

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ИМИТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Бересневич А.И., Бондаренко П.А., Бруй А.А.

Боровиков С.М. – канд. техн. наук, доцент

Приводятся экспериментальные результаты, подтверждающие возможность использования тока коллектора или напряжения коллектор–эмиттер в качестве имитационных факторов в задачах индивидуального прогнозирования параметров и, следовательно, возможных постепенных отказов биполярных транзисторов.

Успех в решении задач индивидуального прогнозирования функциональных параметров, следовательно, и постепенных отказов изделий электронной техники (ИЭТ) для заданных наработок методом имитационных воздействий во многом зависит от удачного выбора имитационного фактора.

Чтобы использовать какое-то воздействие (температуру, ток p – n –перехода и т.п.) в качестве имитационного фактора для прогнозирования функциональных параметров и, следовательно, постепенных отказов ИЭТ, необходимо доказать, что между обратимыми изменениями параметра, вызываемыми действием имитационного фактора, с одной стороны, и необратимыми изменениями этого параметра, возникающими при длительной наработке ИЭТ (деградацией функционального параметра), с другой стороны, существует статистическая аналогия. Физические процессы, протекающие в первом и втором случаях, различны. Но наличие статистической аналогии может использоваться как основа для прогнозирования параметров ИЭТ для заданных наработок с достоверностью, приемлемой для практики [1]. Ответ на вопрос о наличии статистической аналогии между указанными изменениями функциональных параметров ИЭТ может дать корреляционный анализ этих изменений. Если будет установлено наличие тесной корреляции между изменениями, то тем самым будет доказана возможность использования выбранного воздействия для прогнозирования функционального параметра и постепенных отказов ИЭТ.

Поясним понятие «наличие статистической аналогии» на примере биполярных транзисторов (БТ) как представителей ИЭТ. Рассматриваемые гипотетические имитационные факторы – ток коллектора I_K и напряжение коллектор–эмиттер $U_{КЭ}$. Интересующие нас изменения – изменения статического коэффициента передачи тока базы в схеме с общим эмиттером ($h_{21Э}$), обусловленные сменой значений тока коллектора I_K или напряжения коллектор–эмиттер $U_{КЭ}$, с одной стороны, и изменения, вызываемые длительной наработкой (деградацией параметра $h_{21Э}$), с другой стороны.

Для подтверждения гипотезы о наличии тесной корреляционной связи между изменениями $h_{21Э}$, обусловленными сменой значений тока коллектора I_K и изменениями, вызываемыми длительной наработкой (деградацией параметра $h_{21Э}$), нужно иметь два соответствующих массива данных. Точно так же, нужно иметь два массива для подтверждения гипотезы о наличии тесной корреляционной связи между изменениями $h_{21Э}$, обусловленными сменой значений напряжения коллектор–эмиттер $U_{КЭ}$ и изменениями, вызываемыми длительной наработкой (деградацией параметра $h_{21Э}$). Поскольку, как в случае тока коллектора I_K , так и в случае напряжения коллектор–эмиттер $U_{КЭ}$ второй массив является одним и тем же, то всего для выполнения процедуры корреляционного анализа нужно иметь три массива. Указанные массивы данных могут быть получены с помощью экспериментальных исследований выборки БТ, объём которой n должен быть не менее 50...100. Эту выборку будем называть обучающей [1].

В качестве ИЭТ, на примере которых выяснялась возможность использования параметров электрического режима в качестве имитационных факторов, были выбраны мощные БТ типа КТ8272В. В роли функционального параметра P , определяющего параметрическую надёжность БТ, рассматривался статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером $h_{21Э}$ при рабочем токе коллектора $I_K = 0,15$ А и напряжении коллектор–эмиттер $U_{КЭ} = 10$ В.

Ставилась задача – получить изменения параметра $h_{21Э}$, вызываемые соответственно сменой значений тока коллектора и сменой значений напряжения коллектор–эмиттер как предполагаемых имитационных факторов, и изменения $h_{21Э}$, обусловленные длительной наработкой БТ (деградацией $h_{21Э}$).

