

К. т. н. Ю. Н. ЛАВРИЧ

Украина, г. Днепропетровск, Институт транспортных систем и технологий НАНУ

E-mail: lavrich@westa-inter.com

ТЕПЛОВОЙ МОНИТОРИНГ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на разработку систем контроля, в которых в качестве обобщенного параметра технического состояния системы использовались бы тепловые характеристики элементной базы в одной обобщенной точке. Исследования проводились на серийно выпускаемых цифровых радиоэлектронных изделиях.

Ключевые слова: цифровые устройства, техническое состояние, контроль, обобщенный параметр, тепловой мониторинг.

Требования к уровню надежности современной элементной базы настолько высоки, что традиционные методы оценки технического состояния радиоэлектронных средств (РЭС) становятся неэффективными, современная теория надежности почти не имеет практического применения [1], а показатель надежности не отражает истинного состояния РЭС вследствие недостаточного объема информации, получаемой при испытаниях изделий электронной техники (ИЭТ).

В большинстве своем современные РЭС как объекты эксплуатации являются ограниченно контролепригодными. Они оборудуются незначительным количеством средств прямого измерения, что приводит к несвоевременному выявлению неисправностей и невозможности оперативного принятия мер.

Известно, что функциональные возможности и физическая надежность полупроводниковых приборов различного назначения во многом определяются температурой их активной области в процессе эксплуатации. Согласно [2], температура является одним из критических параметров, определяющих их работоспособность. Существует достаточно много исследований как тепловых характеристик цифровых ИЭТ, так и методов контроля теплового режима, однако область применения большинства из них имеет ограничения. Имеются и методы прогнозирования надежности цифровых элементов [3], однако в обзорах, посвященных состоянию технологии исследования надежности [4, 5], все чаще звучит разочарование существующей технологией исследования надежности, поскольку слишком часто и слишком сильно реальные значения показателей надежности расходятся с прогнозными оценками. Что же касается ИЭТ, разработанных в соответствии со специальными стандартами, то автору не удалось найти ссылок в от-

крытой печати ни на отечественные, ни на зарубежные исследования надежности подобных изделий, изготовленных по стандарту типа MIL-STD.

Несмотря на то, что в РЭС новых поколений используется современная элементная база и новые технологии конструирования, их работоспособность по-прежнему определяется двумя состояниями — исправное или неисправное, а отказ продолжает оставаться неожиданным. Это связано с тем, что современные методы контроля не могут обеспечить своевременное обнаружение изменения параметров, а тестирование, будучи основным видом контроля, не включает в себя каких-либо функциональных тестов или тестов, направленных на обнаружение неисправностей, не являющихся функцией времени [6]. Действительно, с точки зрения обнаружения процесса зарождения и развития отказа функциональные тесты, как правило, слабоинформативны, т. к. направлены только на контроль выполняемых РЭС функций. Однако, как показывает практика, успех контроля обеспечивается созданием двух взаимосвязанных баз данных — технических состояний и симптомов этих состояний. Отказ представляет собой неконтролируемый результат необратимого деградиационного процесса, протекающего во времени и имеющего соответствующие временные параметры, но не сам критический акт. Используемые традиционные параметры оценки технического состояния современных РЭС не изменяют своих значений вплоть до отказа, хотя для своевременного выявления деградиационной динамики должны использоваться такие параметры, которые отражали бы не только состояние структуры, но и эволюцию этого состояния.

Еще одна особенность современных РЭС — это разнесенность во времени процессов контроля состояния изделия и его функционирования,

что не позволяет использовать результаты контроля при реализации целевой функции и создает предпосылки для возникновения неконтролируемого отказа. Усложнение современных РЭС привело к несоответствию эффективностикладываемых целевых функций возможностям контроля, в процессе которого используется априорная информация, а результаты контроля становятся лишь констатацией факта свершившегося отказа [7].

