

Влияние динамических зон синхронизации на выходную характеристику лазерных гироскопов при угловых скоростях, сравнимых с частотой подставки.

Горшков В.Н., Грушин М.Е., Савельев И.И., Синельников А.О., Хохлов Н.И.

АО «НИИ «Полюс» им М.Ф. Стельмаха»

На частотной характеристике зеемановского лазерного гироскопа со знакопеременной прямоугольной частотной подставкой вблизи частоты подставки наблюдается зона нелинейности $\Delta\Omega$ (рис.1). Её наличие связано с тем, что в одном из полупериодов знакопеременной подставки рабочая точка находится в зоне синхронизации частот и вблизи нее. Величина зоны нелинейности на частотной характеристике определяется шириной зоны статического захвата.

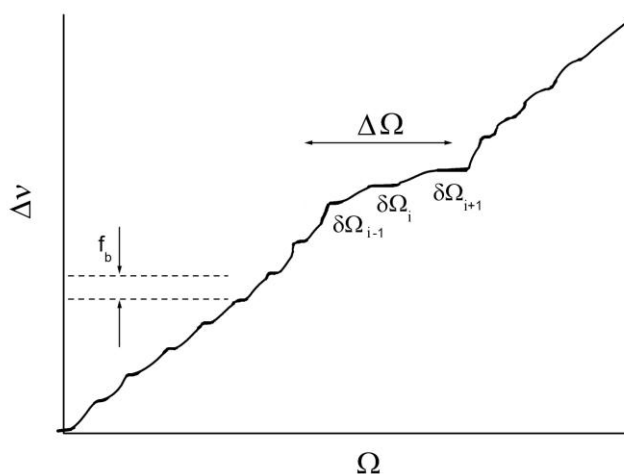


Рис. 1. Частотная характеристика Зеемановского лазерного гироскопа со знакопеременной частотной подставкой, $\Delta\Omega$ - ширина области нелинейного искажения.

f_b – частота переключения магнитного поля, $\delta\Omega_i$ - динамические зоны синхронизации.

Для анализа поведения выходного сигнала в области частоты подставки были проведены измерения ширины динамических зон синхронизации вблизи частоты подставки на стенде, имитирующем вращение датчика путем подачи тока в катушку невзаимного устройства, и на прецизионном поворотном столе.

Результаты измерения динамических зон синхронизации на имитационном стенде.

Схема имитационного стенда представлена на рис. 2.

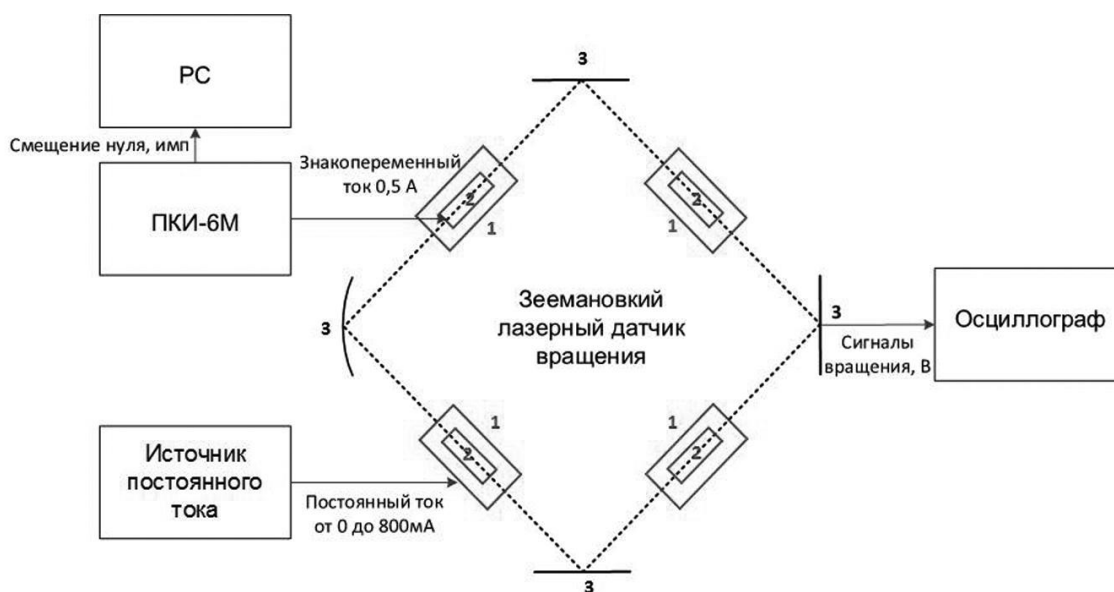


Рис. 2. Схема имитационного стенда.