Для выполнения экспериментальных исследований случайным образом была сформирована обучающая выборка объёмом 100 экземпляров. При измерении параметра $h_{21Э}$ ток коллектора I_K изменялся в диапазоне 0,005...1,5 А, а напряжение коллектор–эмиттер $U_{КЭ}$ – в диапазоне 0,1...80 В. Для получения информации о деградации параметра $h_{21Э}$ использовались ускоренные форсированные (высокотемпературные) испытания, выполняемые по типовым методикам [2, 3]. Время ускоренных испытаний составляло 1440 ч (коэффициент ускорения 15,5), что эквивалентно наработке $t_4 = 22$ 320 ч работы в обычных (номинальных) условиях: рабочая температура $T = 328$ К (+55 °С), коэффициент электрической нагрузки по мощности $K_n = 0,5$. В процессе испытаний контролировалось значение $h_{21Э}$ у каждого экземпляра обучающей выборки.

В результате экспериментальных исследований для параметра $h_{21Э}$ получены данные об изменениях, обусловленных параметрами электрического режима (I_K и $U_{КЭ}$), с одной стороны, и вызываемых длительной наработкой – с другой. Из этих данных было сформировано несколько наборов, состоящих из массивов вида

$$\Delta P_i \Big|_{I_1}^{I_2}, \Delta P_i \Big|_{U_{КЭ1}}^{U_{КЭ2}}, \Delta P_i \Big|_{t=0}^{t=t_n}; i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

в которых значения $\Delta P_i \Big|_{I_1}^{I_2}$, $\Delta P_i \Big|_{U_{КЭ1}}^{U_{КЭ2}}$ и $\Delta P_i \Big|_{t=0}^{t=t_n}$ для i -го экземпляра обучающей выборки определялись по формулам

$$\Delta P_i \Big|_{I_1}^{I_2} = P_i(I_2) - P_i(I_1); \quad (2)$$

$$\Delta P_i \Big|_{U_{КЭ1}}^{U_{КЭ2}} = P_i(U_{КЭ2}) - P_i(U_{КЭ1}); \quad (3)$$

$$\Delta P_i \Big|_{t=0}^{t=t_n} = P_i(t=t_n) - P_i(t=0), \quad (4)$$

где $P_i(I_j)$ – значение параметра i -го экземпляра, соответствующее току коллектора I_j ($j = 1, 2$); $P_i(U_{КЭj})$ – значение параметра i -го экземпляра, соответствующее напряжению коллектор–эмиттер $U_{КЭj}$; $P_i(t=t_n)$ – значение параметра i -го экземпляра, соответствующее наработке t_n (моменту окончания испытаний); $P_i(t=0)$ – значение параметра i -го экземпляра в начальный момент времени.

Для каждой пары, включающей наборы изменений вида $\Delta h_{21Э} \Big|_{I_1}^{I_2}$ (или $\Delta h_{21Э} \Big|_{U_{КЭ1}}^{U_{КЭ2}}$) и $\Delta h_{21Э} \Big|_{t=0}^{t=t_n}$, были построены корреляционные поля (диаграммы разброса) и определены оценки коэффициентов линейной корреляции R .

В качестве примера на рис. 1 приведено корреляционное поле изменений $\Delta h_{21Э} \Big|_{0,005A}^{1,5A}$ и $\Delta h_{21Э} \Big|_{t=0}^{t=22.320ч}$, обозначенных соответственно как $\Delta h_{21Э}(1,5A; 0,005A)$ и $\Delta h_{21Э}(22.320ч, 0)$, а на рис. 2 – корреляционное поле изменений $\Delta h_{21Э} \Big|_{0,1B}^{80B}$ и $\Delta h_{21Э} \Big|_{t=0}^{t=22.320ч}$, обозначенных как $\Delta h_{21Э}(80B; 0,1B)$ и $\Delta h_{21Э}(22.320ч, 0)$.

