

ИЗМЕРЕНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

А.В. Коломийцев
(представил д.т.н., проф. Г.В. Алешин)

В статье предложен канал измерения тангенциальной составляющей скорости движения объекта, позволяющий скомпенсировать скоростную составляющую и составляющую по углам в канале АСН. Приведены аналитические выражения для определения тангенциальной скорости.

Совершенствование лазерных систем измерения параметров движения (ИПД) объектов является важной научно - инженерной проблемой. Одним из возможных направлений создания высокоточной многопараметрической лазерной системы является реализация частотно - временного метода измерения ПД [1], сущность которого заключается во встречном сканировании пар парциальных диаграмм направленности (ДН) в каждой из двух ортогональных плоскостей (рис. 1), «подкрашенных» частотами межмодовых биений, выделенных из синхронизированного спектра излучения лазера.

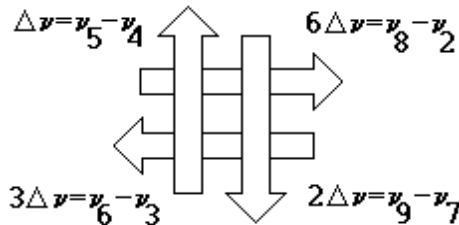


Рис. 1. Создание пар встречно сканируемых в каждой из двух ортогональных плоскостей ДН

Метод позволяет реализовать канал автоматического сопровождения объекта по направлению (АСН), обеспечивающий более высокую точность и надежность по отношению к возможному срыву автосопровождения, при дополнительном использовании измерительной информации о тангенциальной составляющей скорости движения объекта.

Основная идея измерения тангенциальной составляющей скорости заключается в том, что периоды огибающей отраженного сигнала лазера (пачки импульсов частот межмодовых биений), обусловленной диаграммой направленности при сканировании, совпадающем с направлением движения объекта, удлиняются, а при обратном движении луча лазера - укорачиваются. Эти чередующиеся периоды измеряются время - импульсным методом. Разность периодов огибающей пропорциональна тангенциальной составляющей скорости движения объекта.

Оценим точность измерения тангенциальной составляющей скорости движения наблюдаемого объекта в одной из плоскостей.

Рассмотрим первый случай, когда наблюдаемый объект движется одновременно с ДН, тогда тангенциальная составляющая скорости движения объекта

$$U_{\tau 1} = R\omega_{\text{ск}} \left(1 - \frac{T_{\text{ск}}}{T_{p1}} \right), \quad (1)$$

где $R\omega_{\text{ск}} = U_{\text{л}}$; $U_{\text{л}}$ - линейная скорость движения апертуры ДН на дальности R до объекта; $\omega_{\text{ск}}$ - угловая скорость сканирования; $T_{\text{ск}}$ - время сканирования; T_p - результирующее время или продолжительность половины первого периода сканирования смещения ДН.

Относительная тангенциальная составляющая скорости объекта $\beta(\alpha_1)$, равна

$$\beta(\alpha_1) = \frac{U_{\tau 1}}{U_{\text{л}}} = 1 - \alpha. \quad (2)$$

Рассмотрим второй случай, когда движение ДН ($U_{\text{л}}$) не совпадает с движением объекта. При этом, по аналогии с первым случаем, имеем:

$$U_{\tau 2} = R\omega_{\text{ск}} \cdot \left(\frac{T_{\text{ск}}}{T_{p2}} - 1 \right); \quad (3)$$

$$\beta(\alpha_2) = U_{\tau 2} / U_{\text{л}} = \alpha_2 - 1. \quad (4)$$

Используя результаты двух измерений одной и той же величины $U_{\tau 1}$ и $U_{\tau 2}$, осредняем оценку U_{τ} :

$$U_{\tau} = (U_{\tau 1} + U_{\tau 2}) / 2$$

или

$$U_{\tau} = \frac{U_{\text{л}}}{2} \cdot \frac{\Delta T_p}{T_{\text{ск}}}. \quad (5)$$

Погрешность измерения U_{τ} , как видно из формулы (5), существенно зависит от точности измерений $U_{\text{л}}$ (или от дальности R и от угловой скорости сканирования $\omega_{\text{ск}}$), от точности измерений временного интервала ΔT_p . Принципиально возможно, если не учитывать собственных шумов

фотоприемника, добиться относительной погрешности $\delta U_\tau / U_\tau$ не хуже 10^{-7} . Другими словами, можно добиться того, что

$$\left(\frac{\delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{2\delta\omega_{\text{СК}}}{\omega_{\text{СК}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta\Delta T_{\text{P1}}}{\Delta T_{\text{P1}}}\right)^2 \leq (10^{-7})^2. \quad (6)$$

Известно [2], что дисперсия погрешности оценки положения фронта сигнала определяется формулой

$$\sigma_{t_1}^2 = \frac{\sigma_{\text{СК}}^2}{U_m^2 (G'_t)^2},$$

где G'_t - крутизна огибающей сигнала при гауссовой форме ДН; U_m - максимальное значение огибающей. Поскольку

$$G'_t = \frac{1}{e} \cdot \frac{G_0 \kappa}{\Delta\theta_x},$$

где $\Delta\theta_x$ - угол перемещения ДН; G_0 - максимальный уровень сигнала; $\kappa = 2\Delta\theta_x / T_{\text{СК}}$ - скорость сканирования.

