

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.382.019.3

**ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

С.М. БОРОВИКОВ, А.В. КАРНАУШЕНКО, Д.В. ЗОРИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 9 января 2003*

Приведен алгоритм моделирования на ЭВМ информативных параметров, используемых для индивидуального прогнозирования работоспособности биполярных транзисторов. Он разработан с учетом вероятностных связей, полученных с помощью экспериментальных исследований для информативных параметров и дискретного уровня работоспособности транзисторов.

Ключевые слова: полупроводниковые приборы, прогнозирование, параметрическая надежность, имитационные воздействия.

Эффективность индивидуального прогнозирования надежности полупроводниковых приборов методами, основанными на использовании информативных параметров (далее кратко, признаков), можно определить с помощью вычислительного эксперимента, выполняемого на ЭВМ. Для его проведения необходимо смоделировать признаки, соответствующие разным классам надежности приборов. Использовались два класса надежности: K_1 — класс надежных экземпляров, т.е. таких экземпляров исследуемой выборки приборов, которые будут иметь работоспособное состояние в течение всего времени работы (наработки) до интересующего будущего момента времени $t_{пр}$; K_2 — класс ненадежных экземпляров, т.е. таких экземпляров, переход которых в неработоспособное состояние произойдет в процессе работы раньше времени $t_{пр}$. В качестве времени $t_{пр}$ рассматривалась максимальная наработка, указываемая в технической документации на полупроводниковые приборы исследуемых типов.

В работе рассмотрен выбор условий моделирования признаков применительно к биполярным транзисторам. В основу выбора положены вероятностные связи признаков с классом надежности транзисторов. Указанные связи определялись с помощью экспериментальных исследований транзисторов типов 2Т608, КТ645А, КТ646А. Установлены две следующие закономерности [1]:

1. Четкое смещение центров классов (средних значений признака, подсчитанных отдельно для классов K_1 и K_2) и наличие какой-то зоны перекрытия классов. Этой закономерности отвечал параметр $h_{21Э}$, измеренный при больших токах коллектора ($I_K \geq 300$ мА), и параметр $U_{КЭнас}$. Иллюстрацией закономерности с использованием плотностей распределения признака в классах K_1 и K_2 является рис. 1.

2. Экземплярам класса K_1 в среднем соответствуют значения параметра-признака, близкие к какому-то типовому (среднему) значению, а экземплярам класса K_2 в основном соответствуют значения, заметно удаленные влево или вправо от среднего. Для таких признаков характерен эффект "вложенности" классов. Эта закономерность имела место для параметров $h_{11Э}$ и $h_{12Э}$, измеренных при малых токах коллектора ($I_K = 0,1-1$ мА). Причем установлено, что класс K_1 "вложен" в класс K_2 . С использованием плотностей распределения признака в классах K_1 и K_2 закономерность поясняется рис.2.

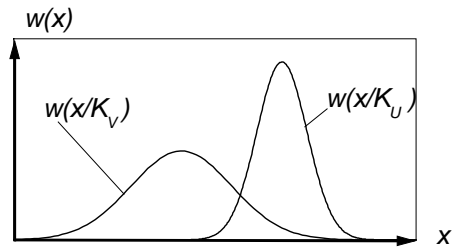


Рис. 1. Плотности распределения признака x для классов: $w(x/K_u)$ — для класса K_u ; $w(x/K_v)$ — для класса K_v ; $u, v=1, 2$; $u \neq v$

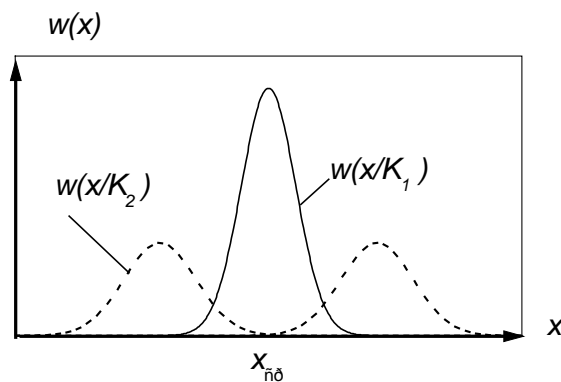


Рис. 2. Плотности распределения признака x в случае эффекта "вложенности" классов: $w(x/K_1)$ — плотность распределения для класса K_1 ; $w(x/K_2)$ — плотность распределения для класса K_2 ; $x_{нд}$ — среднее (типовое) значение признака x

