

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВКИ ПЕРИМЕТРА РЕЗОНАТОРА И ВИБРАЦИОННАЯ ОШИБКА ЗЕЕМАНОВСКОГО ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА НА 50%-НОЙ СМЕСИ ИЗОТОПОВ НЕОНА

М.Е. Грушин
Ю.Ю. Колбас
В.Н. Горшков

mihail.grushin1968@gmail.com
tigra-e@rambler.ru
vov4ik818kva@mail.ru

АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований работы системы регулировки периметра резонатора зеемановского лазерного гироскопа при заполнении 50%-ной смесью изотопов неона Ne^{20} и Ne^{22} . При поддержании постоянным периметра зеемановского лазерного гироскопа по минимуму сигнала расстройки периметра в отличие от одноизотопного гироскопа зависимость амплитуды частотной подставки от расстройки периметра оказывается несимметричной при его увеличении и уменьшении, что приводит к изменению динамических дрейфов нуля и вибрационной ошибки такого зеемановского лазерного гироскопа при механических ударах и вибрации. Показано, что поведение двухизотопного зеемановского лазерного гироскопа эквивалентно работе одноизотопного гироскопа при наличии статической расстройки. Установлено, что даже при наличии статической расстройки периметра в двухизотопном зеемановском лазерном гироскопе уменьшаются динамические дрейфы нуля и вибрационные ошибки, что связано с более пологой формой контура усиления при заполнении его 50%-ной смесью изотопов неона Ne^{20} и Ne^{22} . Приведены экспериментальные результаты и расчетные оценки динамических дрейфов нуля и вибрационных ошибок двухизотопного зеемановского лазерного гироскопа типа К-5

Ключевые слова

Лазерный гироскоп, дрейф нуля, вибрация, расстройка периметра резонатора

Поступила в редакцию 10.04.2018
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Работа системы регулировки периметра зеемановского лазерного гироскопа.

Обратимся к устройству зеемановского лазерного гироскопа (ЗЛГ) (рис. 1). В нем для поддержания постоянной настройки резонатора на одну продольную моду генерации используется система регулировки периметра (СРП), работа которой основана на возникновении модуляции интенсивности каждого встречно распространяющегося луча при наложении на активную среду ЗЛГ продольного знакопеременного магнитного поля, создаваемого знакопеременным током блока частотной подставки (БЧП) в катушках, намотанных на газоразрядные промежутки [1–3].

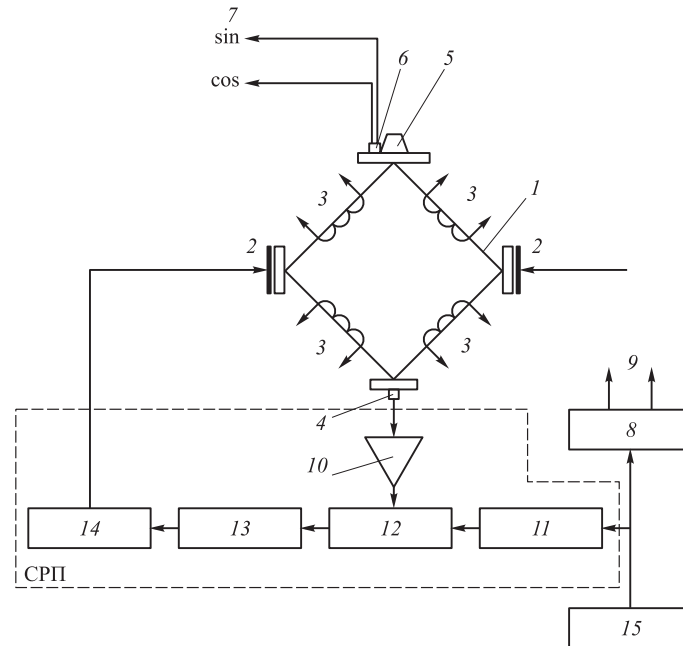


Рис. 1. Устройство ЗЛГ:

1 — газоразрядные промежутки; 2 — зеркала с пьезодвигателями; 3 — катушки невязимного устройства; 4 — фотоприемник СРП; 5 — смеситель; 6 — двухплощадочный фотоприемник; 7 — выходные сигналы вращения; 8 — генератор тока БЧП; 9 — выход на катушки невязимного устройства; 10 — усилитель переменного напряжения; 11 — инвертор; 12 — синхронный детектор; 13 — интегратор; 14 — усилитель; 15 — генератор синхроимпульсов

При точной настройке моды генерации на точку пересечения контуров усиления для встречных волн в резонаторе глубина модуляции интенсивности луча, т. е. сигнал с фотоприемника СРП, должен стремиться к нулю (рис. 2).

