

УДК 621.3.019.34

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ОТКАЗА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА

А. И. ТАТАУРОВ¹

¹tataurov.ai@ugatu.su

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ)

Аннотация. Проблема отказа электронного устройства наиболее остро стоит в специализированной аппаратуре или аппаратуре ответственного назначения, где условия эксплуатации, заданные потребителем, могут быть исключительно жесткими, а само устройство должно функционировать в любое время включения при общем сроке службы изделия от 15 до 30 лет, что характерно для систем жизнеобеспечения, авиации и других ответственных сфер.

Ключевые слова: отказ, электронное устройство, электрификация, температура, вибрация, влажность, электрические нагрузки.

ВВЕДЕНИЕ

Ввиду всеобщей электрификации, повлекшей за собой расширение числа применяемых датчиков и систем встроенного контроля, с целью снижения вероятности отказов оборудования в последнее время приобретают актуальность методы прогнозирования технического состояния и подсчета рисков, позволяющие на основе обрабатываемой информации отслеживать уровень функционирования электронных устройств и системы в целом и в перспективе перейти к техническому обслуживанию по состоянию.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ

Для достижения вышеуказанной цели рассмотрим основные механизмы отказа электронного блока.

С точки зрения распределения долей отказов по видам внешних воздействующих факторов (ВВФ) среди аппаратуры образцов вооружения и военной техники на момент 2002 г. [1] распределение имеет вид согласно диаграммам, на рис. 1.

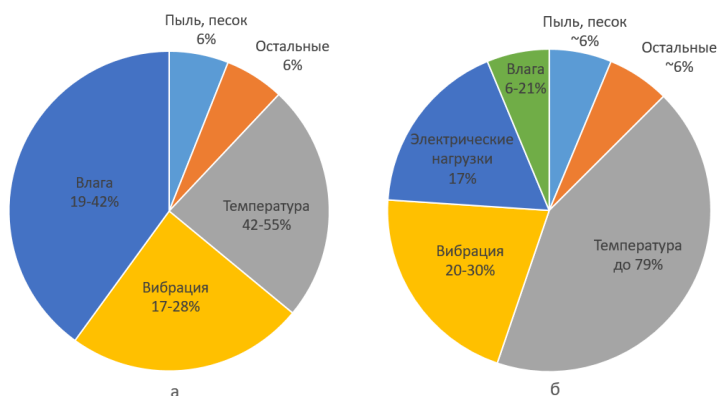


Рис. 1. Отказы среди аппаратуры образцов вооружения и военной техники по ВВФ:

а – при эксплуатации, б – при испытаниях

Из приведенных диаграмм можно выделить две основные категории, ответственных за ~88% всех отказов электронного блока: климатические и механические ВВФ.

Климатические ВВФ:

1) повышенная/пониженная температура. Известно, что при изменении температуры изменяются характеристики материалов и электрорадиоизделий (ЭРИ): меняется сопротивление резисторов, емкость конденсаторов, индуктивность моточных изделий, снижается сопротивление изоляций и происходит интенсивное старение материалов;

2) перепад температур. Резкие изменения температуры, вызванные условиями эксплуатации, например, набором высоты летательным аппаратом, или собственным нагревом ЭРИ, являются серьезной нагрузкой на электронный блок, которая может выявить скрытые дефекты и привести к отказу всего изделия;

3) повышенная влажность. Влага является электролитом, что может послужить причиной электрического пробоя или коррозии паянных соединений печатной платы, кроме того влага может нести в себе соли и прочие примеси, негативно влияющие на надежность электронного блока;

4) атмосферное давление. Данный фактор наиболее остро стоит в электронике авиационного назначения, поскольку снижение атмосферного давления влечет снижение электрической прочности, а также естественной конвекции воздуха, что может послужить причиной электрического или теплового пробоя;

5) прочие факторы. В данную группу можно отнести пыль, которая создает условия развития плесени, песок, солевой туман и прочие факторы, негативно влияющие на надежность электронного блока.

