



Рисунок 4– Зависимость фазы от частоты ВП ЛГ

Реализованный в ЦМЛГ способ настройки и коррекции частоты ВП включает три последовательных этапа. На первом этапе должна определяться температура корпуса ВП и за 1 – 3 сек выполняться плавная его раскрутка до заданной амплитуды. Затем в течение 3 – 6 сек выполняется настройка на максимум амплитуды колебаний ВП с определением контрольного значения фазы. И,

наконец, происходит переход в рабочий режим стабилизации этого контрольного значения путем коррекции частоты колебаний ВП.

Опытная наработка ЦМЛГ с данным режимом настройки частоты ВП по фазе показала его стабильность и надежность функционирования.

1. Кривицкий П.Г., Мапошевский В.М., Оксенчук И.Д. Цифровой малогабаритный лазерный гироскоп // Материалы 9-й МНТК «Приборостроение-2016». – Мн.: БНТУ, 2016. – С. 82-83.
2. Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Влияние температуры на резонансную характеристику вибропривода кольцевого лазера. Материалы 13-й МНТК «Наука – образованию, производству, экономике»: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2015. – Т 2.– С. 164.
3. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Адаптивная бесплатформенная инерциальная навигационная система // Пятый белорусский космический конгресс: материалы конгресса. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2011. – Том 2.С.247-251.

УДК 621.382.019.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ

Манего С.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Анализ практики передовых мировых производителей светодиодных устройств (СУ) позволяет сделать вывод, что непосредственным результатом превращения качества в основной фактор конкурентоспособности стал отказ от методов контроля и отбраковки как средства обеспечения надежных свойств и выработки гарантий качества для потребителей. Среди причин, ограничивающих возможность применения этих методов в современных условиях, являются: стоимостные ограничения, физические ограничения и организационные ограничения.

Невозможность эффективно разрешить указанные ограничения стимулировала переход к более совершенным системам, основанным на концепции предотвращения появления дефектов. В качестве методической основы работ, ведущихся в этом направлении в промышленно развитых странах, наиболее широко используется международная система стандартов ISO 9000. В то же время потребности разработки новых или совершенствования существующих систем управления качеством требуют для своей реализации наличия адекватной научно-методологической базы и формирования новых подходов решения данной проблемы. В качестве таковых в последнее время разрабатываются направления создания «имитационных моделей» деградации оптоэлектронных устройств и проведение ускоренных испытаний, которые позволяют достаточно точно предсказать надежность СУ. Где в качестве основных критериев использовались: минимизация экономических затрат, надежность полученных свойств изделия и характеристик вариативности значений указанных параметров [1].

Поскольку сложные СУ функционируют в стационарных и нестационарных режимах при большом разнообразии воздействующих неконтролируемых, а зачастую и неизвестных факторов, то наиболее информативным их эмпирическим описанием представляются статистические данные, предшествующие деградационным изменениям, нарушающим нормальное функционирование СУ. Следует отметить, что число таких данных ограничено. Реальные состояния СУ могут быть неизоморфны значениям контролируемых параметров.

Для решения проблемы о состоянии СУ предлагается использовать метод моделирования ускоренных исследовательских испытаний светодиодных устройств. Математическая задача планирования эксперимента состоит в том, чтобы найти уравнение поверхности отклика: $\eta = \eta(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где η – функция отклика, т.е. параметр оптимизации; x_i – факторы, которые варьируются при проведении эксперимента. Таким образом, математическое планирование связано с изучением формы поверхности отклика; следовательно, оптимальному значению выхода соответствуют максимальные или минимальные точки этой поверхности. Для большинства реальных процессов вид поверхности отклика заранее неизвестен, поэтому при экспериментальном поиске оптимальных условий функцию η представляют в виде степенного ряда:

$$\eta = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n a_i x_i^2 \quad (1)$$

Точность подобной аппроксимации определяется порядком степенного ряда и

диапазоном изменения переменных. Поверхность отклика изучается обычно в сравнительно узком интервале варьирования факторов, поэтому без большой погрешности можно отбросить члены высших порядков. Задача оптимизации решается в два этапа. Сначала осуществляется поиск области оптимума – для чего применяется линейная модель поверхности отклика. Затем для описания почти стационарной (оптимальной) области используется степенной ряд, содержащий члены второго порядка, а иногда и третьего порядка. Коэффициенты степенного ряда (коэффициенты регрессии) a_i можно оценить с помощью коэффициентов регрессии, которые определяется по результатам конечного числа опытов. Тогда уравнение регрессии, получаемое на основании результатов экспериментов имеет вид

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_i x_i^2, \quad (2)$$

где y – выборочная оценка функции отклика, b_i , b_{ij} – коэффициенты регрессии. После вычисления коэффициентов регрессии нужно оценить влияние изучаемых факторов на функцию отклика и определить направление движения к области оптимума.