Зависимость амплитуды сигнала на фотоприемнике СРП и частоты биений встречных волн (амплитуды частотной подставки) от относительной расстройки периметра резонатора ЗЛГ $\Delta\lambda_{\text{п}} = \Delta L / \lambda$ приведена на рис. 3. Видно, что положение минимума сигнала на фотоприемнике СРП и экстремум зависимости частоты подставки от относительной расстройки на оси абсцисс точно совпадают. При малых $\Delta\lambda_{\text{п}}$ для f верно выражение из [4] (рис. 3, штриховая кривая):

$$f = f_0 (1 - \chi \Delta\lambda_{\text{п}}^2), \tag{1}$$

где f_0 — амплитуда частотной подставки при $\Delta\lambda_{\text{п}} = 0$; χ — константа, зависящая от амплитуды частотной подставки, усиления активной среды, уровня потерь в резонаторе. Из рис. 3 для ЗЛГ К-5 следует, что $\chi \approx 6,4$.

При этом наблюдается зависимость дрейфа нуля ЗЛГ Ω от расстройки $\Delta\lambda_{\text{п}}$, показанная на рис. 4:

$$\Omega = \Omega_0 (1 - \chi_{\Omega} \Delta\lambda_{\text{п}}^2), \tag{2}$$

где χ_{Ω} — коэффициент зависимости, равный $\sim 2,98$; Ω_0 — дрейф нуля ЗЛГ при $\Delta\lambda_{\text{п}} = 0$.

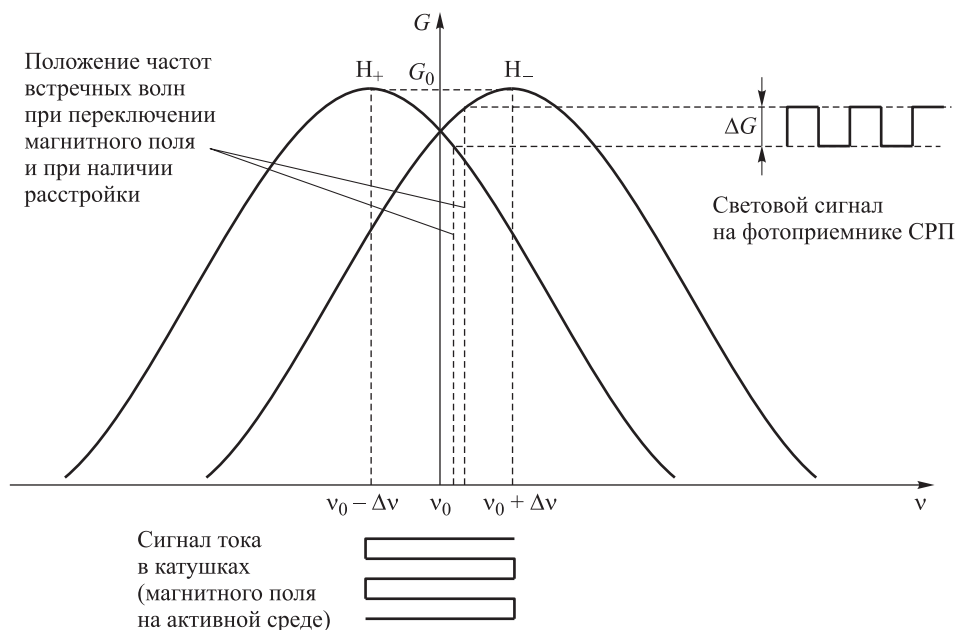


Рис. 2. Частотная подставка в одноизотопном ЗЛГ и сигнал расстройки периметра:

H_+, H_- — контуры усиления активной среды для волн с правой и левой круговыми поляризациями при наложении магнитного поля; ν_0 — частота максимума усиления нерасщепленного контура; $2\Delta\nu$ — зеемановское расщепление контуров усиления; G_0 — коэффициент усиления в центре контура; ΔG — амплитуда модуляции коэффициента усиления в одном луче при переключении магнитного поля

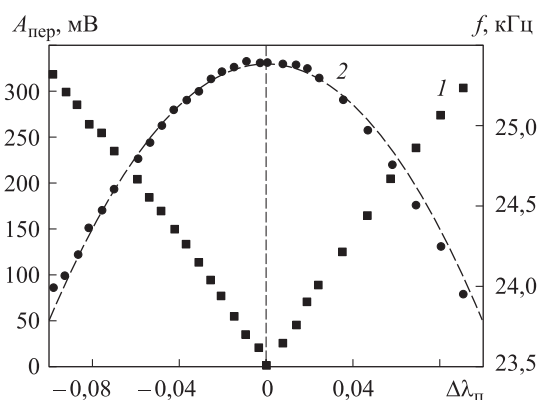


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала на фотоприемнике СРП $A_{пер}$ (1) и частотной подставки f (2) от относительной расстройки периметра резонатора ЗЛГ $\Delta\lambda_{\pi}$ для одноизотопного ЗЛГ К-5 (штриховая — расчет по формуле (1) для $\chi = 6,4$)