1 – катушка невзаимного устройства; 2 – катушка компенсации; РС – персональный компьютер; ПКИ-6М – прибор контрольно-испытательный.

Прибор контрольно-испытательный ПКИ-6М обеспечивает подачу всех необходимых для жизнеобеспечения лазерного датчика питающих и управляющих сигналов. Особенностью схемы подключения лазерного датчика на имитационном стенде было то, что основной ток 0,5А, создающий частотную подставку в датчике, подавался в катушку компенсации. Коэффициент передачи катушки компенсации примерно в 7 раз меньше чем у катушки невзаимного устройства, в которую в обычном режиме подаётся знакопеременный ток подставки. В катушку невзаимного устройства датчика подавался постоянный ток от внешнего источника для перемещения рабочей точки по частотной характеристике.

При оценке величины зоны нелинейности критерием низкочастотной границы было равенство подставки и выходной частоты гироскопа (рис. 3а). Критерий для верхней границы - появление синусоидального сигнала вращения в низкочастотном полупериоде подставки (рис. 3б).

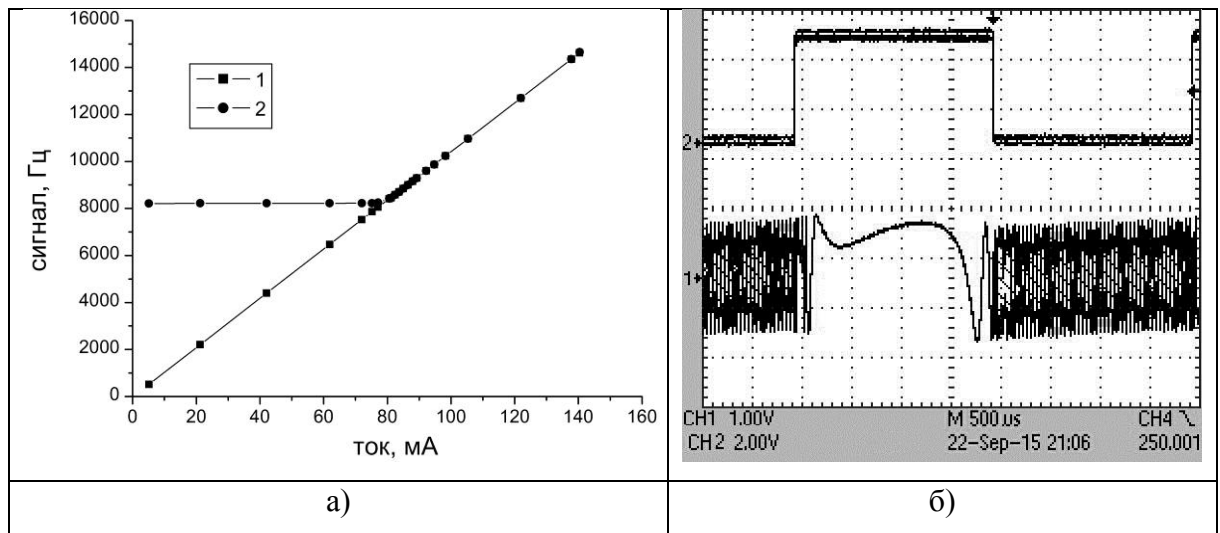


Рис. 3 а) поведение подставки (1) и выходного сигнала вращения (2) гироскопа при приближении к частоте подставки; б) искажение сигнала вращения (CH1) в одном из полупериодов подставки, когда рабочая точка находится вблизи частоты подставки.

Пример результатов измерений ширин динамических зон показан на рис. 4.

