

Министерство образования и науки Украины  
Харьковский национальный университет радиозлектроники  
Академия наук прикладной радиозлектроники

## **СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

### **1-й Международной конференции «ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»**

в рамках 3-го Международного радиозлектронного форума «Прикладная радиозлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2008

Том III

**30 сентября - 3 октября 2008г.**

Харьков - Судак  
2008

## ФОРМИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО ПОРОГА ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тюрин В.С., Мачехин Ю.П.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. ФОЭТ, тел. (057) 702-14-84,  
E-mail: [tvsvolodya@mail.ru](mailto:tvsvolodya@mail.ru).

In the given report the results of an estimation of application effectiveness of an adaptive threshold in a semi-conductor laser rangefinder in conditions of a changing background are shown and methods of its formation are investigated.

Одной из актуальных задач лазерной дальнометрии является повышение точности измерения расстояний до объектов в условиях непрерывного изменения их пространственного положения и значительных вариаций освещенности. Резкие колебания амплитуды принимаемых сигналов и уровня внешнего фонового излучения приводят к заметному уменьшению отношения сигнал/шум в приемном тракте и снижению динамического диапазона фотодетектора. В этих условиях доминирующим источником ошибок измерения расстояния становятся флуктуации параметров измерительного сигнала [1].

Существующие методы снижения таких ошибок основаны на использовании временных дискриминаторов, не чувствительных к изменениям амплитуды сигнала. Однако эффективность этих методов существенно зависит от условий измерений и стабильности параметров компонентов [2]. В дискриминаторах с постоянным уровнем порога ошибки измерений связаны с задержкой сигнала в компараторе. Существенно снизить эту задержку можно за счет формирования адаптивного порога путем измерения текущего значения шумового напряжения, соответствующего реальным условиям работы дальномера.

Задержка сигнала в компараторе ( $\Delta t_s$ ) обусловлена изменениями момента (точка А) пересечения входным импульсом некоторого порогового напряжения  $U_{пор}$  (рис. 1).

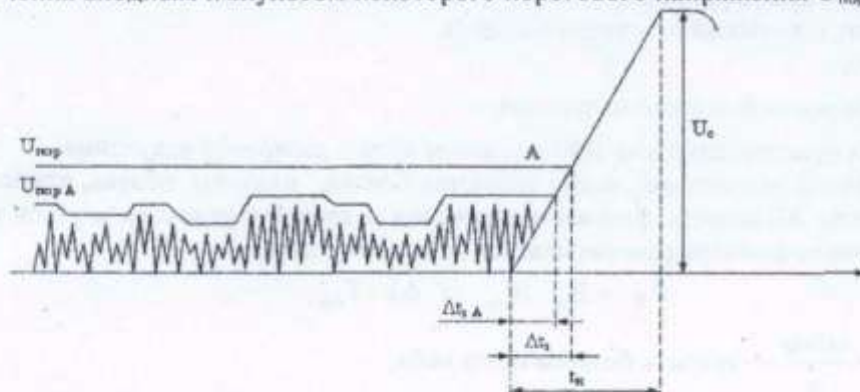


Рис. 1. Адаптивный и постоянный порог в полупроводниковом импульсном лазерном дальномере.

Момент пересечения входным импульсом порогового напряжения зависит от скорости нарастания амплитуды (крутизны) импульса и абсолютного уровня порогового напряжения. Скорость нарастания импульса связана, в свою очередь, с формой и амплитудой принимаемого сигнала, которые являются функциями отражательных характеристик, структуры и пространственного положения объекта, измеряемой дистанции и окружающей атмосферы.

Величина порогового напряжения определяется уровнем шума измерительного тракта с учетом обеспечения требуемых значений вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги. В общем случае величину порогового напряжения можно оценить из выражения:

$$U_{\text{пор}} = \sqrt{\bar{i}_{\text{ш}}^2} \cdot R_{\text{н}} \cdot q(D, F), \quad (1)$$

где  $U_{\text{пор}}$  – пороговое напряжение;

$\bar{i}_{\text{ш}}^2$  – дисперсия шумового тока измерительного тракта;

$R_{\text{н}}$  – сопротивление нагрузки усилительного каскада;

$q(D, F)$  – отношение сигнал/шум, которое обеспечивает требуемые значения вероятности правильного обнаружения  $D$  и ложной тревоги  $F$ .

