

Недостатки отечественных расчетно-экспериментальных методик прогнозирования надежности интегральных схем

А.В. Соловьев, А.В. Селецкий

АО «НИИМЭ», г. Москва,

andsolovev@niime.ru

Аннотация — В статье рассмотрены отечественные методики прогнозирования надежности интегральных схем. Выявлены основные недостатки методик. Показано, что имеющиеся методики устарели и требуют обновления исходных (базовых) данных для расчета таких показателей надежности, как интенсивность отказов. Предложен подход по обновлению конструктивных исходных данных РД 11 0755 на основе зарубежных стандартов надежности.

Ключевые слова — надежность ЭРИ, интенсивность отказов, наработка до отказа, РД 11 0755-90, MIL-HDBK-217F, FIDES.

I. ВВЕДЕНИЕ

Оценка показателей надежности электрорадиоизделий (ЭРИ) является обязательной процедурой, выполняемой на этапе проектирования аппаратуры. В качестве основных показателей надежности используется гамма-процентная наработка до отказа (T_γ) или интенсивность отказов (λ). Интенсивность отказов — это отношение числа отказавших объектов (образцов аппаратуры, изделий, деталей, механизмов, устройств, узлов и т. п.) в единицу времени к среднему числу объектов, исправно работающих в данный отрезок времени при условии, что отказавшие объекты не восстанавливаются и не заменяются исправными. Гамма-процентная наработка до отказа T_γ определяется как наработка, в течение которой отказ прибора не возникает с вероятностью γ , выраженной в процентах [1]. Согласно ОСТ В 11 0998-99 для интегральных схем (ИС) также используется параметр минимальная наработка до отказа - наработка, в течение которой гарантируется отсутствие отказов.

На сегодняшний день в РФ имеется три отечественных документа определяющих механизм расчета надежности. Это справочники «Надежность ЭРИ» и «Надежность ЭРИ ИП» и метод по РД 11 0755-90. Существует также ряд иностранных стандартов - MIL HDBK 217F, RIAC-HDBK-217Plus, IEC TR 62380, FIDES guide 2009 Edition A. Самыми современными стандартами можно считать RIAC-HDBK-217Plus (2015 год) и FIDES (2010 год), в то время как MIL HDBK 217F и РД 11 0755-90 не обновлялись с 90-х годов прошлого века. Иногда отечественные производители могут использовать зарубежные стандарты прогнозирования надежности, однако для микросхем с приемкой «ВП» их применение, как правило, запрещено.

II. ТРЕБОВАНИЯ К НАДЕЖНОСТИ

В соответствии с ГОСТ РВ 20.39.413-97 для изделий непрерывного (или с перерывами) длительного функционирования в качестве критерия безотказности указывается интенсивность отказов или гамма-процентный срок наработки до отказа. Если в качестве показателя безотказности установлено T_γ , то переход интенсивности λ производится по формуле ГОСТ РВ 20.57.414-97:

$$\lambda = -\frac{\ln(\gamma/100)}{T_\gamma}. \quad (1)$$

Уровень надежности современных ИС достаточно высок, так, например, наработка до отказа для микросхем категории качества «ВП» при температуре окружающей среды (температуре эксплуатации) не более 65°C составляет не менее 100 000 часов. При этом требования по уровню интенсивности отказов составляют, как правило, $\lambda=10^{-7} \dots 10^{-9}$ 1/ч.

В зарубежной литературе интенсивность отказов измеряется в единицах, именуемых FIT (Failure In Time), 1 FIT = 10^{-9} 1/ч. На сайте фирмы «XILINX» приведены данные по надежности ИС выполненных по различным технологиям. Так, например, интенсивность отказов для технологии 0,18 мкм составляет 11-14 FIT, а для технологии 0,09 мкм – 2-3 FIT [2].

III. МЕТОДИКА СПРАВОЧНИКОВ «НАДЕЖНОСТЬ ЭРИ» И «НАДЕЖНОСТЬ ЭРИ ИП»

В справочнике «Надежность ЭРИ» [3] модели расчета эксплуатационной интенсивности отказов распространяются на период постоянства интенсивности отказов во времени. Математическая модель для расчета эксплуатационной интенсивности отказов (λ) отдельных групп (типоминалов) интегральных схем приведена в таблице 1.

