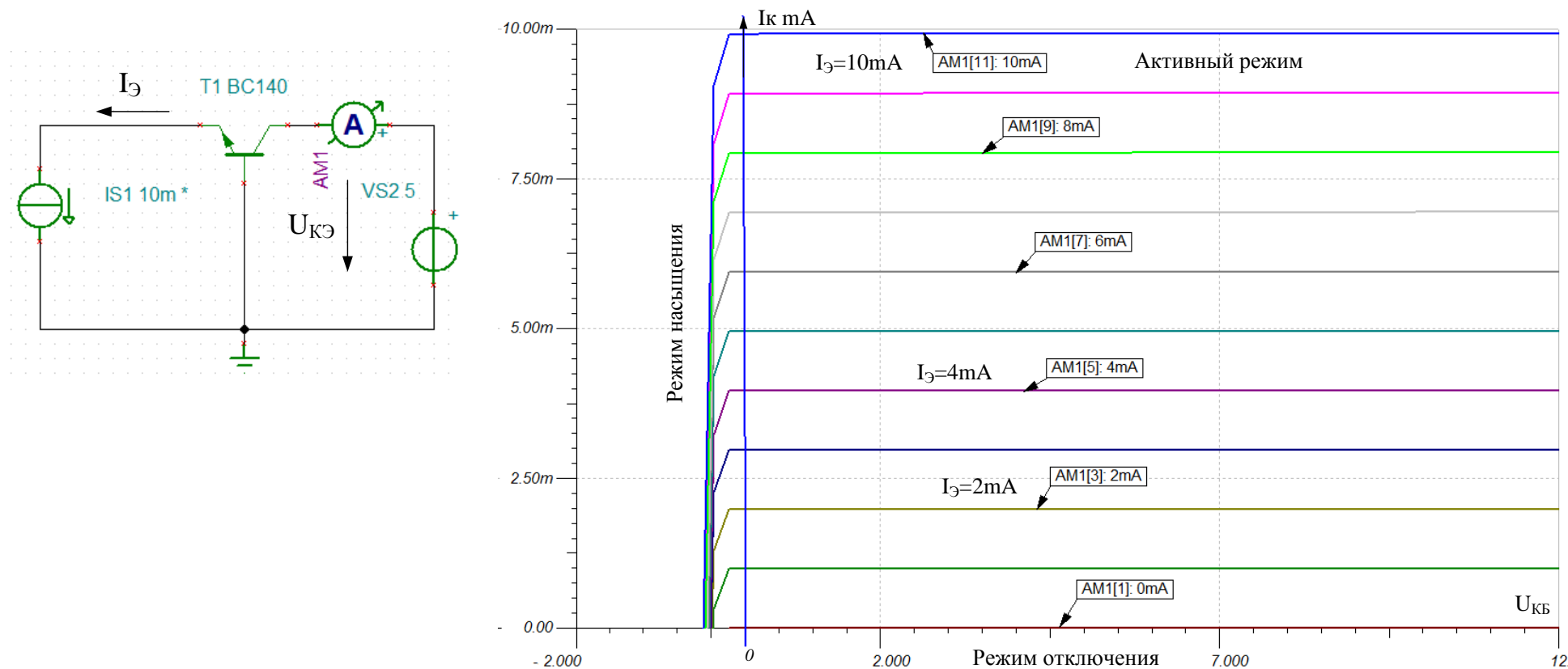


Рис.2.26

Выходными характеристиками схемы с общей базой называют зависимости тока коллектора от тока эмиттера.



На выходных характеристиках есть три области: активный режим, режим насыщения и режим отключения транзистора.

В активном режиме: $I_K \cong I_{\mathcal{E}}$. Схему ОБ называют *повторителем тока*.

В режиме отключения два перехода коллектор-база и база-эмиттер находятся в закрытом состоянии.

В режиме насыщения переходы коллектор -база и база-эмиттер открыты. Увеличение тока коллектора напоминает характеристики открытого диода. Приблизленно: $U_{БЭ} \approx 0,7 В$.

$$\text{На переменном токе: } \alpha_{\sim} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_{\mathcal{E}}} \right|_{U_{KB} = const}.$$

Пример 2.1

В схеме усилителя с общей базой (рис.2.29) источник напряжения смещения эмиттера $V_{S1}=4В$. Источник напряжения на коллекторе $V_{S2}=12 В$. Коэффициент передачи тока $\alpha = 0,99$.