Скорость сканирования, как и G'_t достигается при $t = T_{\text{СК}}/2$, поэтому дисперсия оценки σ_{U_τ} ошибки тангенциальной составляющей скорости объекта

$$\sigma_{U_\tau}^2 = \frac{e}{2} \cdot \frac{U_{\text{л}}^2}{q}, \quad (7)$$

где q - отношение сигнал/шум.

Принцип работы канала измерения U_τ (рис. 2), заключается в следующем.

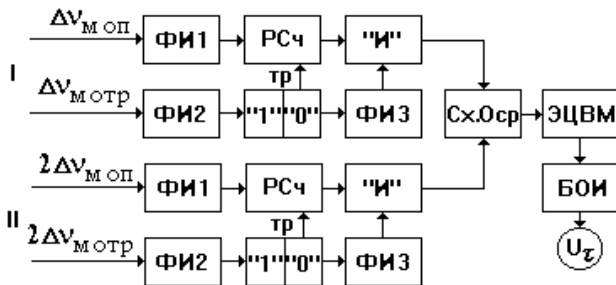


Рис.2. Функциональная схема измерения тангенциальной составляющей скорости (U_τ)

Выделенные импульсы ФИ1 первой ветви (рис. 3), от опорной частоты $\Delta v_{\text{мон}}$, поступают на реверсивный счетчик (РСч1). В это же время отраженная от объекта лазерная частота межмодовых биений преобразуется фотодетектором в радиочастоту межмодовых биений $\Delta v_{\text{мотр}}$, изменяющуюся по закону движения ДН лазера, которая преобразуется ФИ2 в точках переходов периодов сканирования в импульсы (один импульс за период сканирования) и поступает на триггер "1", запуская его первым импульсом.

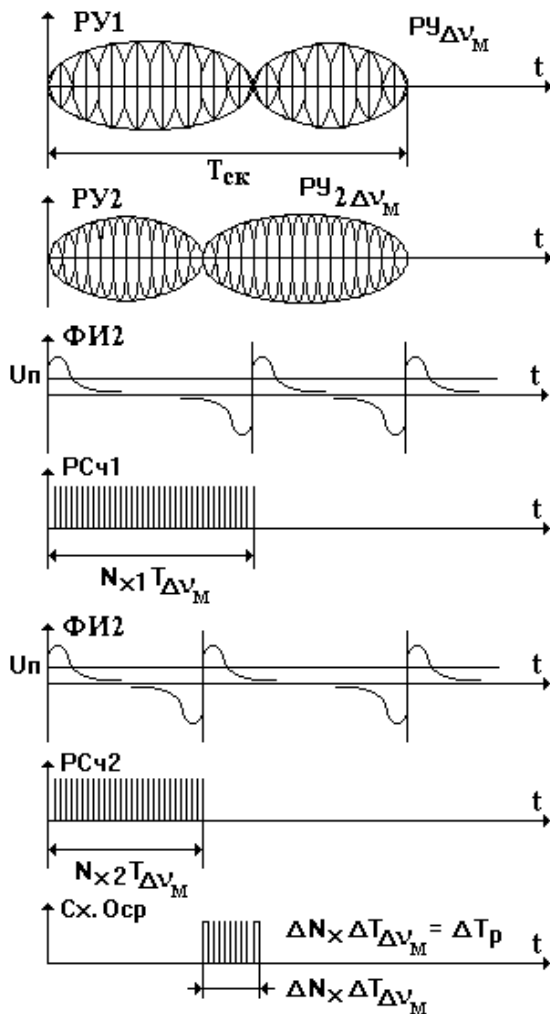


Рис.3. Эпюры напряжений на выходах блоков канала измерения тангенциальной составляющей скорости объекта

Поступающий первым импульс от триггера открывает РСч для счета импульсов от ФИ1 и схему “И”. Второй импульс от триггера поступает на реверсивный вход того же РСч, который осуществляет обратный счет проходящих через него импульсов. Поступающий на триггер третий импульс и т.д. действуют аналогично первому и второму. Однако второй импульс не проходит на схему “И”, а третий импульс поступает, как и первый, на ФИЗ и далее, через схему “И”, на схему осреднения. Таким образом, в РСч записывается число импульсов, равное разности удлиненного и укороченного периода сканирования (движения ДН). Период сканирования удлиняется тогда, когда скорость движения объекта совпадает со скоростью движения ДН, и укорачивается - когда не совпадает.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены аналитические выражения для определения тангенциальной составляющей скорости (U_t), а также сделан вывод о возможности создания канала АСН с высокой точностью автосопровождения по углам и с малой вероятностью срыва автосопровождения. Это означает, что частотно - временной метод дает принципиальную возможность для построения канала измерения тангенциальной составляющей скорости движения объектов и высокоустойчивого канал АСН. Скоростной канал с астатизмом первого порядка позволит в достаточной степени точно скомпенсировать скоростную составляющую и составляющую ускорения по углам в канале автоматического сопровождения объекта по углам.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Алешин Г.В. Основы построения оптимальных информационно – измерительных радиотехнических систем. – Харьков : ХВУ, 1994. – 251 с.