Модель (а), а также значения базовой интенсивности отказов группы интегральных микросхем ($\lambda_{б.с.г}$) используются при расчете λ всех типоминалов интегральных микросхем. Модель (б) используется при расчете λ тех типоминалов интегральных микросхем, которые приведены в таблице 5 справочника «Надежность ЭРИ» [3].

Таблица 1

Математические модели для расчета эксплуатационной интенсивности отказов

Группа изделий	Вид математической модели
Для полупроводниковых интегральных микросхем (логические, арифметические, микропроцессоры и микропроцессорные комплекты, программируемые логические матрицы, регистры сдвига, базовые матричные кристаллы и др.)	$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б.с.г.}} \cdot K_{\text{с.т.}} \cdot K_{\text{корп.}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{пр.}}$ (а) или $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б.}} \cdot K_{\text{с.т.}} \cdot K_{\text{корп.}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{пр.}}$ (б)
Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ)	
Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ, ППЗУ РПЗУ)	
Микросхемы интегральные полупроводниковые аналоговые	
Микросхемы интегральные гибридные	

Очевидно, что использование лб.с.г. вместо лб не только снижает точность расчетной оценки интенсивности отказов, но и требует дополнительно идентифицировать тип ЭРИ в соответствии с классификацией того или иного стандарта, чтобы выбрать требуемую математическую модель интенсивности отказов.

Для разрабатываемых полупроводниковых ИС формула для расчета интенсивности отказов следующая:

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б.с.г.}} \cdot K_{\text{с.т.}} \cdot K_{\text{корп.}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{пр.}}, \quad (2)$$

где: $\lambda_{\text{б.с.г.}}$ – базовая интенсивность отказов группы ЭРИ;

$K_{\text{с.т.}}$ – коэффициент режима, в зависимости от сложности ИС и температуры окружающей среды, t – температура окружающей среды (температура эксплуатации), °С;

$K_{\text{корп.}}$ – коэффициент модели в зависимости от типа корпуса ИС;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент в зависимости от максимальных значений напряжения питания;

$K_{\text{Э}}$ – коэффициент жесткости условий эксплуатации для интегральных микросхем;

$K_{\text{пр.}}$ – коэффициент приемки.

Значения коэффициента $K_{\text{с.т.}}$ рассчитываются по модели:

$$K_{\text{с.т.}} = A \cdot e^{B \cdot (t+273)}, \quad (3)$$

где: А и В – постоянные коэффициенты по модели.

Математические модели, приведенные в справочнике «Надежность ЭРИ ИП» [4], аналогичны методам стандарта MIL-HDBR-217F. Для цифровых и аналоговых интегральных схем формула расчета $\lambda_{\text{Э}}$ следующая:

$$\lambda_{\text{Э}} = (\lambda_{\text{кр.}} \cdot K_t + \lambda_{\text{корп.}} \cdot K_{\text{Э}}) \cdot K_{\text{пр.}}$$

где: $\lambda_{\text{кр.}}$ – интенсивность отказа кристалла зависящая от сложности ИС;

$K_{\text{корп.}}$ – коэффициент модели в зависимости от типа корпуса ИС;

$K_{\text{Э}}$ – коэффициент жесткости условий эксплуатации для интегральных микросхем;

$K_{\text{пр.}}$ – коэффициент приемки;

K_t – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды при эксплуатации и рассчитываемый по формуле:

$$K_t = 0,1 \cdot \exp \left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{(T_j + 273)} - \frac{1}{298} \right) \right], \quad (4)$$

где: E_a – энергия активации; $k=8,6 \cdot 10^{-5}$ эВ/К – постоянная Больцмана; T_j – температура кристалла ИС при эксплуатации.

Общим свойством моделей справочников «Надежность ЭРИ» и «Надежность ЭРИ ИП» является то, что они позволяют рассчитать $\lambda_{\text{Э}}$ периода «нормальной работы» в предположении, что справедлива экспоненциальная модель отказов [5].