Из вышесказанного следует, что задача поиска нового подхода к оценке технического состояния современных РЭС является весьма актуальной, а в условиях всё возрастающих объемов и видов контроля, неидентичных при изготовлении и при эксплуатации, на первое место выходит проблема выбора параметров оценки состояния изделия. Очевидно, что с практической точки зрения целесообразно минимизировать число признаков распознавания состояния, поскольку это позволяет сделать систему контроля более простой. В условиях отсутствия границы минимальности принципиально возможным видится построение такой системы на основе всего одного обобщенного параметра [8].

Целью данной работы является оценка возможности использования в качестве основного параметра диагностирования состояния современных цифровых РЭС температуры обобщенной точки, а также поиск этой точки, т. е. места установки датчика для проведения измерений.

Обоснование выбора основного параметра и обобщенной точки контроля

Проектирование РЭС осуществляется с использованием практически всего существующего набора изделий электронной техники (интегральных микросхем, полупроводниковых приборов, резисторов, конденсаторов и др.). Современные ИЭТ можно рассматривать как термодинамические системы с размещенными внутри объема источниками тепла. Функцией состояния таких систем является температура как мера термодинамического равновесия, и всякое ее изменение свидетельствует о факте изменения внутреннего состояния системы [9]. Функция состояния не зависит от предыстории и полностью определяет состояние в данный момент времени. Четыре переменные — время, температура, энергия активации и прочность — являются основными факторами, вносящими свой вклад в кинетику разрушения и определяющими ее, а с учетом электротепловой аналогии и взаимосвязи именно температура представляет собой определяющий параметр [10]. Кроме того, полупроводниковые материалы и приборы на их основе являются в той или иной мере неравновесными системами, и происходящие в них процессы по своей сути являются термоактивационными, скорость которых зависит от температуры. Энергия активации основных используемых полупроводниковых материалов находится в пределах 0,10–0,25 эВ,

чем объясняется ее высокая чувствительность к малым изменениям температуры.

Целесообразность выбора температуры в качестве параметра, характеризующего техническое состояние РЭС, очевидна, поскольку практически все параметры полупроводниковых приборов и протекающие в них деградационные процессы зависят от температуры, и для всех форм энергии имеет место ее превращение в тепло. При этом неважно, какова природа возникновения градиента температуры, важно то, что отклонение температуры от требуемой сигнализирует о наличии процессов, ведущих к отказу. Следовательно, можно говорить о том, что температура может быть тем параметром, который позволяет контролировать состояние радиоэлектронной системы, и предположить, что отказ возникнет в точке максимального отклонения температуры от требуемого значения.

Кроме выбора контролируемого параметра, не менее важной задачей является и определение места измерения его величины, в данном случае — места установки датчика температуры, поскольку и место установки, и тип датчика определяют уровень чувствительности, а следовательно, и степень достоверности результатов контроля технического состояния контролируемых объектов. С учетом того, что в конечном итоге надежность всей РЭС определяется надежностью ее функциональных узлов различного конструктивно-иерархического уровня, вплоть до низшего — интегральной микросхемы (ИМС), очевидна возможность применения теплового мониторинга ИМС как метода оценки технического состояния цифровых РЭС.

Разогретый кристалл ИМС, как и лицевые панели типовых элементов замены (ТЭЗ), являются источниками тепла, поэтому контроль их нагрева можно вести, измеряя температуру ИМС или же лицевых панелей ТЭЗ.

Экспериментальные исследования

В ходе проведенных исследований необходимо было подтвердить выдвинутые предположения о том, что температура может служить информативным обобщенным параметром контроля состояния РЭС в цифровом исполнении, а обобщенной точкой контроля — корпус микросхемы или лицевая панель ТЭЗ.

В качестве датчиков температуры (ДТ) были использованы бескорпусные транзисторы, откалиброванные при 0 и 100°С. С помощью регуляторов усилителя выходного сигнала ДТ диапазон изменения выходного напряжения был установлен в пределах 0–1 В, что соответствовало диапазону изменения температуры от 0 до 100°С. Датчики в ходе эксперимента крепились как к корпусам элементов, так и к лицевым панелям объектов исследования.

