

## **Методические указания для выполнения графического расчета на примере *p-n-p* транзистора**

В файле содержится инструкция для выполнения пп. 12, 13 «Содержания курсовой работы».

Об отличиях при моделировании для *p-n-p* транзистора написано в файле «Универсальный алгоритм при получении ВАХ транзистора».

### **Получение входной вольтамперной характеристики**

Схема для получения входной вольтамперной характеристики биполярного транзистора включает источник постоянного тока (модель IDC), источник постоянного напряжения (модель VDC), идеальный транзистор (модель **QbreakN**), узел нулевого потенциала (EGND). Напряжение источника VDC надо задать равным значению  $U_{кэА}$ , полученному в п. 7 (аналитический расчет р.т.). Сохранить схему надо в рабочей папке под именем, например, **VAXin2.sch**, с расширением *sch*.

**Внимание:** Имя файла должны быть короткими и состоять только из цифр и латинских букв (кириллица не допускается).

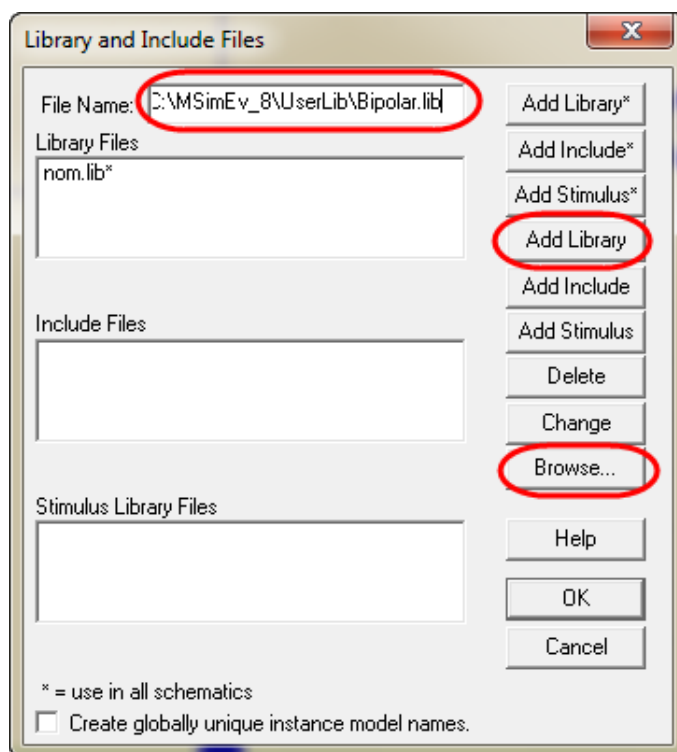
Щелкнуть на транзисторе левой кнопкой мыши (ЛКМ), при этом он окрасится. Войти в диалог **Edit – Model...** (редактировать модель...).

В открывшемся окне войти в диалог **Change Model Reference...** (изменить ссылку на модель...).

В новом окне заменить имя **QbreakN** на имя модели нужного транзистора, например, **КТ301v** (**допустимы только латинские буквы**).



После этого надо присоединить библиотеку биполярных транзисторов:

войти в интерфейсный диалог **Analysis – Library and Include Files....**



### Рис. 1. Подключение библиотеки транзисторов

с помощью команды **Browse...** найти библиотеку в папке **LIB** на своем компьютере (или на своей флешке, если расчет осуществляется в лаборатории), открыть ее, затем с помощью команды **Add Library** подключить библиотеку к системе.

Для получения входной характеристики надо подключить к базе транзистора маркер напряжения (**Markers – Voltage** или пиктограмма ) и установить (**Analysis/Setup** или пиктограмма ) режим расчета **VAX DC Sweep...** со следующими параметрами:

**Current Source** – отметить;


**Linear** – отметить;

**Name** = I1 – имя источника тока;

**Start Value** = 0



**End Value** = численное значение, равное  $2 I_{6A}$ ,

**Increment** = численное значение, равное  $End Value/500$ .

Здесь  $I_{6A}$  – **рассчитанное в п. 7** (аналитически – расчет по постоянному току) значение базового тока для схемы усилительного каскада ОЭ. Режим расчета схемы по постоянному току **Bias Point Detail** надо отключить. Затем надо запустить программу расчета (клавиша F11 или пиктограмма ). В результате расчета откроется окно графического редактора **Probe** с входной характеристикой. Рабочую точку ( $I_{6A}$ ,  $U_{63A}$ ) для схемы усилительного каскада ОЭ с заданными параметрами можно определить графически, построив для входной характеристики нагрузочную прямую. Для этого, не выходя из программы **Probe**, надо войти в интерфейсный диалог **Trace – Add** и нанести на график линию нагрузки  $U_{63}(I_6) = E_{cm} - I_6 R_6 - I_3 R_3$ , записав в окне **Trace Expression** следующее выражение (токи следует выбирать из левого столбца окна **Add Traces**):


$$E_{cm} - IB(VT) * R_6 - (IB(VT) + IC(VT)) * R_3,$$

где  $E_{cm} = E_{п} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ,  $R_6 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  и  $R_3$  – конкретные числа.