Механические ВВФ могут включать в себя случайную широкополосную вибрацию, линейное ускорение по осям X, Y, Z, акустический шум, механический удар одиночного действия, механический удар многократного действия и т.д. Все вышеперечисленные факторы могут послужить причиной возникновения трещин в печатных платах и отрыву контактных площадок, разрушению паянных соединений, растрескивания диэлектрика танталовых и керамических конденсаторов, отслаивания выводных контактов микросхем.

Поскольку надежность электронного блока определяется надежностью входящих в его состав компонентов, то для повышения отказоустойчивости необходимо рассмотреть наиболее подверженные внешним воздействующим факторам компоненты и их механизмы отказа. В данном направлении известно несколько работ [2, 3], согласно результатам которых на рис. 2 приведена диаграмма наиболее подверженных отказу групп компонентов электронного блока.



Рис. 2. Доля отказов групп компонентов электронного блока

Согласно выделенным группам компонентов по рис.2 была сформирована табл. 1, в которой приведен анализ возможных отказов электронного блока для углубленного понимания механизмов отказа.

Таблица 1

Анализ возможных отказов электронного блока

Компонент электронного блока	Механизм отказа	Описание неисправности
1	2	3
Конденсаторы	Растрескивание диэлектрика	Растрескивание диэлектрика связано с разрывом внутримолекулярных и межмолекулярных связей. Распространено среди керамических и танталовых конденсаторов. Причины: перепад температур, скачки напряжения, механическое воздействие (вибрации), деформации печатной платы. Признаки: ток утечки выше номинального, КЗ, снижение напряжения пробоя
	Перегорание контакта между выводом и обкладкой конденсатора/ обрыв вывода	Распространено среди выводных конденсаторов. Причины: перепад температур, механическое воздействие (вибрация), электрические перегрузки. Признаки: обрыв электрической цепи.
	Полевая кристаллизация диэлектрика	Причины: кристаллизация из-за резкого изменения напряженности электрического поля, импульсы тока и напряжения, перегрев при пайке. Признаки: КЗ, ток утечки выше номинального, взрыв.
	Высыхание электролита	Распространено среди электролитических конденсаторов Причины: повышенная температура, негерметичность корпуса. Признаки: снижение емкости, увеличение ESR.
	Пробой канала сток-исток	Зависит от напряжения пробоя, которое определяется как значения напряжения при закрытом канале транзистора, при котором ток сток-истока превышает установленное значение. Причины: повышенная температура, перепад температур, электрические перегрузки. Признаки: увеличение тока утечки, сопротивление перехода.
	Короткое замыкание Обрыв	КЗ каналов сток-исток или затвор-исток. Причины: электрические перегрузки, повышенная температура, недостаточное охлаждение. Признаки: увеличение потребления источника питания, просадка напряжения питания. Причины: электрические перегрузки, повышенная температура, недостаточное охлаждение, механическое воздействие (вибрация). Признаки: снижение потребления источника питания.