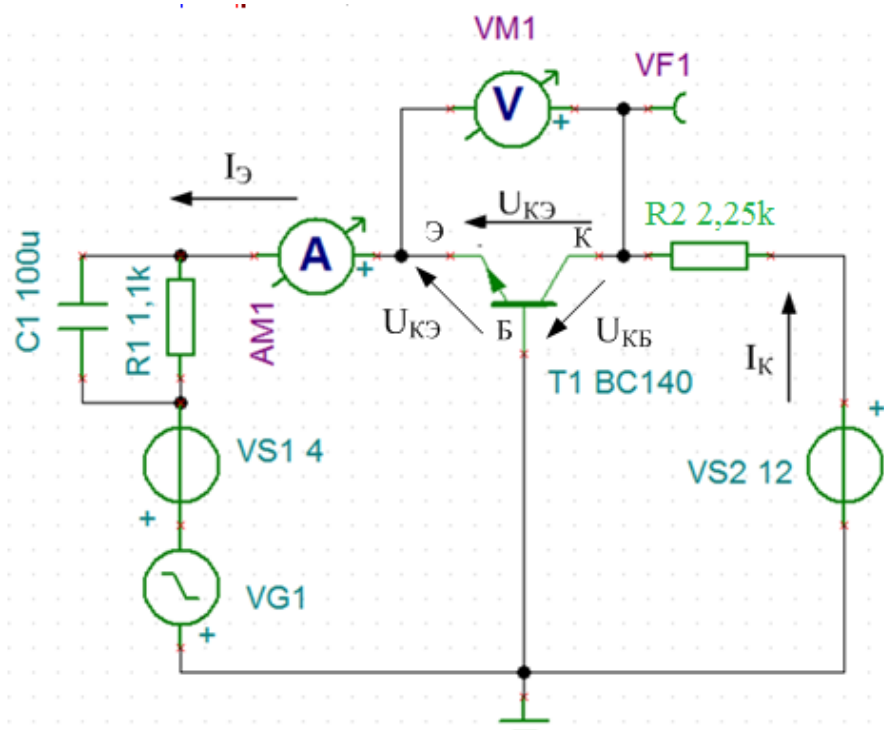


Рис.2.29

Требуется:

1. Рассчитать сопротивление R_1 в цепи эмиттера, чтобы ток эмиттера составлял $I_{\text{Э}}=3$ мА.

2. Рассчитать сопротивление в цепи коллектора, чтобы напряжение коллектор-эмиттер составляло 6В.

3. Моделированием определить усиление схемы с общей базой по переменному току на частоте 1кГц. Амплитуда входного сигнала 10 мВ.

Решение

1. На открытом переходе база-эмиттер падает напряжение 0,7В.

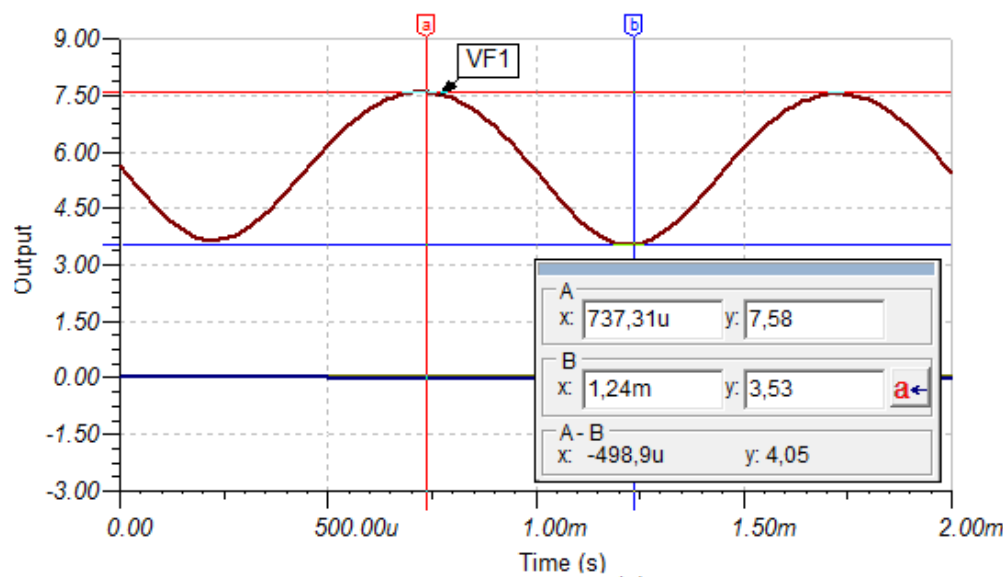
$$R_{\text{Э}} = \frac{VS1 - 0,7}{3 \cdot 10^{-3}} = \frac{4 - 0,7}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,1 \text{ кОм}.$$

2. В схеме $U_{KB} = U_{KЭ} - U_{БЭ} = 6 - 0,7 = 5,3В$.

