

Вторичные обмотки включены так, что в течение каждого полупериода вспомогательного переменного тока I_{12} от источника в одном сердечнике, например, первого трансформатора, переменная составляющая магнитного потока направлена навстречу потоку от постоянного тока $I_1 - I_k$, тогда как в другом сердечнике второго трансформатора в это время оба магнитных потока совпадают по направлению. До момента равенства магнитодвижущих сил (МДС) $I_{11}W_{11} - I_k W_k$ ($I_{11} = I_1$) постоянного и $I_{12}W_{12}$ переменного токов изменений магнитного потока практически не происходит, где W_{11} , W_{12} - число витков обмоток; I_k , W_k - ток и число витков компенсирующих обмоток. При равенстве МДС происходит резкое изменение магнитного потока и во вторичной обмотке возникает ЭДС, которая уравнивает приложенное напряжение дополнительного источника.

В следующем полупериоде напряжение вспомогательного источника питания уравнивается ЭДС во вторичной обмотке второго трансформатора. Ток I_{12} ограничивается ЭДС вторичных обмоток, появляющейся при выходе трансформаторов из насыщения. Состояния ключей зависят от направления тока I_1 .

Работа интегрирующего блока сводится к следующему. Если напряжение превышает верхний или нижний пороги опорного напряжения источников срабатывания компараторов, то один из счетчиков переходит в режим сложения или вычитания, при этом изменяется состояние счетчика и, следовательно, ступенчато изменяется ток I_k с выхода цифроаналогового преобразователя. При меньше пороговых уровнях, изменение состояния счетчика прекращается и значение I_k фиксируется. Выходной код соответствует результату преобразования в цифровой форме.

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ РАСХОДА РЕСУРСА ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА

И.Н. Козлова

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Специфика рассматриваемой постановки вопроса состоит в том, что исследованию подлежит широкий круг изделий твердотельной микроэлектроники с термоактивационными механизмами деградации, использующих различные принципы реализации их функционального назначения (оптические, электрические, теплофизические, механические и т.д.). Это обстоятельство приводит к необходимости формализации параметров и представлений, определяющих текущее состояние (качество) элементов конструкции.

В соответствии с распространенной практикой примем, что текущее состояние элемента определяется совокупностью функциональных параметров $\{P_i\}$, полностью определяющих потребительское качество элемента. (рассматриваемая модель не оперирует с параметрами, выходящими за рамки потребительских, представляющих непосредственный интерес для практического использования элемента). В процессе эксплуатации элемента допускается изменения параметров $\{\Delta P_i^0\}$, не приводящие к потере функционального качества.

Функциональное качество элемента выражается в относительных единицах в виде отношения $\frac{\Delta P_i}{P_i^0}$, где ΔP_i^0 - начальное значение функционального параметра (в дальнейшем - параметр) при $t = 0$ с, а ΔP_i - отклонение начального параметра в текущий момент времени.

В рамках представленной модели расходования ресурса, сформулированы требования к рассматриваемым техническим параметрам.

Параметр P_i должен удовлетворять условиям:

- 1) *непрерывности* изменения в процессе эксплуатации изделия в условиях воздействия возмущающих (дестабилизирующих) факторов внешней среды;
- 2) *информативности* о текущем состоянии изделия (отсутствие информативности может означать, что параметр либо не изменяется в течение срока службы (в пределах точности измерения), либо его изменения имеют обратимый характер);
- 3) *монотонности* изменения во времени, свидетельствующей о сохранении механизма деградации изделия в процессе его эксплуатации;
- 4) *взаимонезависимости*, с точки зрения отсутствия корреляционной зависимости со всей совокупностью других технических параметров;
- 5) *полноты представления*, с точки зрения адекватного отражения деградационных процессов, определяющих динамику изменения технических параметров.

Указанные требования налагают известные ограничения на область применения модели. Как показано ниже, наиболее оптимальными случаями использования модели являются те, в которых потеря функционального качества имеет место при незначительных ΔP_i .