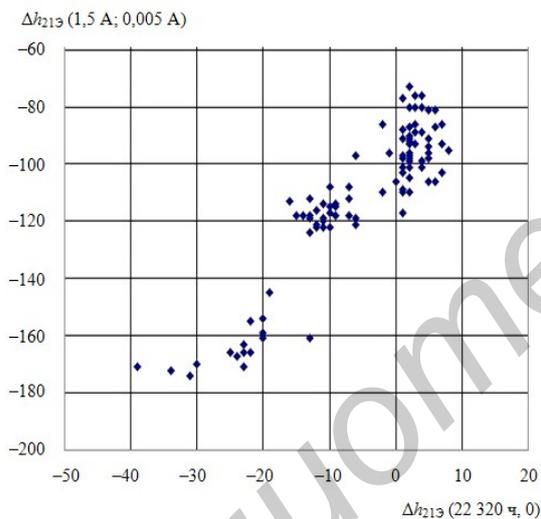


Рис. 1. Диаграмма разброса величин $\Delta h_{21Э} \Big|_{0,005A}^{1,5A}$ и $\Delta h_{21Э} \Big|_{t=0}^{t=22.320ч}$ БТ типа КТ8272В, $R = 0,89$

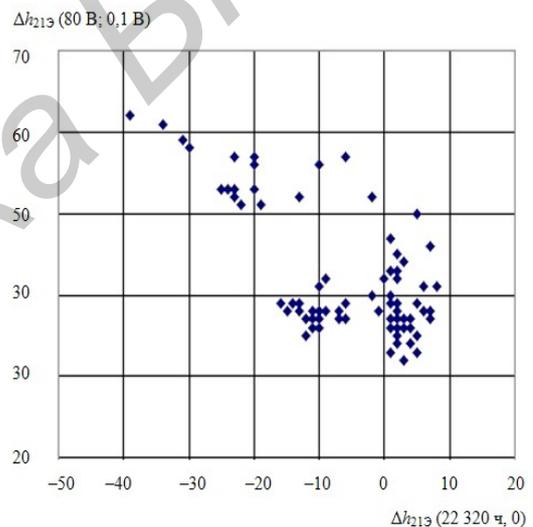


Рис. 2. Диаграмма разброса величин $\Delta h_{21Э} \Big|_{0,1B}^{80B}$ и $\Delta h_{21Э} \Big|_{t=0}^{t=22.320ч}$ БТ типа КТ8272В, $R = -0,71$

Из приведённых результатов видно, что между отклонениями функционального параметра $h_{21Э}$, вызываемыми изменением тока коллектора или напряжения коллектор–эмиттер, и деградацией этого параметра при длительной наработке БТ имеет место тесная линейная корреляционная связь. Установлено, что корреляция имела место для всех рассматриваемых диапазонов изменения тока коллектора и напряжения коллектор–эмиттер. Наличие тесной корреляции является доказательством возможности использования параметров электрического режима (тока коллектора или напряжения коллектор–эмиттер) в качестве имитационных факторов. По реакции параметра $h_{21Э}$ на значение тока коллектора или напряжение коллектор–эмиттер можно прогнозировать параметр $h_{21Э}$ и, следовательно, возможные постепенные отказы БТ по этому параметру для заданных наработок. Вывод в одинаковой степени относится и к функциональному параметру $U_{КЭнас}$.

Список использованных источников:

1. Боровиков, С. М. Прогнозирование работоспособности полупроводниковых приборов методом имитационного моделирования / С. М. Боровиков, А. И. Щерба // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2004. – № 4. – С. 37–40.
2. Загребельный, В. П. Методы ускоренной оценки надёжности ИЭТ / В. П. Загребельный, Н. Г. Моисеев, Л. М. Нойверт // Электронная техника. Сер. 8, Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания. – 1990. – Вып. 2(139). – С. 41–45.
3. Bipolar Power Transistor. Data Book 1998 / TEMIC Semiconductors. – 1997. – № 12. – P. 35–42.