Исследовались специально разработанный объект контроля (ОК) — электронный модуль, состоящий из семи ИМС, и серийно изготов-

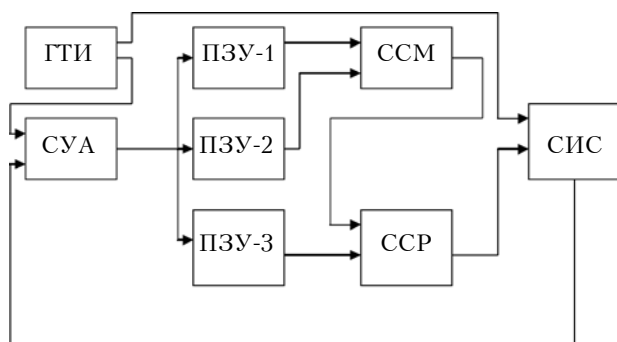


Рис. 1. Структурная схема объекта контроля: ГТИ — генератор тактовых импульсов; СУА — схема установки адреса; ПЗУ — постоянное запоминающее устройство; ССМ — схема суммирования; ССР — схема сравнения; СИС — схема индикации состояния

ливаемые ТЭЭ. Кроме этого, в качестве объекта исследований более высокого конструктивно-иерархического уровня выступало также функционально-законченное устройство (ФЗУ), прошедшее стандартные приемо-сдаточные испытания.

Упрощенная структурная схема разработанного ОК приведена на рис. 1. Он был изготовлен в соответствии с технологией производства серийно выпускаемых ТЭЭ и предназначен для суммирования и сравнения двух четырехрядных устройств, хранящихся в памяти запоминающих устройств. Схема сравнения выдает результат сравнения содержимого ПЗУ-3 и ССМ. Генератор тактовых импульсов формирует тактовую последовательность для управления схемой установки адреса и схемой индикации состояния

В объекте контроля конструктивно-схемными решениями предусмотрена возможность изменения штатного режима его элементов (производительности системы охлаждения, нагрузки выходных цепей, питающего напряжения, температуры окружающей среды), имитирующего возникновение и протекание термоактивированных процессов деградации в ОК.

В качестве диагностирующего устройства использовалось специально разработанное устройство диагностирования технического состояния (УДТС), схема которого приведена на рис. 2.

УДТС представляет собой одноплатную микро-ЭВМ. Сигналы датчиков температуры объектов исследований через коммутатор поочередно поступают в аналого-цифровой преобразователь. На компараторе уровень сигналов, полученных в АЦП, сравнивается с заданным, и выходной сигнал компаратора является информационным показателем текущего состояния соответствующего элемента схемы.

Максимально допустимые значения температуры всех элементов схемы изделия, полученные в ходе его проектирования, хранятся в оперативно-запоминающем устройстве и используются для сравнения с текущими сигналами соответствующего датчика температуры в соответствии с алгоритмом опроса датчиков температу-

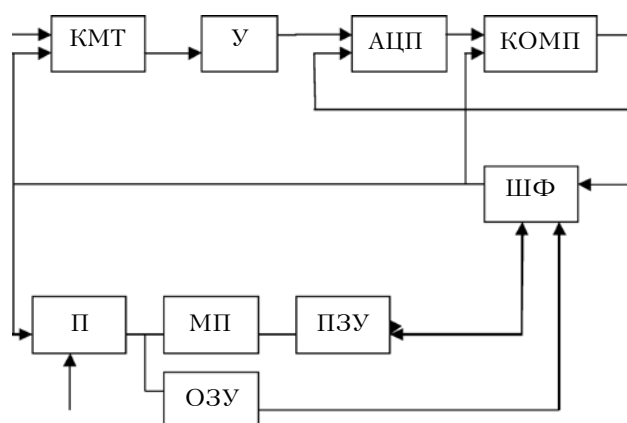


Рис. 2. Структурная схема устройства диагностирования технического состояния:

КМТ — коммутатор; У — усилитель; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; КОМП — компаратор; ШФ — шинный формирователь; П — процессор; МП — мультиплексор; ПЗУ — постоянное запоминающее устройство; ОЗУ — оперативно-запоминающее устройство