Моделирование признаков для случая четкого смещения центров классов выполнялось с использованием условных плотностей распределения $w(x/K_1)$, $w(x/K_2)$ и информативной меры Кульбака, определяемой как [2]

$$D = \frac{(m_1 - m_2)^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (1)$$

где m_1, m_2 — средние значения признака для экземпляров классов K_1 и K_2 (центры классов); σ_1, σ_2 — средние квадратические отклонения признака для экземпляров классов K_1 и K_2 .

При моделировании использовались нормированные безразмерные значения признаков, а в качестве центров классов K_1 и K_2 принимались соответственно значения $m_1=+1$ и $m_2=-1$. В предположении нормального закона распределения признака в классах K_1 и K_2 моделирование выполнялось по общепринятым формулам с использованием параметров m_1, σ_1 для экземпляров класса K_1 и m_2, σ_2 — для экземпляров класса K_2 [3]. Причем σ_1 и σ_2 выбирались случайным образом, но с учетом их соотношения и информативной меры Кульбака, полученных при экспериментальном исследовании транзисторов.

Рассмотренный алгоритм не может быть использован для моделирования признаков с эффектом "вложенности" классов. Для таких признаков нужен другой подход. На основе анализа установлено [3], что мерой их информативности может быть мера Шеннона. Причем эта мера $I(x)$ для параметров, используемых для транзисторов в качестве признаков, находилась в диапазоне

$$I(x) = 0,35 - 0,75 \text{ дв. ед.} \quad (2)$$

Кроме того, установлено, что отношение σ_1/σ_2 всегда было меньше единицы и колебалось в небольшом диапазоне:

$$d=\sigma_1/\sigma_2=0,35-0,55. \quad (3)$$

Для центров классов K_1 и K_2 всегда имело место примерное равенство $m_1 \approx m_2$.

Указанные особенности признаков с эффектом "вложенности" классов приняты во внимание при их моделировании на ЭВМ.

Был предложен алгоритм, согласно которому значения признака x , соответствующие экземплярам класса K_2 , генерировались с помощью двух нормальных распределений (см. рис. 2.). Их параметры: $m'_2 = -1, \sigma'_2 = 1$ — первое распределение; $m''_2 = +1, \sigma''_2 = 1$ — второе распределение. Причем, чтобы получить значения x для j -го экземпляра, случайным образом выбиралось либо первое, либо второе распределение. Смоделировав признак x для всех экземпляров класса K_2 , подсчитывались характеристики m_2 и σ_2 , используя экземпляры этого класса.

Далее с учетом отношения (3) случайным образом выбиралось значение σ_1 . Используя в качестве параметров нормального закона $m=0$ и $\sigma=\sigma_1$, моделировались значения x , соответствующие экземплярам класса K_1 . После этого подсчитывалась информационная мера Шеннона $I(x)$ по формулам, приводимым в [2]. Если она отвечала условию (2), то моделирование признака x в классах K_1 и K_2 считалось завершенным. Если величина $I(x)$ выходила за пределы диапазона (2), то значения σ'_2 и σ''_2 изменялись (шаг $h=0,01$) и весь процесс моделирования выполнялся заново.

PRINCIPLES FOR SIMULATION OF INFORMATIVE PARAMETERS OF SEMICONDUCTOR DEVICES

S.M. BARAVIKOU, A.V. KARNAUSHENKO, D.V. ZORIN

Abstract

The paper describes computer simulation technique of informative parameters used for individual prediction of bipolar transistor operation. The technique has been designed taking into account probabilistic relationships between informative parameters and discrete levels of transistor operation that were determined through experimental investigations.

Литература

1. Боровиков С.М., Стасюк Д.М. // Изв. Белорус. инж. акад. 1999. № 1(7)/2. С.138–140.
2. Кульбак С. Теория информации и статистика. М., 1967.
3. Karnaushenko A., Stasyuk D., Zorin D. et al. // Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics: 2nd International Conference, Minsk, October 20-23, 1998 / DGZfP, Berichtsband 64. Berlin. 1998. P.359–361.