

А. А. САДЫКОВ, М. Н. ИМАНКУЛ

УЧЕТ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Отмечен ряд факторов, влияющих на надежностные характеристики систем радиочастотной идентификации (СРЧИ). Рассмотрен метод анализа процессов старения (деградации) при взаимодействии электронных изделий со средой. Показаны методы решения задачи предсказания характеристик надежности СРЧИ в условиях эксплуатации. Отмечены форсированные режимы испытаний, методы прогнозирования вероятности безотказной работы СРЧИ. Исследованы аспекты, влияющие на точность моделей предсказания надежности.

Важность задач, выполняемых системами радиочастотной идентификации (СРЧИ) единиц подвижного состава на железнодорожном транспорте, определяет повышенные требования к их техническому уровню и свойствам, гарантирующим их надежность при эксплуатации. Для выработки достоверных научно-обоснованных методов предсказания надежности необходимо исследовать различные факторы, воздействующие на элементы СРЧИ. При взаимодействии изделий со средой их надежность уменьшается. Под средой будем понимать внешние по отношению к исследуемому объекту воздействующие факторы, за исключением одного (или нескольких), рассматриваемого в качестве нагрузки.

Параметры элементов (компонентов) СРЧИ являются случайными величинами, с определенными статистическими характеристиками. Уровень надежности изделий непосредственно влияет на эффективность функционирования СРЧИ, работающей в диапазоне СВЧ. Надежность любого изделия закладывается на этапах его проектирования, обеспечивается в процессе производства, а реализуется и поддерживается при эксплуатации.

Проектирование СРЧИ требует точного учета влияния физических протекающих в них процессов (температурных, магнитных, механических и др.) на технические и эксплуатационные характеристики. Предшествующий опыт по обеспечению надежности СРЧИ подтверждает, что чем на более ранних этапах создания системы начнут предприниматься меры по обеспечению ее надежности, тем лучших результатов удается достичь. На стадии эксплуатации потоки дефектов проектирования и производства трансформируются в поток отказов изделий.

Скачкообразные изменения процессов (смена:

1) физических принципов действия элементов и устройств; 2) технических, технологических и программных решений; 3) способов применения и т.п.) являются переходом системы из одного устойчивого состояния в другое, обусловленное тем, что ее параметры достигли таких значений, при каких система в ее прежнем виде теряет устойчивость. Изменение условий (режимов) функционирования может привести к переоценке приоритетов ранее установленных показателей надежности или сужению (расширению) границ допусков на параметры.

На разброс (отклонения) параметров компонентов СРЧИ от их номинальных значений влияет разброс параметров материалов, из которых они изготовлены, условия эксплуатации (температура, старение (деградация) элемента, давление, влажность, радиация, напряженность электрического поля, частота, вибрация и т.п.). Вследствие разброса параметров элементов СРЧИ возникает разброс внешних характеристик, которые являются случайными величинами с неизвестными статистическими характеристиками. Реальный процесс механизма воздействия (влияния) внешних факторов весьма сложен.

На практике нередко возникают проблемы исследования СРЧИ в условиях возможного появления отказов программных и технических средств, изменения топологии либо работы в нестационарных режимах (например, при резко изменяющейся нагрузке). Для решения этих задач необходимо выбрать наилучший вариант построения СРЧИ, выявить и устраниить «узкие места». При этом следует учесть, что элементы программного обеспечения (ПО) не стареют из-за износа или усталости, а в аппаратуре использование стандартных элементов распространено намного шире, чем в системе ПО. Внести изменения в ПО просто, но трудно сделать это

корректно.

Оценка надежности любой сложной системы начинается с составления ее структурной схемы надежности (ССН). В случае последовательного включения элемента в ССН его отказ приводит к отказу системы, а параллельное соединение элементов свидетельствует об их взаимном резервировании.

Многие элементы СРЧИ обладают достаточ-
но высокой вложенной надежностью, поэтому и число их отказов очень мало и недостаточно для полномасштабного применения традиционных методов анализа надежности. В этом случае необходимо использовать дополнительную информацию о наработках СРЧИ на момент обследования технического состояния. Критерием отказа СРЧИ является нарушение его работоспособности (несоответствие одного или нескольких параметров требованиям, заданным в нормативно-технической документации (НТД)).

При производстве изделий микроэлектроники существенным является то, что разброс электрических параметров элемента взаимосвязан с вероятностью возникновения потенциальных дефектов и соответственно с надежностью функционирования элемента. Надежность применяемых компонентов может быть обеспечена в СРЧИ при условии, что уровень действующих факторов не превышает допустимых норм, указанных в НТД на компоненты, а режимы использования этих компонентов также соответствуют требованиям, которые приведены в НТД. Следует отметить, что надежность элементной базы росла по мере увеличения степени интеграции функциональных возможностей полупроводниковых структур.