Исходя из общих кинетических закономерностей развития элементарных (атомных) процессов [1,2] можно заключить, что скорость деградации (старение) элементов определяется двумя моментами:

- спецификой прогекания элементарных процессов, приводящих к изменению начальной атомной структуры элементов:

- интенсивностью возмущающих факторов, оказывающих на элемент воздействие.

В этой связи изменение параметров элемента следует рассматривать как результат последовательного накопления нарушений начальной структуры элемента на атомном уровне под воздействием возмущающих факторов (предполагается, что появление функционального качества у некоторой совокупности атомов связано с их предварительным упорядочиванием в определенную структуру). В этой связи устойчивость функционального качества элемента можно сопоставить с устойчивостью первоначальной (искусственно созданной неравновесной) атомной конфигурацией элемента. Последнюю можно оценить на основании известных энергетических характеристик, а именно, энергетического потенциального барьера элементарных процессов.

В рамках построения настоящей модели расходования ресурса не ставится целью определение конкретных типов элементарных процессов, ответственных за деградацию элементов. Более того, допускается возможность взаимного наложения ряда элементарных процессов, приводящих к совокупному влиянию на функциональное качество элемента. Отмеченное абстрагирование находит свое отражение в принятии ряда исходных гипотез, формулирующих постановку вопроса [3].

Гипотеза №1. Каждому функциональному параметру элемента Π_i

ставится в соответствие начальная энергия активации старения W_{0i} , по параметру Π_i .

Гипотеза №2. Влияние индивидуального возмущающего фактора j -го типа на начальную энергию активации старения W_{0i} , параметра Π_i может быть представлено в виде:

$$W_i = W_{0i} + q_{ij} Q_j, \quad (1)$$

где W_i - энергия активации старения параметра Π_i в условиях воздействия возмущающего фактора j -го типа; q_{ij} - чувствительность параметра Π_i к возмущающему фактору j -го типа; Q_j - интенсивность возмущающего j -го типа.

Гипотеза №3. Влияние совокупности возмущающих факторов на начальную энергию активации старения W_{0i} в условиях отсутствия корреляционных эффектов (механизмов) старения представляется в виде:

$$W_i = W_{0i} + \sum_j q_{ij} Q_j. \quad (2)$$

Суммирование ведется по всей совокупности возмущающих факторов.

Гипотеза №4. При наличии корреляционных эффектов (механизмов) старения влияние возмущающих факторов на начальную энергию активации старения W_{0i} представляется в виде квадратной формы:

$$W_i = W_{0i} + q_{ijk} Q_j Q_k, \quad (3)$$

где q_{ijk} - чувствительность параметра W_i к совокупности влиянию факторов j-го и k-го типа.

Гипотеза №5. В общем случае влияние возмущающих факторов на начальную энергию активации старения W_{0i} представляется в виде:

$$W_i = W_{0i} + \sum_j q_{ij} Q_j + \sum_{j,k}^{j \neq k} q_{ijk} Q_j Q_k. \quad (4)$$

Сформулированные гипотезы составляют основу энергетического подхода рассмотрения вопросов деградации элементов. Физической сутью оговоренных гипотез является представление об уменьшении начального энергетического барьера W_{0i} в результате воздействия возмущающих

факторов (модель потенциального барьера допускает и увеличение W_i в процессе эксплуатации элементов, однако, в этом случае будет иметь место процесс своеобразной тренировки элемента; последнее может быть связано с недостаточной конструктивно-технологической проработкой элемента).

