

О МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Abstract: *Estimations of an average operating time to refusal (MTTF) of electronic techniques products are submitted on the bases of using of two-parametrical distributions. It is marked, that prognostic estimations MTTF on a bases exponential distributions are overestimated in 50-1500 times in comparison with similar estimations on the basis of two-parametrical distributions.*

Key words: *failure, mean life, failure rate.*

Анотація: *Представлені оцінки середнього наробітку до відмови (МТТФ) виробів електронної техніки на підставі використання двопараметричних розподілів. Відмічено, що прогностичні оцінки МТТФ на підставі експоненційного розподілу завищені у 50-1500 разів у порівнянні з аналогічними оцінками на підставі двопараметричних розподілів.*

Ключові слова: *відмова, середній ресурс, інтенсивність відмов.*

Аннотация: *Представлены оценки средней наработки до отказа (МТТФ) изделий электронной техники на основе использования двухпараметрических распределений. Отмечается, что прогнозные оценки МТТФ на основе экспоненциального распределения завышены в 50-1500 раз по сравнению с аналогичными оценками на основе двухпараметрических распределений.*

Ключевые слова: *отказ, средний ресурс, интенсивность отказов.*

1. Введение

Современная элементная база – это изделия электронной техники (ИЭТ), т.е. интегральные схемы разной интеграции, а также дискретные приборы (полупроводниковые приборы, конденсаторы, резисторы и т.д.), – обладает достаточно высокой надежностью. Как свидетельствуют справочные и литературные данные, интенсивность отказов ИЭТ на моменты времени порядка 10000 ... 100000 ч. составляет порядка 10^{-9} ... 10^{-6} 1/ч. К сожалению, высокая надежность ИЭТ, с одной стороны, это важнейшее положительное качество, с другой стороны, это представляет большие трудности для измерения собственной надежности ИЭТ. В частности, высокая надежность не позволяет получить достаточную статистику отказов, чтобы, используя традиционные статистические методы, оценить, например, среднюю наработку до отказа ИЭТ (Mean Time to Failure – МТТФ) – характеристику, необходимую разработчикам технических систем. Таким образом, представляется возможным только параметрический подход для оценки МТТФ высоконадежных ИЭТ, то есть использование соответствующих теоретических моделей распределения наработки до отказа.

В настоящее время наиболее распространенным является определение среднего времени до отказа ИЭТ на основе использования экспоненциального закона. При этом надежность изделий электронной техники такова, что при испытаниях удается получить наработки, соответствующие экспериментальной вероятности отказов $F(t) = 0,0001 \dots 0,01$, и на основании этих результатов прогнозировать среднее время до отказа данных изделий. Прогноз средней наработки до отказа ИЭТ на основе более адекватных двухпараметрических распределений является естественно точнее. Таким образом [1], в настоящее время при использовании экспоненциального закона завышается математическое ожидание времени до отказа изделий электронной техники в

50...1000 раз по сравнению со значением этой же характеристики, вытекающей из двухпараметрических моделей, более адекватно описывающих статистику отказов

В настоящей работе приводятся методики оценки МТТФ высоконадежных ИЭТ на основании использования значений экспериментальной интенсивности отказов λ_{t_H} , соответствующей наработке t_H , на основании использования различных теоретических моделей отказов. В частности, были использованы три двухпараметрические функции распределения, рекомендуемые [2] в качестве теоретических моделей отказов: логарифмически нормальное (*LN*-распределение), диффузионное монотонное (*DM*-распределение) и диффузионное немонотонное (*DN*-распределение) распределения. Целью настоящей работы является оценка методических погрешностей прогнозирования МТТФ на основе однопараметрического экспоненциального распределения по сравнению с оценками на основе более адекватных двухпараметрических теоретических распределений.

