УДК 621.396

Л.И. Сулейманова, Т.И. Давыдова

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА СОХРАНЯЕМОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сулейманова Лилия Ирфановна, кандидат технических наук, окончила энергетический факультет Ульяновского государственного технического университета. Ведущий инженер ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет публикации и изобретения в области измерительных преобразователей больших постоянных токов. [e-mail: suleimanova.lili@mail.ru].

Давыдова Татьяна Ивановна, кандидат технических наук, окончила радиотехнический факультет Ульяновского государственного технического университета. Ведущий инженер ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет публикации и монографию в области расчетов надежности и эксплуатации радиотехнических средств. [e-mail: tasha_dav@inbox.ru].

Аннотация

В данной статье рассматриваются проблемы, возникающие при применении электрорадиоизделий (ЭРИ) иностранного производства (ИП), которые при эксплуатации основную часть времени находятся в режиме ожидания (хранения) в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности, и возможные пути решения этих проблем.

Предложена методика оценки показателей сохраняемости, которая основана на определении характеристик ЭРИ ИП для режима ожидания (хранения). Методика реализована на математических моделях с использованием значений энергии активации физико-химических процессов деградации ЭРИ ИП. Применение для решения рассматриваемых проблем математических моделей может позволить наиболее эффективным образом прогнозировать надежность изделий.

Приведены расчёты и сравнительный анализ значений минимального срока службы (минимального срока сохраняемости) при повышенной температуре для нескольких групп ЭРИ ИП и к нескольким моделям внешних воздействующих факторов.

Ключевые слова: надежность, показатели сохраняемости, электрорадиоизделия иностранного производства.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-4-62-33-37

CALCULATION OF SAFETY INDEX FOR FOREIGN ORIGIN ELECTRONIC COMPONENTS

Liliia Irfanovna Suleimanova, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Power Engineering Faculty of Ulyanovsk State Technical University; Leading Engineer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles and inventions in the field of heavy DC detector means. e-mail: suleimanova.lili@mail.ru.

Tatiana Ivanovna Davydova, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Radioengineering Faculty of Ulyanovsk State Technical University; Leading Engineer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles and monograph in the field of calculations of radio equipment performance reliability. e-mail: tasha_dav@inbox.ru.

Abstract

The article deals with problems arising from the use of foreign origin electronic components, being off the line in standby (storage) mode during operation with periodic monitoring of their operability, as well as with possible ways to solve these problems.

It proposes the method of assessing the safety index based on determining the characteristics of foreign origin electronic components for the standby (storage) mode. The method is implemented using mathematical models with the activation energy of physical and chemical processes of electronic components degradation. The use of mathematical models to solve the problem may allow forecasting the reliability of products in the most efficient way.

The authors give calculations and comparative analysis of the minimum service life (minimum shelf life) at an elevated

temperature for several groups of foreign origin electronic components and for several models of external influencing factors.

Keywords: reliability, safety index, foreign origin electronic components.

ВВЕДЕНИЕ

Сложность и ответственность задач, решаемых с помощью современных изделий (приборов, модулей, устройств), заставляют предъявлять к их надежности весьма высокие требования. Это достигается, в том числе за счет использования электрорадиоизделий (ЭРИ) и комплектующих надлежащего качества, обладающих необходимыми для изделия характеристиками.

Однако российские производители ЭРИ выпускают не весь спектр необходимой продукции, при этом ЭРИ иностранного производства (ИП) иногда по своим функциональным свойствам превосходят отечественные аналоги. Поэтому при разработке современных и высокотехнологичных изделий встает вопрос о применении ЭРИ ИП.

При этом применение ЭРИ ИП создает значительные трудности при расчете надежности электронных устройств (изделий), которые при эксплуатации основную часть времени находятся в режиме ожидания (хранения) в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности. Как известно, для таких электронных устройств (изделий) следует рассчитывать интенсивность отказов ЭРИ по моделям, которые отличаются от моделей эксплуатационной интенсивности отказов [1].

Что же касается ЭРИ зарубежного производства (или их отечественных аналогов), то для них такие модели в нормативно-технической документации зачастую не приводятся. По аналогии с ЭРИ отечественного производства, сроки сохраняемости и годности которых отображены в технических условиях, интересующие данные можно найти в datasheet производителя. Однако не все компании и не на все ЭРИ указывают эти данные.