Для ЗЛГ, газовая смесь которого содержит два изотопа неона Ne^{20} и Ne^{22} , картина несколько иная. Контур усиления смеси гелия и двух изотопов неона имеет два максимума и общую ширину контура, примерно в 2 раза большую, чем для одноизотопной смеси. В центре контура усиления наблюдается не максимум, а минимум усиления (рис. 5). Система регулировки периметра двух-

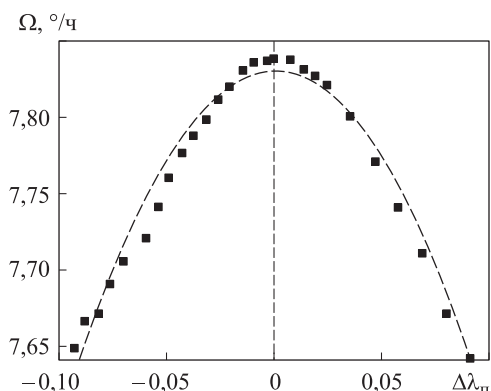


Рис. 4. Зависимость дрейфа нуля $\Delta\Omega$ от относительной расстройки периметра резонатора для одноизотопного ЗЛГ К-5 (штриховая — расчет по формуле (2) для $\chi_\Omega = 2,98$)

изотопного ЗЛГ устроена аналогично системе регулировки периметра одноизотопного (см. рис. 1). При этом наблюдаются приведенные на рис. 6 зависимости сигнала фотоприемника СРП и частоты биений встречных волн (амплитуды частотной подставки) от расстройки. Зависимость дрейфа нуля ЗЛГ от расстройки показана на рис. 7.

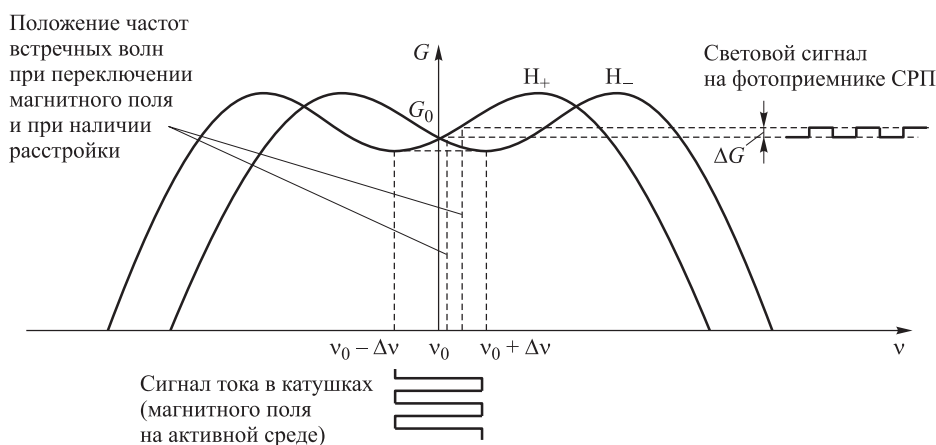


Рис. 5. Создание частотной подставки в двухизотопном ЗЛГ и возникновение сигнала расстройки периметра (обозначение см. рис. 2)

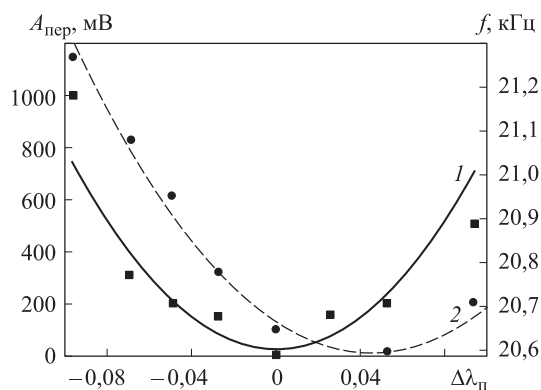
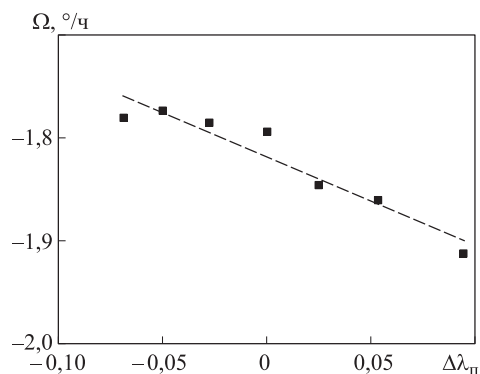


Рис. 6. Зависимость амплитуды сигнала на фотоприемнике СРП $A_{пер}$ (1) и частотной подставке f (2) от относительной расстройки периметра резонатора $\Delta\lambda_\pi$ для двухизотопного ЗЛГ К-5 (штриховая — расчет по формуле (3) при $\chi^* = 1,73$)

Рис. 7. Зависимость дрейфа нуля Ω от относительной расстройки периметра резонатора для двухизотопного ЗЛГ К-5 (штриховая — расчет по формуле (2) при $\chi_{\Omega}^* = -0,473$)



