

# Методы идентификации параметров моделей интегральных транзисторов

## Часть 3. Альтернативные методы идентификации параметров модели биполярных транзисторов

Олег Дворников, Юрий Шульгевич (г. Минск, Беларусь)

Рассмотрены методы идентификации, применение которых целесообразно при наличии типовых справочных данных или особых требований к адекватности модели.

### ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ $\beta$ ОТ ТОКА И НАПЯЖЕНИЯ (пп. 15, 16 ТАБЛИЦЫ 3)

Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером  $\beta$  является основной характеристикой усилительных свойств БТ, в связи с этим его зависимость от коллекторного тока и напряжения  $\beta(I_C, V_C)$  обычно приведена в типовых справочных данных. С практической точки зрения, целесообразно выполнять измерение зависимости  $\beta(I_E, V_C)$ , которую допустимо применять вместо  $\beta(I_C, V_C)$  для определения параметров модели, пос-

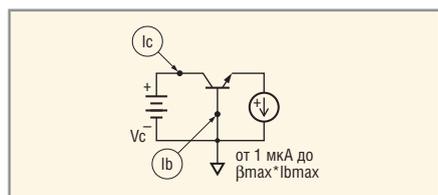


Рис. 22. Схема включения БТ для измерения зависимости  $\beta$  от тока и напряжения

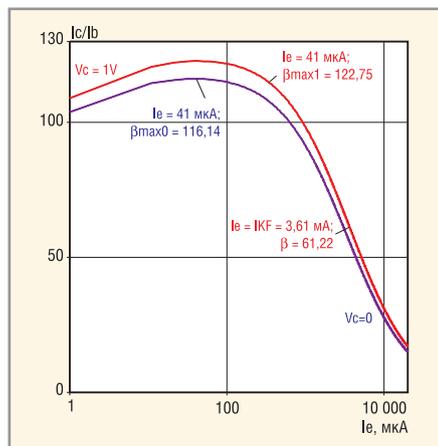


Рис. 23. Зависимость  $\beta$  от эмиттерного тока при  $V_{CB} = 0; 1$  В

кольку в широком диапазоне коллекторных токов обычно выполняется условие  $\beta(I_C, V_C) \approx \beta(I_E, V_C)$ .

Предлагаемый метод идентификации основан на:

- анализе модели Гуммеля–Пуна, который позволил установить, что параметр  $IKF$  соответствует коллекторному току, при котором  $\beta$  составляет от 50 до 65% своего максимального значения;
- соотношениях (65), (74);
- результатах моделирования зависимости  $\beta(I_E)$ , показанных на рисунке 13.

Для идентификации параметров  $BF$ ,  $IKF$ ,  $ISE$ ,  $VAF$  необходимо:

1. Включить БТ в соответствии с рисунком 22;
2. Измерить коллекторный и базовый ток при  $V_{CB} = 0; 1$  В и изменении эмиттерного тока от 1 мкА до максимально возможного значения. Обычно в качестве максимально возможного эмиттерного  $I_{EMAX}$  (коллекторного  $I_{CMAX}$ ) тока принимают величину, равную:

$$I_{EMAX} \approx I_{CMAX} = \beta_{MAX} I_{BMAX}, \quad (93)$$

где, как и ранее,  $I_{BMAX}$  – базовый ток, при котором  $\beta = 0,5\beta_{MAX}$ .

Такое разное определение измеряемых параметров  $I_{BMAX}$ ,  $I_{EMAX}$  объясняется тем, что они описывают разные характеристики БТ. Так, коллекторный ток, соответствующий  $I_{BMAX}$ , а именно, составляющий  $0,5\beta_{MAX} I_{BMAX}$ , приблизительно равен току «излома» зависимости  $I_C(V_{BE})$  для прямого включения, т.е. параметру  $IKF$ . В то же время при максимально возможном эмит-

терном токе коэффициент усиления падает до величины  $\beta \approx 0,25\beta_{MAX}$ , и поэтому  $I_{EMAX}$  описывает область эмиттерных токов, усиление в которой достаточно для большинства применений БТ;

3. Рассчитать величину  $\beta = I_C/I_B$  и построить зависимость  $\beta(I_E, V_C)$  (см. рис. 23);
4. В качестве параметра  $BF$  допустимо принять максимальное значение  $\beta$  при  $V_{CB} = 0$  ( $\beta_{MAX0}$ ). Однако, если известен параметр  $VAF$  и напряжение  $V_{BE}$ , соответствующее  $\beta_{MAX0}$ , то рекомендуется определить  $BF$  по соотношению, полученному из (74), а именно:

$$BF \approx \frac{\beta_{MAX0}}{\left(1 - \frac{V_{BE}}{VAF}\right)}; \quad (94)$$

5. В области малых и средних эмиттерных токов, для которой графики  $\beta(I_E)$  при  $V_{CB} = 0$  и  $V_{CB} = 1$  В имеют приблизительно одинаковую форму ( $I_E$  в диапазоне от 1 до 100 мкА на рисунке 23), рассчитать параметр  $VAF$  как:

$$VAF = \frac{1}{\left(1 - \frac{V_{BE}}{VAF}\right) \left(\frac{\beta_1}{\beta_0} - 1\right)} \approx \frac{1}{\frac{\beta_1}{\beta_0} - 1}, \quad (95)$$

где  $\beta_0, \beta_1$  – значение  $\beta$  при одном и том же эмиттерном токе и  $V_{CB} = 0; 1$  В.

Если полученные значения отличаются (см. рис. 24) для различных точек кривых  $\beta(I_E)$  при  $V_{CB} = 0$  и  $V_{CB} = 1$  В, то в качестве параметра  $VAF$  принимается максимальная величина;

6. На графике  $\beta(I_E)$  при  $V_{CB} = 1$  В определить эмиттерный ток, при котором величина  $\beta$  падает до значения, равного  $0,5\beta_{MAX1}$ , где  $\beta_{MAX1}$  – максимальное значение  $\beta$  при  $V_{CB} = 1$  В (см. рис. 23). Этот эмиттерный ток допустимо принять в качестве параметра  $IKF$ .