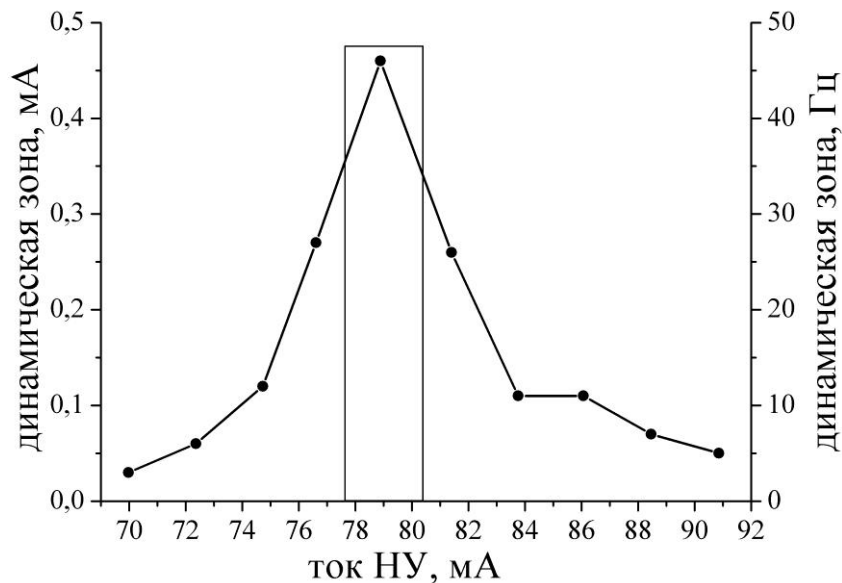


Рис. 4. Ширины динамических зон ЛГ в НКУ вблизи области нелинейного искажения, обозначенной прямоугольной рамкой, на имитационном стенде.

Ширина динамической зоны определялась по входу в динамическую зону. Фиксировался ток и пересчитывался на частоту умножением на $K_{ну}$.

Из рис. 4 видно, что в области частоты подставки присутствуют широкие зоны синхронизации, следующие друг за другом с периодом 250Гц (частота переключения магнитного поля). Измерения динамических зон вблизи частоты подставки проведены для нескольких продольных мод на разных лазерных гироскопах, характер их поведения оказался схожим.

Из расчетов, выполненных в работах [1, 2] известно, что при приближении к частоте подставки величины динамических зон должны возрастать. Данное утверждение подтверждается экспериментальными результатами, приведенными на рис. 4. При измерениях получено, что динамические зоны захвата внутри и вблизи зоны нелинейности могут быть в десятки раз больше нулевой и первой.

Результаты измерения динамических зон синхронизации на поворотном столе.

Эксперименты проводились на одноосном прецизионном поворотном столе Acuitas AG TES-3Vs. Стабильность скорости вращения планшайбы стола - 0,001% от заданной скорости за один поворот.

Экспериментально регистрировалась зависимость частоты выходного сигнала гироскопа от скорости вращения поворотного стола. Измерения проводились при двух направлениях вращения датчика поочередно при стационарной скорости вращения. Шаг изменения угловой скорости в области нелинейного искажения составлял $0,01^0/\text{сек}$. Результаты измерений показаны на рис. 5.



Рис. 5 Выходная характеристика лазерного гироскопа вблизи частоты подставки.

На рис. 5 хорошо видно увеличение размеров динамических зон синхронизации вблизи частоты подставки, отстоящих друг от друга на частоту реверса подставки (250 Гц). Стрелкой показана ширина области, в которой сигнал вращения в одном из полупериодов переключения подставки отсутствует.

Наличие широких динамических зон синхронизации вблизи частоты подставки приводит к значительному искажению выходной характеристики гироскопа, что в свою очередь отражается на характере относительного изменения масштабного коэффициента.

На рис. 6 показано относительное изменение масштабного коэффициента, полученное из выходной характеристики лазерного гироскопа вблизи частоты подставки, показанной на рис. 5.

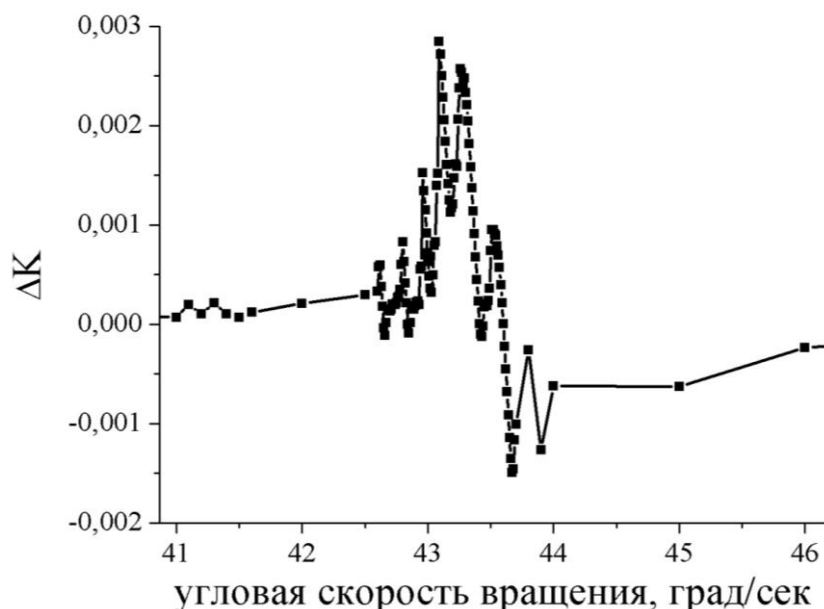


Рис. 6. Относительное изменение масштабного коэффициента при наличии широких динамических зон синхронизации, полученное из выходной характеристики лазерного гироскопа вблизи частоты подставки, показанной на рис. 5.