Из рис. 6 следует, что положение минимумов сигнала на фотоприемнике СРП и на частотной подставке на оси абсцисс не совпадают. При малых $\Delta\lambda_{\text{п}}$ для f можно использовать модифицированную формулу (1) (см. рис. 6, штриховая кривая):

$$f = f_0 (1 + \chi^* (\Delta\lambda_{\text{п}} - \Delta\lambda_0)^2), \quad (3)$$

где f_0 — амплитуда частотной подставки при $\Delta\lambda_{\text{п}} - \Delta\lambda_0 = 0$; $\chi^* \approx 1,73$ — константа, зависящая от амплитуды частотной подставки, усиления активной среды, уровня потерь в резонаторе; $\Delta\lambda_0 \approx 0,043$ — расстояние по оси абсцисс между положениями минимумов частотной подставки и сигнала на фотоприемнике СРП, зависящее от соотношения изотопов неона Ne^{20} и Ne^{22} [5].

Как видно на рис. 7, зависимость дрейфа нуля ЗЛГ от расстройки описывается формулой

$$\Omega = \Omega_0 (1 - \chi_{\Omega}^* \Delta\lambda_{\text{п}}), \quad (4)$$

где $\chi_{\Omega}^* \approx -0,473$ — коэффициент зависимости; Ω_0 — дрейф нуля ЗЛГ при $\Delta\lambda_{\text{п}} = 0$.

Особенности динамического дрейфа и вибрационных ошибок в двухизотопном ЗЛГ. Как было показано в [6], наводки от переменного тока БЧП и вторичного источника питания на цепи СРП приводят к возникновению динамического дрейфа нуля ЗЛГ.

Поскольку постоянная времени СРП выбирается много больше периода T коммутации тока частотной подставки, то пульсации и наводки по цепи напряжения СРП беспрепятственно проходят на пьезодвигатели, вызывая гармонические колебания периметра резонатора от времени t [7]:

$$\Delta\lambda_{\text{п}} = \frac{\Delta U \sin(2\pi\nu t + \varphi_0)}{U_{\lambda}}, \quad (5)$$

где U_{λ} — напряжение, соответствующее сдвигу периметра на одну λ ; ν — частота напряжения наводок и пульсаций; ΔU — амплитуда напряжения наводок и пульсаций; φ_0 — разность фаз между напряжением наводок и пульсаций и знакопеременным током БЧП.

Тогда, используя формулы (1) и (2), для дрейфа нуля от наводок и пульсаций на СРП $\Delta\Omega_{\text{м СРП}}$ при отсутствии статической расстройки резонатора ($\Delta\lambda_0 = 0$) можно записать [6]:

$$\Delta\Omega_{\text{мСРП}} = -(f_0\chi + \Omega_0\chi_\Omega) \left(\frac{\Delta U}{U_\lambda} \right)^2 \frac{1}{2\pi\nu T} \sin(2\pi\nu\tau + 2\varphi_0) \sin^2(\pi\nu T). \quad (6)$$

Очевидно, что дополнительный дрейф убывает с увеличением частоты пульсаций, т. е. частоты преобразователя вторичного источника питания. При частоте пульсаций, кратной частоте коммутации подставки, дрейф равен нулю. При частоте пульсаций, полукратной частоте коммутации подставки, дрейф нуля можно записать так:

$$\Delta\Omega_{\text{мСРП}} = \pm \frac{2(f_0\chi + \Omega_0\chi_\Omega)}{m\pi} \left(\frac{\Delta U}{U_\lambda} \right)^2 \sin(2\varphi_0), \quad (7)$$

где m — число от 1 до ∞ , равное отношению частоты соответствующей гармоники сигнала пульсаций к частоте коммутации подставки. Отметим, что при φ_0 , равном нулю или кратном $\pi/2$, ошибка также равна нулю.

Оценим вклад динамического дрейфа из-за пульсаций напряжения на пьезо-керамике, вызванных наводками от вторичного источника питания (спектр тока БЧП полукратные частоты не содержит) при отсутствии расстройки по формуле (7). Для $m = 20$, $f_0 = 25$ кГц, $\Delta U / U_\lambda = 0,002$, $\chi = 6,4$, $\chi_\Omega = 2,98$, $\Omega_0 = 8$ °/ч получим $\Delta\Omega_{\text{гмСРП}} = 0,043$ °/ч. Причем вклад произведения $\Omega_0\chi_\Omega$ по сравнению с произведением χf_0 незначителен и в дальнейшем из рассмотрения исключается.

При наличии статической расстройки из-за нелинейности в электронных схемах СРП $\Delta\lambda_0$ возникает ошибка на частотах, кратных частоте коммутации подставки [6]:

$$\Delta\Omega_{\text{мСРП}} = \frac{4f_0\chi}{(2m+1)\pi} \frac{\Delta U}{U_\lambda} \Delta\lambda_0 \sin((2m+1)\pi + \varphi_0), \quad (8)$$

где $(2m + 1)$ — число от 1 до ∞ , равное отношению частоты соответствующей гармоники сигнала пульсаций к частоте коммутации подставки.

