

УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ НАРАБОТКУ

Калита Е.В., Казючиц В.О.

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

Научный руководитель: Боровиков С.М. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Обоснованы условия проведения ускоренных форсированных испытаний биполярных транзисторов большой мощности типа КТ872А. В качестве факторов, ускоряющих испытания, выбраны повышенная температура и обратное напряжение, прикладываемое к коллектору транзисторов. Рассчитан коэффициент ускорения испытаний относительно рабочего режима работы транзисторов.

Ключевые слова: полупроводниковые приборы, постепенные отказы, метод имитационных воздействий, ускоренные испытания, модель Эйринга.

Введение и актуальность исследования. Известно, что для полупроводниковых приборов (ППП) примерно 80 процентов их отказов являются постепенными [1]. Поэтому для обеспечения надёжности электронных устройств длительного функционирования необходимо при их сборке использовать ППП с заданной надёжностью по постепенным отказам. Получить экземпляры, отвечающие требованию по постепенным отказам, можно путём их отбора из выборки однотипных ППП, используя метод имитационных воздействий [2, 3]. Процедура применения этого метода, как и других методов прогнозирования надёжности полупроводниковых приборов, условно можно разбить на три следующие этапа:

1. Предварительные исследования на длительную наработку определённой выборки ППП интересующего типа (примерно 50...100 экземпляров). Эти исследования называют обучающим экспериментом, а используемую выборку – обучающей выборкой.

При проведении обучающего эксперимента, используя обучающую выборку ППП, вначале выясняют, как электрический функциональный параметр (обозначим его через Y) ППП рассматриваемого типа в среднем изменяется в зависимости от имитационного фактора (например, температуры). Здесь изменения электрического параметра Y носят обратимый характер, т.е. после снятия имитационного фактора электрический параметр принимает своё начальное значение. Далее определяют, как этот же электрический параметр в среднем зависит от наработки t , т.е. как деградирует в процессе работы ППП

2. Получение по результатам обучающего эксперимента имитационной модели в виде функции пересчёта, показывающей, какой уровень имитационного фактора $F_{им}$ соответствует интересующей длительной наработке t :

$$F_{им} = f(t), \quad (1)$$

где $F_{им}$ – имитационное значение воздействия F , соответствующее наработке t ;

f – символ функциональной зависимости;

t – интересующая наработка (время работы) ППП.

3. Индивидуальное прогнозирование значения электрического параметра Y для заданной длительной наработки t_3 для экземпляров, не принимавшим участия в обучающем эксперименте, и принятие решения о соответствии или несоответствии конкретного экземпляра требованию надёжности по постепенным отказам.

Получение прогноза электрического параметра Y сводится к измерению у конкретного экземпляра значения Y в условиях воздействия на ППП имитационного фактора уровня $F_{им}$, рассчитанного по модели (1) при значении $t = t_3$. Если прогноз электрического параметра Y

отвечает норме, приводимой на этот параметр в технической документации, или указанной потребителем, то принимается решение о соответствии экземпляра требованию надёжности по постепенным отказам для заданной наработки t_3 .

Необходимым условием получения имитационной модели является наличие выражения для усреднённой зависимости электрического параметра Y от наработки t :

$$Y_{cp} = f_1(t), \quad (2)$$

где f_1 – символ функциональной зависимости, выбираемый из условия лучшего описания изменения Y_{cp} от наработки t .

Для получения модели (2) необходимо провести испытания на длительную наработку экземпляров обучающей выборки. При этом, в процессе испытаний следует периодически контролировать изменения (деградацию) электрического параметра Y каждого экземпляра.

Задаваемая длительная наработка t_3 составляет десятки тысяч часов, поэтому проводят ускоренные, обычно форсированные испытания, позволяющие за короткое время t_y получить о деградации параметра Y такую же информацию, как и в течение наработки t_3 в рабочем режиме. Актуальным является выбор вида и уровней форсирующих воздействий, ускоряющих деградацию электрических параметров ППП, а также времени проведения ускоренных испытаний.

Основная часть. Задача выбора режима и определения времени проведения ускоренных испытаний решалась применительно к биполярным транзисторам большой мощности типа КТ872А. В качестве электрического функционального параметра Y рассматривалось $U_{КЭ\text{ нас}}$ – напряжение насыщения коллектор–эмиттер. Параметры рабочего режима, режим и время проведения ускоренных испытаний транзисторов (относительно их рабочего режима) указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Данные о рабочем режима транзисторов и режиме проведения ускоренных испытаний