Координаты точки пересечения линии нагрузки и входной характеристики транзистора  $U_{63}(I_6)$  определяют рабочий базовый ток  $I_{6A}$  и напряжение база-эмиттер  $U_{63A}$ . Точку следует отметить с помощью маркера курсора (пиктограмма **Mark Label** ) , который становится доступным после команды вызова курсоров (пиктограмма ) .

#### Определение входного сопротивления биполярного транзистора

Затем для рабочей точки следует определить входное сопротивление транзистора в режиме малого сигнала  $h_{11} = \Delta U_{63} / \Delta I_6$ . Для более точных измерений рекомендуется увеличить фрагмент графика в районе рабочей точки. Это можно сделать с помощью окна, доступного после команд **View – Area**. Размеры окна регулируются при нажатой левой кнопке мыши. Для определения

входного сопротивления транзистора надо вблизи рабочей точки на линейном участке характеристики отметить с помощью маркера курсора (пиктограмма **Mark Label** ) две точки. По координатам точек следует рассчитать приращения  $\Delta U_{\text{бэ}}, \Delta I_{\text{б}}$ . Для определения приращений можно также воспользоваться двумя курсорами, поместив один из них слева, а другой справа **вблизи от рабочей точки** на линейном участке характеристики. Разность координат точек (приращения тока и напряжения) отображается в третьей строке окна *Probe Cursor* (рис. 2). Затем нужно найти входное сопротивление транзистора для малого сигнала  $h_{11\text{э}} = \Delta U_{\text{бэ}} / \Delta I_{\text{б}}$ .

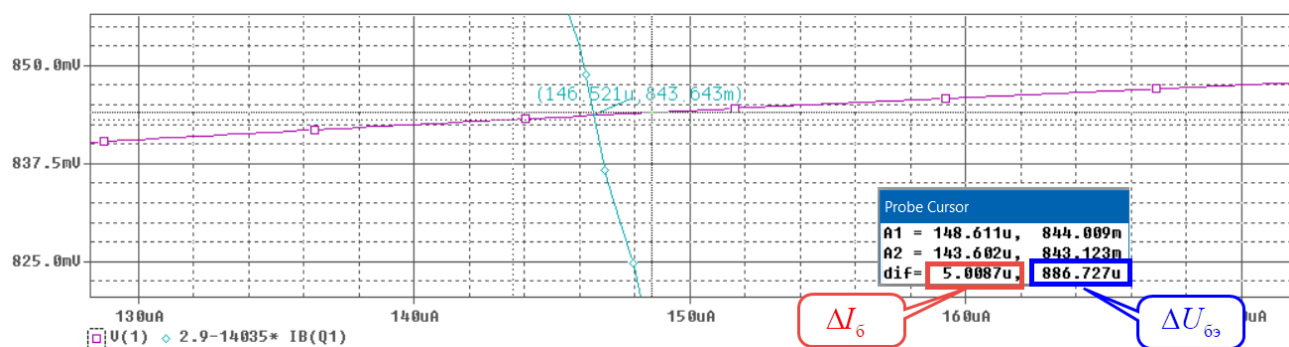



Рис. 2. Определение приращений двумя курсорами

### Получение выходных вольтамперных характеристик

Для расчета семейства выходных характеристик биполярного транзистора  $I_{\text{к}}(U_{\text{кэ}})$  необходимо задать режим расчета тока  $I_{\text{к}}$  при изменении напряжения  $U_{\text{кэ}}$  при фиксированных значениях тока базы  $I_{\text{б}}$ . Для этого надо удалить маркер напряжения и для вывода тока  $I_{\text{к}}$  установить маркер тока на коллектор транзистора *VT* (маркер необходимо присоединить непосредственно к коллектору транзистора). Сохранить новую схему надо в той же папке под новым именем, например, *VAXout2.sch*. Затем следует установить (*Analysis/Setup* или пиктограмма ) режим расчета *BAX DC Sweep...* со следующими параметрами:

**Voltage Source** – отметить;

**Linear** – отметить;

**Name** = V1 – имя источника напряжения;

**Start Value** = 0;

**End Value** = численное значение, равное  $E_{\text{п}}$ ;

**Increment** = численное значение, равное  $\text{End Value}/1000$ .

После этого надо задать параметры режима *Nested Sweep*. Для этого надо в окне *DC Sweep...* нажать *Nested Sweep* и в открывшемся окне задать следующие параметры анализа:

**Enable Nested Sweep** – отметить;

**Current Source** – отметить;


**Linear** – отметить;

**Name** = I1 – имя источника тока;


**Start Value** = численное значение, равное  $I_{\text{бА}}/4$ , округленное до 3 значащих цифр;

**End Value** = численное значение, равное  $2 I_{6A}$ , округленное до двух значащих цифр в сторону увеличения;


**Increment** = численное значение, равное *Start Value*.

Здесь важно использовать значение  $I_{6A}$ , полученное ранее в этом пункте в результате графического расчета. Затем надо запустить программу расчета (клавиша F11 или пиктограмма ). Далее на полученном комплекте выходных характеристик нужно построить нагрузочную прямую. Для этого, не выходя из программы **Probe**, надо войти в интерфейсный диалог **Trace – Add** и нанести на график линию нагрузки  $U_{кэ}(I_k) = E_{п} - I_k R_k - I_э R_э$ , записав в окне **Trace Expression** следующее выражение (напряжение следует выбирать из левого столбца окна **Add Traces**):

$$(E_{п} - V(V1)) / R_{=},$$

где  $E_{п}$  и  $R_{=} = R_k + R_э$  – конкретные числа, определяемые параметрами элементов схемы (можно ввести уравнение и точно, в указанном выше через оба тока, виде). После этого над каждой выходной характеристикой надо написать соответствующее значение тока базы. Координаты точки пересечения линии нагрузки и выходной характеристики транзистора, соответствующей рабочему току базы  $I_{6A}$ , определяют рабочий коллекторный ток  $I_{кA}$  и напряжение коллектор-эмиттер  $U_{кэA}$ . Точку следует отметить с помощью маркера курсора (пиктограмма **Mark Label** ). Затем для рабочей точки следует определить коэффициент усиления транзистора  $h_{21э} = \Delta I_k / \Delta I_6$  для малого сигнала.

#### Определение коэффициента усиления биполярного транзистора

Для более точных измерений рекомендуется увеличить фрагмент графика в районе рабочей точки так, чтобы на рисунке были видны части соседних характеристик, выше и ниже той, на которой лежит рабочая точка. Это можно сделать с помощью окна, доступного после команд **View – Area**. Размеры окна регулируются при нажатой левой кнопке мыши. Для определения коэффициента усиления надо на соседних характеристиках отметить маркером курсора (пиктограмма **Mark Label** ) точки, имеющие одно и то же напряжение  $U_{кэ}$ , равное напряжению в рабочей точке  $U_{кэA}$  (рис. 3). Затем над каждой выходной характеристикой надо написать соответствующее значение тока базы. После этого можно найти коэффициент усиления транзистора для малого сигнала  $h_{21э} = \Delta I_k / \Delta I_6$ , где  $\Delta I_6 = I_{62} - I_{61}$ , а  $\Delta I_k = I_{к2} - I_{к1}$  (рис. 3). Затем надо убедиться, что  $h_{21э}$  лежит внутри технологического диапазона параметра  $\beta$ . Если это не так, следует обратиться к преподавателю.

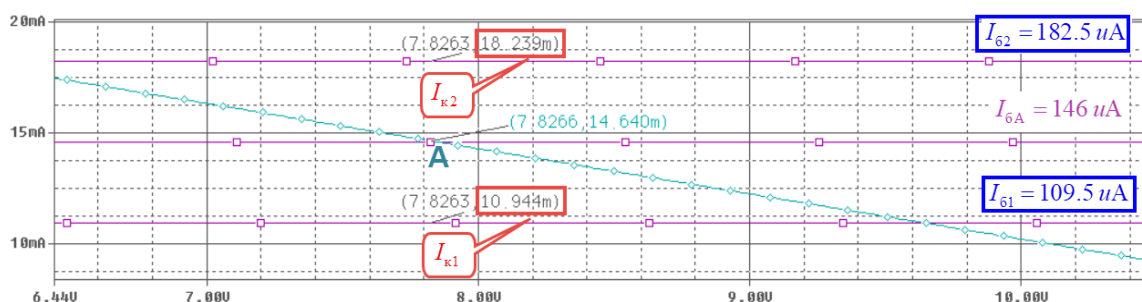


Рис. 3. Определение коэффициента усиления транзистора