Оценим вклад динамического дрейфа из-за пульсаций напряжения на пьезо-керамике, вызванных наводками от тока БЧП при наличии расстройки по формуле (8). Для $m = 0$, $f_0 = 25$ кГц, $\Delta U / U_\lambda = 0,0002$, $\chi = 6,4$, $\Delta\lambda_0 = 0,01$ получим $\Delta\Omega_{\text{гмСРП}} = 0,28$ °/ч.

При использовании двухизотопной газовой смеси наличие статической расстройки связано с особенностями работы СРП, причем $\Delta\lambda_{0\text{ди}} = 0,043$. Считая статические расстройки из-за пульсаций и из-за особенностей СРП в двухизотопном ЗЛГ статистически независимыми, из уравнения (8) получаем:

$$\Delta\Omega_{\text{мСРП}} = \frac{4f_0\chi^*}{(2m+1)\pi} \frac{\Delta U}{U_\lambda} \sqrt{\Delta\lambda_0^2 + \Delta\lambda_{0\text{ди}}^2} \sin((2m+1)\pi + \varphi_0), \quad (9)$$

где $\Delta\lambda_0$ — статическая расстройка периметра из-за нелинейности в электронных схемах СРП, а $\Delta\lambda_{0\text{ди}}$ — статическая расстройка периметра из-за особенностей работы СРП в двухизотопном ЗЛГ.

Вклад зависимости дрейфа нуля от расстройки на частотах, кратных частоте коммутации подставки, отсутствует вследствие линейной зависимости Ω от $\Delta\lambda_{\text{п}}$.

Оценим вклад первой гармоники пульсаций. Для $m = 1, f_0 = 25$ кГц, $\Delta U / U_{\lambda} = 0,0002$, $\Delta\lambda_0 = 0,01$, $\Delta\lambda_{0\text{ди}} = 0,043$, $\chi^* = 1,73$ получим $\Delta\Omega_{\text{гм СРП}} = 0,33$ °/ч. При правильном подборе соотношения изотопов неона $\Delta\lambda_{0\text{ди}} \rightarrow 0$, при этом $\Omega_{\text{гм СРП}} = 0,08$ град/ч.

Таким образом, в двухизотопном ЗЛГ динамический дрейф нуля из-за СРП меньше примерно в 3,4 раза аналогичного дрейфа нуля в одноизотопном ЗЛГ при соблюдении точного соотношения между изотопами неона Ne^{20} и Ne^{22} .

Рассмотрим влияние вибрации на масштабный коэффициент ЗЛГ. Перемещение зеркал резонатора ЗЛГ под воздействием вибрации приводит к изменению периметра резонатора ЗЛГ, а также к расстройке резонатора ЗЛГ относительно центра контура усиления.

Как известно, масштабный коэффициент ЗЛГ k определяется формулой

$$k = \frac{\lambda L}{4Sn}, \quad (10)$$

где S — площадь, охваченная оптическим контуром лазера; L — периметр лазера; λ — длина волны генерации лазера; n — коэффициент преломления света в активной среде (с учетом затягивания мод при расстройке от центра контура усиления).

Зеркала лазера имеют достаточно жесткую конструкцию, и их перемещение под воздействием виброускорений составляет не более 0,3 нм/г [4]. Для четырехзеркальной конструкции лазера в наихудшем случае под воздействием вибрации зеркала движутся в противофазе.

Поскольку остальные два зеркала практически неподвижны, происходит изменение длины периметра гироскопа на $\Delta L = 0,6\sqrt{2}$ нм/г или $\sim 0,013\lambda$ при виброударном ускорении 10g. На геометрические размеры резонатора L и S столь малое отклонение не влияет, а вот параметр n зависит от расстройки периметра гироскопа от центра контура усиления прямо пропорционально зависимости коэффициента усиления G от расстройки. В [4] для одноизотопного ЗЛГ получена формула относительного изменения масштабного коэффициента при расстройке периметра ЗЛГ

$$\frac{\Delta k}{k} \approx \ln 2 \frac{c^2}{(\Delta v_D \lambda)^2} \left(\frac{\Delta L}{L} + \Delta\lambda_0 \right)^2, \quad (11)$$

где Δk — изменение масштабного коэффициента; ΔL — изменение периметра резонатора из-за вибрации; Δv_D — полуширина контура усиления гелий-неонового лазера ($\sim 1,7 \cdot 10^9$ Гц); c — скорость света ($\sim 3 \cdot 10^8$ м/с), $\Delta\lambda_0 \approx 0,01$ — статическая расстройка периметра ЗЛГ из-за нелинейности электронных блоков СРП.