Проблематике разработки методики расчета срока сохраняемости ЭРИ ИП посвящена данная статья.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СРОКА СОХРАНЯЕМОСТИ ЭРИ ИП

Минимальный срок сохраняемости $T_{\text{сх.мин}}$ задают, как правило, для условий длительного хранения изделий военной техники в заводской упаковке (укладке) или в законсервированном виде (с одновременным указанием условий хранения), а также периодичности проверок технического состояния и переконсервации [2].

В соответствии с [3, 4] минимальный срок сохраняемости $T_{\text{сх.мин}}$, который является аналогом назначенного срока $T_{\text{сл.мин}}$, составляет некоторую фиксированную

часть гамма-процентного срока сохраняемости, т. е. имеет место соотношение:

$$T_{\text{сл.мин}} = T_{\text{сх.мин}} = d \cdot T_{\text{сх.}\gamma}, \quad (1)$$

где $d < 1$ – заданное фиксированное число;

$T_{\text{сх.}\gamma}$ – гамма-процентный срок сохраняемости при некотором заданном значении γ (обычно $\gamma \geq 90\%$ – для ЭРИ с ограниченным ресурсом и $\gamma = 95\%$ – для ЭРИ с относительно большим ресурсом).

В свою очередь для экспоненциального закона:

$$T_{\text{сх.}\gamma} = -\frac{\ln \gamma}{\lambda_{\text{э.х}}}, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{э.х}}$ – интенсивность отказов ЭРИ при хранении.

В соответствии со справочником [5] интенсивность отказов $\lambda_{\text{э.х}}$ групп ЭРИ в режиме ожидания (хранения) может быть представлена следующей математической моделью:

$$\lambda_{\text{э.х}} = \lambda_{\text{б.с.г.х}} \cdot K_{t,x} \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{б.с.г.х}}$ – базовая интенсивность отказов ЭРИ при хранении в нормальных условиях;

$K_{t,x}$ – коэффициент, зависящий от фактической температуры хранения;

K_i – коэффициент модели, не зависящий от температуры;

n – количество коэффициентов.

Для большинства ЭРИ коэффициент $K_{t,x}$ может быть вычислен по формуле [4, 6]:

$$K_{t,x} = A \cdot e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{t_2 + 273} - \frac{1}{298} \right)}, \quad (4)$$

где E_a – энергия активации физико-химических процессов деградации ЭРИ, эВ;

k – постоянная Больцмана (равная $8,615 \cdot 10^{-5}$ эВ/°С);

t – фактическая температура хранения, °С;

A – постоянный коэффициент, не зависящий от температуры.

Приведенная модель используется в диапазоне температур от минимальной температуры хранения до максимально допустимой по нормативно-технической документации для каждого типа изделий.

Подставляя (2)–(4) в формулу (1), получается:

$$T_{\text{сл.мин}} = T_{\text{сх.мин}} = -d \cdot \frac{\ln \gamma}{\lambda_{\text{б.с.г.х}} \cdot \prod_{i=1}^n K_i \cdot A \cdot e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{t_2+273} - \frac{1}{298} \right)}}, \quad (5)$$

Составим отношение срока службы (срока сохраняемости), вычисленных при двух значениях температуры t_1 и t_2 .

Поскольку $d, \gamma, \lambda_{\text{б.с.г.х}}, K_i, A$ не зависят от температуры, получается формула расчёта, которая после простых преобразований будет иметь следующий вид:

$$\frac{T_{\text{сл.мин}}(t_1)}{T_{\text{сл.мин}}(t_2)} = \frac{T_{\text{сх.мин}}(t_1)}{T_{\text{сх.мин}}(t_2)} = e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{t_2+273} - \frac{1}{t_1+273} \right)}. \quad (6)$$

Пусть известно значение $T_{\text{сл.мин}} = T_{\text{сх.мин}}$ при температуре t_1 , в соответствии с (6) при температуре t_2 минимальный срок службы (минимальный срок сохраняемости) будет равен:

$$T_{\text{сл.мин}}(t_2) = T_{\text{сх.мин}}(t_2) = \frac{T_{\text{сл.мин}}(t_1)}{e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{t_2+273} - \frac{1}{t_1+273} \right)}}. \quad (7)$$

В таблице 1 приведена усреднённая энергия активации физико-химических процессов деградации ЭРИ ИП для соответствующих групп ЭРИ из [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СРОКОВ СОХРАНЯЕМОСТИ ЭРИ ИП

Используя соотношение (7), был проведен расчёт минимального срока службы (минимального срока сохраняемости) для наиболее используемых на предприятии ФНПЦ АО «НПО «Марс» групп ЭРИ ИП применительно к установленным моделям внешних воздействующих факторов (ВВФ) (табл. 2).