Старение (деградация) – зависимость снижения работоспособности от действующих на него факторов. В частности, при исследовании электрического старения диэлектрических материалов наблюдается зависимость среднего времени жизни диэлектрика от напряженности и от температуры. Однако в качестве нагрузки можно выделить лишь напряженность электрического поля, а температура относится к среде (учитывая влияние температуры через ее (среды) параметры).

В модели Аррениуса [1] в роли нагрузки выступает абсолютная температура $\theta(K)$, констан-

та скорости реакции

$$k = A \exp(-W / R\theta), \quad (1)$$

где A – константа, зависящая от реагирующих веществ, т.е. от среды и материала объекта; W – энергия активации; R – универсальная газовая константа.

В ряде случаев температура может и не выступать в роли нагрузки. Модель Аррениуса допускает обобщение на случай произвольного вида энергии взаимодействия объекта со средой. Скорость реакции (взаимодействия объекта со средой) будет определяться энергией взаимодействия объекта со средой независимо от формы этой энергии, поэтому уравнение Аррениуса можно записать согласно [2] в обобщенном виде:

$$k = B \exp(-W / \varepsilon), \quad (2)$$

где B – константа, зависящая от реагирующих материалов; ε – энергия реакции (энергия взаимодействия объекта со средой), которая может либо зависеть, либо не зависеть от нагрузки; W – энергия активации процесса старения.

Методики оценки надёжности по результатам испытаний в нормальном режиме изложены в [3]. Зная энергию активации W , можно решить задачу форсированных (ускоренных) испытаний СРЧИ при химико-кинетических моделях старения. В частности, факторами ускорения являются: термическая нагрузка; напряжение; включение изделия в цепь с повышенным током; совместное действие перечисленных факторов.

Модель Аррениуса проста и в основном используется для исследования причинно-следственных связей в полупроводнике, когда старение элементов происходит под воздействием термической нагрузки. При воздействии различных факторов, кроме температуры, используется модель Аррениуса-Эйринга для изучения протекания процесса старения в диэлектриках, резисторах и транзисторах.

Закономерности старения и расходования ресурса СРЧИ в зависимости от действующих факторов можно изучить на основе детерминистических и стохастических подходов. В обоих случаях процесс старения материала рассматривается как реакция со средой либо детерминированная, либо стохастическая.

Изделия, имеющие монотонно возрастающую интенсивность отказов, называются «стареющими», а изделия с монотонно убывающей интенсивно-

стью – «молодеющими». Примером монотонно убывающего распределения наработки до отказа служит смесь экспоненциальных распределений, плотность распределения которых:

$$f(t) = \lambda_1 q_1 \exp(-\lambda_1 t) + \lambda_2 q_2 \exp(-\lambda_2 t), \quad (3)$$

где $q_1 > 0$ и $q_2 > 0$ – доли изделий 1-й и 2-й партии смеси, причем $q_1 + q_2 = 1$; $\lambda_1 > 0$ и $\lambda_2 > 0$ – постоянные.

Известно, что для СРЧИ физическая информация о механизмах развития отказов является более приближенной, чем статистическая, учитывающая в неявном виде режимы эксплуатации и использования. При этом точность прогноза зависит от точности выбранной модели физического механизма развития отказа изделия.

Реально при установке электронного компонента рассматриваемого типа в разных модулях одной и той же СРЧИ или в силу взаимодействия нескольких устройств в модуле и т.п. условия варьируются. Эти условия можно разделить на две группы:

- комплекс внутренних взаимосвязей в устройстве, заданных схемно-конструкторским исполнением;

- внешние воздействия (общее питание блока, электромагнитное поле, температура среды и т.д.).

При производстве электронных модулей и эксплуатации СРЧИ могут появиться отказы, причинами которых могут быть:

- наличие внутренних дефектов полупроводниковых изделий;

- катастрофический отказ (необратимая полная потеря работоспособности) в виде пробоя или прожога (отказы по вине потребителя вследствие неправильного использования изделия, превышения электрического и теплового режима, из-за наличия скрытых дефектов в кристалле, царапин металлизации и др.).