ры. Процессор предназначен для реализации программного управления микро-ЭВМ и внешними устройствами, а мультиплексор — для побайтной записи адреса, который передается процессором в регистры ПЗУ, содержащего две области: экранную — для хранения и регенерации изображения на устройства отображения и область пользователя — для хранения данных и программ пользователя. Хранение программ операционной системы и программ загрузки осуществляет ПЗУ с ультрафиолетовым стиранием. Для мультиплексирования шины данных между ОЗУ, ПЗУ и процессором применен шинный формирователь.

Температура элементов схемы ОК, помещенного в камеру тепла (точность поддержания заданной температуры $\pm 1^\circ\text{C}$), измерялась эталонным прибором Ф-266 ($T_{\text{Э}}$) и УДТС ($T_{\text{К}}$). Данные измерений приведены в табл. 1. Выбор максимального значения температуры (60°C) обусловлен температурным диапазоном работы исследуемых изделий, минимальное значение (5°C) выбрано, исходя из статистики отказов изделий в процессе периодических испытаний.

Таблица 1
Значения температуры элементов, $^\circ\text{C}$

Заданная температура	Измеренная температура		$T_{\text{Э}} - T_{\text{К}}$
	$T_{\text{Э}}$	$T_{\text{К}}$	
5	4,90	5,82	0,92
20	18,90	18,50	0,40
60	60,27	61,15	0,88

Как видно из таблицы, разность между значениями температуры, полученными при ее измерении эталонным прибором и разработанным устройством диагностирования ($T_{\text{Э}} - T_{\text{К}}$), не превышает допустимого уровня погрешности измерений температуры ИЭТ ($\pm 1^\circ\text{C}$) [11]. Это сви-

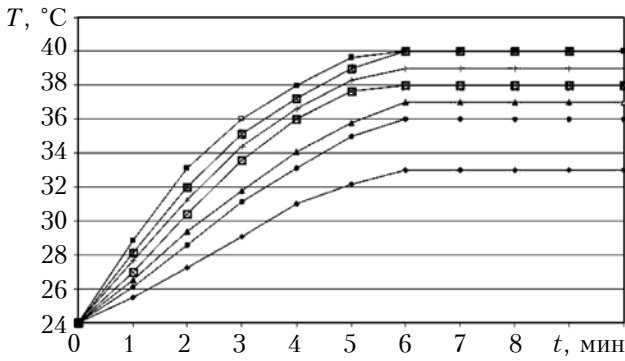


Рис. 3. Изменение во времени температуры семи исследуемых элементов

детельствует о том, что разработанное УДТС пригодно для контроля температуры современных ИЭТ с заданной степенью точности и может служить в качестве мониторинговой информационной системы, не подлежащей метрологической оценке.

В ходе дальнейших экспериментов с ОК исследовалось соответствие степени информативности цифровых логических сигналов (логические ноль и единица) техническим условиям (ТУ) на ИЭТ, изменение уровня логических сигналов элементов при увеличении их температуры вследствие нарушения режима работы.

Объекты выводились на равновесный тепловой режим (рис. 3) в соответствии с [11], после чего измерялась температура элементов ОК.

Как видно из табл. 2, значения температуры элементов, работающих в соответствии с ТУ (T_H) и с их нарушением (T_{II}), отличаются между собой на 3–11°C, что может быть легко обнаружено. Соответствующие отклонения уровней логических сигналов этих элементов составляли 30–68 мВ. Отметим, что в отличие от аналоговых электронных устройств, для которых все уровни разрешены, в цифровых микросхемах существует только два разрешенных уровня сигнала, поэтому небольшие отклонения от них никак не искажают цифровой сигнал и не влияют на нормальное функционирование цифрового устройства.