2. Определение средней наработки до отказа элементов МТТФ по справочному значению интенсивности отказов этого элемента, соответствующей определенной наработке

В качестве исходных данных принимаются следующие значения:

- 1) $t_H = 20000$ ч; $\lambda_{t_H} = 10^{-7}$ 1/ч; 2) $t_H = 20000$ ч; $\lambda_{t_H} = 10^{-8}$ 1/ч;
- 3) $t_H = 20000$ ч; $\lambda_{t_H} = 10^{-9}$ 1/ч; 4) $t_H = 30000$ ч; $\lambda_{t_H} = 10^{-7}$ 1/ч;
- 5) $t_H = 30000$ ч; $\lambda_{t_H} = 10^{-8}$ 1/ч; 6) $t_H = 30000$ ч; $\lambda_{t_H} = 10^{-9}$ 1/ч.

Экспоненциальное распределение (E)

Как известно, при использовании однопараметрического экспоненциального распределения значение $MTTF = T_0 = \frac{1}{\lambda_{t_H}}$. Вычисленные значения МТТФ для принятых исходных данных при экспоненциальном распределении (E) приведены в табл. 1. Заметим, что при использовании экспоненциального распределения коэффициент вариации наработки всегда равен единице.

LN-распределение

Если принимается гипотеза о том, что распределение наработки до отказа ИЭТ описывается *LN*-распределением, то интенсивность отказов имеет следующее выражение:

$$\lambda_{t_H} = \frac{\exp\left[-\frac{\{\ln t_H - \ln T_0 + 0,5 \cdot \ln(v^2 + 1)\}^2}{2 \ln(v^2 + 1)}\right]}{t_H \sqrt{2\pi \ln(v^2 + 1)} \cdot \Phi\left(\frac{\ln T_0 - 0,5 \cdot \ln(v^2 + 1) - \ln t_H}{\sqrt{\ln(v^2 + 1)}}\right)}$$

Подставляя в последнее соотношение принятые исходные данные (λ_{t_n}, t_n) , решают его относительно T_0 . Значения средней наработки до отказа, вычисленные для принятых значений коэффициентов вариации наработки $\nu = 1$ и $\nu = 0,75$, приведены в табл. 1.

DM-распределение

Если принимается гипотеза о том, что распределение наработки до отказа ИЭТ описывается DM -распределением, то интенсивность отказов имеет следующее выражение:

$$\lambda_{t_n} = \frac{[T_0 + t_n(1 + 0,5\nu^2)] \cdot \exp\left[-\frac{\{T_0 - t_n(1 + 0,5\nu^2)\}}{2\nu^2 T_0 t_n(1 + 0,5\nu^2)}\right]}{2\nu t_n \sqrt{2\pi T_0 t_n(1 + 0,5\nu^2)} \cdot \Phi\left(\frac{T_0 - t_n(1 + 0,5\nu^2)}{\nu \sqrt{T_0 t_n(1 + 0,5\nu^2)}}\right)}$$

Подставляя в последнее соотношение принятые исходные данные (λ_{t_n}, t_n) и решая его относительно T_0 , определяют прогнозируемые значения МТТФ. Вычисленные значения средней наработки до отказа для коэффициентов вариации наработки $\nu = 1$ и $\nu = 0,75$ приведены в табл. 1.

DN-распределение

Интенсивность отказов, если принять в качестве теоретической модели распределения наработки до отказа ИЭТ DN -распределение, имеет следующее выражение:

$$\lambda_{t_n} = \frac{\sqrt{T_0} \exp\left[-\frac{(T_0 - t_n)^2}{2\nu^2 T_0 t_n}\right]}{\nu t_n \sqrt{2\pi t_n} \cdot \left[\Phi\left(\frac{T_0 - t_n}{\nu \sqrt{T_0 t_n}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu^2}\right) \Phi\left(-\frac{T_0 + t_n}{\nu \sqrt{T_0 t_n}}\right) \right]}$$