Для примера рассчитаем интенсивность отказов абстрактной интегральной схемы, выполненной по КМОП–технологии 0,18 мкм, в металлокерамическом 256 выводном корпусе. Схема условно имеет VIII степень интеграции (до 100 000 000 элементов). Для расчета параметров надежности используются следующие коэффициенты:

- $\lambda_{\text{б.с.г.}}=2,3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч;
- $K_{\text{с.т.}}=23,10$ (при $T_{\text{экспл.}}=65$ °С);
- $K_{\text{корп.}}=1$ (метало-керамический корпус);
- $K_{\text{в}}=1$ (напряжение питания до 10 вольт);
- $K_{\text{Э}}=1$ (согласно ГОСТ РВ 20.38.304-98);
- $K_{\text{пр.}}=1$ (приемка «ВП»).

Интенсивность отказов при температуре 65 °С (температура эксплуатации) составляет $5,3 \cdot 10^{-7}$ 1/ч, стоит отметить, что дальнейшее увеличение степени интеграции или количества выводов схемы не влияет на значение интенсивности отказов, так как выбраны максимальные из предложенных коэффициенты, а использование аппроксимации невозможно из-за того,

что заданы диапазоны количества элементов и виды корпусов без учета количества выводов.

Для расчета интенсивности отказов цифровой интегральной схемы VIII степени интеграции в герметичном 256 выводном корпусе по модели справочника «Надежность ЭРИ ИП» используются следующие значения коэффициентов:

- $\lambda_{кр.} = 2,9 \times 10^{-7}$ 1/ч;
- $\lambda_{корп.} = 2,8 \times 10^{-10} \times N_p^{1.08} = 1.1 \times 10^{-7}$ 1/ч;
- $K_t = 0.48$ (при $T_{экспл.} = 65$ °C);
- $K_3 = 0,5$ (согласно ГОСТ РВ 20.38.304-98);
- $K_{пр.} = 1,0$ (Класс В, приемка «ВП»).

Интенсивность отказов составляет $2,0 \times 10^{-7}$ 1/ч и дальнейшее усложнение схемы не влияет на значение интенсивности отказов. Согласно стандарту MIL-HDBK-217F [6] для более сложных ИС используется альтернативная модель расчета надежности, однако в справочнике «Надежность ЭРИ ИП» она не применяется.

IV. МЕТОДИКА РД 11 0755-90

В настоящее время для прогнозирования минимальной наработки микросхем на этапе их разработки рекомендован расчетный метод 5-1 РД 11 0755-90 (Расчетный метод прогнозирования минимальной наработки и интенсивности отказов) [7]. Используемая для расчета формула базируется на модели интенсивности отказов ранних редакций справочника Министерства обороны США MIL-HDBK-217, датированных началом 1970-х годов. В настоящее время MIL-HDBK-217 существенно отредактирован на основе накопленного опыта эксплуатации микросхем в вооружении и военной технике США [5].

Расчетно-экспериментальный метод РД 11 0755-90 производит расчет интенсивности отказов с учетом следующих компонентов:

- корпуса;
- соединения кристалла с основанием корпуса;
- количества сварных соединений;
- межэлементных соединений (металлизации);
- элементов кристалла (транзисторов, конденсаторов, резисторов, диодов);
- прочее.

Интенсивность отказов $\lambda_{ИС}$ (1/ч) при температуре окружающей среды $T_{OC} = +25$ °C микросхем рассчитывают по следующим формулам:

$$\lambda_{ИС} = K_{II} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2), \quad (5)$$

$$\lambda_1 = \lambda_K + \alpha_{KP} \cdot \lambda_{KP} + n \cdot \alpha_{TKC} \cdot \lambda_{TKC}, \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \beta \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r \lambda_{эл ij} \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^l \lambda_m \cdot s_{mi} \cdot \gamma_i(\alpha_i) + \lambda_{np}, \quad (7)$$

где: K_{II} – коэффициент вида приёмки, характеризующий систему отбраковочных испытаний;

λ_1 – интенсивность отказов, 1/ч, I группы базовых элементов (конструктивных);

λ_2 – интенсивность отказов, 1/ч, II группы базовых элементов (элементов кристалла и межэлементных соединений);

λ_K – интенсивность отказов корпуса, 1/ч;

λ_{KP} – интенсивность отказов соединения кристалла с основанием корпуса, 1/ч;

α_{KP} – коэффициент, зависящий от площади кристалла разрабатываемой ИС, измеренной в мм²;

λ_{TKC} – интенсивность отказов сварного соединения "контактная площадка на кристалле – траверса корпуса", 1/ч;