Таблица 2

Результаты измерения температуры семи ИМС, входящих в состав объекта контроля, °C

T_H	33	40	37	38	40	36	39
T_{II}	42	48	48	44	44	40	42
$T_{II} - T_H$	9	8	11	6	4	4	3

На следующем этапе исследовали серийно изготавливаемые типовые элементы замены (рис. 4), в которых на стадии приемо-сдаточных испытаний были обнаружены самоустраняющиеся отказы, причем 63% из них не выдержали непрерывный 8-часовой электрический прогон. Целью этого исследования была проверка возможности организации контроля температуры

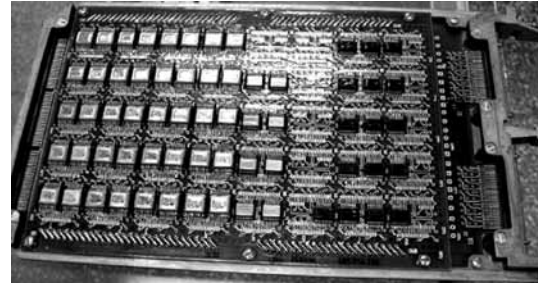


Рис. 4. Общий вид ТЭЗ

ТЭЗ в одной точке и оценка степени информативности этого параметра с точки зрения контроля надежности устройства. Измерение температуры проводилось на лицевой панели ТЭЗ, представляющей собой в данном случае теплоотвод и выполняющей роль обобщенной точки. Предварительно ТЭЗ были разделены на четыре группы в соответствии со значениями средней температуры их лицевой панели при работе в режимах согласно ТУ.

Температурные датчики устанавливали на внутренней поверхности лицевой панели, а температуру измеряли при функционировании ТЭЗ в двух режимах — в нормальных условиях ($T_{ЛН}$) и при имитации нарушений ТУ ($T_{ЛИ}$).

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что нарушение режима функционирования сопровождалось увеличением температуры лицевой панели ТЭЗ ($\Delta T_L = T_{ЛИ} - T_{ЛН}$) на 4–6°C. Очевидно, что такое отклонение температуры позволяет организовать процесс ее контроля, однако при этом получаемая характеристика является интегральной, не отражающей технического состояния каждого из элементов схемы ТЭЗ, т. к. диагностика проводится на уровне лицевой панели. Кроме этого, реализация контроля температуры лицевых панелей ТЭЗ, являющихся изделиями более высокого, чем ИМС, конструктивно-иерархического уровня, связана с конструкторско-технологическими трудностями, а сам процесс контроля имеет большую инерционность. Однако следует отметить, что несмотря на указанные недостатки, измерение температуры лицевой панели ТЭЗ для контроля состояния цифровых устройств может быть использовано в условиях плотного монтажа элементов на печатных платах с высоким уровнем тепловыделения.

Таблица 3

Экспериментальные данные по ТЭЗ четырех групп, °C

$\overline{T_{ЛН}}$	$\overline{T_{ЛИ}}$	ΔT_L	$\overline{T_B}$	$\overline{T_A}$
38	42	4	49	55
41	47	6	52	58
43	49	6	54	60
39	44	5	49	55

На третьем этапе исследований проводили контроль температуры корпуса каждого элемента ТЭЗ. В этом случае при нарушении режима функционирования температура возрастала на 6–12°C, т. е. по сравнению с измерениями, проводимыми на лицевой панели, повышалась не только информативность (выявление дефекта на уровне элемента), но и чувствительность. Таким образом, в качестве обобщенного параметра контроля технического состояния устройства можно рекомендовать температуру корпуса элемента, а сам корпус элемента — в качестве обобщенной точки.

Для установления возможности использования температуры для изучения кинетики отказа исследовалось функционально-законченное устройство. Исследования проводили следующим образом.