Для двухизотопного ЗЛГ формула (11) переписывается в виде

$$\frac{\Delta k}{k} \approx \ln 2 \frac{c^2}{(\Delta v_D^* \lambda)^2} \left(\frac{\Delta L}{L} + \sqrt{\Delta \lambda_0^2 + \Delta \lambda_{0\text{ди}}^2} \right)^2, \quad (12)$$

где $\Delta \lambda_{0\text{ди}}$ — статическая расстройка периметра резонатора в двухизотопном ЗЛГ, примерно равная 0,043; $\Delta \lambda_0 \approx 0,01$ — статическая расстройка периметра ЗЛГ из-за нелинейности электронных блоков СРП; Δv_D^* — полуширина контура усиления двухизотопного гелий-неонового лазера ($\sim 2,4 \cdot 10^9$ Гц).

Оценим относительное изменение масштабного коэффициента при воздействии ударного ускорения. Для длины периметра резонатора $L = 0,2$ м при наличии статической расстройки периметра $\Delta \lambda_0 = 0,01$ и $\Delta \lambda_{0\text{ди}} = 0,043$ и $\Delta L \approx 0,9 \cdot 10^{-8}$ м при ударном ускорении $10g$ для одно- и двухизотопного ЗЛГ получим $\Delta k/k \approx 3,1 \cdot 10^{-4}$ и $8,3 \cdot 10^{-4}$ отн. ед. Величина весьма значительная, причем на 75 % обусловленная наличием статических расстроек периметра для одноизотопного и на 90 % для двухизотопного ЗЛГ. При отсутствии статических расстроек периметра для одноизотопного ЗЛГ при воздействии ударного ускорения $10g$ $\Delta k/k \approx 9,8 \cdot 10^{-5}$ отн. ед., а для двухизотопного ЗЛГ $\Delta k/k \approx 4,9 \cdot 10^{-5}$ отн. ед. Таким образом, использование двухизотопной газовой смеси в ЗЛГ позволяет до 2 раз уменьшить относительное отклонение масштабного коэффициента в зависимости от качества составления двухизотопной газовой смеси и статической расстройки периметра из-за нелинейности электронных блоков СРП.

Вибрационный дрейф ЗЛГ возникает из-за асимметрии формы кривой частоты биений вблизи точки настройки системы СРП и эффекта затягивания встречных волн к центрам разных контуров усиления, поскольку при наличии расстройки периметра резонатора из-за вибрации при переключении магнитного поля положения встречных волн по частотам оказываются разными.

В одноизотопном ЗЛГ при отсутствии статической расстройки дрейф нуля от вибрации $\Delta \Omega_{\text{в}}$ рассчитывается по формуле

$$\Delta \Omega_{\text{в}} = \frac{f_0 \chi}{T} \left(\frac{\Delta L}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{2\pi \nu} \sin(2\pi \nu T + 2\varphi_0) \sin^2(\pi \nu T), \quad (13)$$

где T — период коммутации подставки; ν — частота вибрации; f_0 — амплитуда частотной подставки при $\Delta L = 0$; χ — константа, зависящая от амплитуды частотной подставки, усиления активной среды, уровня потерь в резонаторе; φ_0 — разность фаз между механической вибрацией и знакопеременным током БЧП.

При частоте вибрации, полукратной частоте коммутации подставки, имеем

$$\Delta \Omega_{\text{в}} = \pm \frac{f_0 \chi}{n 2\pi} \left(\frac{\Delta L}{\lambda} \right)^2 \sin(2\varphi_0), \quad (14)$$

где n — число, равное отношению частоты вибраций к частоте коммутации подставки. Оценим величину вибрационного дрейфа. Для одноизотопного ЗЛГ

$n = 0,5, f_0 = 25$ кГц, $\Delta L / \lambda = 0,013$ (виброускорение 10g), $\chi = 6,4, \Delta\Omega_{\text{в}} = 5,8$ °/ч. Для двухизотопного ЗЛГ при тех же параметрах и $\chi^* = 1,73$ на полукратной частоте вибрации $\Delta\Omega_{\text{в}} = 1,6$ °/ч.

Согласно [4], при наличии статической расстройки $\Delta\lambda_0$ уравнение (13) следует переписать в виде

$$\Delta\Omega_{\text{в}} = \frac{f_0\chi^*}{T} \left(\frac{\Delta L}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{2\pi\nu} \sin(2\pi\nu T + 2\varphi_0) \sin^2(\pi\nu T) - \frac{f_0\chi^*}{T} \frac{\Delta L\Delta\lambda_0}{\pi\nu\lambda} (\cos(2\pi\nu T + \varphi_0) + \cos\varphi_0 - 2\cos(\pi\nu T + \varphi_0)). \quad (15)$$

Зависимость вибрационного дрейфа нуля для ЗЛГ имеет максимумы, равные $4f_0\chi \frac{\Delta L\Delta\lambda_0}{m\pi\lambda} \cos\varphi_0$ при $\nu = m / T$, где m — целое число. Для двухизотопного ЗЛГ выражение для максимума вибрационного дрейфа следует переписать в виде

$$\Delta\Omega_{\text{в}} = 4f_0\chi^* \frac{\Delta L\sqrt{\Delta\lambda_0^2 + \Delta\lambda_{0\text{ди}}^2}}{m\pi\lambda} \cos\varphi_0. \quad (16)$$

При наличии статической расстройки периметра ЗЛГ вибрационный дрейф возрастает. Для одноизотопного ЗЛГ $m = 1, f_0 = 25$ кГц, $\Delta L / \lambda = 0,013$ (виброускорение 10g), $\chi = 6,4, \Delta\lambda_0 = 0,01, \Delta\Omega_{\text{в}} = 17,9$ °/ч. Для двухизотопного ЗЛГ при тех же параметрах и $\chi^* = 1,73, \Delta\lambda_{0\text{ди}} = 0,043$, на первой кратной частоте вибрации получим $\Delta\Omega_{\text{в}} = 20,3$ °/ч.