α_{TKC} – коэффициент, характеризующий конструктивные различия сварных соединений разрабатываемой ИС и аналога;

n – количество сварных соединений в разрабатываемой микросхеме;

β – коэффициент, характеризующий качество подзатворного диэлектрика;

k – количество групп элементов ИС, находящихся в одинаковых электрических режимах;

r – количество элементов в каждой из k групп;

α_i – коэффициент режима, учитывающий влияние электрического режима и температуры на элемент i -той группы;

λ_m – интенсивность отказов металлизации единичной площади, 1/ч;

l – количество разнонагруженных участков металлизации;

S_{mj} – площадь одинаково нагруженных (по току и температуре) участков металлизации разрабатываемой ИС, мм²;

$\lambda_{эл ij}$ – интенсивность отказов элемента ИС, 1/ч;

$\gamma_i(\alpha_i)$ – коэффициент, учитывающий влияние электрического режима и температуры на надёжность металлизации;

$\lambda_{пр}$ – интенсивность отказов прочих элементов кристалла, 1/ч.

Для оценки количественных показателей надёжности микросхем при повышенных температурах используются значения коэффициентов ускорения (старения) $K_T = f(T)$ базовых элементов конструкции, вычисленные по формуле Аррениуса.

$$K_T = \exp \left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{(T_{ni} + 273)} - \frac{1}{(T_{yi} + 273)} \right) \right], \quad (8)$$

где: E_a – энергия активации (в зависимости от доминирующих механизмов старения i -того базового элемента конструкции микросхемы);

T_{ni} – абсолютная температура i -того базового элемента конструкции микросхемы при нормальной температуре окружающей среды $+25^\circ\text{C}$;

T_{yi} – абсолютная температура i -того базового элемента конструкции микросхемы при повышенной температуре;

$k = 8,6 \cdot 10^{-5}$ эВ/К – постоянная Больцмана.

Стоит отметить, что справочник не обновлялся с 1990-х годов XX века и, следовательно, имеет данные только для интегральных схем VI степени интеграции и корпусов до 48 выводов. Необходимые данные для расчета интенсивности отказов современных ИС получены путем аппроксимации имеющихся данных.

Итоговая интенсивность отказов при температуре эксплуатации 65°C составляет $1,1 \times 10^{-7}$ 1/ч. Интенсивность отказов компонентов интегральной схемы приведена в таблице 2. Рассматриваемая схема имеет VIII степень интеграции и выполнена в герметичном 256-выводном корпусе.

Таблица 2

Справочные данные для расчета надежности разрабатываемых ИС и результаты расчета при температуре эксплуатации

	Базовое значения, λ_0 , 1/ч	Значения λ , 1/ч при $T_{\text{экспл.}}=65^\circ\text{C}$
Корпус	$2,3 \times 10^{-8}$	$1,8 \times 10^{-8}$
Соединение Кристалл-Основание (клей)	$1,0 \times 10^{-9}$	$9,5 \times 10^{-9}$
Сварное соединение КП-траверса (Al-Al)	$1,5 \times 10^{-10} \times n$	$3,1 \times 10^{-8}$
Металлизация и элементы кристалла (МОП-транзисторы)	$1,4 \times 10^{-15}$	$4,88 \times 10^{-8}$
Итоговое значение $\lambda_{\text{ИС}}$, 1/ч	—	$1,1 \times 10^{-7}$
Примечание: значения λ при $T_{\text{экспл.}}=65^\circ\text{C}$ получены с учетом коэффициентов K_p , α , β и др.		

V. КОРРЕКТИРОВКА РАСЧЕТНОГО МЕТОДА РД 11 0755-90

Как видно из таблицы 2 основной вклад дают конструктивные элементы ИС (сварное соединение, корпус, соединение кристалла с основанием корпуса). Как уже отмечалось выше, в РД 11 0755-90 приведены данные только для 48 выводного корпуса, а в данном расчете используется корпус с 256 выводами, и имеющихся данных недостаточно для корректного

прогнозирования $\lambda_{\text{корпуса}}$. На рис. 1 и 2 приведены графики аппроксимации данных базовой интенсивности отказов корпусов ИС и степени интеграции МОП-транзисторов. Для герметичных корпусов применяется логарифмическая аппроксимация базовой интенсивности отказов.