Ток коллектора: $I_K = \alpha I_Э = 0,99 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 2,97 мА$.

3. Резистор в цепи коллектора:

$$R_2 = \frac{VS2 - U_{KB}}{I_K} = \frac{12 - 5,3}{2,97 \cdot 10^{-3}} = 2,25 кОм$$



4. Входной сигнал:

$$U_{tex} = 10 мВ, f = 1 кГц.$$

Выходной сигнал:

$$U_{tвых} = 2В.$$

Усиление: 200.

Расчет

$$1. X_{C1} = \frac{1}{2\pi fC} \approx 1,59 \text{ Ом}.$$

Преобразуем параллельное соединение в последовательное:

$$R_{ист.посл} = \frac{X_C^2}{R_1} = 2,29 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, X_{Cист.посл} \approx X_C = 1,59 \text{ Ом}.$$

2. Усиление схемы ОБ:

$$K_{Uоб} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{I_K R_H}{I_{\text{Э}} r_{\text{Э}}} \approx \frac{R_H}{R_{вхоб}}.$$

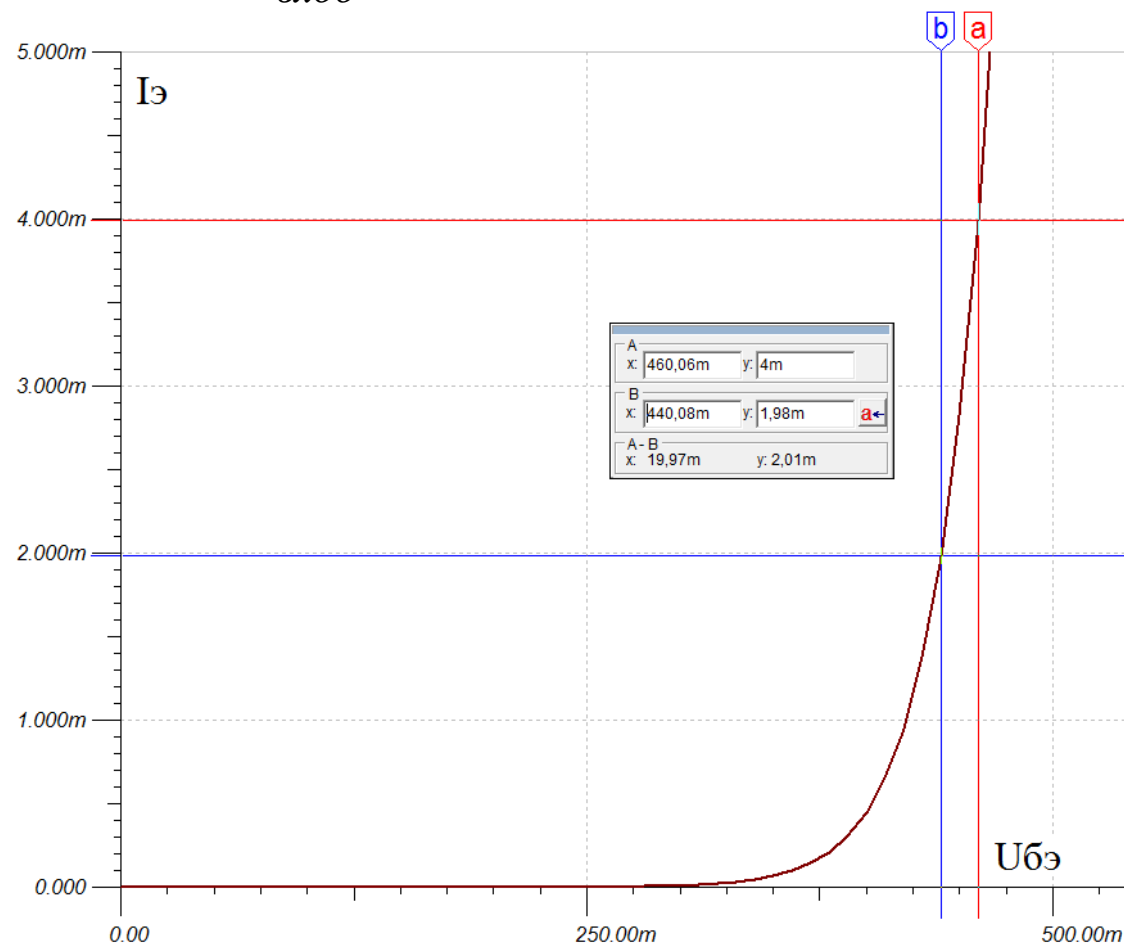
$$3. \text{ В схеме 2.26 находим } R_{вхоб} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_{\text{Э}}} = \frac{19,97 \text{ мВ}}{2,01 \text{ мА}} \approx 10 \text{ Ом}.$$

