

Methods of the accelerated tests of reliability for the array photodetectors

I. D. Burlakov, K. O. Boltar, A. I. Patrashin
Orion R&P Association, Moscow, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

E. V. Degtyarev, A. A. Solodkov
The 22-nd Central Research Institute, Russia

Methods of the accelerated tests of non-failure operation and conservability for the array photodetective assemblies (APDA) have been developed as a result of the analysis of the physical processes occurring in IR devisces at their work and storage. The developed methods allow to reduce essentially time of tests for non-failure operation and conservability.

PACS: 07.57.Kp, 85.60.-q

УДК 621.383.3/4

Метод оценки характеристик безотказности матричных ФПУ по зависимости фотоэлектрических параметров от наработки

И. Д. Бурлаков, К. О. Болтарь, А. И. Патрашин
ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия
E-mail: orion@orion-ir.ru

Е. В. Дегтярев, А. А. Солодков
ФГУП "22 ЦНИИ МО РФ"

Рассмотрены вопросы оценки вероятности безотказной работы матричных фотоприемных устройств (МФПУ) через такие измеряемые параметры, как удельная обнаружительная способность, ограниченная шумом мощность (NEP) и облученность (NEI). Показано, что технические требования к МФПУ позволяют однозначно оценивать вероятность безотказной их работы.

PACS: 07.57.Kp, 85/60.-q

Введение

В технических требованиях к МФПУ указывается один из параметров безотказной работы — среднее время наработки до отказа T_{mid} , либо гамма-процентная наработка до отказа T_γ при вероятности безотказной работы изделия $P(T_\gamma) = 90\%$. Минимальная величина параметра, определяющего работоспособность изделия, не должна снизиться за время наработки более чем на $n\%$.

Главными фотоэлектрическими параметрами, определяющими работоспособность МФПУ, являются пороговая облученность (ограниченная шумом облученность — NEI), пороговая мощность (ограниченная шумом мощность — NEP), обнаружительная способность D^* , а также пороговая разность температур (ограниченная шумом разность температур — NETD). Во время работы

МФПУ эти параметры, усредненные по фоточувствительным элементам (в случае матричных устройств) или по каналам (в случае многорядных устройств) ухудшаются, постепенно приводя устройство в неработоспособное состояние.

Связи между параметрами безотказности и фотоэлектрическими параметрами МФПУ посвящена данная работа.

Источник ухудшения фотоэлектрических параметров МФПУ

• *Полный шум*, создаваемый накопленными на емкости C_{ac} носителями, определяется выражением

$$N_T = \sqrt{N_{d\tau}^2 + N_{I\tau}^2}, \quad (1)$$

где $N_{d\tau}$, $N_{I\tau}$ — число носителей, накопленное в течение заданного времени τ от темнового тока фоточувствительного элемента (ФЧЭ) и τ от светового излучения, падающего на ФЧЭ, соответственно.

• *Пороговая облученность* (Noise Equivalent Irradiance) — число квантов излучения, попадающих в единицу времени на единицу поверхности, создающих отношение сигнал/шум, равное единице, определяется следующим выражением [1]:

$$NEI = \frac{N_T}{\tau \eta A_S} = N_T K_1,$$

где η — квантовая эффективность ФЧЭ;
 A_S — площадь ФЧЭ;
 τ — время накопления;
 K_1 — постоянная величина.

• *Пороговая мощность* (Noise Equivalent Power) — величина световой мощности оптического сигнала, падающая на ФЧЭ, создающая отношение сигнал/шум, равное единице [1],

$$NEP = NEI \cdot A_S \frac{P(T, \lambda_1, \lambda_2)}{N(T, \lambda_1, \lambda_2)} = \frac{N_T}{\tau_0 \eta} \times \frac{P(T, \lambda_1, \lambda_2)}{N(T, \lambda_1, \lambda_2)} = N_T K_2,$$

где K_2 — постоянная величина;

