

Г.Г. КАРАПЕТЯН

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФАЗОСДВИГАТЕЛЯ

Предложен новый метод, позволяющий значительно улучшить характеристики кольцевого лазерного гироскопа путем установки в кольцевой резонатор (КР) специального фазосдвигателя (Ф). При соответствующем выборе крутизны фазочастотной характеристики Ф смещение собственной частоты КР становится пропорциональным квадратному (или кубическому) корню от угловой скорости вращения и поэтому резко возрастает. Вследствие этого существенно улучшаются чувствительность и динамический диапазон гироскопа.

Ключевые слова: лазерный гироскоп, кольцевой резонатор, частота биений, фазосдвигатель.

Кольцевой лазерный гироскоп (КЛГ), являясь в настоящее время наиболее чувствительным из всех типов гироскопов, находит широкое применение в инерциальной навигации и геофизике [1-3]. Действие КЛГ основано на зависимости собственных частот КР от угловой скорости его вращения. В неподвижном КР активное вещество генерирует две встречные волны, частоты которых f одинаковы и определяются из условия, что на длине резонатора L должно укладываться целое число волн

$$Lf / v = m, \quad (1)$$

где v - скорость волны в резонаторе; m - большое целое число.

Если же прибор вращается с угловой скоростью Ω вокруг оси, перпендикулярной плоскости кольца, то оптические пути, проходимые встречными волнами, будут больше или меньше, чем L , на величину ΔL , равную

$$\Delta L = 2S\Omega / v, \quad (2)$$

где S - площадь кольца.

Вследствие этого собственная частота волны, распространяющейся в направлении вращения, уменьшается на величину δf , а собственная частота встречной волны увеличивается на ту же величину. В результате частоты встречных волн становятся неодинаковыми, и возникают биения с частотой

$$2\delta f = 2f|\Delta L| / L = 4fS\Omega / vL. \quad (3)$$

По величине $2\delta f$ (на практике $\sim 10^{-3} \dots 10^5$ Гц), выделяемой детектором, определяется Ω .

В настоящей работе предлагается новый *метод смещения фазы*, в основе которого лежит установка внутри КР специального Ф с фазочастотной характеристикой (ФЧХ) $\varphi(f)$. Тогда вместо (1) имеет место другое условие, определяющее собственные частоты f_1 :

$$Lf_1 / v + \varphi(f_1) / 2\pi = m. \quad (4)$$

При изменении оптических путей встречных волн на ΔL (вследствие вращения КР) собственные частоты смещаются на Δf , определяющееся из уравнения

$$(L + \Delta L)(f_1 + \Delta f) / v + \varphi(f_1 + \Delta f) / 2\pi = m. \quad (5)$$

Разлагая $(f_1 + \Delta f)$ в степенной ряд и ограничиваясь первыми тремя членами из (5), получим алгебраическое квадратное уравнение, определяющее смещение собственной частоты КР при наличии Φ :

$$\varphi'' \Delta f^2 + 2[2\pi(L + \Delta L) / v + \varphi'] \Delta f + 4\pi f_1 \Delta L / v = 0, \quad (6)$$

где штрихи обозначают производные по частоте.

Устанавливая крутизну фазочастотной характеристики Φ , удовлетворяющую условию

$$\varphi' + 2\pi L / v = 0, \quad (7)$$

из (6) найдем

$$\Delta f \approx \pm (-4\pi f_1 \Delta L / v \varphi'')^{1/2} = \pm f_1 (8\pi S \Omega / |\varphi''|)^{1/2} / v. \quad (8)$$

Полученная формула при $\varphi'' \Delta L > 0$ дает мнимые значения для Δf , а при $\varphi'' \Delta L < 0$ – действительные. Это означает, что во вращающемся резонаторе одна из встречных волн исчезает, а другая расщепляется на две волны с частотами $f_1 \pm \Delta f$, распространяющиеся в одном и том же направлении. Таким образом, при определенной величине крутизны ФЧХ частота биений, выделяемая детектором, становится пропорциональной квадратному корню от угловой скорости вращения и, следовательно, чрезвычайно возрастает, что ведет к значительному возрастанию чувствительности и динамического диапазона. Для численных оценок нужно знать величину φ'' , которая для конкретных образцов Φ может лежать в широких пределах. Для грубых оценок можно положить $\varphi'' \sim \varphi' / f \sim -L / v f$ и получить из (8)

$$\Delta f \sim f_1 (S \Omega / v L)^{1/2} \sim f_1 |\Delta L / L|^{1/2}. \quad (9)$$

