

УДК 53.09

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ И МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОБОРУДОВАНИЯ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

А.Е. ЮХНЕВИЧ, А.Н. КОРОБОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 10 ноября 2016

На основании исследования литературы по проблеме прогнозирования и долговечности печатных плат и защитных покрытий, приведен анализ их отказов, позволяющий разработать методы оценки и прогнозирования отказов печатных плат и защитных покрытий оборудования радиорелейных систем передачи при влиянии реальных условий эксплуатации.

Ключевые слова: защитные покрытия, печатные платы, долговечность, радиорелейное оборудование.

Введение

Вопросам физики отказов защитных покрытий (ЗП) для блоков и приборов радиоэлектронного оборудования, в том числе и радиорелейных систем передачи, посвящена обширная литература [1-10]. В меньшей мере исследованы отказы печатных плат, герметизированных ЗП [11-13] и отказы полупроводников и ИМС, размещенных на герметизированных печатных платах, внешнего блока радиорелейных систем передачи эксплуатирующихся длительное время в конкретных климатических зонах.

Методы прогнозирования долговечности радиоэлектронного оборудования

В настоящее время разработаны методы прогнозирования долговечности радиоэлектронного оборудования, которое эксплуатируется при различных климатических условиях, в том числе при наиболее жестких условиях морских и приморских трасс [1, 2]. Особое внимание в составе радиорелейных систем передачи требует состояние внешнего блока, который обычно располагается на антенных мачтах и опорах за пределами помещений и подвергается воздействию различных климатических факторов. В качестве основного критерия степени деградации электрофизических свойств ЗП авторы [1] принимают изменение цвета или блеска покрытия от воздействия температуры, влаги, соляного тумана или солнечной радиации. Этот метод эффективен при использовании для герметизации с помощью красок изделий радиоэлектронных систем (РЭС), которые сильно изменяют окраску при длительном воздействии морского климата.

Для большинства лаков, применяемых для защиты печатных плат, эксплуатирующихся в зонах умеренного климата, изменение электрофизических параметров в широких пределах не сопровождается заметным изменением цвета или блеска лака. Кроме того, при появлении микротрещин в лаковой пленке, или нарушении ее адгезии к поверхности платы цвет или блеск лака практически не изменяются. И в то же время при воздействии паров воды и температуры начинается интенсивная коррозия контактных площадок, печатных проводников и сквозных металлизированных отверстий печатных плат, ускоряющих процессы электродиффузии и дальнейшую коррозию проводников [3, 4]. Поэтому данный метод прогнозирования не нашел ши-

рокого применения для оценки надежности герметизированных печатных плат РЭС, предназначенных для эксплуатации в зонах умеренного климата.

В работах [5, 6] предлагается оценивать долговечность полимерных материалов, исходя из предположения, что электрофизические характеристики полимеров определяются главным образом по наличию микротрещин (теория «хрупкого разрыва»).

Анализ измеренных характеристик ЗП, эксплуатирующихся в течение длительного времени (5-6 лет), показывает, что ряд электрофизических характеристик покрытий изменяется при влиянии воздействующих факторов даже тогда, когда микротрещин не наблюдается [1].

Поэтому в работе [7] долговечность полимеров представляется функцией многих факторов:

$$\tau = F(\sigma, T, W, t, c, \dots, M), \quad (1)$$

где $\sigma, T, W, t, c, \dots, M$ – напряжение, температура, влажность, время, концентрация агрессивной среды и диффузия.

Однако найти универсальную формулу, которую можно было бы применять для различных условий эксплуатации, авторам не удалось. В некоторых простых случаях зависимость (1) представляют в виде произведения функций указанных аргументов:

$$\tau = f(\sigma) \cdot \varphi(T) \cdot \psi(W) \cdot F(t) \cdot \chi(c) \cdot \varphi(M). \quad (2)$$

Например, для полиэтилена:

$$\tau = (\alpha_0 + \eta c) \cdot e^{\left(\frac{U}{kT}\right)}, \quad (3)$$

где c – концентрация раствора кислоты или щелочи, η – постоянная, зависящая от характера среды.

Для других ЗП значения величин (3) отсутствуют. Кроме того, формула не содержит электрических характеристик, которые, прежде всего, необходимо учитывать при оценке долговечности РЭА.

В работе [8] автор представляет формулу для оценки долговечности защитного покрытия в зависимости от критического давления водяного пара, превышение которого соответствует резкому ухудшению физических параметров ЗП:

$$t = \frac{V \cdot h \cdot d}{S \cdot p} \cdot \ln\left(\frac{p_0}{p_0 - p_k}\right) + \frac{d^2}{2D}, \quad (4)$$

где V – объем изделия, сорбирующего влагу, d – толщина герметизирующей оболочки, S – площадь поверхности герметизирующей оболочки, p_0 – давление водяного пара в атмосфере, p_k – допустимое давление пара в герметизируемом изделии, $d^2/2D$ – задержка, характеризующая время увлажнения герметизирующей оболочки.

