

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА УГЛОВОГО АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ С ЧАСТОТНО - ВРЕМЕННЫМ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЙ

д.т.н., проф. Г.В. Алешин, к.т.н. Ю.П. Рондин, А.В. Коломийцев

В статье изложены основные принципы построения высокоточного канала автосопровождения по направлению (АСН) в многопараметрической лазерной системе измерения параметров движения (ИПД) объектов. Представлены результаты оценки точностных характеристик канала АСН, основанного на частотно - временном методе.

При зондировании движущегося под произвольным углом наблюдаемого объекта парой встречно - сканируемых диаграмм направленности (ДН) лазера в каждой из двух ортогональных плоскостей, «подкрашенных» различными (разностными) парами частот межмодовых биений одностороннего многомодового  $YAG:Nd^{3+}$  - лазера [1], отраженные от объекта сигналы несут информацию как об угловом отклонении его от оптической оси, созданной этими четырьмя ДН, так и об ортогональных составляющих тангенциальной скорости (угловых скоростей) [2]. Кроме того, характеристики спектра сигнала позволяют измерять как дальность до объекта, так и его радиальную скорость с высокой точностью. Учет измерительной информации от канала угловых скоростей позволит повысить надежность канала АСН по отношению к возможному срыву автосопровождения [2]. Функциональная схема предлагаемого варианта канала АСН приведена на рис.1. Принцип действия данного канала АСН заключается в следующем.

Из спектра излучения  $YAG:Nd^{3+}$  - лазера с помощью СПМ выделяются и сканируются блоком дефлекторов (Д) требуемые комбинации продольных мод. При этом период сканирования задается блоком управления дефлекторов (БУД). Проходя через передающую оптику (ПРДО), лазерный импульсный сигнал фокусируется в определенные точки пространства и осуществляется встречное сканирование двумя парами ДН в каждой плоскости ( $\alpha$  и  $\beta$ ). Принимаемые приемной оптикой (ПРМО) отраженные в процессе сканирования четырех ДН лазерные импульсные сигналы с помощью фотодетектора (ФТД) преобразуются в электрические

импульсные сигналы на разностных частотах межмодовых биений, усиленные широкополосным усилителем (ШУ) и распределяемые по резонансным усилителям (РУ), настроенным на соответствующие частоты:  $\Delta\nu_m$ ;  $2\Delta\nu_m$ ;  $3\Delta\nu_m$ ;  $6\Delta\nu_m$ . При этом, поступающие импульсные сигналы радиочастоты с РУ $\Delta\nu_m$  и РУ $2\Delta\nu_m$  - формируют сигнал ошибки по углу  $\alpha$ , а РУ $3\Delta\nu_m$  и РУ $6\Delta\nu_m$  - по углу  $\beta$ .

Формирование сигнала ошибки по углу  $\beta$  аналогично углу  $\alpha$ .

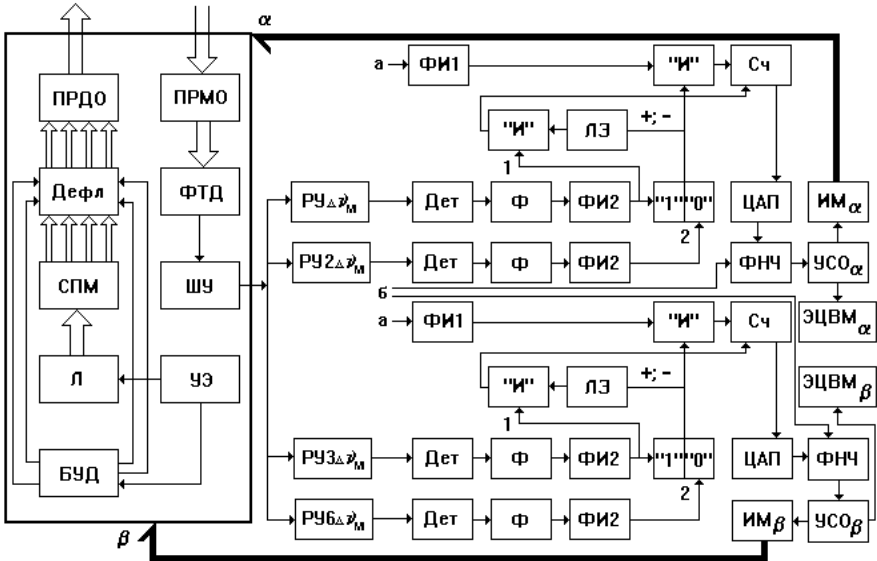


Рис. 1. Функциональная схема канала АСН многопараметрической лазерной системы ИПД объектов

а - ввод сигнала с опорного канала  $\Delta\nu_m$  передающего лазера;

б - ввод сигнала от канала оценки тангенциальной составляющей скорости объекта для уточнения ошибки совпадения по углам.

В случае, когда объект находится на направлении оптической оси канала АСН, периоды огибающих пачек импульсов частот межмодовых биений за один полный проход в прямом и обратном направлении пар встречных - сканируемых ДН лазера (в каждой из двух ортогональных плоскостей), выделяемых ФТД и РУ по соответствующим плоскостям, будут одинаковыми. Угловое отклонение объекта от оптической оси (РСН) пропорционально сдвигу периодов в каждой из двух ортогональных плоскостей. Это дает возможность в схеме канала АСН определять величину и знак угла отклонения объекта от оптической оси и сформировать сигналы ошибки по двум осям координат (углам  $\alpha$  и  $\beta$ ). Более того, учет измерительной информации от канала угловых скоростей в филь-

тре нижних частот (ФНЧ) позволит устранить систематическую погрешность (уточнить оценку по углам) и применить фильтрацию по Калману - Бьюси, т.е. сузить полосу пропускания, повысить отношение сигнал/шум и тем самым повысить вероятность несрыва автосопровождения канала АСН.

