

ДАЛЬНОМЕР С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

© 2004 г. Р. Б. Шемшединов, канд. техн. наук

Уральский государственный университет им. А.М. Горького, г. Екатеринбург

Проведен анализ особенностей работы лазерного дальномера по различным типам объектов. Определены условия, позволяющие оптимизировать пороговые отношения применительно к некоторым типовым вариантам использования прибора. Приведен пример структурной реализации лазерного дальномера с избирательным режимом работы применительно к различным условиям наблюдения.

Коды OCIS: 120.0280, 280.3400.

Поступила в редакцию 03.11.2003.

Многообразие типов объектов и условий локационного наблюдения приводит к существенным изменениям амплитудно-временных характеристик отраженных сигналов [1, 2]. В этих условиях квазиоптимальная фильтрация сигналов может быть реализована с использованием достаточно сложных n -канальных приемных устройств [3].

Вместе с тем можно показать, что многообразие условий локационных измерений можно свести к двум основным вариантам обработки информации:

1. Фильтрации подвергается отраженный сигнал при квазистационарном облучении поверхности (например, малоразмерного объекта, вписывающегося в поле зрения лазерного дальномера (ЛД) или крупноразмерного объекта, перекрывающего поле зрения ЛД).

2. Фильтрации подвергается сигнал, отраженный от протяженной пространственно-однородной поверхности ламбертового характера при нестационарном облучении последней (например, под малыми углами визирования относительно горизонта).

С учетом изложенного отраженные сигналы гауссовой формы применительно к первому и второму вариантам локационного наблюдения могут быть представлены в виде

$$S_{\kappa, \text{м}}(t) = A_{\kappa, \text{м}} \exp \left\{ -\pi(t/\tau_0)^2 \right\}, \quad (1)$$

$$S_c(t) = A_c \exp \left\{ -\pi(t/\tau_c)^2 \right\}, \quad (2)$$

где $A_{\kappa, \text{м}}$, τ_0 – амплитуды и длительность сигналов, отраженных от крупноразмерных и малоразмерных объектов при стационарном облучении; A_c , τ_c – амплитуда и длительность отраженного сигнала при нестационарном облучении объекта; $W_c = A_c \tau_c = A_c \sqrt{\tau_\delta^2 + \tau_0^2}$ – энергия сигнала ($W_c = \text{const}$); $W_{\kappa, \text{м}} = A_{\kappa, \text{м}} \tau_0$ – энергия отраженного сигнала при стационарном облучении; $\tau_\delta = 2L_0 \theta / c \tan \varphi_0$; L_0 – осевая дальность до поверхности; θ – ширина поля излучения по уровню 0,46 тах; φ_0 – угол визирования относительно горизонта; c – скорость света.

Тогда при оптимальной линейной фильтрации сигналов вида (1) и (2) с учетом результатов работы [4] можно получить следующие выражения для отношения сигнал/шум:

$$\mu_{\kappa, \text{м}} = \frac{W_{\kappa, \text{м}} \varepsilon M_0 [\tau_0 H(\beta(\tau_0))]^{1/2}}{\sqrt[4]{2\pi\beta(\tau_0)} \bar{e}_y C}, \quad (3)$$

$$\mu_c = \frac{W_c \varepsilon M_c [\tau_c H(\beta(\tau_c))]^{1/2}}{\sqrt[4]{2\pi\beta(\tau_c)} \bar{e}_y C}, \quad (4)$$

$$\text{где } \beta(\tau_{0,c}) = \frac{\tau_{0,c} (2eI_0 M_{0,c}^{2+b} + 4kT/R_n + e_y^2/R_n^2)^{1/2}}{\sqrt{2\pi} \bar{e}_y C};$$

$$H(x) = x(1 - \operatorname{erf} x) \exp x^2, \operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt;$$

ε – токовая чувствительность фотоприемника, например, лавинного фотодиода (ЛФД); $M_{0,c}$ – коэффициенты внутреннего умножения фототока для варианта приема сигналов с длительностями τ_0 и τ_c соответственно (для безлавинного режима работы ФД $M = 1$); e_y^2 – спектральная плотность напряжения шумов усилителя, C – суммарная емкость входной цепи, I_0 – постоянная составляющая фототока, e – заряд электрона, b – коэффициент избыточного шума ЛФД, R_n – сопротивление нагрузки фотоприемника, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