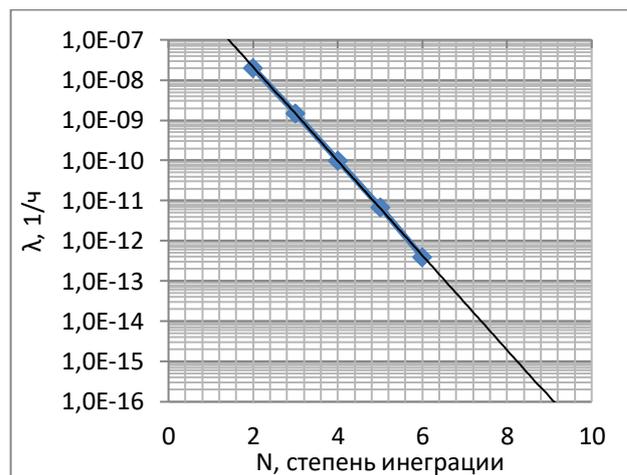
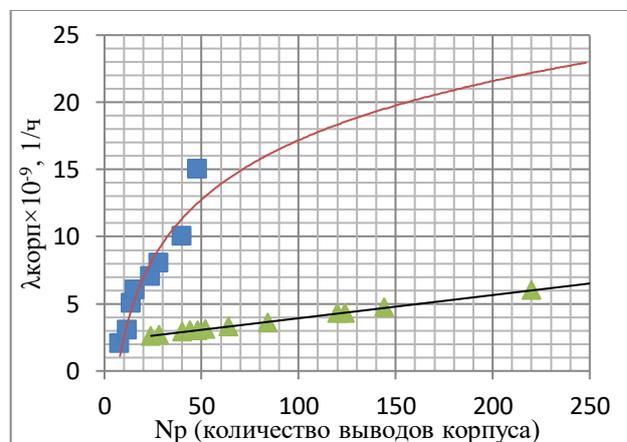


Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов МОП-транзисторов от степени интеграции



■ – значения базовой λ_0 корп. по РД 11 0755-90
▲ – значения базовой λ_0 корп. по MIL-HDBK-217F

Рис. 2. Зависимость интенсивности отказов корпуса от количества выводов

A. Использование данных MIL-HDBK-217F

Предполагается использовать исходные данные других стандартов, которые обрабатывают большую статистику данных. Так, например, в стандарте MIL-HDBK-217F [6] имеются данные для базовой интенсивности отказов корпусов ИС до 240 выводов, также имеется формула для дальнейшей аппроксимации данных:

$$\lambda_{\text{корп}} = 2,2 + 0,0172 \cdot N_p, \quad (9)$$

где: N_p – количество выводов корпуса.

Для сварного соединения выводов кристалла с корпусом в стандарте MIL-HDBK-217F [6] имеется

базовая интенсивность отказов на порядок лучше аналогичной, приведенной в методе РД 11 0755-90. Значение в РД 11 0755-90 составляет $\lambda_0=1,5 \times 10^{-9}$ 1/ч, против значения $\lambda_0=1,5 \times 10^{-10}$ 1/ч в стандарте MIL-HDBK-217F. Аналогичные данные использованы в справочнике «Надежность ЭРИ ИП».

С использованием исходных (базовых) данных стандарта MIL-HDBK-217F интенсивность отказов конструктивных элементов интегральной схемы составляет $5,9 \times 10^{-8}$ 1/ч, что в 3 раза лучше значения полученного с использованием аппроксимации данных РД 11 0755-90. Итоговая интенсивность отказов ИС составляет $6,7 \times 10^{-8}$ 1/ч.

В. Использование данных FIDES guide 2009 Edition A

Стандарт FIDES guide 2009 [8] определяет не только количество выводов корпуса и степень герметизации корпуса, но также определяет тип исследуемого корпуса. Одним из популярных типов корпусов является корпус типа CQFP (Ceramic Quad Flat Pack). Базовые значения интенсивности отказов приведены в таблице 3. Для определения точного значения лямбда в зависимости от количества выводов рассчитывается по формуле

$$\lambda_{0_stress} = e^{-A} \cdot N_p^B, \quad (10)$$

где: А и В – постоянные коэффициенты по модели.