$N(T, \lambda_1, \lambda_2)$ и $P(T, \lambda_1, \lambda_2)$ описываются известными из закона Планка выражениями [2, 3]:

$$N(T, \lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\pi c}{\lambda^4 \left[\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right]} d\lambda, \quad (1)$$

$$P(T, \lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right]} d\lambda.$$

• *Удельная обнаружительная способность* (Detectivity) [1]

$$D^* = \frac{1}{NEP} \sqrt{\frac{A_S}{2\tau}} = \frac{\eta}{N_T} \sqrt{\frac{\tau_0 A_S}{2}} \times \frac{N(T, \lambda_1, \lambda_2)}{P(T, \lambda_1, \lambda_2)} = N_T^{-1} K_3,$$

где K_3 — постоянная величина.

• *Пороговая разность температур* (Noise Equivalent Temperature Difference) — величина разности температур крупноформатного объекта и фона, при которой отношение сигнал/шум равно единице [1]. Она рассчитывается из выражения

$$\begin{aligned} [N(T + \delta T, \lambda_1, \lambda_2) - N(T, \lambda_1, \lambda_2)] K_{tr} &= \\ &= NEI = N_T K_1, \end{aligned} \quad (2)$$

где $N(T + \delta T, \lambda_1, \lambda_2)$ и $N(T, \lambda_1, \lambda_2)$ определяются выражением (1);

K_{tr} — коэффициент пропускания холодной диафрагмы МФПУ [4];

k_B — скорость Больцмана;

c — скорость света;

h — постоянная Планка.

Подынтегральную функцию левой части (1) разложим в ряд в точке T .

Учтем, что в диапазоне длин волн 3—20 мкм при $\delta T = 0,2$ К максимальное отклонение величины $\left[\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B (T + \delta T)}\right) - 1 \right]$ от величины

$\left[\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right]$ не превышает 0,3 %. Поэтому в знаменателе подынтегральной функции пренебрегаем величиной δT .

После указанных преобразований получим

$$N_T K_1 = K_{ab} \left(\frac{ch}{\lambda k_B T^2} \right) \delta T \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\pi c}{\lambda^5} \frac{\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B T}\right)}{\left[\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right]^2} d\lambda,$$

$$NETD = \delta T = \frac{K_1}{K_{tr}} \frac{k_B T^2}{ch} \frac{1}{Z(\lambda_1; \lambda_2)} N_T,$$

где

$$Z(\lambda_1; \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\pi c}{\lambda^5} \frac{\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B T}\right)}{\left[\exp\left(\frac{ch}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right]^2} d\lambda.$$

Из полученных для NEI , NEP , D^* и $NETD$ выражений следует, что изменение во времени фотоэлектрических параметров определяется изменением во времени величины шума ФЧЭ или изменением величины среднего шума МФПУ, все остальные величины в указанных выражениях фиксированы.

В процессе эксплуатации фотоприемников их параметры лишь ухудшаются, что обусловлено повышением во времени величины шума N_T .

Связь фотоэлектрических параметров и параметров безотказности

Зависимость вероятности безотказной работы МФПУ во времени подчиняется экспоненциальному закону распределения отказов [5].

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (3)$$

где T_0 — средняя наработка до отказа.

Гамма-процентная наработка до отказа T_γ при вероятности безотказной работы γ , %

$$T_\gamma = -T_0 \cdot \ln(\gamma/100).$$

Для сопоставления $P(t)$ с параметрами МФПУ удобнее рассматривать изменение во времени параметров, величина которых также убывает во времени. Этими параметрами являются $D^*(t)$, $NEI^{-1}(t)$, $NEP^{-1}(t)$, $NETD^{-1}(t)$. Все они убывают во времени по экспоненциальному закону как и вероятность безотказной работы $P(t)$.

Поскольку минимальные значения $D^*(t)$, $NEI^{-1}(t)$, $NEP^{-1}(t)$, $NETD^{-1}(t)$ заданы в технических требованиях, то можно, например, записать следующие выражения для $D^*(t)$:

$$D^*(t) = D_0^* \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right),$$

$$D^*(T_0) = (1-m)D_0^* = D_0^* \cdot \exp\left(-\frac{T_0}{T_1}\right), \quad (4)$$

где m — допустимая относительная величина снижения параметра в процессе наработки.