ФЗУ представляло собой шкаф, состоящий из шестидесяти девяти ТЭЗ, среди которых были и исправные, и те, что не прошли 8-часовой прогон. На лицевых панелях последних были установлены ДТ. Сначала шкаф работал в соответствии с требованиями ТУ, однако через некоторое время (полтора-два часа) его нормальное функционирование нарушалось вследствие отказов дефектных ТЭЗ (как и при прогоне), причем происходило это при температурах лицевых панелей, не превышающих значения допустимых по ТУ ФЗУ. В таком случае момент отказа может быть зафиксирован только специальным штатным стендовым оборудованием, а идентификация технического состояния изделий различного конструктивно-иерархического уровня с целью принятия решения относительно их дальнейшей эксплуатации невозможна. Поэтому процесс кинетики отказа исследовался путем контроля температуры корпусов элементов дефектных ТЭЗ в составе шкафа.

Для исследования кинетики отказа использовались значения температуры корпусов элементов, зафиксированные при отказе ТЭЗ в процессе электрического прогона: эта температура служила в качестве отказового показателя T_A (сигнал «Авария»), а величина $T_B = T_A - 6^\circ\text{C}$ — в качестве предотказового (сигнал «Внимание») (табл. 3). Для наблюдения за кинетикой процесса изменения температуры перед наступлением отказа было предусмотрено формирование на индикаторном устройстве соответствующих сигналов при достижении значений T_B и T_A . Следует отметить, что для непрерывного контроля можно задать любое необходимое число уровней температуры соответствующих элементов, которые будут отображать соответствующее состояние РЭС. При этом функцию теплового мониторинга можно сделать внутренней функцией устройства, предусмотрев ее еще на стадии проектирования РЭС.

В результате проведенных исследований ФЗУ удалось выявить тенденции изменения его технического состояния, которые не были обнаружены в ходе приемо-сдаточных испытаний.

Выводы

Таким образом, исследования функциональных узлов различного конструктивно-иерархического уровня цифровых РЭС, в том числе низшего — интегральной микросхемы, показали, что контроль их температуры может быть использован для автоматического мониторинга технического состояния таких устройств в масштабе реального времени. В качестве обобщенного параметра контроля следует использовать температуру корпуса элемента, а сам корпус элемента — в качестве обобщенной точки. В современной радиоэлектронной аппаратуре, построенной на элементах «система на кристалле» (SoC), возможна эффективная организация контроля, поскольку датчик температуры можно разместить в полупроводниковом кристалле, который является и источником тепла, и обобщенной точкой контролируемого ИЭТ. Это позволит не только устранить инерционность измерения, но и значительно упростить конструктивно-схемное решение и существенно повысить достоверность данных контроля.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ushakov I. Is the theory of reliability living yet? // Proc. of the 6th Int. conf. „Mathematical methods in safety”. — USA, Sante Fe. — 2006. — P. 188.
2. International standard IEC 60747-1 Second edition 2006-2 Semiconductor devices. Part 1: General IEC 2006 Copyright.
3. Bowles J.B. A survey reliability prediction procedures for microelectronics devices // IEEE Trans. Reliab. — 1992. — Vol. 41, N 1. — P. 2–12.
4. Стрельников В. П. Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры // Математичні машини і системи. — 2007. — № 3, 4. — С. 227–238.
5. Coppola A. The status of the reliability engineering technology // Reliability Society Newsletter. — 1997. — N 43. — P. 7–9.
6. Городецкий А. Тестирование или техническая диагностика цифровых устройств // Компоненты и технологии. — 2011. — № 3. — С. 8–10.
7. Лаврич Ю. Н. Особенности контроля надежности системы управления высокоскоростного наземного транспорта // Тр. XIII МНПК «СИЭТ-2012». — Украина, г. Одесса. — 2012. — С. 218.
8. Глаголев К. В. Физическая термодинамика. — Москва: Изд-во МВТУ, 2007.
9. Степанов Ю.И. Современная концепция обеспечения надежности и стойкости радиоэлектронных средств вооружения // Технологическое оборудование и материалы : информ. бюллетень для руководителей, организаторов пр-ва и технологов. — 1998. — № 4. — С. 50–53.
10. ГОСТ В 20.57.306-76 КСКК. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Общие технические требования, методы контроля и испытаний.