В полупроводниковых лазерных дальномерах в качестве фотодетектора чаще всего применяют лавинные фотодиоды (ЛФД), чувствительность которых бывает на несколько порядков выше, чем у PIN-фотодиодов. При этом дисперсия шумового тока приемного устройства с ЛФД представляет собой сумму дисперсий основных независимых шумовых составляющих:

$$\bar{i}_{\text{ш}}^2 = \bar{i}_{\text{т}}^2 + \bar{i}_{\text{с}}^2 + \bar{i}_{\text{ф}}^2 + \bar{i}_{\text{обр}}^2 + \bar{i}_{\text{т}}^2, \quad (2)$$

где  $\bar{i}_{\text{т}}^2$  – дисперсия дробового шума темнового тока;

$\bar{i}_{\text{с}}^2$  – дисперсия дробового шума измерительного сигнала;

$\bar{i}_{\text{ф}}^2$  – дисперсия дробового шума фонового излучения;

$\bar{i}_{\text{обр}}^2$  – дисперсия дробового шума излучения обратного рассеяния;

$\bar{i}_{\text{т}}^2$  – дисперсия теплового шума электронного тракта.

В условиях реальной атмосферы для лазерного дальномера доминирующим становится шум, обусловленный флуктуациями фонового излучения. В этом случае дисперсия шумового фототока определяется выражением [3]:

$$\bar{i}_{\text{ш}}^2 = \bar{i}_{\text{ф}}^2 = 2 \cdot e \cdot \Delta f \cdot M^x \cdot K \cdot \overline{P_{\text{ф}}} \cdot \varepsilon_{\lambda}, \quad (3)$$

где  $e$  – заряд электрона;

$\Delta f$  – полоса пропускания приемного канала;

$M$  – коэффициент умножения ЛФД;

$x$  – коэффициент, зависящий от материала ЛФД;

$K$  – фактор шума;

$\overline{P_{\text{ф}}}$  – средняя мощность фонового излучения;

$\varepsilon_{\lambda}$  – спектральная чувствительность ЛФД на длине волны лазерного излучения.

Источниками фонового излучения являются Солнце, планеты, облака, атмосфера и поверхность Земли. Мощность фонового излучения в дневных условиях и узкой полосе интерференционного фильтра рассчитывается из соотношения:

$$\overline{P_{\text{ф}}} = B_{\lambda} \cdot S_{\text{пр}} \cdot \omega \cdot \Delta \lambda \cdot T_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где  $B_{\lambda} = \mu_0 \cdot I_0 \cdot \frac{\cos \psi}{\pi}$  – яркость безоблачного неба; (5)

$\mu_0$  – коэффициент, характеризующий распределение яркости по небосводу;

$I_0$  – плотность потока солнечного излучения на верхней границе атмосферы;

$\psi$  – зенитный угол Солнца;

$S_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{пр}}^2}{4}$  – площадь приемного объектива; (6)

$\omega = \frac{\pi \cdot l^2}{4 \cdot F^2}$  – телесный угол поля зрения фотоприемного устройства; (7)

$l$  – диаметр чувствительной области фотодетектора;

$F$  – фокусное расстояние приемного объектива;

$\Delta \lambda$  – полоса пропускания интерференционного фильтра;

$T_{пр}$  – коэффициент пропускания приемной оптической системы.

Мощность фонового излучения может быть снижена методами пространственной и спектральной фильтрации. Для этого осуществляют выбор оптимальных величин поля зрения приемной оптической системы и полосы интерференционного фильтра, которые обеспечивают достаточный уровень полезного сигнала и минимизируют уровень фонового излучения.

На рисунке 2 представлена зависимость величины средней мощности фонового излучения от фокусного расстояния приемного объектива для различных значений полосы пропускания интерференционного фильтра.

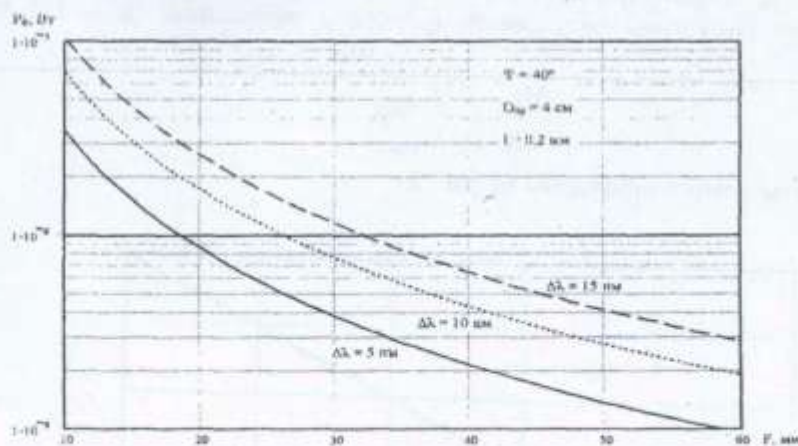


Рис. 2. Зависимость средней мощности фонового излучения от фокусного расстояния приемного объектива.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что увеличение фокусного расстояния и уменьшение полосы пропускания интерференционного фильтра приводит к снижению уровня фонового излучения, однако это влечет за собой увеличение массогабаритных характеристик лазерного устройства.