Формула (4) не учитывает влияние температуры и механических воздействий. Для ее использования необходимо определить p_k , что в большинстве случаев для изделий, не имеющих внутреннего воздушного объема, встречает непреодолимые трудности. Поэтому при определении долговечности ЗП по (4) результаты расчета отличаются от экспериментальных данных более чем на порядок.

Анализ методов прогнозирования долговечности ЗП

Некоторые авторы [14, 15] для долговечности ЗП предлагают использовать критические значения их влажностных характеристик, коэффициентов: влагопроницаемости, диффузии и растворимости. Превышение критических значений этих коэффициентов характеризует, по мнению этих авторов, потерю изоляционных свойств материалов. Действительно, на первом этапе, когда возникает вопрос выбора герметизирующего материала, значения влажностных коэффициентов является определяющими. Имеется большое количество ЗП с одинаковыми

значениями этих коэффициентов, но обладающих разной долговечностью. Качество влагозащиты, как справедливо отмечается в работах [13, 14], зависит не только от процесса диффузии и влагопроницаемости, но и от адгезии ЗП к поверхности платы, его эластичности, толщины, скорости и температуры отверждения, полярности по отношению к воде и водяным парам, температуры и скорости сушки и т.д.

Поэтому некоторые авторы для использования деградационных процессов в ЗП используют наиболее общие физико-математические модели, учитывающие основные свойства герметизирующих материалов. В монографии [16] автор показывает, что различные механизмы процессов, происходящих в конструкционных материалах, обусловлены основными физическими процессами, описываемыми уравнениями Аррениуса, Эйринга и Рейжа-Хакима. Первая и третья физические модели удовлетворительно описывают физико-химические процессы в материалах при хранении, влиянии температуры и влажности, а вторая модель – при длительной электрической нагрузке и повышенной температуре.

На основе физической модели Аррениуса надежность изоляционных материалов изучалась в работе [17]. В качестве исходной формулы для определения среднего срока службы ЗП при влиянии температуры, автор принимает соотношение:

$$\bar{\tau}_r = \bar{\tau}_0 \cdot e^{\left(\frac{\alpha'}{\Delta T}\right)}, \quad (5)$$

где $\Delta T = |T_k - T_0|$ – изменение температуры, T_k, T_0 – значения нормальной и максимальной температур, в которых работает ЗП, α' – температурный коэффициент, характеризующий скорость деградационных процессов ЗП при изменении температуры, $\bar{\tau}_0$ – средний срок службы ЗП при температуре T_0 .

В формуле (5) имеются две неизвестные величины $\bar{\tau}_0$ и α' . Обычно значение $\bar{\tau}_0$ принимается по результатам эксплуатации ранее выпускаемых видов ЗП применительно к классам РЭО. Например, для оборудования радиорелейных систем передачи среднее значение $\bar{\tau}_0$ принимается $\approx 10^5$ ч, для авиационного оборудования $\bar{\tau}_0 \approx 2 - 5 \cdot 10^3$ ч и т.д. [17].

Следует отметить, что выбор значения $\bar{\tau}_0$ для аппаратуры определенного класса совершенно необоснован. При этом не учитываются ни характеристики применяемого покрытия, ни характеристики герметизируемого изделия. Поэтому для практического использования формулы (5) необходимо найти способ обоснованного выбора значений $\bar{\tau}_0$ и α' для ЗП печатных плат, внешнего блока радиорелейных систем передачи.

Аналогичную зависимость температуры имеет электрическое сопротивление изоляционного материала [17]:

$$R_{из} \approx R_0 \cdot e^{(-\alpha \Delta T)}, \quad (6)$$

где R_0 – электрическое сопротивление ЗП в нормальных условиях эксплуатации, $\alpha = \frac{\partial R_{из}}{\partial T} \cdot \frac{1}{R_0}$ – температурный коэффициент сопротивления, характеризующий скорость изменения сопротивления изоляции при изменении температуры.

Сопротивление изоляции ЗП является важнейшим высокочувствительным параметром любого ЗП и его допустимое изменение может быть принято в качестве основного критерия устойчивости ЗП к влиянию воздействующих факторов. Но для оценки и прогнозирования долговечности ЗП при использовании этого критерия необходимо установить аналитическую связь между изменением сопротивления ЗП во времени при влиянии воздействующих факторов. Рассмотренные методы оценки и прогнозирования долговечности предназначены для определения срока службы ЗП до разрушения или предельного состояния, когда основные его электрофизические характеристики выходят за пределы допустимых значений. Применительно к печатным платам внешнего блока радиорелейных систем передачи, этот срок службы в первом приближении можно считать моментом появления влаги или водяных паров под защитной пленкой лака, после которого начинаются интенсивные процессы электрохимической коррозии и элек-

тродиффузии печатных проводников, контактных площадок и металлизированных отверстий. Продолжительность второго периода, т.е., периода деградации печатного монтажа, обусловленного химической коррозией, исследована в работе [18]. Анализ остальных методов прогнозирования долговечности ЗП изложен в работе [19].