За известную величину $T_{\text{сл.мин}}(t_1)$ был взят усреднённый срок сохраняемости ЭРИ ИП, приравненный к значению срока сохраняемости отечественных аналогов ЭРИ, взятого из технических условий, при диапазоне изменения значения температуры окружающей среды от - 60 °С до 85 °С.

Результаты расчёта минимального срока службы (минимального срока сохраняемости) в соответствии с заданными значениями энергии активации E_a для групп ЭРИ ИП для соответствующей группы аппаратуры приведены в таблице 3.

Результаты расчета показывают, что все группы ЭРИ ИП, приведенные в таблице 3, имеют срок сохраняемости не менее 22 лет.

Таким образом, используя соотношение (7), можно рассчитать минимальный срок службы (минимальный срок сохраняемости) для соответствующих групп ЭРИ ИП применительно к установленной модели ВВФ.

Таблица 1

Энергия активации для групп ЭРИ ИП

№ п.п.	Группы ЭРИ ИП	E_a , эВ
<i>Интегральные микросхемы</i>		
1	Цифровые металл-окисел-полупроводниковые (МОП)-технологии	0,35
2	Аналоговые	0,65
3	Микросхемы памяти	0,60
4	GaAs сверхвысокой частоты (СВЧ)	1,50
<i>Полупроводниковые приборы</i>		
	Диоды низкочастотные:	
5	все, кроме регуляторов тока и стабилитронов	0,27
6	регуляторы тока, стабилитроны	0,17
7	Транзисторы биполярные низкочастотные	0,18
8	Транзисторы полевые низкочастотные	0,17
<i>Оптоэлектронные полупроводниковые приборы</i>		
9	Все группы оптоэлектронных полупроводниковых приборов, кроме лазерных диодов	1,50
<i>Резисторы</i>		
10	Постоянные пленочные, в т. ч. поверхностного монтажа	0,08
11	Постоянные проволочные	0,08
	Переменные проволочные:	
12	все, кроме полупрецизионных	0,08
13	полупрецизионные	0,20
<i>Конденсаторы</i>		
14	Керамические постоянной ёмкости, в т. ч. поверхностного монтажа	0,35
15	Оксидно-полупроводниковые, в т. ч. поверхностного монтажа	0,15
16	Оксидно-электролитические алюминиевые	0,35
<i>Трансформаторы, катушки индуктивности</i>		
17	Трансформаторы, катушки индуктивности	0,11
<i>Соединители</i>		
18	Соединители	0,14

Таблица 2

Модель ВВФ, воздействующих на ЭРИ ИП

Наименование ВВФ	Наименование характеристик ВВФ, единица измерения	Значение воздействующих факторов для групп аппаратуры		
		1.1	1.2	2.1
1 Повышенная температура среды	Рабочая, °C	25	40	55
	Предельная, °C	50	50	70
2 Пониженная температура среды	Рабочая, °C	10	5	-40
	Предельная, °C (без конденсации влаги)	-20	-20	-50
3 Изменение температуры среды (без конденсации влаги)	Диапазон, °C	от -20 до 50	от -20 до 50	от -50 до 70

Таблица 3

Значения минимального срока службы (минимального срока сохраняемости)
для групп ЭРИ ИП при повышенной температуре среды