Прогнозирование вероятности безотказной работы (ВБР) модулей СРЧИ, подверженного постепенным отказом, выполняется в два этапа:

1. рассчитываются значения оценок математического ожидания прогнозируемого параметра и его дисперсии через заданные наработки;

2. на основе прогноза изменения значений математического ожидания и дисперсии контролируемых параметров рассчитывается ВБР аппаратно-программных компонент СРЧИ.

Прогнозирование ВБР модулей СРЧИ по вне-

запным отказам проводят одним из двух методов - параметрическим или непараметрическим. Первый метод используется в случае достаточного количества статистических данных о наработке аппаратно-программных средств и подчинения выборки одному из законов наработки до отказа: Вейбулла, экспоненциальному, нормальному, логарифмически нормальному. Второй метод используется при отсутствии (недостаточности) необходимых сведений для выбора вида закона распределения или если выборка не подчиняется ни одному из перечисленных законов распределения.

В ходе прогнозирования иногда встречаются задачи, когда на базе имеющейся статистической информации требуется вычислить прогнозируемые значения некоторой характеристики, зависящей не только от временного фактора, но и от ряда других характеристик. При статистическом прогнозировании необходима реализация следующих исследовательских и вычислительных процедур:

- анализа существующей статистической информации о развитии прогнозируемого процесса;

- разработки математической модели (ММ) этого процесса на основе его физического анализа и имеющейся статистической информации о нем;

- оценивания неизвестных параметров (коэффициентов) ММ с использованием того или иного критерия и математического аппарата;

- вычисления точечного и интервального прогнозов значений исследуемой характеристики в прогнозируемой точке (при заданных значениях параметров, от которых она зависит);

- оценивания точности прогноза.

Точность оценки количественных характеристик моделируемого процесса при использовании имитационных моделей (для анализа эффективности функционирования технических (аппаратных) средств и ПО) может зависеть от многих факторов, в частности, от принципов формализации (процесса отображения концептуальной модели в программную модель) или концепций, заложенных в исходной постановке задачи. Решение задачи формализации зависит от характеристик доступных аппаратных и программных средств, степени понимания специалистом проблем, требующих решения, и методов формализации.

Достоверность результатов прогнозирования надежности СРЧИ в большой степени зависит

от полноты учета влияющих факторов, правильности определения коэффициентов влияния, выделения доминирующих факторов. Необходимо принятие соответствующих мер, ликвидирующих или снижающих уровень воздействия факторов, негативно влияющих на надежность.

Ряд показателей СРЧИ имеет сравнительно малую информационную ценность и не способствует заметному повышению уровня оценки надежности. Необходимо использовать методы, позволяющие определить наиболее информативные, с точки зрения надежности, показатели.

Для прогнозирования надежностных показателей СРЧИ необходимо иметь сведения о параметрах и их закономерных изменениях, допустимых отношениях между элементами, создающими эти параметры. Необходимы модели, учитывающие значимость каждого элемента в структуре СРЧИ, что особенно важно для современных информационных систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

- Глесстон С., Лейблер К., Эйринг Г. Теория абсолютных скоростей реакций. М.: ИЛ, 1948.
- Bartholomay A.F. Stochastic Models for Chemical

Reactions // Bull. Math. Biophys. 1958. V. 20. P. 175-190.

3. Прохоренко В.А., Смирнов А.Н. Прогнозирование качества систем. Минск: Наука и техника, 1976.

4. Намичашвили О.М., Табатадзе Т.Н. Нестандартные модели для предсказания надежности электронных изделий // Радиотехника. 1999. №9. С. 78-84.

Резюме

Радиожиіліктік ідентификациялау жүйесінің (РЖИЖ) сенімділік сипаттамаларына әсер етегін факторлардың реті белгіленген. Электронды бұйымдардың ортамен өзара әсерлесу кезіндегі есқіру процесінің талдау әдісі қарастырылған. Жұмысқа пайдалану кезіндегі РЖИЖ-дің сенімділік сипаттамаларын болжай есептерін шығару әдістері көрсетілген. РЖИЖ-дің сынақтан ету жедел режимі және оның істен шықпау ықтималдығын алдын ала болжай әдісі белгіленген. Болжаудың сенімділік модельдерінің нақтылығына әсер етегін аспекттері зерттелген.

Summary

Facts, that influence the failsafety system characteristics of radio frequency identification (SCRFID) were marked. There considered the method of analyze of degradation processes by the interaction electric makes within environment. There showed the solving methods of tasks of prognoses on characteristics failsafety SCRFID in an operation conditions. There determined forced regimes of tests, prognoses of methods of unfailing works SCRFID. Aspects that influence the exact models of failsafety prediction were investigated.

Поступила 4.11.08г.