Стандарт FIDES guide 2009 Edition A [8] рассматривает следующие механизмы отказов: влажность – λ_{0PH} , отказы корпуса – $\lambda_{0TCyCase}$, количество соединений (выводов) корпуса – $\lambda_{0TCySolderjoints}$, механическое воздействие – $\lambda_{0mechanical}$.

Таблица 3

Значение базовой интенсивности отказов для CQFP-корпуса

Тип корпуса	N_p	λ_{0PH}		$\lambda_{0TCyCase}$	$\lambda_{0TCySolderjoints}$	$\lambda_{0mechanical}$
CQFP. Cerquad	64 -	0	A	12.41	10.80	14.02
	132		B	1.46	1.46	1.46
	>132		A		9.19	12.41
	- 256		B		1.46	1.46

Рассмотрим два способа использования значений стандарта FIDES для расчета интенсивности отказов по РД 11 0755-90:

- использование базовых значений для корпуса и сварных соединений в расчете конструктивной составляющей $\lambda_{ис}$;
- расчет конструктивной составляющей интенсивности отказов только с использованием данных стандарта FIDES, при этом формула расчета следующая:

$$\lambda_1 = \lambda_{0PH} + \lambda_{0TCyCase} + \lambda_{0TCySolderjoints} + \lambda_{0mechanical} \quad (10)$$

В первом случае конструктивная составляющая $\lambda_1=9,8 \times 10^{-9}$ 1/ч, а во втором случае – $3,2 \times 10^{-10}$ 1/ч.

VI. РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 4 представлена сводная таблица методик использования данных зарубежных стандартов при расчете интенсивности отказов при температуре эксплуатации по методу 5-1 РД 11 0755-90.

Таблица 4

Итоговые значения интенсивности отказов ИС, рассчитанные по РД 11 0755-90 с учетом зарубежных данных

	Данные РД 0755-90	Данные MIL-HDBK-217F	Данные FIDES Guide 2009*	Данные FIDES Guide 2009**
Значения λ при $T_{экс.пл.}=65$ °С				
λ_1 , 1/ч	$5,9 \times 10^{-8}$	$1,8 \times 10^{-8}$	$9,8 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-10}$
λ_2 , 1/ч	$4,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$
$\lambda_{ис}$, 1/ч	$1,1 \times 10^{-7}$	$6,7 \times 10^{-8}$	$5,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$
Примечания: * использование способа 1 ** использование способа 2				

Использование при расчете параметров надежности стандарта MIL-HDBK-217F дает более лучшие значения интенсивности отказов при эксплуатации и приближает оцениваемые параметры к реальным данным [2]. Использование стандарта FIDES guide 2009 Edition A также улучшает прогноз надежности, однако может потребовать корректировки исходных формул методики РД 11 0755-90.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод, используемый в РД 11 0755-90, оперирует большим количеством параметров в сравнении с другими отечественными справочниками, что позволяет более точно оценить интенсивность отказов ИС расчетно-экспериментальным методом. Однако многие данные требуют обновления и корректировки. Одним из способов повышения точности оценки надежности может быть использование базовых значений из зарубежных стандартов надежности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП транзисторов. Издание 2-е, исправленное. Москва: Техносфера, 2011. 800 с.
- [2] Device Reliability Report First Half 2019 UG116 (v10.11) September 18, 2019 <https://www.xilinx.com/>
- [3] Надежность ЭРИ. справочник // М.: МО РФ. 2006.
- [4] Надежность ЭРИ ИП. справочник // М.: МО РФ. 2006.

- [5] Жаднов В. В. Сравнительный анализ методов оценки надежности полупроводниковых интегральных микросхем // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2013. № 16.
- [6] MIL-HDBK-217F: Reliability prediction of electronic equipment. (Notice 2) / Department of defense – 28 February 1995. 150 с.
- [7] Микросхемы интегральные. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность РД 11 0755-90 / Микросхемы интегральные: Отраслевой руководящий документ. М., 1990. 91 с.
- [8] FIDES guide 2009 Edition A Reliability Methodology for Electronic Systems. September 2010. 465 с.