Для оценки эффективности адаптации ЛД к изменяющимся условиям локационного наблюдения рассмотрим отношение $\Psi(\tau_c) = \mu_c / \mu_{\kappa, \text{м}}$ для различных значений M_c :

$$\Psi(\tau_c) = \frac{W_c}{W_{\kappa, \text{м}}} \frac{M_c \beta(\tau_0)}{M_0 \beta(\tau_c)} \left[\frac{\tau_c H(\beta(\tau_c))}{\tau_0 H(\beta(\tau_0))} \right]^{1/2}. \quad (5)$$

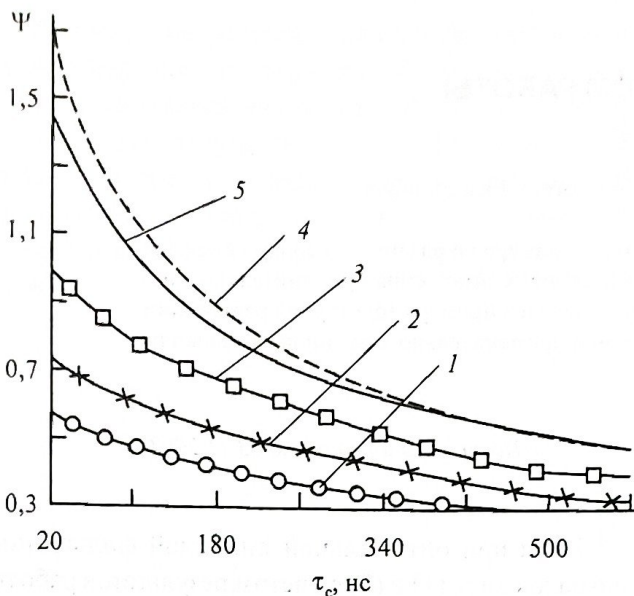


Рис. 1. Функция $\Psi(\tau_c)$ для различных значений M_c . $M_c = 15$ (1), 20 (2), 30 (3), 60 (4), 100 (5).

В качестве примера на рис. 1 приведена зависимость $\Psi(\tau_c)$ для различных M_c при следующих значениях параметров, входящих в (5): $W_c = W_{к,м}$, $M_0 = 30$, $\tau_0 = 20$ нс, $I_0 = 5 \times 10^{-11}$ А, $b = 0,4$, $T = 300$ К, $e_y^2 = 6 \times 10^{-18}$ В²/Гц, $R_n = 3 \times 10^4$ Ом, $C = 10^{-11}$ Ф.

Рассмотрение приведенных данных показывает, что для обеспечения равных условий обнаружения различных типов объектов целесообразно регулировать параметр M_c в зависимости от длительности отраженного сигнала τ_c . Например, при $\Psi(\tau_c) = 1$ увеличение длительности сигнала τ_c с 20 до 150 нс требует увеличения значения коэффициента M_c с 30 до 100 (см. кривые 3–5). Эффективность регулирования вида $M_c = f(\tau_c)$ ограничивается соотношением тепловых и дробовых шумов приемного устройства, а также допустимым уровнем повышения напряжения питания, определенным явлениями пробоя в ЛФД. Пример варианта реализации ЛД с перестраиваемым режимом работы приведен на рис. 2.

В исходном состоянии в ЛФД 1 посредством процессора 2 и регулятора напряжения питания устанавливается значение коэффициента лавинного умножения M_0 , максимизирующее отношение сигнал/шум в фильтре-усилителе 4 для сигнала длительностью τ_0 . Порог срабатывания $U_{п1}$ в устройстве 5 выбирается исходя из обеспечения допустимой вероятности ложной тревоги с учетом ширины полосы фильтрации Δf_0 [5].

Одновременно в процессоре 3 определяется исходное значение длительности отраженного сигнала τ_c по сравнению с зондирующим τ_0 по формуле [4]

$$\tau_c = \tau_3 \Lambda,$$

где $\Lambda = [1 + (2L_0 \theta / c \tau_3 \tan \phi_0)^2]^{1/2}$, $\tau_0 = \tau_3$.

При этом значения параметров L_0 и ϕ_0 выбираются либо на основе априорной информации для

конкретной ситуации применения прибора, либо на основе среднестатистических данных об L_0 и ϕ_0 , полученных из опыта.