Известно, что деградация СУ главным образом обусловлена снижением излучательной способности светодиодного чипа в течение времени его эксплуатации. Кроме того, изменение интенсивности излучения происходит нелинейным образом [2]. Поэтому, для проведения оценки надежности СУ необходимо проводить анализ плана эксперимента основанного на построении нелинейной модели деградации интенсивности излучения светодиодных устройств. В качестве функции отклика от времени для полупроводниковых диодов используем функцию:

$$Y(B, t) = I - b_1 \exp(-b_2 t) \quad (3)$$

где $Y(B, t)$ – показатель работоспособности; b_1, b_2 – коэффициенты модели, являющиеся параметрами форсирующих режимов.

$$b = \varphi(A, x) \quad (4)$$

Здесь A – вектор коэффициентов, характеризующих влияние режимов. Как правило, зависимость (4) описывается моделями второго порядка, а $\{a\}$ – коэффициенты регрессии, вычисляемые по методу наименьших квадратов (МНК) с помощью выражения

$$A = (X^* \cdot X)^{-1} \cdot X \cdot B \quad (5)$$

где X – матрица плана испытаний; B – вектор-столбец откликов, в качестве которых используются оценки коэффициентов моделей (3). Знаки «*» и «-1» – транспонирования и обращения, соответственно.

Далее, используя полученные коэффициенты уравнения регрессии в качестве откликов, строится модель (2), включение которой в (3) и дает модель работоспособности при форсирующих значениях факторов эксплуатации СУ. В качестве максимального уровня снижения интенсивности излучения СУ брался стандарт LM-80 созданный Обществом Осветительной Техники Северной Америки (IESNA).

$$Y = I - A_1 x^* \exp(-A_2 x^* t), \quad (5)$$

где x^* – вектор форсирующих режимов, составленный согласно модели (4).

Для этого испытывают выборку в форсированном режиме в течение времени t_ϕ до получения заданного уровня показателя работоспособности Y_T . Тогда, используя равенство

$$I - A_1 x_n^* \exp(-A_2 x_n^* t_n) = I - A_1 x_\phi^* \exp(-A_2 x_\phi^* t_\phi),$$

получаем выражение для определения времени наработки до значения Y_T в номинальном режиме x_n

$$t_n = (\ln(A_1 x_n^* / A_1 x_\phi^*) + A_2 x_\phi^* t_\phi) / A_2 x_n^* \quad (6)$$

Оценка надежности светодиодов с малым телом свечения (СИД СМС), 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.) проводилась при температурах $T_1 = 80^\circ\text{C}$ и $T_2 = 110^\circ\text{C}$, ток нагрузки $I_1 = 10\text{ мА}$ и $I_2 = 15\text{ мА}$, длительность наработки была – 1400 часов. В качестве форсирующих факторов были: повышенная температура окружающей среды $T, ^\circ\text{C} \equiv x_1$ и повышенный прямой ток через диод $I, \text{мА} \equiv x_2$.

По результатам испытаний для каждой выборки с помощью МНК были построены модели вида (1) и определены значения коэффициентов b_1 и b_2 . Используя полученные коэффициенты в качестве откликов, строим модели вида (2), которые с оцененными коэффициентами будут иметь следующий вид:

$$b_1 = 0,8683 - 0,0717 \cdot T - 0,1068 \cdot I - 0,0813 \cdot T \cdot I + 0,0176 \cdot T^2 - 0,03212 \cdot I^2;$$

$$b_2 = 10^{-3} \cdot (0,652 + 0,566 \cdot T + 0,654 \cdot I + 0,3562 \cdot T \cdot I + 0,004 \cdot T^2 + 0,201 \cdot I^2).$$

Включив эти модели в (3), получим модель для функции отклика.

1. Мишанов, Р.О. Исследовательские испытания интегральных микросхем / Р.О. Мишанов, М.Н. Пиганов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4(7). – С. 7–17.
2. Манего, С.А. Оценка надежности оптоэлектронных устройств / С.А. Манего, Ю.А. Бумай, Д.С. Бобученко, Ю.В. Трофимов // Приборостроение - 2014: материалы 7 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19-21 ноября 2014 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: О.К. Гусев (предс.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 350–352.