ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЗАХВАТ ЧАСТОТ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН В ЛАЗЕРНОМ ГИРОСКОПЕ

Е.М. Ермак², А.О. Синельников^{1,3}, Н.В. Тихменев³ ¹МИЭМ (ТУ); ²НИЯУ МИФИ; ³ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха E-mail: metanabol 05@mail.ru

Lock-in Effect of frequencies of counter waves in a ring laser gyroscope constructed on the basis of He-Ne the laser and ways of its elimination are considered in this article. Influence of ambient temperature on Lock-in Effect is investigated. The technique of measurement of Lock-in Effect is resulted for various environmental conditions. It is shown that ambient temperature doesn't influence on Lock-in Effect size.

Одной из наиболее перспективных областей применения лазеров является гироскопия. Лазерный гироскоп (ЛГ) представляет собой интегрирующее устройство, измеряющее интегральный угол поворота резонатора лазера в инерциальном пространстве за время съема информации [1]. В ЛГ используется кольцевой оптический резонатор, в котором генерируются две независимые противоположно направленные оптические бегущие волны. Частоты бегущих волн зависят от вращения кольцевого резонатора в инерциальном пространстве. Из разности частот двух встречных волн можно непосредственно определять параметры вращения резонатора.

Наилучшим для применения в ЛГ являются газовые Не-Ne лазеры. Они хорошо изучены, могут работать в непрерывном режиме, обладают достаточным коэффициентом усиления, малой потребляемой мощностью, высокой надёжностью и могут быть сделаны прочными и компактными. Известно, что частотная характеристика реального ЛГ имеет зону нечувствительности и нелинейности при малых скоростях вращения. причиной которой является связь встречных волн, возникающая из-за обратного рассеяния на зеркалах и неоднородностях резонатора [5].



Рис. 1. Частотная характеристика ЛГ

Эта связь приводит к синхронизации частот встречных волн ("захвату") в некоторой области скоростей вращения. Для решения этой проблемы рабочую точку лазера смещают из области захвата за счёт искусственно создаваемой разности оптических путей для встречных волн, которая приводит к расщеплению частот ("подставке") встречных волн даже в отсутствие вращательного движения [4].

Для вывода лазера из области захвата предложено множество способов, однако наиболее часто используются только два: механические крутильные колебания и введение невзаимного элемента на основе магнито-оптических эффектов (Фарадея или Зеемана). В НИИ "Полюс" разработана конструкция резонатора с неплоским оптическим контуром, который обладает циркулярной анизотропией и не имеет дополнительных внутрирезонаторных оптических элементов, усложняющих конструкцию ЛГ и являющихся дополнительным источником погрешностей.



Рис. 2. Оптическая схема неплоского четырехзеркального кольцевого резонатора (α-угол излома)

Подставка создаётся за счёт эффекта Зеемана при наложении на активную среду продольного магнитного поля [2]. Очевидными преимуществами такой конструкции резонатора являются отсутствие движущихся механических частей, что позволяет сделать её более прочной и механически устойчивой, а также уменьшение связи встречных волн через обратное рассеяние в результате их поляризационной развязки.



Рис. 3. Частотная характеристика реального лазерного гироскопа со знакопеременной частотной подставкой

Выбор методики измерения захвата

Известно, что захват в четырехзеркальном симметричном резонаторе определяется интерференционной суммой четырех волн, рассеянных от четырех зеркал. Очевидно, что амплитуды рассеянных волн определяются свойствами зеркал и являются величинами постоянными. Таким образом за изменение захвата отвечают относительные фазы интерферирующих рассеянных волн или, что то же самое, изменения расстояний между точками на зеркалах, на которые падают лучи в резонаторе [6]. Если эти расстояния при изменениях температуры не изменяются, то величина захвата должна оставаться постоянной.



Рис. 4. Схема деформаций осевого контура резонатора ЛГ при изменении температуры

Мы считаем, что поле температур однородно по объему резонатора и таким образом тепловое расширение (сжатие) изотропно. Иными словами, все четыре зеркала смещаются от геометрического центра резонатора на одну величину. Одновременно работает система регулировки периметра резонатора (СРП), которая поддерживает длину периметра резонатора постоянной параллельным и одинаковым перемещением навстречу двух пьезозеркал [3], как это показано на рисунке 4. Из Рис. 4 видно, что благодаря симметрии резонатора как при самопрогреве так и при температурном воздействии расстояния между зеркалами остаются неизменными, а осевой контур из квадрата превращается в ромб.

Если периметр резонатора изменяется только за счет встречного перемещения пьезозеркал, то все расстояния между зеркалами изменяются одинаково, рабочие точки на зеркалах не перемещаются по поверхности зеркала и, следовательно, интерференционная сумма рассеянных волн изменяется за счет изменения фаз интерферирующих волн, обусловленного изменением расстояний между зеркалами. Очевидно, что зависимость захвата от изменения длины периметра резонатора должна быть периодической, причем, период определяется минимальным расстоянием между источниками рассеянных волн. В нашем случае это одна четверть периметра резонатора – расстояние между двумя зеркалами. Таким образом, когда расстояние между соседними зеркалами изменяется на $\lambda/2$, интерференционная сумма проходит целый период (по аналогии с отражательным интерферометром). Общая длина периметра при этом изменяется в четыре раза больше, т.е. на 2λ . На этой экспериментально подтвержденной модели основана методика измерения захвата.