№ п.п.	Группы ЭРИ ИП	$T_{сл} (T_{сх})$, лет для модели ВВФ, выбранной для расчета	$T_{сл} (T_{сх})$, лет для модели ВВФ, установленной для соответствующей группы аппаратуры	
			1.1, 1.2	2.1
Интегральные микросхемы				
1	Цифровые МОП-технологии	20	79	33
2	Аналоговые		более 100	50
3	Микросхемы памяти		более 100	47
4	GaAs СВЧ		более 100	
Полупроводниковые приборы				
5	все, кроме регуляторов тока и стабилизаторов	20	59	29
6	регуляторы тока, стабилизаторы		42	25
7	Транзисторы биполярные низкочастотные		43	26
8	Транзисторы полевые низкочастотные		42	25
Оптоэлектронные полупроводниковые приборы				
9	Все группы оптоэлектронных полупроводниковых приборов, кроме лазерных диодов	20	более 100	
Резисторы				
10	Постоянные пленочные, в т. ч. поверхностного монтажа	20	30	22
Конденсаторы				
11	Керамические постоянной ёмкости, в т. ч. поверхностного монтажа	20	79	33
12	Оксидно-полупроводниковые, в т. ч. поверхностного монтажа		40	25
13	Оксидно-электролитические алюминиевые	20	79	33
Трансформаторы, катушки индуктивности				
14	Трансформаторы, катушки индуктивности	20	34	23
Соединители				
15	Соединители	20	38	24

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика оценки показателей сохраняемости основана на определении характеристик ЭРИ для режима ожидания (хранения) и позволяет использовать обобщенную математическую модель.

На основе предложенной методики получены значения минимального срока службы (минимального срока сохраняемости) для различных групп ЭРИ ИП. Рассчитанные показатели сохраняемости могут быть применены для оценки надежности изделий, имеющих в своем составе ЭРИ ИП.

Представленный подход к расчету срока сохраняемости может быть реализован применительно к разным группам ЭРИ ИП и к нескольким моделям ВВФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров О. Оценка показателей сохраняемости цифровых устройств релейной защиты // Современные технологии автоматизации. 2013. № 2. С. 90–96.
2. ГОСТ РВ 27.3.01–2005. Надежность военной техники. Состав и общие правила задания требований к надежности. М. : Стандартинформ, 2005.
3. ГОСТ 27.003–2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М. : Госстандарт России, 2016.
4. ГОСТ В 20.39.403–81. Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования по надежности. М. : Госстандарт России, 1981.
5. Надежность электрорадиоизделий иностранного производства : справ. М. : 22 ЦНИИ МО РФ, 2006.
6. Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств : учеб.-метод. пособие. Минск : БГУИР, 2010. 62 с.

REFERENCES

1. Zakharov O. Otsenka pokazatelei sokhraniaemosti tsifrovyykh ustroystv releinoi zashchity [Assessment of Storability of Protective Relaying Digital Devices]. *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii* [Contemporary Technologies in Automation], 2013, no. 2, pp. 90–96.
2. GOST RV 27.3.01–2005. Nadezhnost voennoi tekhniki. Sostav i obshchie pravila zadaniia trebovaniy k nadezhnosti [State Standard GOST RV 27.3.01–2005. Military Equipment Reliability. Contents and General Rules for Specifying Reliability Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2005.
3. GOST 27.003–2016. Nadezhnost v tekhnike. Sostav i obshchie pravila zadaniia trebovaniy po nadezhnosti [State Standard GOST 27.003–2016. Industrial Product Dependability. Contents and General Rules for Specifying Dependability Requirements]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 2016.
4. GOST V 20.39.403–81. Kompleksnaia sistema obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy. Izdeliia elektronnoi tekhniki, kvantovoi elektroniki i elektrotekhnicheskikh voennogo naznachenii. Trebovaniia po nadezhnosti [State Standard GOST V 20.39.403–81. Complex Quality Control System. Electronic, Quantum Electronic and Electrotechnical Components. Test Methods]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 1981.
5. Nadezhnost elektroradioizdelii inostrannogo proizvodstva. Sprav. [Reliability of Electronic Device of Foreign Manufacture. Reference Guide]. Moscow, 22 TsNII MO RF Publ., 2006.
6. Borovikov S.M., Tsyrelchuk I.N., Troian F.D. Raschet pokazatelei nadezhnosti radioelektronnykh sredstv. Ucheb.-metod. posobie [The Performance Reliability Calculation of Radioelectronic Devices. Guidance Manual]. Minsk, BGUIR Publ., 2010. 62 p.