Продолжение таблицы 1

	Увеличение сопротивления перехода в открытом состоянии	В большей степени определяет рассеиваемую мощность. При увеличении сопротивления выше номинального присутствует значительный риск перегрева транзистора и дальнейшего отказа из-за теплового пробоя. На данный параметр влияют почти все негативные воздействия, из-за чего его значение является показательным при оценке состояния транзистора. Признаки: значительный перегрев транзистора на номинальной нагрузке.
Микросхемы (в пластике)	Обрыв перемычек между кристаллом и выводами, обрыв вывода	Причины: механическое воздействие (вибрация), повышенная температура, перепад температур, электрические перегрузки. Признаки: обрыв электрической цепи
	Электрический пробой полупроводников	Причины: статический пробой, электрические перегрузки Признаки: КЗ.
Печатные платы	Короткое замыкание	Может послужить причиной выгорания дорожек печатной платы, перегорания выводов микросхем. Причины: повышенная влажность (как следствие коррозии, окисление, снижение напряжения электрического пробоя). Признаки: локальный нагрев печатной платы, перегрев компонентов.
	Отрыв контактных площадок, растрескивание металлизации переходного отверстия	Причины: механические воздействия (циклические), повышенная температура, повышенная влажность. Признаки: временная потеря контакта, полный обрыв электрической цепи, снижение напряжения пробоя.
	Окисление металлизации	Коррозия, возникающая наиболее часто в месте пайки. Причины: повышенная влажность, агрессивные среды (соль, плесень и т.д.) Признаки: временная потеря контакта, полный обрыв электрической цепи, снижение напряжения пробоя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из приведенной диаграммы на рис.2 и представленной табл. 1 можно явно определить более 90% отказов электронного блока, что дает возможность отслеживать наиболее уязвимые группы компонентов и на основе анализа данных заблаговременно предотвращать выход из строя эксплуатируемого оборудования. Среди наиболее частых причин отказа компонентов электронного блока явно выделяются температура, механическое воздействие и электрические перегрузки, что в общем то соотносится со статистикой, приведенной на рис.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Писарев В. Система испытания – основа обеспечения надежности РЭА // Электроника: НТБ – 2000. - №4. – С.50-53.
2. Савин М.Л., Зуев В.Д., Кочегаров И.И. Методика контроля работоспособности устройства по косвенным параметрам // Надежность и качество сложных систем. – 2022.
3. Кочегаров И.И., Юрков Н.К., Абдирашев О.К. Методика оценки остаточного ресурса электронного блока с использованием ускоряющих факторов // Надежность и качество сложных систем. – 2020.

4. **Савин М.Л., Гришко А.К., Зуев В.Д.** Анализ отказов полевых транзисторов при контроле работоспособности устройства по косвенным параметрам // Надежность и качество сложных систем. – 2022.
5. **Синякова О., Рентюк В.** Зависимость времени наработки на отказ электролитических конденсаторов от реальных условий их эксплуатации // Компоненты и Технологии. – 2014.
6. **Шпенст В.А., Краснов Н.В.** Анализ методов мониторинга состояния карбид-кремниевых полевых транзисторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023.
7. **Юдин А.А., Жихарев К.В., Кочегаров И.И.** Отслеживание состояния объекта по ключевым параметрам // Надежность и качество. 2020.
8. **Мишанов Р.О., Пиганов М.Н., Перевертов В.П.** Выбор электрических параметров интегральных микросхем специального назначения для проведения индивидуального прогнозирования показателей качества и надежности // Надежность и качество сложных систем. – 2018.
9. **Мишанов Р.О.** Исследование признаков, видов, причин и механизмов отказов микросхем, выполненных по КМОП-технологии // Надежность и качество. - 2017.
10. **Данилова Е.А., Кочегаров И.И., Юрков Н.К.** Информационно-измерительная система обнаружения дефектов печатных плат // Вестник Пензенского государственного университета. - 2017.
11. **Фролов С.И., Горячев Н.В., Таньков Г.В.** О некоторых проблемах надежно-ориентированного проектирования бортовых РЭС // Надежность и качество сложных систем. – 2017.

ОБ АВТОРАХ

ТАТАУРОВ Александр Игоревич, аспирант ПИШ «Моторы будущего» Уфимский университет науки и технологий.

METADATA

Title: Analysis of failure mechanisms of electronic unit.

Authors: ¹A. I. Tataurov

Affiliation:

¹ Ufa University of science and technology (UUST), Russia.

Email: ¹tataurov.ai@ugatu.su

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (31), pp. 124-128, 2024. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The problem of failure of an electronic device is most acute in specialized equipment or equipment for critical purposes, where the operating conditions specified by the consumer can be extremely harsh, and the device itself must function at any time when switched on with a total service life of the product from 15 to 30 years, which is typical for life support systems, aviation and other critical areas.

Key words: failure, electronic device, electrification, temperature, vibration, humidity, electrical loads.

About authors:

TATAUROV Alexander Igorevich, postgraduate student of the AES "Motors of the Future" Ufa University of Science and Technology