Исполнительные механизмы ИМ $\alpha$  и ИМ $\beta$  разворачивают приемо-передающую платформу таким образом, чтобы объект находился на оптической оси канала АСН.

Известно [3], что точность измерений углов или автосопровождения по направлению тем выше, чем круче дискриминационная кривая. Для получения максимального значения крутизны характеристики дискриминатора рассмотрим типичную зависимость ДН лазера от времени

$$G(\theta) = G_0 \cdot \exp\left\{-\frac{\theta^2(t)}{2\Delta\theta_x^2}\right\} = G_0 \cdot \exp\left[-\frac{k^2 t^2}{2\Delta\theta_x^2}\right], \quad (1)$$

где:  $k = \frac{2\Delta\theta_x}{T_{ск}}$  - скорость сканирования;  $\Delta\theta_x = \frac{k \cdot T_{ск}}{2}$  - ширина ДН;

$T_{ск}$  - время сканирования;  $G_0$  - максимальное оптическое усиление;

$\theta_{max} = \frac{\Delta\theta_x}{2}$  - максимальный угол ширины ДН. Ясно, что большой и малый диапазон сканирования ДН не являются лучшими.

Определим оптимальный диапазон сканирования. Для этого найдем первую производную по времени от выражения (1), т.е. получим крутизну дискриминатора

$$G'_t(t) = \frac{dG}{dt} = G_0 \cdot \exp\left(-\frac{k^2 t^2}{2\Delta\theta_x^2}\right) \cdot \left(-\frac{2k^2 t}{2\Delta\theta_x^2}\right). \quad (2)$$

Далее определим вторую производную и приравняем ее к нулю, чтобы определить экстремум

$$G''_t(t) = G_0 \cdot \exp\left(-\frac{k^2 t^2}{2\Delta\theta_x^2}\right) \cdot \left(-\frac{2k^2 t}{2\Delta\theta_x^2}\right)^2 + G_0 \cdot \exp\left(-\frac{k^2 t^2}{2\Delta\theta_x^2}\right) \cdot (-1) \frac{2k^2}{2\Delta\theta_x^2} = 0. \quad (3)$$

Оптимальное значение расстройки  $\Delta\theta_{opt}$  по одному из углов, при которой крутизна наибольшая, равно половине ДН лазера ( $\Delta\theta_x$ ):

$$\Delta\theta_{opt} = k \cdot t_{max} = \Delta\theta_x;$$

$$t_{max G'} = \frac{\Delta\theta_x}{k} = \frac{\Delta\theta_x \cdot T_{ск}}{2\Delta\theta_x} = \frac{T_{ск}}{2}. \quad (4)$$

Относительный уровень сигнала при такой расстройке равен

$$\frac{G}{G_0} = e^{-\frac{k^2 \cdot T_{\text{СК}}^2}{4 \cdot 2\Delta\theta_x}} = e^{-\frac{\Delta\theta_x}{2\Delta\theta_x^2}} = e^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{e}} = \frac{1}{1,7} \approx 0,6. \quad (5)$$

Максимальная крутизна дискриминационной характеристики

$$\begin{aligned} G' &= G_0 \cdot \exp\left(-\frac{k^2 T_{\text{СК}}^2}{4 \cdot 2\Delta\theta_x^2}\right) \cdot \left(-\frac{2k^2}{2\Delta\theta_x^2} \cdot \frac{T_{\text{СК}}}{2}\right) = \\ &= G_0 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \cdot \left(-\frac{k}{\Delta\theta_x}\right) = -\frac{G_0 k}{\Delta\theta_x} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

где:  $U_c = U_m \cdot G_0 \Rightarrow U'_c = U_m \cdot G'_0$ ;  $U_c$  – огибающая сигнала;  $U_m$  – максимальное значение огибающей.

В известное соотношение [3], определяющее точность канала АСН, подставляем значение максимальной крутизны (6)

$$\sigma_{t1}^2 = \frac{\sigma_{\text{ш}}^2}{\left(U_{\Delta\theta_x}^1\right)^2} = \frac{\sigma_{\text{ш}}^2}{U_{\text{max}}^2 \frac{1}{e} \left(\frac{G_0 k}{\Delta\theta_x}\right)^2} = \frac{e \cdot \Delta\theta_x^2}{q \cdot k^2}, \quad (7)$$

где:  $q = \frac{(U_m G_0)^2}{\sigma_{\text{ш}}^2}$  – отношение сигнал/шум;  $\sigma_{\text{ш}}^2$  – шумы фотодетектора;

$G'(\theta)$  – крутизна дискриминатора.

В результате проведенных исследований также были получены соотношения для определения: дисперсии оценки положения двух фронтов огибающих, угла отклонения объекта от оптической оси и дисперсии оценки угла отклонения.

Таким образом, используя частотно-временной метод измерений принципиально возможно создание высокоточной лазерной многопараметрической системы ИПД с надежным угловым автосопровождением объекта по направлению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рондин Ю.П., Коломийцев А.В. Система автоматического сопровождения по направлению на многомодовых лазерах // Сб. научн. тр. Информационные системы. Вып. 1(5). – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1997. – С. 35 - 39.

2. Коломийцев А.В. Измерение тангенциальной составляющей скорости движения объекта // Системи обробки інформації. Зб. наук. праць. Вип. 1(5). – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1999. – С. 162 - 166.

3. Алешин Г.В. Основы построения оптимальных информационно - измерительных радиотехнических систем. – Х.: ХВУ, 1994. – 252 с.

---