*Дата поступления рукописи
в редакцию 22.05 2015 г.*

Ю. М. ЛАВРИЧ

Україна, м. Дніпропетровськ, Інститут транспортних систем і технологій НАНУ

E-mail: lavrich@westa-inter.com

ТЕПЛОВИЙ МОНІТОРИНГ ЯК МЕТОД ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЦИФРОВИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Наведено результати експериментальних досліджень, спрямованих на розробку систем контролю, в яких узагальненим параметром технічного стану системи мали б бути теплові характеристики елементної бази в одній узагальненій точці. Дослідження проводилися на цифрових радіоелектронних виробках, що серійно випускаються.

Ключові слова: цифрові пристрої, технічний стан, контроль, узагальнений параметр, тепловий моніторинг.

DOI: 10.15222/ТКЕА2015.4.36
UDC 621.382

Yu. N. LAVRICH

Ukraine, Dnepropetrovsk Institute of Transport Systems and Technologies of NASU

E-mail: lavrich@westa-inter.com

THERMAL MONITORING AS A METHOD FOR ESTIMATION OF TECHNICAL STATE OF DIGITAL DEVICES

Requirements to the reliability level of modern element base are so high that traditional methods of assessing the technical condition of electronics become ineffective, the modern theory of reliability has almost no practical applications [1], and reliability index does not reflect the true state of an electronic device due to an insufficient amount of information received during testing of electronic devices.

The majority of modern electronics are limitedly easy-to-test. They are equipped with small number of tools for direct measurement that leads to a delayed troubleshooting and the inability to take measures efficiently.

Despite the fact that new generations of electronics use modern components and new design technologies, their performance is still defined by two states – serviceability or failure, and the failure still happens unexpectedly. We may note, that failure is an uncontrolled result of an irreversible degradation process, taking place in time and having appropriate time parameters, but it's not the critical act.

Research of various structural and hierarchical levels of functional units of digital electronics show that temperature control can be used for automatic condition monitoring of such devices in real time. As a generalized control parameter, it is advisable to use the temperature of the case of the element, and the case itself – as a generalized point.

Keywords: digital devices, technical state, control, generalized parameter, thermal monitoring.

REFERENCES

1. Ushakov I. Is the theory of reliability living yet? *Proc. of the 6th Int. Conf. „Mathematical methods in safety”*, USA, Sante Fe, 2006, p. 188.

2. *International standard IEC 60747-1 Second edition 2006-2 Semiconductor devices – Part 1: General IEC 2006* Copyright.

3. Bowles J.B. A survey reliability prediction procedures for microelectronics devices. *IEEE Trans. Reliab.*, 1992, vol. 41, no. 1, pp. 2-12.

4. Strelnikov V.P. New technology the research of machine and equipment reliability. *Mathematical Machines and Systems*, 2007, no. 3, 4, pp. 227-238. (Rus)

5. Coppola A. The status of the reliability engineering technology. *Reliability Society Newsletter*, 1997, no. 43, pp. 7-9.

6. Gorodetskiy A. [Testing or technical diagnostics of digital devices]. *Components & Technologies*, 2011, no. 3, pp. 8-10.

7. Lavrich Yu. N. [The features of control system safety monitoring for high speed surface transport]. *Proc. of the XIII Int. Sc. Pract. Conf. “Modern information and electronic technologies: MIET-2012”*, Ukraine, Odessa, 2012, p. 218. (Rus)

8. Glagolev K.V. *Fizicheskaya termodinamika* [Physical Thermodynamics]. Moscow, Publishing house of Bauman MSTU, 2007.

9. Stepanov Yu. I. [The modern conception of providing the radio electronic arming equipment reliability and firmness]. *Elektronnyi katalog: Tekhnologicheskoe oborudovanie i materialy*, 1998, no. 4, pp. 50-53. (Rus)

10. GOST B 20.57.306-76 KCKK. *Apparatura, pribory, ustroystva i oborudovanie voennogo naznacheniya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya, metody kontrolya i ispytaniy* [State Standart 20.57.306-76 KCKK. Equipment, instruments, devices and equipment for military purposes. General technical requirements, methods of inspection and testing.]. (Rus)