Disadvantages of Domestic Analytical-Experimental Methods Prediction of Integrated Circuits Reliability

A.V. Seletskiy, A.V. Solovev

Molecular Electronics Research Institute (JSC MERI), Moscow

aseletskiy@niime.ru, andsolovev@niime.ru

Abstract — Prediction of the electronic products reliability is a mandatory procedure performed at the development stage. Failure Rate (λ) and Mean time between failures (MTBF) is the main indicators of reliability. Nowadays, in the Russian Federation three domestic methods for calculating reliability are used. The first two of them are the manuals “Reliability of electronic products” and “Reliability of electronic products of foreign manufacture”, the third is the guiding document RD 11 0755-90. Sometimes also some foreign standards - MIL HDBK 217F, RIAC-HDBK-217Plus, IEC TR 62380, FIDES guide 2009 Edition A are used. The most modern standards are RIAC-HDBK-217Plus and FIDES, while MIL HDBK 217F and RD 11 0755 -90 have not been updated since the 90s of the last century. However, for Russian military microcircuits a usage of the foreign standards is undesirable. The reliability of modern ICs is quite high and is estimated by the failure rate around $\lambda = 100 \dots 1$ FIT. The site of the company XILINX provides data on the reliability of IP for various technologies. For example, the failure rate for the 0.18-micron technology is 11-14 FIT, and for the 0.09-micron technology it is 2-3 FIT. Using MIL-HDBK-217F standard when calculating the basic values of the failure rate of the package and welded joints improves the values of the failure rate during operation and brings the estimated values closer to real data. The failure rate of the structural elements of the integrated circuit is 59 FIT, which is 3 times better than the value obtained using the approximation of the RD 11 0755-90 data. The total failure rate of the IS is 67 FIT. Using the FIDES guide 2009 Edition a standard also improves prediction of the reliability. However, it may require adjusting the initial formulas of the RD 11 0755-90 methodology. Two methods of using the values of the FIDES guide 2009 Edition A standard for calculating the failure rate according to RD 11 0755-90 - using the basic values for the package and welded joints in the calculation of the structural component of λ_{IS} and calculation of the structural component of the failure rate only using data from the FIDES standard have been considered. In the first case, the structural component is $\lambda_1 = 9.8$ FIT, and in the second case, $\lambda_1 = 0.32$ FIT. The method used in RD 11 0755-90 operates with a large number of parameters in comparison with other domestic

directories, which allows a more accurate estimation of the failure rate of ICs by the calculation and experimental method. However, many data require updating and adjustment. One of the ways to increasing the accuracy of reliability assessment can be to use basic values from foreign standards of reliability.

Keywords — integrated circuit reliability, Failure Rate, Mean time between failures, MTBF, РД 11 0755-90, MIL-HDBK-217F, FIDES.

REFERENCES

- [1] Krasnikov G. YA. Konstruktivno-tehnologicheskie osobennosti submikronnyh MOP tranzistorov (Design and technological features of submicron MOS transistors.). Izdanie 2-e, ispravlennoe. Moskva: Tekhnosfera, 2011. 800 s. (In Russian).
- [2] Device Reliability Report First Half 2019 UG116 (v10.11) September 18, 2019 <https://www.xilinx.com/>
- [3] Nadezhnost' ERI. Spravochnik (Reliability of electronic products) // M.: MO RF. 2006. (In Russian).
- [4] Nadezhnost' ERI IP. Spravochnik (Reliability of electronic products of foreign manufacture) // M.: MO RF. 2006. (In Russian).
- [5] ZHаднов В. В. Sravnitel'nyj analiz metodov ocenki nadezhnosti poluprovodnikovyh integral'nyh mikroskhem (Comparative analysis of methods for assessing the reliability of semiconductor integrated circuits) // Noveye informacionnye tekhnologii v avtomatizirovannyh sistemah. 2013. № 16. (In Russian).
- [6] MIL-HDBK-217F: Reliability prediction of electronic equipment. (Notice 2) / Department of defense – 28 February 1995.
- [7] Mikroskhemy integral'nye. Metody uskorenyh ispytaniy na bezotkaznost' i dolgovechnost' RD 11 0755-90 (Integrated circuits. Methods of Accelerated Testing for Reliability and Durability RD 11 0755-90) / Mikroskhemy integral'nye: Otrasevoj rukovodyashchij dokument. M., 1990. 91 s. (In Russian).
- [8] FIDES guide 2009 Edition A Reliability Methodology for Electronic Systems. September 2010. 465 с.