По сигналу с процессора 2 устанавливается определенное значение полосы Δf_c в фильтре-усилителе 6. Уровень амплитудной дискриминации в устройстве определения временного положения 2 фронтов импульса τ_c 7 находится из условия $U_{п2} = U_{п1} \sqrt{\Delta f_c / \Delta f_0}$. Излучение лазера 8, сформированное телескопом 9, направляется на выбранный объект. Часть излучения лазера с помощью фотодиода 10 и формирователя 11 запускает первый и второй формирователи временных интервалов 12 и 13 соответственно. Так начинается счет импульсов генератора опорной частоты 14. Если для отраженного сигнала условия обнаружения оказываются более предпочтительными по цепи элементов 4, 5, 12, 15, то информация о дальности через первый счетчик 15 выдается на процессор 2 в качестве исходной. Если для параметров отраженного сигнала предпочтительными оказываются условия обнаружения с помощью фильтра-усилителя 6, то в устройстве 7 определяются моменты временного положения переднего и заднего фронтов сигнала, которые через второй формирователь поступают на второй счетчик 16. В результате по каждому импульсу, характеризующему положение фронтов сигнала, информация со счетчика 16 заносится в первый и второй регистры памяти 17 и 18. В процессоре 2 определяется длительность отфильтрованного сиг-

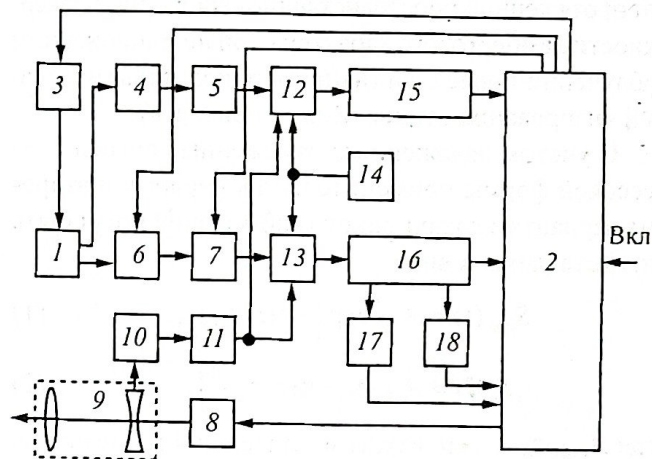


Рис. 2. ЛД с перестраиваемым режимом работы. 1 – ЛФД, 2 – процессор, 3 – регулятор напряжения питания, 4 – фильтр-усилитель, 5 – пороговое устройство, 6 – фильтр-усилитель, 7 – устройство определения временного положения двух фронтов импульса τ_c , 8 – лазер, 9 – формирующий телескоп; 10, 11 – фотоприемник и формирователь опорного сигнала; 12, 13 – первый и второй формирователи временного интервала; 14 – генератор опорной частоты; 15, 16 – первый и второй счетчики импульсов; 17, 18 – первый и второй регистры памяти.

нала τ_c как разность временных интервалов ближнего и дальнего лучей пучка излучения шириной θ . С помощью процессора 2 и регулятора 3 осуществляется регулировка напряжения питания фотоприемника 1 (коэффициента лавинного умножения M_c) в зависимости от величины τ_c . Если же происходит увеличение параметра Λ , дополнительно уточняется ширина полосы пропускания фильтра $\delta \Delta f_c$ и значение порогового уровня в устройстве 7.

В условиях отсутствия априорной информации о характере облучаемой поверхности процессор 2 посредством регулятора 3 может обеспечить поисковый режим изменения напряжения питания фотоприемника 1 таким образом, чтобы повысить вероятность обнаружения сигнала по каналу со статическими параметрами (элементы 4, 5, 12, 15) либо по каналу с адаптируемыми параметрами (6, 7, 13, 16).

Полученные результаты могут быть полезны при проектировании импульсных дальнометров, решающих различные прикладные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Непогодин И.А. Отражательные характеристики объектов и фонов и их информативность в лазерной локации // Автореф. докт. дис. Казань: ФНПЦ ГИПО, 1998. 37 с.
2. Лебедько Е.Г., Порфирьев Л.Ф., Хайтун Ф.И. Теория и расчет импульсных и цифровых оптико-электронных систем // Уч. пособие для вузов по оптико-электронным специальностям. Л.: Машиностроение, 1984. 191 с.
3. Шестов Н.С. Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех. М.: Сов. радио, 1967. 348 с.
4. Хайтун Ф.И., Рассказов С.А., Шемшединов Р.Б. Оптимизация ширины диаграммы направленности оптического дальнометра при измерении наклонной дальности до земной поверхности // Радиотехника. 1992. № 1-2. С. 53-56.
5. Шемшединов Р.Б., Хайтун Ф.И., Лебедько Е.Г. Некоторые характеристики импульсных устройств с инерционными фотоприемниками // ОМП. 1978. № 1. С. 60-61.