Некоторые характеристики отказов ЗП печатных узлов представлены в работах [9-14, 20], такие как коррозия печатного монтажа и, как следствие, короткое замыкание или обрыв печатных проводников, шероховатость, микротрещины, изменение цвета или блеска, нарушение адгезии.

Заключение

В представленной работе предложен анализ отказов печатных плат и ЗП оборудования радиорелейных систем передачи. Также проанализированы методы прогнозирования их долговечности, позволяющие установить временную зависимость и изменения основных электрофизических параметров в процессе эксплуатации.

При наличии статистически упорядоченных, количественных и качественных характеристик отказов печатных плат и ЗП оборудования радиорелейных систем передачи, на основе предложенных методов прогнозирования долговечности, можно построить статистические функции распределения отказов и установить их адекватность теоретическим функциям распределения.

Указанные физические модели могут служить базой для разработки методов оценки и прогнозирования отказов печатных плат и ЗП оборудования радиорелейных систем передачи при влиянии реальных условий эксплуатации.

FAILURE ANALYSIS AND PREDICTION METHODS DURABILITY OF PRINTED CIRCUIT BOARD AND PROTECTIVE COATING EQUIPMENT OF RADIO-RELAY TRANSMISSION SYSTEMS

A.E YUKHNEVICH, A.N. KORABAU

Abstract

On the basis of research literature on the problem of forecasting and durability of printed circuit boards, and protective coatings, the analysis of failures is given, allowing to develop methods for assessing and predicting failures of PCB and protective coatings of microwave transmission systems equipment under the influence of the real operating conditions.

Keywords: protective coatings, printed circuit boards, durability, radio relay equipment.

Список литературы

1. *Карякин М.И., Рудная Г.В.* Испытание лакокрасочных покрытий в условиях тропического климата. М., 1979.
2. *Елисаветская И.В.* Руководящий материал по срокам службы лакокрасочных покрытий в природных условиях. Черкассы, 1982.
3. *Пеорейко С.В., Омельченко П.А., Зинченко Е.В. и др.* // Лакокрасочные материалы и их применение. 1986. №5.
4. *Журавский В.Г., Камкин А.Н., Ошарина А.В. и др.* // Обмен опытом в радиопромышленности. 1985. Вып. 12.
5. *Бартенев Г.М.* Прочность и механизм разрушения полимеров. М., 1984.
6. *Журков А.М.* Известия АН // Неорганические материалы. 1967. №3. С. 1767-1778.
7. *Бокшицкий М.Н., Клинов И.Я., Бокшицкая Н.А. и др.* Статистическая усталость полиэтилена. М., 1967.
8. *Михайлов М.М.* Влагопроницаемость органических диэлектриков. М., 1960.
9. *Вольберг В.В., Верхованцев В.В.* // Полимерные материалы и их применение. 1986. №4. С. 44-51.
10. *Раков А.И.* Надежность РРС связи. М., 1971.
11. *Ляшок А.П., Россошинский А.А., Шевченко Е.С. и др.* // Электронная техника. Сер. 6, Микроэлектроника. 1968. С. 74-79.
12. *Волков В.А.* Сборка и герметизация микроэлектронных устройств. М., 1982.
13. *Волков В.А., Прозоровский Б.С., Воронова Н.И. и др.* // Материалы радиоэлектроники: Труды МИРЭА. 1975. Вып. 74.
14. *Роздял П.* Технология герметизации элементов РЭА. М., 1981.
15. *Даценко Н.С., Соболев В.В.* Долговечность элементов радиоэлектронной аппаратуры. Л., 1973.
16. *Меламедов И.М.* Физические основы надежности. Л., 1970.
17. *Сотсков Б.С.* Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. М., 1970.
18. *Лавренев О.В., Тютюнникова С.Г., Минчина Ж.А. и др.* // Обмен опытом в радиопромышленности, 1985. №3.
19. *Троян Ф.Д.* Отчет по НИР «Исследование влияния физико-химических процессов деградации полимерных материалов на работоспособность ИЭТ в РЭА и разработке аппаратуры для их контроля». Гос. рег. №01.86.0033925. Минск, 1987.
20. *Гуревич А.Е., Суханов Т.С.* // Обмен опытом в радиопромышленности. 1979. Вып. №10.