

УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

М.Н. Ушкар

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Радиотехнические устройства, установленные на борту ракет-носителей и космических аппаратов, работают в очень жестких условиях. Требования к надежности таких устройств постоянно возрастают. Наиболее достоверные и полные показатели надежности обычно получают по результатам эксплуатации аппаратуры. Однако, во многих случаях требуется их получить оперативно.

Так, при разработке ИМС на основе новых технологических принципов, естественно, достоверной информации о надежности ее элементов из сферы эксплуатации нет. По-видимому, для изучения основных характеристик новых технологических процессов (воспроизводимости параметров элементов, совместимости материалов, разрешающей способности и т. д.) и количественных показателей надежности элементов разработке ИМС и микроэлектронной аппаратуры (МЭА) должен предшествовать этап наладки технологического процесса. На этом этапе одним из средств получения информации о количественных показателях надежности элементов ИМС и тестовых структур и их сравнительной оценки могут быть ускоренные испытания. Решение указанных задач связано с полнотой представления физических процессов, связанных с необратимыми процессами, стимулирующими развитие отказов, достаточностью статистических данных и надежностью испытательного оборудования [1].

При разработке программ ускоренных испытаний первостепенной задачей является глубокое изучение физико-химических процессов, происходящих в элементах ИМС и МЭА как при их формировании, так и под действием внешних факторов и эксплуатационных нагрузок, приводящих к отказу, и на базе полученной информации выбор форсированных режимов, приводящих к ускорению основных процессов

старения, но не вызывающих развитие дополнительных механизмов отказов. Однако построению точной физической модели препятствует ограниченность наших знаний о процессах, протекающих в элементах ИМС и МЭА [2].

При рассмотрении физических процессов, определяющих отказы ИМС, встают две проблемы: повышение надежности и количественная и сравнительная оценки надежности. Для решения этих задач должны быть выявлены качественные и количественные процессы, обусловленные нарушениями технологии и которые нельзя обнаружить существующей системой контроля; дано объяснение на атомном или субатомном уровнях механизмов, деградиационным процессам и определены и обоснованы количественные соотношения между деградиационными процессами в элементах ИМС и МЭА и их функциональными параметрами. При решении первой проблемы достигнуты определенные результаты [3], но во второй задаче все попытки получить обобщенное теоретическое объяснение основных механизмов отказов пока не имели успеха [4]. Единственной используемой моделью до сих пор является модель Аррениуса — Эйринга для скорости протекания процесса, которая с определенными ограничениями применяется для описания процессов старения в диэлектриках, резисторах и транзисторах. При воздействии различных факторов, кроме температуры, уравнение Аррениуса—Эйринга имеет вид [4]

$$dp(T, S) / dt = A(kT / h) \exp(-E_a / kT) \exp[f(S)n(T)], \quad (1)$$

где p — измеряемый параметр; E_a — энергия активации процесса старения; T — абсолютная температура; k — постоянная Больцмана; h — постоянная Планка; $f(S)$ — функция параметра нетермической нагрузки $n(T) = C + (d / kt)$; A, C — эмпирические константы.

Модель Аррениуса проста и в основном используется в тех случаях, когда старение элементов происходит под воздействием термической нагрузки и является простым приближением модели Эйринга, которая базируется на физических принципах квантовой механики.

Уравнение Аррениуса широко используется, так как связывает скорость реакции с температурой, а большинство химических реакций происходит под воздействием температуры, поэтому $dM / dt = C \exp(-B / T)$, где dM / dt — скорость реакции; C —

постоянная; T — температура, K ; B — коэффициент, полученный из уравнения $B=qA/k$; где q — заряд электрона, Кл; A — энергия активации.

После ряда преобразований получим

$$1/T = 2.303/qA \lg t + C_2. \quad (2)$$

Уравнение (2) сводится к уравнению прямой линии: $y = mx + C_2$, где $y=1/T$, $x=\lg t$, $m=2,303/B$, откуда $1/T = m \lg t + C_2$.

Поскольку k и q в (2) являются постоянными, наклон линии ускорения зависит от энергии активации A , поэтому по величине A можно сопоставлять, результаты испытаний двух: партий или двух типов приборов. Чем больше значение A , тем меньше, наклон и поэтому больший срок службы изделия. Метод расчета энергии активации заключается в определении тангенса угла наклона линии, полученной путем построения графика $1/T$ в зависимости от $\lg t$.

Уравнение Аррениуса [5] используется и при электрической нагрузке. В этом случае имеем

$$W = a \lg t + 10, \quad (3)$$

где W — мощность рассеивания; a — наклон кривой ускорения; t — время, с.

Уравнение (3) является частным случаем общего уравнения: $f(W) = a \lg t + C$, где $f(W)$ — некоторая функция рассеиваемой мощности.

Если график, построенный на основании уравнения Аррениуса дает прямую линию, то считается, что имеет место истинное ускорение. С увеличением нагрузки может не наблюдаться прямой линии в связи с тем, что механизм изменится. Для таких нелинейных графиков линейная экстраполяция до нормальных условий испытания несправедлива. В этих случаях рассматривают два механизма отказа, если прямая имеет явно выраженный излом, численные значения углов наклона двух отрезков равны энергиям активации двух механизмов отказов. По этим численным значениям судят, какой механизм отказов является доминирующим.

В данной работе была апробирована программа ускоренных испытаний интегральных микросхем 3 степени интеграции, выполненных по биполярной технологии. По результатам испытаний были выявлены основные виды и механизмы отказов. Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции и технологии изготовления данного класса микросхем.

Список использованных источников

1. Кейджян Г.А. Прогнозирование надежности микроэлектронной аппаратуры на основе БИС.-М.: Радио и связь, 1987. 152 с.
2. Синкевич В. Ф., Соловьев В.Н. Физические механизмы деградации полупроводниковых приборов // Зарубежная электронная техника. 1984. Вып. 2 (273). С. 3-46.
3. Кабаков В.И., Коробов А.И. Использование тестовой структуры в технологии изготовления микроэлектронных схем // Электронная промышленность. 1985. №3. Вып. 141. С. 38-40.
4. Тимошенко В.И. Математические методы в теории ускоренных испытаний // Зарубежная радиоэлектроника. 1984. №1. С. 51-57.
5. Нечаев А.М., Рубака Е.А., Синкевич В.Д. Причинно-следственные методы при исследовании надежности мощных транзисторов // Электронная техника. 1981. Сер. 8, вып. 4 (90). С. 16-20.

РОЛЬ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Н.П. Ямпурин

Арзамасский политехнический институт (филиал)
Нижегородского технического университета

Сложность и ответственность задач, решаемых с помощью современных РЭС, предъявляют весьма высокие требования к их надежности. Так, даже не очень сложные РЭС могут содержать до 10^6 элементов. При значении интенсивности отказов элементов $\lambda=10^{-6}$, $1/\lambda$ средняя наработка до отказа T_{cp} (или на отказ T_o для восстанавливаемых систем) такой аппаратуры составляет 1 час, т.е. практически она оказывается неработоспособной.

Наблюдается также тенденция к увеличению технического ресурса t_p с определенными показателями надежности. Как правило, задаваемые вероятности безотказной работы – $P(t_p)=0,9...0,99$ при весьма больших значениях t_p .

Для определения соответствия РЭС таким высоким требованиям надежности необходимо проведение испытаний больших объемов выборок. При этом время испытаний и затраты на них увеличиваются.