

УДК 519.713

КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

И.Ш. НЕВЛЮДОВ, Е.П. ВТОРОВ, Ю.М. РОЗДоловский

Предлагается кинетическая модель развития производственных дефектов электронной техники, которое обусловлено последующим воздействием дестабилизирующих факторов, действующих в случайные моменты времени. Полученные результаты дают возможность оценить время безотказной работы электронной техники.

A kinetic model of developing production defects of electronic facilities with is influenced by the subsequent destabilizing factors operating at random instants of time is suggested. The results obtained make it possible to estimate time of electronic equipment no-failure operation.

Одной из причин отказов электронной техники (ЭТ) является развитие производственных дефектов, которые не всегда обнаруживаются и устраняются своевременно. Разработка моделей развития этих дефектов дает возможность принимать своевременные меры по устранению отказов ЭТ.

В настоящее время предложены модели [1], продолжается их исследование и разработка [2], которые дают возможность описать зависимость параметров ЭТ от времени. Использование этих моделей не позволяет определить время безотказной работы с достаточной точностью, так как не учитывает влияние случайных дестабилизирующих факторов, действующих на ЭТ в процессе ее производства и эксплуатации.

Целью работы является получение расчетных выводов для оценки времени безотказной работы ЭТ. Для этого решается задача создания кинетической модели развития производственных дефектов, являющихся одной из основных причин отказов.

Возникновение постепенных отказов в ЭТ, как правило, является следствием изменения состояния материалов. Эти изменения обусловлены электрическими и химическими процессами, происходящими во время или после изготовления ЭТ, при этом изменяется как бы доля прореагировавшего вещества, которую можно принять в качестве показателя, характеризующего состояние ЭТ. Основанием тому может служить представление о процессе как реакции превращения вещества, из которого состоят материалы ЭТ.

Процесс изменения доли прореагировавшего вещества α при условии, что скорость k реакций пропорциональна доли непрореагировавшего вещества $(1 - \alpha(t))$ на момент времени t , для гомогенного характера реакций может быть отображен с помощью выражения

$$1 - \alpha(t + \Delta t) = [1 - \alpha(t)](1 + k\Delta t). \quad (1)$$

На основании полученного из (1) дифференциального уравнения

$$-\frac{d[1 - \alpha(t)]}{dt} = [1 - \alpha(t)]k \quad (2)$$

кинетика большинства деградационных процессов, протекающих в материалах ЭТ, может быть описана уравнением вида

$$kt = -\ln(1 - \alpha). \quad (3)$$

Очевидно, что чем больше прореагировавшего вещества, из которого состоит ЭТ, тем сильнее его характеристики будут отличаться от номинальных значений. Поэтому доля прореагировавшего вещества может служить мерой ресурса ЭТ, так как по достижении α некоторого критического значения $\alpha_{кр}$ параметры элемента выйдут за пределы поля допуска и произойдет отказ. Время $t_{кр}$, когда α принимает критическое значение, и будет являться моментом отказа. Таким образом, если предположить, что в ЭТ происходит непрерывно кинетический процесс начиная с момента включения элемента в работу, то время работы такого элемента до отказа определится из (3) следующим образом:

$$t_{кр} = -\frac{\ln(1 - \alpha_{кр})}{k}. \quad (4)$$

В реальных условиях дестабилизирующие факторы, вызывающие различные реакции, действуют не непрерывно, а через некоторые случайные промежутки времени. Кроме того, возможно действие различных по своей природе факторов, которые вызывают различные химические реакции, приводящие к разрушению (изменению физико-химических свойств) ЭТ.

Рассмотрим процесс случайного воздействия дестабилизирующего фактора (рис. 1).