Из выражения (4) найдем величину T_1

$$T_1 = -\frac{T_0}{\ln(1-m)},$$

тогда, нормированная зависимость минимальной величины $D^*(t)$ будет иметь следующий вид:

$$\frac{D^*(t)}{D_0^*} = \exp\left(\frac{t \cdot \ln(1-m)}{T_0}\right). \quad (5)$$

Найдем из выражения (3) величину t и подставим ее в выражение (5)

$$t = -T_0 \cdot \ln P(t),$$

$$D^*(t) = D_0^* P(t)^{-\ln(1-m)} \quad (6)$$

или

$$P(t) = \left[\frac{D^*(t)}{D_0^*} \right]^{-\left[\frac{1}{\ln(1-m)} \right]}. \quad (7)$$

Например, для расчета величины обнаружительной способности после гамма-процентной наработки до отказа достаточно в выражении (6) вместо $P(t)$ подставить величину γ , а вместо t —

величину T_γ . В этом случае мы получим

$$D^*(T_\gamma) = D_0^* \gamma^{-\ln(1-m)}.$$

Так, например, для $\gamma = 0,9$ при $m = 0,3$ (30 %) и $D_0^* = 1 \cdot 10^{11}$ см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹ получим $D^*(T_\gamma) = 0,9631 \cdot 10^{11}$ см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹.

Для расчета вероятности безотказной работы после средней наработки до отказа T_0 необходимо подставить в выражение (7) $t = T_0$.

Получим

$$P(T_0) = \left[\frac{D^*(T_0)}{D_0^*} \right]^{-\left[\frac{1}{\ln(1-m)} \right]}.$$

При $m = 0,3$ (30 %) получим $P(T_0) = 0,368 = e^{-1}$.

Таким образом, выражения (6) и (7) позволяют оценить либо $D(t)$, либо $P(t)$ по остальным известным параметрам. Аналогичный расчет проводится по обратным величинам остальных фотоэлектрических параметров.

Заключение

Рассмотрен метод оценки характеристик безотказности матричных ФПУ по зависимости фотоэлектрических параметров от времени наработки.

Метод основан на одинаковой (экспоненциальной) зависимости фотоэлектрических и надежностных параметров МФПУ, между которыми установлена количественная связь.

Выведены выражения, позволяющие описывать вероятность безотказной работы устройства через начальные и измеряемые фотоэлектрические параметры и наоборот.

Л и т е р а т у р а

1. Патрашин А. И. Метод расчета параметров ИК-МФПУ: Матер. XX конф. — М.: ФГУП «НПО "Орион"», 2008.
2. Курбатов Л. Н. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра. — М.: МФТИ, 1999.
3. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. — М.: Физматкнига, 2005.
4. Патрашин А. И. Метод расчета фоновой облученности МФПУ с холодной диафрагмой произвольной формы: Матер. XX конф. — М.: ФГУП «НПО "Орион"», 2008.
5. Испытания на надежность: Реферат. — ФГУП «НПО "Орион"», 2006.

Статья поступила в редакцию 3 февраля 2009 г.

Method of estimation of characteristics for non-failure operation of the array photodetective assemblies on dependence of photo-electric parameters on an operating time

I. D. Burlakov, K. O. Boltar, A. I. Patrashin

Orion R&P Association, Moscow, Russia

E-mail: orion@orion-ir.ru

E. V. Degtyarev, A. A. Solodkov

The 22-nd Central Research Institute, Russia

Considered are questions of estimation of probability for non-failure operation of the array photodetective assemblies (APDA) through such measured parameters, as specific detectivity, noise established power (NEP), noise established irradiation (NEI). It is shown that technical requirements to the APDA allow to estimate probability for non-failure operation of the APDA unequivocally.

PACS: 07.57.Kp, 85.60.-q

* * *