

## Связь встречных волн в лазерном гироскопе

Амбарцумян Д.М., Брославец Ю.Ю., Фомичев А.А.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Захват частоты – явление присущее связанным автоколебательным системам и проявляющееся в различных областях физики. Наиболее важную и, к сожалению, отрицательную роль это явление играет в лазерных гироскопах, в особенности построенных на твердотельных активных средах, приводя к ухудшению точности и невозможности измерять малые угловые скорости вращения при работе без использования подставки – смещения разности частот встречных волн в линейную область характеристики.

В работе приводятся результаты исследований, направленных на уменьшение взаимодействия встречных волн при работе гироскопа с подставкой. Исследования проводились для зеемановского He-Ne гироскопа с непланарным резонатором и круговой поляризацией генерируемого излучения и для гироскопа, построенного на основе полупроводникового оптического усилителя (ПОУ) и волоконного резонатора на РМ волокне сверхбольшой длины [1]. В зеемановском гироскопе величина взаимодействия встречных волн через рассеяние на зеркалах имеет определенные особенности: первое, это изменение поляризации при отражении от зеркал и второе, это расположение рассеивающих центров на зеркалах непланарного резонатора. В гироскопе, построенном на основе ПОУ и волоконного резонатора, рассеивающие центры, определяющие связь встречных волн, распределены по волокну и сосредоточены на торцах волокна и волноводного слоя ПОУ.

При расчетах была использована модель, базирующаяся на подходе, аналогичном расчету интерферометра Фабри-Перо [2]-[4] и описывающая влияние связи встречных волн через рассеяние от произвольно расположенных центров на выходные параметры гироскопа. Модель представляет собой рекуррентные соотношения, описывающие распространение встречных волн за обход резонатора с учетом волн рассеянных на произвольно расположенных рассеивающих центрах:

$$\begin{aligned} A_{n+1} &= A_n e^{i\varphi} + B_n \sum_{m=1}^j \alpha_{Bm} e^{i\psi_{Bm}}, \\ B_{n+1} &= B_n e^{-i\varphi} + A_n \sum_{m=1}^j \alpha_{Am} e^{-i\psi_{Am}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A_0 = B_0 = 1$  - начальные амплитуды встречных волн,  $A, B$  - амплитуды встречных волн после  $n+1$  обхода резонатора,  $A_n, B_n$  - амплитуды встречных волн в текущий момент времени,  $\psi_{Am} = \varphi + \Theta_{Am}$ ,  $\psi_{Bm} = \varphi + \Theta_{Bm}$ ,  $\Theta_{Bm}, \Theta_{Am}$  - фаза волн от каждого рассеянного центра,  $\varphi = L * k$ ,  $L$  - длина резонатора,  $k$  - волновой вектор,  $\alpha_{Am}, \alpha_{Bm}$  - коэффициенты рассеяния,  $j$  - общее количество рассеянных центров,  $n$  - количество обходов резонатора.

Моделирование (1) показало соответствие результатов построенной модели общепринятому описанию захвата частоты через дифференциальное уравнение (2), [1], [5], но, при этом, в модели может быть выполнен учет произвольно расположенных рассеивающих центров как для непланарного, так и для волоконного резонатора. Поведение гироскопа, при наличии связи встречных волн, может быть описано [5] уравнением:

$$d\psi/dt = \Omega - \Omega_L \sin(\psi + \beta), \quad (2)$$

где  $\psi$  - мгновенный сдвиг фазы между встречными волнами;  $\Omega$  - скорость вращения кольцевого лазера (масштабный коэффициент включен в  $\Omega$ );  $\Omega_L$  - порог захвата;  $\beta$  - постоянный фазовый угол, зависящий от характеристик обратного рассеяния.

В работе выполнены экспериментальные измерения захвата частоты, определяемого связью встречных волн путем изменения вводимой величины невязности за счет эффекта Зеемана и затягивания частоты, и измерения разности частот встречных волн по частоте биений на выходе смесителя гироскопа рис. 3. Величина связи встречных волн после включения подставки (~1 кГц) и выхода гироскопа из захвата измерялась по искажению сигнала биений методом восстановления фазы сигнала рис.4.

В целом, проведенные исследования показали, что изменение длины резонатора или его геометрии приводит к периодическому изменению величины взаимодействия встречных волн, что позволяет, выведя гироскоп в минимум, улучшить его выходную характеристику.