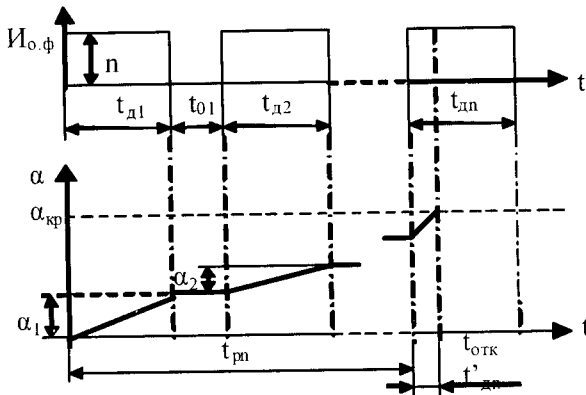


Рис. 1. Диаграммы воздействия дестабилизирующего фактора

Пусть в течение некоторого времени t_{di} действует дестабилизирующий фактор постоянной интенсивности. В течение этого времени прореагировала доля вещества, равная α_i . Далее в течение времени t_{0i} дестабилизирующий фактор отсутствует, следовательно, никаких реакций в элементе не происходит и доля прореагировавшего вещества остается неизменной. Затем в течение времени t_{d2} происходит дальнейшее накопление доли прореагировавшего вещества, которая станет равной $\alpha_1 + \alpha_2$ и т.д. Процесс повторяется до тех пор, пока доля прореагировавшего вещества станет равной $\alpha_{кр}$. Промежутки времени t_{di} и t_{0i} являются случайными величинами. Пусть отказ произошел при n -м воздействии дестабилизирующего фактора. Длительность до момента отказа, равная $T_{рн}$, будет определять собой время безотказной работы ЭТ, подверженной случайному воздействию дестабилизирующего фактора.

Время $T_{рн}$ будет складываться из совокупностей времени t_{di} и t_{0i} . Обозначим через $T'_{рн}$ часть времени безотказной работы, которая определяется совокупностью времени t_{di} , и через $T''_{рн}$ часть времени, определяемую совокупностью времени t_{0i} , тогда

$$T_{рн} = T'_{рн} + T''_{рн}, \quad (5)$$

где (согласно рис. 1)

$$T'_{рн} = \sum_{i=1}^{n-1} t_{di} + t'_{dn}, \quad (6)$$

$$T''_{рн} = \sum_{i=1}^{n-1} t_{0i}. \quad (7)$$

Часть времени безотказной работы $T'_{рн}$ определяется реакциями, протекающими в элементе под действием дестабилизирующего фактора, следовательно в момент отказа должно выполняться равенство

$$T'_{рн} = t_{кр}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что чем больше доля прореагировавшего вещества, при которой ЭТ сохраняет свою работоспособность, т. е. чем больше $\alpha_{кр}$, тем больше время $T'_{рн}$, а следовательно, и время безотказной работы $T_{рн}$.

Вторая составляющая времени безотказной работы определяется законами распределения времени наличия и отсутствия дестабилизирующего фактора, т. е. закона распределения случайной величины t_{0i} .

Для того, чтобы при n -м воздействии произошел отказ элемента, необходимо чтобы $T'_{рн}$ превысила критическое значение, т. е. должно выполняться неравенство

$$t_{\partial\Sigma} = T'_{рн} \geq t_{кр}, \quad (9)$$

где $t_{кр}$ – определяется в (4).

Вероятность выполнения (9) является вероятностью отказа ЭТ при n -м воздействии дестабилизирующего фактора

$$Q_n = P\{t_{\partial\Sigma} \geq t_{кр}\}. \quad (10)$$

Для нахождения этой вероятности определим плотность распределения $f_{\partial\Sigma}(t)$ суммарной величины $t_{\partial\Sigma}$. Как следует из соотношения (6), плотность распределения $t_{\partial\Sigma}$ определяется законами распределения величин $t_{d1}, t_{d2}, \dots, t_{dn}$ и их корреляционными связями. Обозначим плотности распределения этих времен соответственно через

$$f_{d1}(t), f_{d2}(t), \dots, f_{dn}(t). \quad (11)$$

Преобразование Лапласа от функции (11):

$$f^*_{d1}(S), f^*_{d2}(S), \dots, f^*_{dn}(S), \quad (12)$$

где S – оператор Лапласа.

