

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СВЕТОДИОДОВ С МАЛЫМ ТЕЛОМ СВЕЧЕНИЯ

Манего С.А.¹, Терентьев А.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий» НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Исследования проблемы эффективного контроля и диагностики состояния сложных светодиодных устройств (СУ) являются чрезвычайно актуальными на современном уровне развития техники, поскольку существенный рост сложности создаваемого оборудования и эксплуатация его в условиях напряженного режима функционирования выдвигают качественно новые требования к методам контроля и диагностики. Важность решения указанной проблемы, к сожалению, подтверждается случаями катастрофических отказов СУ, либо существенным снижением выходных параметров их светотехнических характеристик. Практика эксплуатации различных СУ показывает, что при отсутствии специальных средств поддержки функционирования и контроля, основная часть времени восстановления затрачивается на поиск и локализацию отказов, увеличивая тем самым затраты на ремонт и обслуживание. С другой стороны, используемые в ряде производств традиционные методы и средства функционального контроля и диагностики СУ не всегда удовлетворяют современным требованиям по надежности и обеспечению длительности эксплуатации светотехнических устройств.

Поскольку сложные СУ функционируют в стационарных и нестационарных режимах при множественном воздействии неконтролируемых, а зачастую и неизвестных факторов, то наиболее информативным их эмпирическим описанием представляются статистические данные о выбросах контролируемых параметров за допусковые зоны, предшествующие деградационным изменениям, нарушающим нормальное функционирование СУ. Следует отметить, что число таких данных ограничено, и используя их, требуется идентификация состояния СУ и принятие адекватного решения по его ремонту в условиях значительной неопределенности. Таким образом наступает противоречие между необходимостью большого объема статистических данных и минимизации неопределенностей, кроме того здесь не учитывают возможности того, что реальные состояния СУ могут быть неизоморфны значениям контролируемых параметров.

Для решения проблемы о состоянии СУ предлагается использовать метод предложенный в [1], понятие малая выборка. Где предлагается определение количественной оценки вероятно-

сти выхода измеряемого параметра за допустимые зоны. Оценка строится на основе гипотезы о марковости процесса изменения состояния системы. Испытания проводятся при малой выборке и при форсированных режимах.

В последнее время применения малых выборок при обработке результатов испытаний электронных компонентов (ЭК) сужается [2]. Ведущие фирмы (Motorola, ZILOG) изготовители ЭК при получении оценок надёжности используют большие выборки [3].

Прямое использование результатов испытаний в изложенном подходе не является возможным из-за малой выборки. Действительно, как правило, отказы будут отсутствовать, прогноз теряет смысл. В работе [4] предлагается процесс изменения технических параметров системы связать с FIT (число отказов за время EDH). А состояние системы представлять в виде конечного множества $n-1$ состояний. Элемент множества - квант состояния - характеризуется значениями технических параметров объекта. То есть процесс перехода из состояния в состояние представляется Марковским, а интенсивности переходов можно представить в виде матрицы. Тогда решение системы перестаёт быть тривиальным, и подход может быть развит для практики.

С целью исследования конструктивно-технологические проблем надежности светодиодов с малым телом свечения (СИД с МТС) и получения объективной информации о надежности СИД с МТС, с учетом комплексного влияния всех воздействующих факторов, была проведена количественная оценка степени малости выборки по результатам исследовательских испытаний. Для этого, предварительно, были проведены точечные оценки энергии активации E_a СИД с МТС, с помощью проведения двухступенчатых форсированных испытаний. Используя методику определения величины E_a , которая позволяет контролировать выход за режим чрезмерного форсирования температуры испытаний светодиодов с малым телом свечения, что обеспечивает неразрушающие испытания и автомодельность процессов старения при повышенных температурах испытаний.

Для определения величины E_a мы воспользовались уравнением (1), то есть, находили две интенсивности СИД с МТС ($L_1 < L_2$), соответствующие двум температурам $T_1 < T_2$,

которые получены при последовательных ступенчатых испытаниях одной выборки изделий. Величина E_a определяется как тангенс угла наклона линейного графика зависимости Аррениуса.

$$E_a = \frac{\ln(L_2) - \ln(L_1)}{\frac{1}{\kappa} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (1)$$

Основное преимущество данного подхода в том, что основные исходные данные для расчета по (1), т.е. величины L_1 и L_2 получаются из эксперимента, который выполняется при температурах, значительно меньших температур испытаний, необходимых для достижения заметного потока параметрических отказов.