Аналогично предыдущему подставляем в последнее соотношение принятые исходные данные (λ_{t_n}, t_n) и, решая его относительно T_0 , определяют прогнозируемые значения МТТФ. Вычисленные значения средней наработки до отказа для коэффициентов вариации наработки $\nu = 1$ и $\nu = 0,75$ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Прогнозируемые значения МТТФ

| Исходные данные | | МТТФ, лет | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | E | | LN | | DM | | DN |
| t_n , час | λ_{t_n} , 1/час | $\nu = 1$ | $\nu = 1$ | $\nu = 0,75$ | $\nu = 1$ | $\nu = 0,75$ | $\nu = 1$ | $\nu = 0,75$ |
| 20000 | 10^{-7} | 1000 | 44 | 23 | 41 | 22 | 30 | 19 |
| 20000 | 10^{-8} | 10000 | 76 | 36 | 56 | 29 | 40 | 24 |
| 20000 | 10^{-9} | 100000 | 115 | 52 | 71 | 36 | 50 | 29 |
| | 10^{-7} | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-------|-----------|--------|-----|----|-----|----|----|----|
| 30000 | 10^{-8} | 1000 | 60 | 33 | 58 | 32 | 43 | 27 |
| 30000 | 10^{-9} | 10000 | 100 | 50 | 80 | 42 | 58 | 35 |
| 30000 | | 100000 | 165 | 73 | 103 | 52 | 72 | 43 |

Ниже, в табл. 2, приведены сравнительные оценки прогнозируемых значений МТТФ. В соответствующих столбцах приведены отношения типа $MTTF(E)/MTTF(LN)$, то есть прогнозируемое значение МТТФ по экспоненциальному распределению к прогнозируемому значению МТТФ на основе других распределений.

Таблица 2. Сравнительный анализ прогнозируемых значений МТТФ

| Исходные данные | | E | $\frac{MTTF(E)}{MTTF(LN)}$ | | $\frac{MTTF(E)}{MTTF(DM)}$ | | $\frac{MTTF(E)}{MTTF(DN)}$ | |
|-----------------|----------------------------|--------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| t_n , час | λ_{t_n} , 1/час | | $\nu = 1$ | $\nu = 0,75$ | $\nu = 1$ | $\nu = 0,75$ | $\nu = 1$ | $\nu = 0,75$ |
| 20000 | 10^{-7} | 1000 | 22 | 43 | 24 | 48 | 33 | 53 |
| | 10^{-8} | 10000 | 132 | 278 | 178 | 345 | 250 | 417 |
| | 10^{-9} | 100000 | 870 | 1923 | 1408 | 2778 | 2000 | 3448 |
| 30000 | 10^{-7} | 1000 | 17 | 30 | 17 | 31 | 23 | 37 |
| | 10^{-8} | 10000 | 100 | 200 | 125 | 238 | 172 | 286 |
| | 10^{-9} | 100000 | 606 | 1370 | 970 | 1923 | 1390 | 2326 |

3. Выводы

Как вытекает из приведенных расчетов, при экспериментальной интенсивности отказов $\lambda = 10^{-7} \dots 10^{-9}$ прогнозируемые значения МТТФ на основе экспоненциального распределения превышают соответствующие прогнозы на основе более адекватных двухпараметрических моделей отказов в 50...1500 и более раз. При этом расхождение увеличивается при меньших наработках t_n , то есть чем глубже прогноз, тем больше завышение прогнозируемой величины МТТФ на основе экспоненциального распределения. Таким образом, приведенные результаты еще раз свидетельствуют о том, что существующий прогноз ресурса ИЭТ на основе экспоненциального распределения на несколько порядков завышает значение МТТФ ИЭТ. В дальнейшем, с уменьшением измеряемой интенсивности ($10^{-10} \dots 10^{-11}$), это расхождение будет еще больше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М.: Советское радио, 1962. – 252 с.
2. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – К.: Изд-во стандартов, 1999. – 43 с.