Характеристика, параметр, величина	Значение
<i>Параметры и условия рабочего режима транзисторов</i>	
1. Постоянная мощность, рассеиваемая коллектором P , Вт	30
2. Напряжение коллектор–эмиттер $U_{КЭ}$, В	150
3. Температура окружающей среды (корпуса транзистора) T_{cp} , °С	+55
4. Средний ток коллектора I_K , А	0,2
<i>Параметры, выбранные из технических источников</i>	
5. Максимальная мощность рассеивания коллектором при $T \leq 25$ °С, P_{max} , Вт	100
6. Тепловое сопротивление кристалл–корпус $R_{кр-корп}$, °С/Вт	1,25
7. Усреднённое значение энергии активации E_a , эВ	0,7
<i>Выбранные и расчётные параметры режима ускоренных испытаний</i>	
8. Температура ускоренных испытаний T_y , °С	135
9. Обратное напряжение U_y (напряжение $U_{КЭ}$) при ускоренных испытаниях, В	600
10. Значение P_{max} при $T = +55$ °С, Вт (расчётное значение)	76
11. Перегрев ΔT (в °С), имитирующий мощность $P = 30$ Вт при $T_{cp} = +55$ °С	37,5
12. Коэффициент ускорения испытаний за счёт повышенной температуры, $K_y^{(T)}$	10,1
13. Коэффициент β формулы (3), 1/В	0,00443
14. Коэффициент ускорения испытаний за счёт обратного напряжения, $K_y^{(U)}$	7,34
15. Общий коэффициент ускорения, $K_y^{(T,U)}$	74,1
16. Время ускоренных испытаний (при значении E_a), ч	216
17. Наработка t , соответствующая рабочим (нормальным) условиям, ч	16 005

При выборе и обосновании режима и условий проведения ускоренных испытаний использованы известные подходы, рассмотренные в [2 – 8]. В качестве модели ускоренных испытаний выбрана модель Эйринга [5, 8], в которой с целью увеличения коэффициента ускорения испытаний транзисторы подвергаются воздействию повышенной температуры и

повышенной электрической нагрузке по сравнению с рабочими условиями. Согласно этой модели коэффициент ускорения испытаний $K_y^{(T, U)}$ за счёт использования температуры (T) и напряжения смещения на коллекторном переходе транзистора (U) определялся как

$$K_y^{(T, U)} = \exp \left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_p} - \frac{1}{T_y} \right) \right] \times \exp [\beta (U_y - U_p)], \quad (3)$$

где E_a – энергия активации, эВ;

k – постоянная Больцмана ($8,617 \times 10^{-5}$ эВ/К);

β – параметр, зависящий от технологии изготовления ППП (получен на основе справочного материала, приводимого в [9]).

Нижние индексы «р» и «у» при параметрах T и U в формуле (3) относятся соответственно к рабочему режиму и режиму ускоренных испытаний.

Заключение. Выбран и обоснован режим проведения ускоренных испытаний на длительную наработку биполярных транзисторов большой мощности типа КТ872А (см. таблицу 1). Для ускорения испытаний использована модель Эйринга, учитывающая ускорение испытаний за счёт воздействия на испытываемые транзисторы повышенной температуры и повышенной электрической нагрузки.

Список литературы

1. Боровиков, С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности / С. М. Боровиков. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.
2. Боровиков С. М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадёжных изделий электронной техники : монография / С. М. Боровиков. – М. : Новое знание, 2013. – 343 с.
3. Прогнозирование надёжности изделий электронной техники / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Е. Н. Шнейдеров, А. И. Бересневич; под ред. С. М. Боровикова; УО «БГУИР». – Минск : МГВРК, 2010. – 308 с.
4. Боровиков, С. М. Экспериментальное исследование деградации изделий электронной техники / С. М. Боровиков, Е. Н. Шнейдеров, В. И. Плябанович, А. И. Бересневич, И. А. Бурак // Доклады БГУИР. - 2017. - № 2 (104). - С. 45 - 52.
5. Acceleration Factors SSB-1.003 / EIA Government Electronics and Information Technology Association Engineering Department, Arlington, 1998. – 14p.
6. Reliability Audit Report 1999. Life Test Data. ON Semiconductor L.L.C., Formerly a Division of Motorola, 1999. – 36 p.
7. Bipolar Power Transistor. Data Book 1998 / TEMIC Semiconductors GmbH. – 1997. – №12. – P. 35–42.
8. Полупроводниковая электроника. 15. Контроль качества полупроводниковых компонентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://portal.tri.ru/SHARED/g/GRETA_TV/academics/Tab3/INF15.pdf. – Дата доступа: 21.04.2022.
9. Боровиков, С. М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств : учеб.-метод. пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян ; под ред. С. М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.

UDC 621.382.33–048.24

ACCELERATED TESTS OF HIGH POWER BIPOLAR TRANSISTORS FOR LONG OPERATION

Kalita E.V., Kaziuchyts V.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The conditions for conducting accelerated forced tests of high-power bipolar transistors of the KT872A type are substantiated. Elevated temperature and reverse voltage applied to the collector of transistors are chosen as factors accelerating the tests. The test acceleration coefficient was calculated relative to the operating mode of transistors.

Keywords: semiconductor devices, gradual failures, simulation method, accelerated testing, Ayring model.