Обычно оценку уровня шума осуществляют для наихудших фоновых условий с целью обеспечения минимальной вероятности ложного срабатывания, что обуславливает максимальное значение уровня порогового напряжения. В этом случае существенно возрастает задержка в компараторе, которую при линейной аппроксимации переднего фронта импульса (рис. 1) можно оценить из выражения:

$$\Delta t_s = t_n \cdot \frac{U_{пор}}{U_c}, \quad (8)$$

где  $\Delta t_s$  – временная задержка компаратора;

$U_{пор}$  – пороговое напряжение;

$U_c$  – амплитуда измеряемого сигнала;

$t_n$  – время нарастания импульса.

Однако на практике лазерный дальномер достаточно редко функционирует в наихудших условиях, поэтому становится целесообразной реализация адаптивного порога, позволяющего снизить временную задержку за счет измерения текущего значения шумового напряжения, соответствующего реальным условиям работы.

В этом случае задержку компаратора, обусловленную адаптивным порогом, можно оценить из выражения (рис. 1):

$$\Delta t_{сА} = t_n \cdot \frac{U_{пор.А}}{U_c}, \quad (9)$$

где  $\Delta t_{сА}$  – задержка компаратора с адаптивным порогом;

$U_{\text{пор. А}}$  – напряжение адаптивного порога.

Тогда ошибку измерения расстояния, обусловленную временной задержкой в компараторе, для адаптивного ( $\Delta R_A$ ) и постоянного ( $\Delta R$ ) порогов можно оценить из выражений:

$$\Delta R_A = \frac{c \cdot \Delta t_{3A}}{2}; \quad (10)$$

$$\Delta R = \frac{c \cdot \Delta t_3}{2}, \quad (11)$$

Эффективность применения адаптивного порога можно оценить на основе анализа отношения ошибок измерения расстояний. С учетом выражений (8 – 11) получим соотношение:

$$\frac{\Delta R_A}{\Delta R} = \frac{U_{\text{пор. А}}}{U_{\text{пор}}}. \quad (12)$$

Результаты оценки приведены на рис. 3.

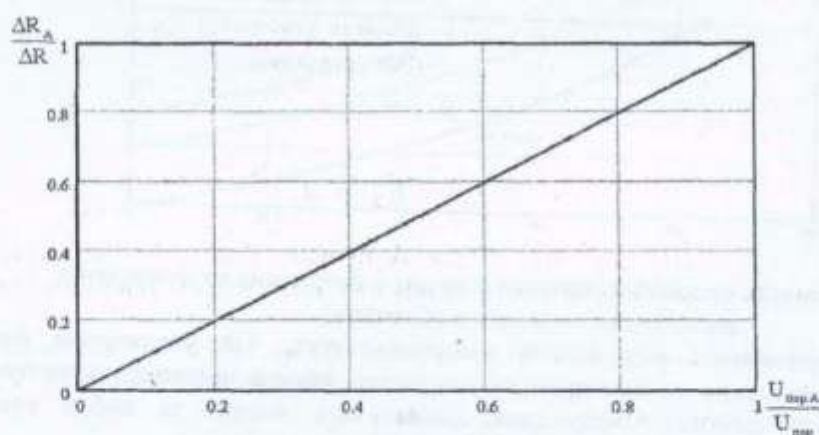


Рис. 3. Зависимость отношения ошибок измерения от отношения пороговых напряжений.

Анализ результатов показал, что точность измерения расстояний при использовании адаптивного порога становится тем выше, чем больше отличие значений напряжений адаптивного и постоянного порогов.

Для оценки эффективности использования адаптивного порога было проведено моделирование работы полупроводникового лазерного дальномера с адаптивным порогом и с постоянным порогом срабатывания компаратора. Модель лазерного дальномера была разработана ранее в программной среде MATLAB и представлена в [4].

#### Литература

1. Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б. Основы проектирования лазерных локационных систем: Учебное пособие для радиотехн. спец. вузов. — М.: Высш. школа, 1983, 207 с.
2. Kilpelä A., Ylitalo J., Määttä K., Kostamovaara J. Timing discriminator for pulsed time-of-flight laser rangefinder measurement. Review of Scientific Instruments, vol. 69, №5, 1998, pp. 1978-1984.
3. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. Киев.: Высш. Школа. Главное издательство, 1988, 383 с.
4. Быков М.М., Тюрин В.С., Тюрин С.В. Моделирование процесса формирования сигналов в импульсном полупроводниковом лазерном дальномере. Радиоэлектроника и информатика. 2006. №4 с.11-15.