Из теории вероятностей [3] известно, что плотность распределения суммы статистически независимых случайных величин определяется сверткой плотностей распределения слагаемых, что соответствует произведению преобразований Лапласа от этих функций. Следовательно, преобразование Лапласа от плотности распределения величины $t_{\partial\Sigma}$ будет иметь вид

$$f^*_{\partial\Sigma}(S) = \prod_{i=1}^n f^*_{di}(S). \quad (13)$$

Перейдя к оригиналам, получим плотность распределения суммарного времени n воздействий дестабилизирующего фактора на ЭТ

$$f_{\partial\Sigma}(t) = L^{-1} \left[\prod_{i=1}^n f_{di}(S) \right], \quad (14)$$

где L^{-1} – оператор обратного преобразования Лапласа

Интегральный закон распределения величины $t_{\partial\Sigma}$ определится выражением

$$F_{\partial\Sigma}(t) = \int_0^t f_{\partial\Sigma}(t) dt = \int_0^t L^{-1} \left[\prod_{i=1}^n f^*_{di}(S) \right] dt. \quad (15)$$

Функция распределения (15) представляет собой вероятность того, что случайная величина $t_{\partial\Sigma}$ меньше

$$F_{\partial\Sigma}(t) = P\{t_{\partial\Sigma} < t\}, \quad (16)$$

где t – текущее значение времени.

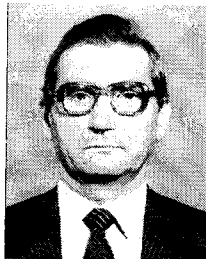
го вещества $\alpha_{кр}$, от воздействий дестабилизирующего фактора (что учитывается плотностями распределения $f_{юi}$), от постоянной скорости кинетического процесса k , происходящего в материале элемента, а также от длительности отсутствия дестабилизирующего фактора (что учитывается плотностями распределения $f_{юi}$). Использование выражения (29) для расчета времени безотказной работы дает возможность оценить техническое состояние и принять меры по обеспечению безотказной работы ЭТ.

В перспективе полученная модель может быть использована для отображения информации на экране монитора ЭВМ. Здесь возможно отображение областей, соответствующих граничным и реальным контролируемым значениям параметров ЭТ. В процессе работы ЭТ изменяется конфигурация области контролируемых параметров, имеет место изменение размеров и очертаний этой области, а также движение ее в определенном направлении. Изображение выбранной модели может соответствовать отображению ситуации, возникающей при граничных испытаниях ЭТ. В этом случае область допустимых значений параметров (q -мерный прямоугольник, ограниченный гиперплоскостями, уравнения которых имеют вид $y = const$) соответствует рассматриваемому термодинамическому объекту. Состояние ЭТ отображается точкой, координаты которой соответствуют вектору параметров ЭТ. В результате изменения параметров, в том числе за счет развития производственных дефектов, можно наблюдать множество точек при фиксации значений параметров в заданные моменты времени. Область, занимаемая этими точками, может восприниматься как часть прореагировавшего вещества. В частности, эта область может быть ограничена гиперплоскостями, положение которых определяется в соответствии с принятой моделью процесса. Очевидно, наблюдая динамику развития этой области, можно извлекать полезную информацию об изменении параметров электронной аппаратуры. Положение этой области относи-

тельно границ характеризует состояние электронной аппаратуры в части возможности наступления ее отказов и дает возможность в рамках детерминированного представления принимать решения, ориентируясь на представлениях об изменении физических свойств объекта и его целостности.

Литература: 1. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с. 2. Балицкая В.А., Вакиев Н.М., Шпотюк О.И. Математическое моделирование деградации терморезисторов с отрицательным ТКС // Технология и конструирование электронной аппаратуры. 2002. № 6. С. 52–54. 3. Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. – М.: Наука, 1982. 255 с.

Поступила в редколлегию 3.12.02 г.



Невлюдов Игорь Шакирович, докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ТАПР Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: автоматизация технологических процессов, управление качеством ЭА.



Второв Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ТАПР Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: автоматизация технологических процессов, управление качеством ЭА.



Роздоловский Юрий Михайлович, зам. директора Криворожского авиационного колледжа. Область научных интересов: автоматизация технических процессов, управление качеством ЭА.