4. Коэффициент ослабления входной цепи:

$$K_C \approx \frac{R_{вхоб}}{\sqrt{R_{вхоб}^2 + X_{Cист.посл}^2}} = \frac{10}{10,15} = 0,98$$

5. Общее усиление по переменному току составит:

$$K_{\Sigma} = K_{Uo6} K_C \approx \frac{R_H}{R_{\text{вхоб}}} \cdot K_C \approx \frac{2250}{10} \cdot 0,98 = 220,5.$$



Типовая схема ОБ

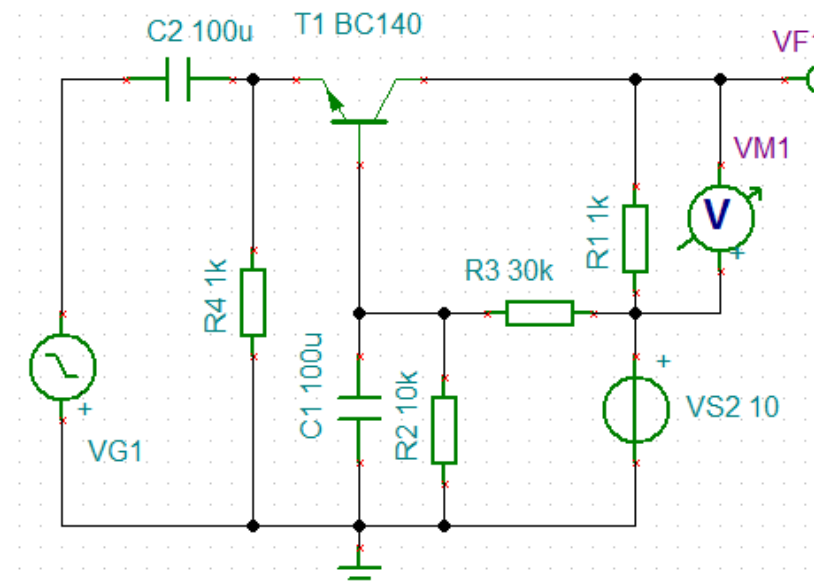
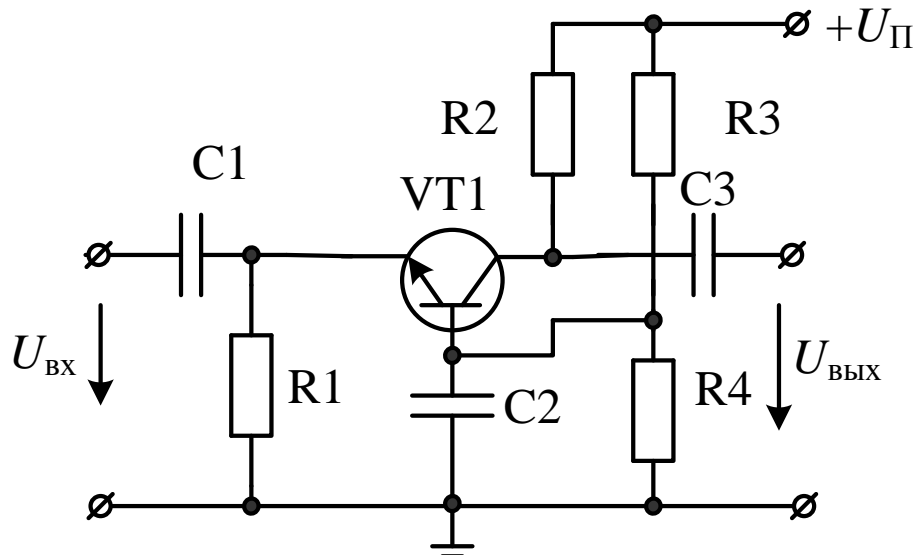


Рис.2.32

Преимущества схемы ОБ:

- более низкое входное сопротивление
- более эффективно используется источник сигнала, который работает практически в режиме короткого замыкания;
- входной сигнал передается на выход без переворота по фазе;

- уменьшаются частотные искажения, связанные с входной емкостью транзистора;
- усилитель имеет высокое выходное сопротивление и низкую выходную емкость.