В случае пренебрежимо малых динамических зон синхронизации относительное изменение масштабного коэффициента лазерного гироскопа в зоне нелинейности является симметричной функцией, которую можно описать с использованием функции (1), предложенной в работе [3], до и после области, где полупериод подставки датчик находится в зоне захвата, а саму эту область описать линейной функцией (2).

$$\Delta K \Omega = \frac{\Omega_0^2}{2 * (\Omega_B^2 - \Omega^2)}, \quad \text{для } \Omega \leq (\Omega_B - \Omega_0) \text{ и } \Omega \geq (\Omega_B + \Omega_0) \quad (1)$$

$$\Delta K \Omega = a + b * \Omega, \quad \text{для } (\Omega_B - \Omega_0) < \Omega < (\Omega_B + \Omega_0) \quad (2)$$

$$a = \frac{1}{2} \frac{2\Omega_B^2 + \Omega_0^2}{(2\Omega_B)^2 - \Omega_0^2} \quad (2.1)$$

$$b = -\frac{1}{2} \frac{2\Omega_B}{(2\Omega_B)^2 - \Omega_0^2} \quad (2.2)$$

Ω_0 – полуширина зоны захвата,

Ω_B – частота подставки.

Пример такой аппроксимации показан на рис. 7 при грубой регистрации выходной характеристики лазерного гироскопа (шаг между точками – 0.1 - 10 град/с).

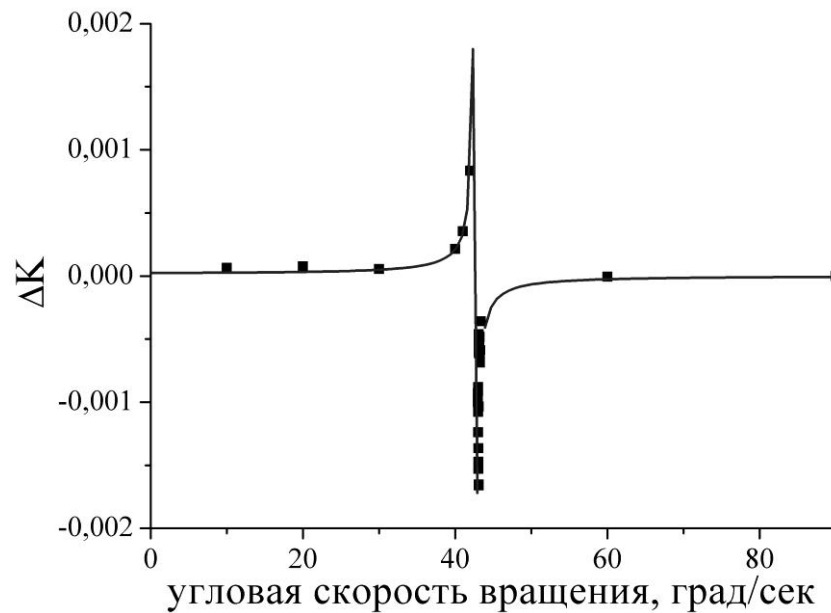


Рис. 7. Относительное изменение масштабного коэффициента лазерного гироскопа с шагом между точками – (0.1- 10) град/с. Линии - математическая аппроксимация.

Однако в случае больших динамических зон, шириной в десятки герц, алгоритм построения аппроксимирующей кривой будет значительно сложнее (рис. 6).

Выводы:

- 1) Экспериментально установлено, что при угловых скоростях вращения вблизи частоты подставки ширина динамических зон возрастает в десятки раз, что согласуется с результатами теоретических работ [1, 2].
- 2) Ширина зоны нелинейности значительно больше ширины статической зоны (~230Гц), измеренной по входу в зону и достигает 800Гц.
- 3) Использование простейшей аппроксимации выходной характеристики ЛГ позволяет на порядок и более уменьшить погрешность от нелинейности масштабного коэффициента. Однако вблизи частоты подставки требуется уточнение модели.

Литература:

1. *Хромых А.М.* Динамическая характеристика кольцевых лазеров с периодической частотной подставкой // Электронная техника. Сер. 11. Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1990. - Вып. 1, № 53. – С. 76 - 83.
2. *Найда О.Н., Руденко В.В.* Частотная характеристика кольцевого лазера с периодической частотной подставкой трапецеидальной формы // Сер. 11. Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1990. - Вып. 1, № 53. – С. 83 - 94.
3. *Азарова В.В., Голяев Ю.Д., Савельев И.И.* Зеемановские лазерные гироскопы // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45, № 2. - С. 171 – 179.