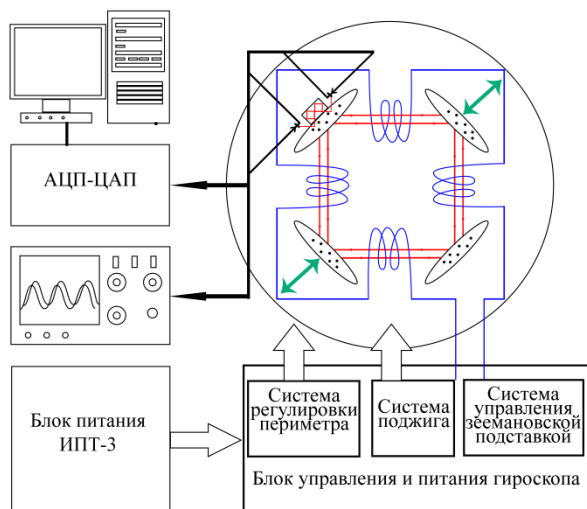


Рис.1. Схема установки зеемановского лазерного гироскопа.

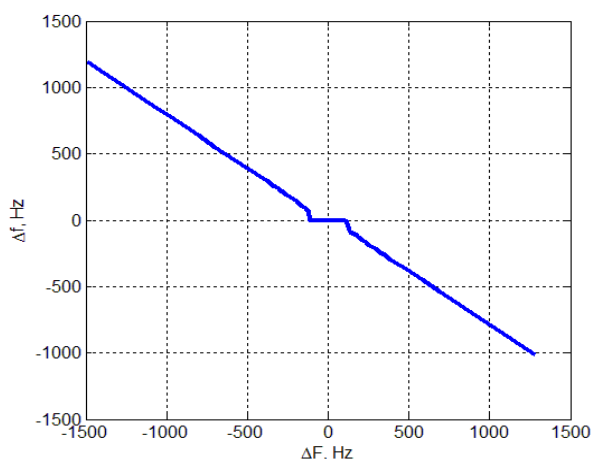


Рис. 3. Выходная частотная характеристика лазерного гироскопа .

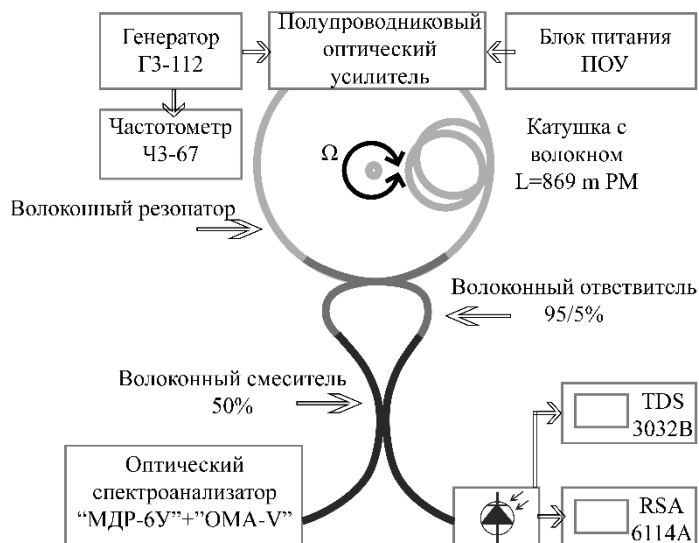


Рис.2. Схема установки гироскопа на ПОУ.

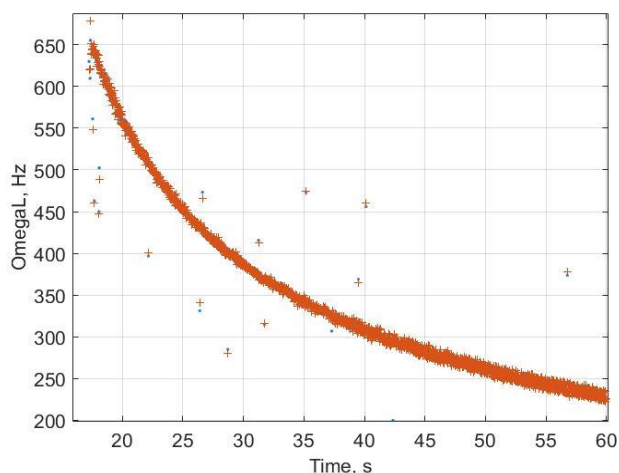


Рис. 4. Зависимость величины взаимодействия встречных волн от времени после нахождения в зоне захвата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-07626а.

### Литература

1. *Bochkova E.N., Broslavets Yu.Yu., Duraev V.P., Fomichev A.A.* Active mode locking in laser gyroscope on semiconductor optical amplifiers and long fiber cavity, 16th International Conference "Laser Optics 2014" St. Petersburg, Russia, 2014.
2. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 4. Оптика. М.: Наука, 1980. 555 с.
3. *Сахаров В.К.* Модель лазерного гироскопа с частотной подставкой. // Квантовая электроника, 46:6, 2016. 567–573 с.
4. *Федоров А.Е., Зборовский В.А., Рекунов Д.А.* Оценка точностных параметров резонатора лазерного гироскопа в производстве. // XX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам, СПб, 2013.
5. *Aronovitz F.* Fundamentals of the ring laser gyro // Optical Gyros and their Application. - RTO-AG-339, 1999. P. 3-1 - 3-45.