На рис. 8 представлена экспериментальная зависимость дрейфа нуля Ω для одно- и двухизотопного ЗЛГ типа К-5 от частоты вибрации при амплитуде вибрационного ускорения 10g.

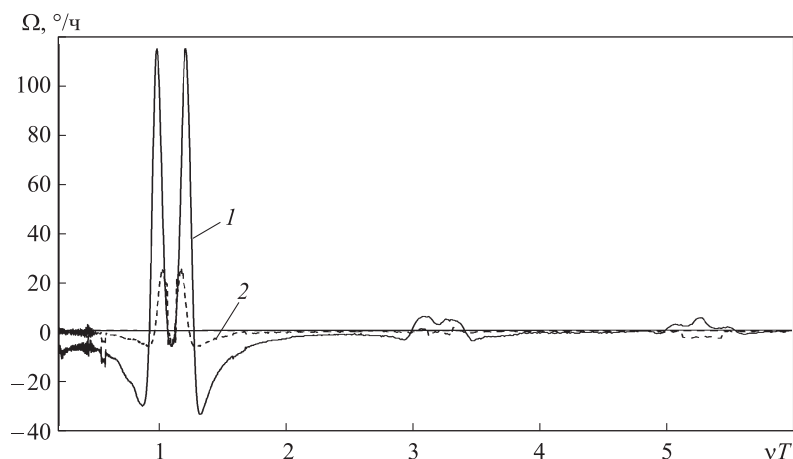


Рис. 8. Зависимость дрейфа нуля ЗЛГ К-5 при наличии вибрации от νT :

$f_0 = 25$ кГц, амплитуда виброускорения 10g, $\chi = 6,4, \chi^* = 1,73, \Delta\lambda_{0\text{ди}} = 0,043$; сплошная линия (1) — одноизотопный ЗЛГ; штрихпунктирная линия (2) — двухизотопный ЗЛГ

На рис. 8 видны следующие пики амплитуд вибрационных дрейфов: 5; 130; 2; 7 и 4 °/ч (для одноизотопного ЗЛГ) и 1,5; 24; 0,5; 1,5 и 2 °/ч (для двухизотопного ЗЛГ) на частотах вибрации, кратных и полукратных частоте коммутации подставки, $\nu T = 0,5; 1; 1,5; 3; 5$ соответственно.

Сравнивая полученные данные с расчетными значениями, выявили, что все результаты на полукратных частотах для ЗЛГ обоих типов соответствуют $\Delta L/\lambda \approx 0,012$, а на кратных, за исключением $\nu T = 1$, соответствуют статической расстройке $\Delta L/\lambda \approx 0,012$, $\Delta\lambda_0 \approx 0,011$, $\Delta\lambda_{0 \text{ ди}} = 0,043$. Однако при совпадении частоты вибрации с частотой коммутации подставки экспериментальные вибрационные ошибки превышают в 6,2 и 1,2 раза расчетные для одно- и двухизотопных ЗЛГ.

Причина этого явления объяснена в работе [2]. При вибрации с частотой $\nu T = 1$ возникает сигнал на фотоприемнике СРП, приводящий к тому, что система СРП, пытаясь его скомпенсировать, вносит в ЗЛГ статическую расстройку, которая не меньше амплитуды вибрации периметра. В результате для рассматриваемого одноизотопного ЗЛГ К-5 расстройка увеличивается минимум в 2,3 раза (зависит от разности фаз между сигналом на фотоприемнике СРП, вызванного вибрацией, и сигналом тока в катушках) и только на 20 % для двухизотопного ЗЛГ К-5 (поскольку в нем и так присутствует большая $\Delta\lambda_{0 \text{ ди}}$).

