

И. Ш. НЕВЛЮДОВ, д-р техн. наук, Ю. М. РОЗДОЛОВСКИЙ

ОТОБРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОЯВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Процесс изготовления электронной техники (ЭТ) можно рассматривать как наследование технологии, обеспечивающей требуемые параметры изделий. Отклонение параметров, обусловленное изменением технологических факторов, – как изменение технологической наследственности, которое проявляется в виде производственных дефектов (ПД). Развитие дефектов приводит к отказам изделий. В настоящее время отсутствуют средства, обеспечивающие их полное выявление. Современные технологии производства ЭТ, направленные на микроминиатюризацию элементной базы и повышение плотности монтажа ЭТ, не способствуют возможности улучшения ситуации в части совершенствования методов и средств обнаружения ПД.

Для управления производственными процессами и принятия своевременных мер по предотвращению отказов ЭТ представляется актуальным отображение процессов развития ПД. Для этих целей широкое применение находят методы, основанные на отображении графиков функций, характеризующих зависимость параметров ЭТ от времени [1]. Современные графические средства на основе ЭВМ дают возможность значительно усовершенствовать процесс отображения информации.

В рамках работы предлагается исследовать методы отображения информации, обеспечивающие эффективный анализ технологической наследственности и принятие решений по предотвращению отказов, связанных с ее изменением. Отображение информации должно соответствовать модели процесса развития ПД и принципам наглядности.

Модель процесса может быть основана на том, что наличие дефектов в ЭТ можно рассматривать как неравновесное состояние соответствующей термодинамической системы, а развитие дефектов как изменение состояния системы, которое подчиняется законам термодинамики. Это дает возможность использовать представление об ЭА как об объекте, в котором находится часть непрореагировавшего вещества (ЧНВ). В результате воздействия на ЭТ окружающей среды эта часть изменяется в соответствии с законами развития открытых термодинамических систем, которые можно представить в форме уравнений материального и энергетического баланса.

Можно предположить, что это достигается следующим образом. Отображается признаковое пространство и области, соответствующие 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 [2]. В этом случае область допустимых значений параметров (q -мерный прямоугольник, ограниченный гиперплоскостями, уравнения которых имеют вид: $y = \text{const}$) 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. Таким образом, непрерывное наблюдение за ЭТ дает возможность получать значения y_i^j в моменты времени t_i . Область, занимаемая этими точками, может восприниматься как часть прореагировавшего вещества (ПВ). В частности, область ПВ может быть ограничена гиперплоскостями, положение которых определяется в соответствии с принятой моделью процесса.

Очевидно, наблюдая динамику развития этой области за время δt_p , можно извлекать полезную информацию об изменении параметров ЭА. Положение этой области относительно границ объекта характеризует состояние ЭА с точки зрения возможности наступления ее отказов и дает возможность в рамках детерминированного представления принимать решения, ориентируясь на представлениях об изменении физических свойств объекта и его целостности.

На экране монитора возможно отображение двумерного пространства. Возникает задача отображения многомерного пространства признаков в двумерное и наблюдение последнего на экране монитора. Эта задача может быть решена посредством линейного отображения q -мерного вектора параметров Y с компонентами $y^\beta, \beta = 1, \dots, q$ в наблюдаемый двумерный вектор X с компонентами $x^i, i = 1, 2$:

$$x^i = a_\beta^i y^\beta,$$

где a_β^i – компоненты матрицы весовых коэффициентов.

Название компонентов матрицы – весовые коэффициенты – отражает их физическую сущность, так как их значение соответствует вкладу соответствующего параметра в отображаемый вектор X . Выбор этих коэффициентов определяет эффективность отображения ситуации и основу решения задачи отображения многомерного пространства признаков в двумерное.

Так как при граничном значении параметра y_{cp}^i конец вектора X должен находиться на границе области работоспособности, необходимо чтобы выполнялось равенство

$$x_{cp}^i = a_j^i y_{cp}^j.$$

Компоненты вектора X должны отличаться высокой информативностью по отношению к типовым дефектам ЭТ и отражать ситуацию, приближающуюся к критической.

Общие рекомендации по обеспечению информативности можно сформулировать следующим образом.

Учитывая специфику ЭТ, можно отдать предпочтение электрическим параметрам, в том числе достаточно информативным, таким как особенности вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик, электрические шумы и др.