Аналогично можно рассмотреть Φ с кубической ФЧХ, где $\varphi'' = 0$. Тогда Δf определяется третьей производной ФЧХ, которую можно грубо оценить как $\varphi''' \sim \varphi' / f^2 \sim L / v f^2$. В результате при выполнении условия (7) получим

$$\Delta f \sim f_1 (S \Omega / v L)^{1/3} \sim f_1 (\Delta L / L)^{1/3}. \quad (10)$$

В отличие от предыдущего случая здесь существуют обе встречные волны: одна из них имеет положительный сдвиг собственной частоты, а другая – отрицательный. При этом малые изменения длины КР, обусловленные механическими напряжениями, температурой и т.д., не влияют на частоту биений.

Рассмотрим численный пример. В большом КЛГ с $S=1 \text{ м}^2$, $L=4 \text{ м}$ угловая скорость вращения $\Omega=10^{-9} \text{ град/час}$ вызывает биения с частотой 10^{-8} Гц , которую невозможно измерить. Если же установить в данном КЛГ Φ с соответствующими параметрами, то частота биений будет $\sim 1 \text{ кГц}$ согласно (9) и $\sim 10 \text{ МГц}$ согласно (10). Таким образом, появляется возможность измерения очень малых угловых скоростей вращения, что может обеспечить более точную экспериментальную проверку некоторых фундаментальных физических принципов и геофизических гипотез [3].

Ключевой проблемой для реализации предлагаемого КЛГ является создание Φ с отрицательной крутизной $\Phi\chi$, удовлетворяющей (7). Такие Φ могут быть двух типов. Первый тип - это устройства, где при небольшом увеличении (уменьшении) частоты длина пути, проходимая волной до выхода, резко уменьшается (увеличивается). При этом будет уменьшаться (увеличиваться) также и фаза, обеспечивая тем самым отрицательную крутизну $\Phi\chi$. Такое устройство, работающее в диапазоне радиочастот до ~ 1 ГГц, можно реализовать на основе дисперсионной линии задержки на поверхностных акустических волнах, теория и техника которых хорошо развиты [4]. Второй тип - это устройства, где при увеличении частоты фаза волны уменьшается за счет уменьшения волнового числа. Такая ситуация имеет место, например, в области аномальной дисперсии диэлектрика (где, однако, сопровождается сильным поглощением), или в активной среде вблизи линии усиления.

Работа выполнена при поддержке гранта INTAS 97-30748.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков С.И., Лукьянов Д.П., Бакаляр А.И. Лазерный гироскоп. - М.: Наука, 1975. - 421 с.
2. Волоконно-оптические датчики / Под ред. Т.Океси. - Л. Энергоатомиздат, 1990. - 256 с.
3. Stedman G.E. Ring-laser tests fundamental physics and geophysics // Rep. Progr. Phys. - 1997. - Vol. 60. - P. 615-683.
4. Орлов В.С., Бондаренко В.С. Фильтры на поверхностных акустических волнах. - М.: Радио и связь, 1984. - 272 с.

ЕрФИ. Материал поступил в редакцию 03.06.1999.

Գ.Գ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

**ՕՂԱԿԱՅԻՆ ԼԱԶԵՐԱՑԻՆ ԳԻՐՈՍԿՈՊԻ ԳՈՐԾՈՂՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐԵԼԱՎՈՒՄԸ
ՖԱԶԱՇԵՂԻՉԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ**

Հետազոտված է նոր մեթոդ, որի միջոցով հնարավոր է զգալիորեն բարելավել օղակային լազերային գիրոսկոպի գործողությունը՝ հատուկ ֆազաշեղիչի տեղադրումով:

G.G. KARAPETYAN

IMPROVEMENT OF RING LASER GYROSCOPE PERFORMANCE BY USING PHASE SHIFTER

A novel method enabling to improve significantly the performance of ring laser gyroscope by means of installing the phase shifter into the ring resonator is proposed. By suitable phase frequency performance curvature selection of the phase shifter the frequency drift of the ring resonator becomes proportional to the square (or cubic) root at angular rotation speed and this results in appreciable increase of sensitivity and dynamic range of ring laser gyroscope.