В принятой у нас методике измерения захвата измеряется захват на четырех последовательных продольных модах резонатора, отстоящих на $\lambda/2$ друг от друга. Таким образом, при измерениях охватывается весь период изменения захвата (2) и с большой вероятностью получается максимальное и минимальное возможные значения для данного резонатора, а среднее значение по четырем модам характеризует захват при данной температуре. Как было замечено выше, при однородном поле температур в резонаторе и при изотропном его расширении при изменении температуры среды в силу симметрии конструкции зависимости захвата от температуры быть не должно. Однако, реальная конструкция датчика, в которой резонатор закреплен через пружинные элементы к алюминиевому основанию и окружен магнитным экраном, не может обеспечить полную однородность теплового поля. Кроме того, из-за разности ТКЛР ситалла и алюминия усилие сжатия резонатора зависит от температуры среды и поэтому к неоднородности теплового поля лобавляется механические деформации резонатора, зависящие OT температуры. Эти деформации также могут нарушить симметрию резонатора и вызвать изменение захвата. Таким образом, свойства реальной конструкции датчика можно реально определить только экспериментально.

Экспериментальная часть

ЛГ помещают в камеру тепла и холода и подключают согласно схеме, представленной на рисунке 5, при этом вся контрольно-измерительная аппаратура находится снаружи и не подвергается климатическому воздействию.



Рис. 5. Схема экспериментальной установки

Измерение захвата происходит на четырех последовательных модах в различных климатических условиях: нормальные климатические условия (НКУ), минус 55°С и 75°С. Прибор контрольно-испытательный (ПКИ-6) обеспечивает работу ЛГ, подавая на него рабочее напряжение Uпит и сигнал, Исрп. Включают источник постоянного тока и регулирующий периметр устанавливают на нем выходное напряжение 10 В, при помощи частотомера регистрируют частоту сигнала вращения *f1*, кГц. Далее при помощи системы регулировки тока (СРТ) плавно понижают напряжение на источнике тока до вращения. Контроль осуществляют полного пропадания сигнала ПО осциллограмме в момент исчезновения сигнала, регистрируют ток I_1 , A, при помощи миллиамперметра. Возвращают величину напряжения источника к начальному значению, меняют полярность и снова уменьшают напряжение источника до исчезновения сигнала, фиксируют ток I2, А. Вычисляют статическую зону захвата на первой моде Ω_{ст1}, Гц, по формуле:

$$\Omega_{\rm CT1} = \frac{\nu_1}{\rm I\kappa} \times \frac{(\rm I_1 + \rm I_2)}{2},$$

где: *v*₁ – частота сигнала вращения, Гц

Ік – ток в катушках, намотанных вокруг газоразрядных промежутков, А

 I_1 , I_2 – ток, при котором исчезает сигнал вращения, А

Результаты этих измерений представлены на рисунке 6



Рис. 6. Распределение ЛГ по захвату на четырех модах в различных климатических условиях

Из сравнения этих трех гистограмм видно, что функция распределения захвата практически не зависит от температуры среды.

На рисунках 7 и 8 приведены гистограммы, отражающие изменение среднего захвата по четырем модам при изменении температуры среды.



Рис. 7. Распределение разницы захвата межу НКУ и +75°С



Из рисунков видно, что это симметричные нормальные распределения с центром в нуле и шириной по уровню 5% около 100 Гц.

Выводы

Таким образом, теоретически и экспериментально показано, что в реальной конструкции ЛГ, разрабатываемых в НИИ «Полюс», изменение температуры окружающей среды не влияет на величину захвата, который с вероятностью 95% не превышает 100 Гц во всем диапазоне рабочих температур.

- 1. Ф. Арановиц. Лазерные гироскопы. В кн.: Применения лазеров, пер. с англ. под ред. В.П. Тычинского. (М., Мир, 1974, с. 182).
- В.В. Азарова, Ю.Д. Голяев, В.Г. Дмитриев. Кольцевые газовые лазеры с магнитооптическим управлением в лазерной гироскопии. Квантовая электроника, 30, №2. (2000).
- 3. Н.Р. Запотылько. Современные пьезокорректоры высокостабильных газовых лазеров для измерительных систем. Лазерные новости, вып. 2, (1996).
- 4. А.М. Хромых. Электронная техника. Сер.11. Лазерная техника и оптоэлектроника, № 2 (54), 30 (1990).
- 5. А.Д. Богданов. Гироскопы на лазерах. М., Воениздат, с. 43, (1973).
- 6. И.А. Андронова. Обратное рассеяние в кольцевом резонаторе. Изв. ВУЗов. Радиофизика, т. 17 №5, с. 775-777, (1974)