Для выявления грубых дефектов в герметически закрытых конструкциях наиболее эффективны просвечивание рентгеновскими и гамма-лучами, а также звуковая локация. Дефекты, образующиеся в процессе обработки давлением, лучше обнаруживаются ультразвуковым и магнитным методами. Дефекты, возникающие при термической, химико-термической и электрохимической обработке, обнаруживаются в основном магнитным, электроиндуктивным и инфракрасным методами. Электрофизические методы широко применяются при выявлении и обнаружении большинства типов серийных дефектов.

Дефекты, возникающие при хранении и транспортировании, обнаруживаются визуально, однако могут быть использованы также капиллярные, ультразвуковые, рентгеновские, инфракрасные и электроиндуктивные методы. В большинстве случаев целесообразно применять несколько методов контроля, что позволит выявить скрытые дефекты, не обнаруживаемые при использовании только одного из рассматриваемых методов, и использовать при этом соответствующие интегральные параметры.

Достаточно универсальными и информационными являются параметры, характеризующие тепловые, электрофизические, рентгеновские и радиационные методы контроля.

Для отображения критичности ситуации выбор первой и второй компоненты вектора X определяется наибольшим приближением соответствующих параметров к граничному значению.

При интервальном оценивании дополнительным критерием для выбора может служить коэффициент корреляции r_{ij} между параметрами. Оценивание и вычисление коэффициента корреляции производится после набора статистических данных в процессе наблюдения за объектом. Минимальный коэффициент корреляции обеспечивает максимальное количество информации, содержащейся в y^i параметре, которая определяется выражением

$$J(y^i) = H_0 - H(y^i),$$

где H_0 – начальная энтропия; $H(y^i)$ – условная энтропия объекта после измерения параметра y^i .

В рамках детерминированного подхода можно принять комбинированную модель, когда возникающая в соответствии с гетерогенной моделью точка становится центром элементарной области (ЭОПВ), развивающейся в соответствии с гомогенной моделью. Площадь ЭОПВ должна зависеть от приращения параметров δx^i и δx^j , а ее форма определяется формой граничной области. В нашем случае можно предложить прямоугольник с координатами центра (x^i, x^j) . Очевидно, форма ЭОПВ в случае, если площадь её значительно меньше единицы, что, в свою очередь, имеет место, когда δx^i изменяется незначительно ($\delta x^i \ll 1$) в течение интервала времени δt между соседними наблюдениями, может отличаться от прямоугольной, и это не может привести к существенному искажению при наблюдении процесса развития производственных дефектов, так как результирующая форма всей области ПВ, состоящая из объединения большого количества ЭОПВ будет приближаться к прямоугольной.

Зависимость размеров ЭОПВ от времени в соответствии с принятой моделью определяется выражением

$$4k_f \delta x^2 = 1 - \exp(-k\delta t),$$

где k_f – коэффициент формы ЭОПВ, определяемый отношением приращений параметров $\delta x^i / \delta x^j$. Отсюда по результатам измерений δx^i можно вначале оценить параметр k :

$$k = -\frac{\ln(1 - 4k_f \delta x^2)}{\delta t},$$

а затем вычислить размеры области δx_p^i , возникающей за время δt_p ЭОПВ:

$$\delta x_p^i = 0,5 \sqrt{1 - \frac{\exp(k_p \ln(1 - 4k_f \delta x^2))}{k_f}}, \quad (1)$$

где k_p – коэффициент, характеризующий время δt_p по отношению к интервалу времени между соседними наблюдениями $\left(k_p = \frac{\delta t_p}{\delta t}\right)$.

Таким образом, алгоритм отображения процесса развития производственных дефектов может быть представлен в следующих действиях:

в моменты времени, разделенные промежутками δt , производится измерение параметров; данные измерений используются для определения центра прямоугольной области, соответствующей центру ЭОПВ, в согласно вышеприведенным правилам выбора компонентов δx^i ;

на экране монитора отображается прямоугольная область, размеры которой определяются из выражения (1), она используется ЛПР для принятия решений о ходе процесса.

Существующие программные средства позволяют достаточно эффективно реализовать приведенный алгоритм. Так, программная система Delphi предлагает для изображения прямоугольника использовать процедуру Rectangle(Left, Top, Right, Bottom) из набора средств рисования Canvas, параметры процедуры определяют положение прямоугольника на экране монитора ЭВМ.

Приведенный алгоритм дает возможность наблюдать на экране монитора ситуацию, возникающую каждый раз, когда после измерения параметров необходимо принимать решение о возможности дальнейшей эксплуатации ЭТ. Наблюдаемое изображение в достаточной мере характеризует размер ЭОПВ и ее расположение относительно границ допустимой области изменения параметров.

Список литературы: 1. Огарков М.А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 208 с. 2. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. 256 с.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 20.05.2003