Рассмотрим вкратце исходные предпосылки и целевые установки сформулированных гипотез. Две первые гипотезы являются общепринятыми для теории физической надежности. Они достаточно полно рассмотрены в разделе кинетической теории прочности конструкционных материалов [2]. Отметим, что эти гипотезы практически апробированы в моделях прогнозирования долговечности материалов конструкций по критерию внезапного отказа в условиях однофакторного возмущения. Гипотеза №3 является дальнейшим логическим развитием гипотезы №2, определяющим общие принципы рассмотрения многофакторных возмущений. Важно отметить, что в этом случае повреждающее воздействие индивидуальных возмущающих факторов проявляется взаимно-независимым образом.

Гипотеза №4 устанавливает принципиальную основу учета повреждающего воздействия, обусловленного совместным воздействием

двух возмущающих факторов (ярким примером последнего являются радиационно-химические аспекты повреждающего воздействия).

Гипотеза №5 является логическим обобщением всех предыдущих гипотез.

Разработка моделей расходования ресурса основана на развитии основных принципов физической теории надежности. С методологической и практической точек зрения разработка моделей связана с решением вопросов:

- расширение спектра воздействующих на элемент возмущающих факторов;

- учет комплексного воздействия на элемент совокупности возмущающих факторов;

- распространение методов теории физической надежности на случай непрерывного отказа;

- построение универсальных моделей расходования ресурса элементов конструкций, удобных для практических целей.

Основные принципы построения моделей расходования ресурса представлены в работе [1].

Пример, что начальное качество элемента характеризуется значением параметра Π_0 (здесь и далее рассматривается однопараметрический случай, поэтому индекс i опускается), обусловленного определенной атомной структурой элемента. В процессе эксплуатации элемента значение параметра Π будет изменяться, причем в тем большей степени, чем выше интенсивность протекающих элементарных атомных процессов, определяющих качество элемента по параметру Π .

Модель потенциального энергетического барьера определяет вид константы k в форме [5]:

$$k = k_0 e^{\frac{-W}{kT}}, \quad (5)$$

где k_0 -- константа, характеризующая скорость процесса при $T \rightarrow \infty$; W -- энергия активации процессов деградации элемента по параметру Π ; k -- постоянная Больцмана; T - абсолютная температура.

С учетом вышесказанного имеем:

$$\frac{\Delta \Pi}{\Pi_0} = B t e^{\frac{-W}{kT}}, \quad (6)$$

где $\Delta \Pi = \Pi - \Pi_0$; B -- константа.

В выражении (6) совокупность возмущающих факторов представлена в неявном виде (кроме температуры). В результате получаем три модели расходования ресурса.

Модель №1:

$$W_i = W_0 + \sum_j q_j Q_i ;$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = Bte \frac{\left(W_0 + \sum_j q_j Q_i \right)}{kI} . \quad (7)$$

Модель №2:

$$W_i = W_0 + \sum_{j,k}^{j \neq k} q_{j,k} Q_j Q_k ;$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = Bte \frac{\left(W_0 + \sum_{j,k}^{j \neq k} q_{j,k} Q_j Q_k \right)}{kI} . \quad (8)$$

Модель №3:

$$W_i = W_0 + \sum_j q_j Q_j + \sum_{j,k}^{j \neq k} q_{j,k} Q_j Q_k ;$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = Bte \frac{\left(W_0 + \sum_j q_j Q_j + \sum_{j,k}^{j \neq k} q_{j,k} Q_j Q_k \right)}{kI} . \quad (9)$$

Модель №1 справедливо для случая взаимно-независимого влияния индивидуальных возмущающих факторов на изменение параметра P в процессе эксплуатации элемента. В противном случае справедливы модели №2 и №3.

Список использованных источников

1. Меламедов Н.М. Физические основы надежности. – М.: Энергия. 1970. – 320 с.
2. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука. 1974. – 560 с.
3. Миллер Ю.Г. Физические основы надежности интегральных схем. – М.: Сов. Радио. 1976. – 320 с.
4. Литвинский И.Е., Прохоренко В.А. Обеспечение безотказности персональных ЭВМ. – М.: Радио и связь. 1993. – 208 с.
5. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука. 1987. – 502 с.