Величины средних скоростей деградационного процесса при двух температурах $T_1=80^\circ\text{C}$ и $T_2=110^\circ\text{C}$, определялись для двух выборок светодиодов с малым телом свечения, созданных на основе чипа ELC-645-29-20 фирмы EPIGAP Optoelectronic GmbH в корпусе КТ-1-4.04НБ, группа № 1 (20 шт.) и группа № 2 (20 шт.). Мощность ультразвуковой волны приварки контактных проволочных траверс была: для группы № 1 (1 сварка – 0,3875 Вт, 2 сварка – 0,0375 Вт). Для светодиодов группы № 2, сварка проводилась при мощностях: 1 сварка – 0,5125 Вт, 2 сварка – 0,2 Вт. длительность наработки была – 1400 часов. За время испытаний отказов не обнаружено. Для определения энергии активации (двух групп СИД с МТС) были проведены ускоренные испытания при $T=20^\circ\text{C}$, 80°C и 110°C при $I_n=1\text{ mA}$ и 10 mA . Длительность испытаний = 50, 500, 1400 ч. Из анализа люминесцентных данных была получена точечная оценка энергии активации (E_a) для светодиодов с малым телом свечения. Так, для светодиодов группы № 1 – $E_a=0,52\text{ эВ}$, а для светодиодов группы № 2 – $E_a=0,48\text{ эВ}$.

Количественный анализ степени малости выборки (40 шт.) по результатам исследовательских испытаний светодиодов с малым телом свечения (чип ELC-645-29-20) проводился при следующих условиях:

Температура в испытательной камере: $T = 80^\circ\text{C}$ и 110°C ;

Ток накачки светодиодов: $I = 10\text{ mA}$;

Напряжение питания: $V_c = 1,9\text{ В}$, $V_c^0 = 1,56\text{ В}$;

Время испытаний: $t = 1400\text{ ч}$;

Число образцов: $N = 40$;

Число отказов: $n=0$;
 Число квантов: 2 ; $N_0^{(1)}=15$, $N_0^{(2)}=25$;
 Уровень значимости вероятности отказа
 $\alpha=0,6$; $m_1=0$; $m_2=2$;
 Энергия активации $E_a = 0,5\text{ эВ}$;
 Мощность рассеивания $P = 200\text{ мВт}$;
 Мощность рассеивания при номинальных режимах $P_0 = 180\text{ мВт}$;
 Тепловое сопротивление $\theta = 25^\circ\text{C/Вт}$;
 Тепловое сопротивление при номинальных режимах $\theta_0 = 15^\circ\text{C/Вт}$;
 Коэффициент ускорения $A_t = 40$.

Используя выше перечисленные условия испытаний и предположение, что случайная величина, распределена по закону χ^2 (хи-квадрат), были получены следующие оценки параметров надежности светодиодов с малым телом свечения: экспериментальная интенсивность отказов $FR = 2,61 \cdot 10^{-6}\text{ 1/ч}$; средняя наработка до отказа $MTTF = 383140\text{ ч}$; приведенное полное время испытаний $EDH = 2240000\text{ ч}$.

Как видно из расчета, среднее время наработки до отказа (MTTF) много меньше приведенного времени испытаний (EDH), что позволяет считать выборку малой. Данная оценка малости выборки по результатам исследовательских испытаний светодиодов позволяет оптимизировать условия и режимы испытаний, т.е. повысить точность оценки качества испытуемых светодиодов.

Таким образом, проведенный анализ позволяет оптимизировать технологический процесс создания СИД с малым телом свечения и степень малости выборки.

1. Гусев, А.В. Малые выборки при оценке работоспособности и надежности электронных компонентов. Часть 1 / А.В. Гусев, Э.А. Лидский, О.В. Мироненко // Chip news. – 2003. – № 1. – С. 44–48.
2. Rasmussen. An Introduction to Statistics with Data Analysis. Brooks / Cole, Pacific Grove, CA, 1992.
3. Silicon Bipolar Transistors, Reliability Data, HBFR-405, HBFR-420, HBFR-450, Life Test.
4. Лидский, Э.А. Оценка длительной работоспособности по результатам испытаний малой выборки / Э.А. Лидский, О.В. Мироненко // ВИНТИ. – № 1753. – В2000.