Заключение. В ЗЛГ с газовой смесью, включающей два изотопа неона Ne^{20} и Ne^{22} , возникает статическая расстройка периметра резонатора, зависящая от точности подбора соотношения изотопов в целях полной симметризации контура усиления газовой смеси. Однако поскольку ширина контура усиления в двухизотопном ЗЛГ примерно в 1,4 раза больше, а зависимость частоты подставки от расстройки периметра в 3,7 раза слабее, динамические и вибрационные дрейфы оказываются меньше в 2–5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колбас Ю.Ю., Толстенко К.А. Система регулировки периметра зеемановского лазерного гироскопа. Патент 2589756 РФ. Заявл. 23.04.2015, опублик. 10.07.2016.
2. Влияние нелинейности характеристик активной среды на стабильность выходных сигналов в квантовых приборах с автоматической стабилизацией параметров / Ю.Д. Голяев, А.В. Мельников, Ю.Н. Соловьев, Г.И. Телегин, С.О. Яременко // Электронная техника. Лазерная техника и оптоэлектроника. 1991. № 1 (57). С. 11.
3. Савельев И.И., Хромых А.М., Якушев А.И. Влияние давления на эффект Зеемана в кольцевом газовом лазере // Квантовая электроника. 1979. Т. 6. № 6. С. 1155–1163.
4. Грушин М.Е., Колбас Ю.Ю. Вибрационная ошибка лазерных гироскопов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 4. С. 27–42. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-27-42
5. Влияние соотношения изотопов Ne_{20} и Ne_{22} в активной смеси на чувствительность зеемановских лазерных гироскопов к внешним механическим воздействиям / В.Н. Горшков, Е.Г. Ларионцев, А.А. Медведев, М.Е. Грушин, И.И. Савельев // 60 Науч. конф. МФТИ. Долгопрудный, 2017.

6. Колбас Ю.Ю., Савельев И.И., Хохлов Н.И. Влияние внешних и внутренних магнитных полей на стабильность смещения нуля зеемановского лазерного гироскопа // Квантовая электроника. 2015. Т. 45. № 6. С. 573–581.

7. Попов Е.П. Автоматическое регулирование и управление. М.: Наука, 1966. 388 с.

Грушин Михаил Евгеньевич — канд. физ.-мат. наук, начальник отдела АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха» (Российская Федерация, 117342, Москва, ул. Введенского, д. 3, корп. 1).

Колбас Юрий Юрьевич — д-р техн. наук, начальник отдела АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха» (Российская Федерация, 117342, Москва, ул. Введенского, д. 3, корп. 1).

Горшков Владимир Николаевич — младший научный сотрудник АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха» (Российская Федерация, 117342, Москва, ул. Введенского, д. 3, корп. 1).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Грушин М.Е., Колбас Ю.Ю., Горшков В.Н. Особенности работы системы регулировки периметра резонатора и вибрационная ошибка зеемановского лазерного гироскопа на 50%-ной смеси изотопов неона // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2018. № 6. С. 75–86. DOI: 10.18698/0236-3933-2018-6-75-86

SPECIFIC ASPECTS OF LASER CAVITY OPTICAL PATH CONTROL SYSTEM AND VIBRATIONAL ERROR OF THE ZEEMAN LASER GYROSCOPE FILLED WITH 50% MIXTURE OF NEON ISOTOPES

M.E. Grushin
Yu.Yu. Kolbas
V.N. Gorshkov

mihail.grushin1968@gmail.com
tigra-e@rambler.ru
vov4ik818kva@mail.ru

JSC Polyus Research Institute of M.F. Stelmakh, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article presents the results of theoretical and experimental investigation of laser cavity optical path control system and vibrational error of the Zeeman laser gyroscope (ZLG) filled with 50% mixture of neon isotopes Ne^{20} и Ne^{22} . Unlike one-isotope neon, the beat frequency dependence on the optical path length takes the appearance of the asymmetric form, which leads to a change in the character of the dynamic zero drifts and errors of two-isotope neon under mechanical shocks and vibrations. The study shows that the behavior of the two-isotopic ZLG is equivalent to the single-isotopic ZLG with a static detuning. As a result, we found the dynamic drifts of zero and vibrational errors to decrease in the two-isotopic ZLG even in presence of static detuning. It is associated with more flat shape of the gain curve peak of the ZLG filled with 50% mixture of neon isotopes Ne^{20} and Ne^{22} . Experimental results and estimated dynamic drifts of zero and vibration errors of two-isotopic ZLG of type K-5 are presented

Keywords

Laser gyroscope, zero drift, vibration, detuning of path control system

Received 10.04.2018
© BMSTU, 2018

REFERENCES

- [1] Kolbas Yu.Yu., Tolstenko K.A. Sistema regulirovki perimetra zeemanovskogo lazernogo giroskopa [Perimeter regulating system of Zeeman laser gyro]. Patent 2589756 RF. Appl. 23.04.2015, publ. 10.07.2016.
- [2] Golyaev Yu.D., Mel'nikov A.V., Solov'ev Yu.N., Telegin G.I., Yaremenko S.O. The influence of nonlinearity of active medium characteristics on the stability of output signals in quantum devices with automatic stabilization. *Elektronnaya tekhnika. Lazernaya tekhnika i optoelektronika*, 1991, no. 1 (57), pp. 11 (in Russ.).
- [3] Savel'ev I.I., Khromykh A.M., Yakushev A.I. Influence of pressure on the Zeeman effect in a ring gas laser. *Soviet Journal of Quantum Electronics*, 1979, vol. 9, no. 6, pp. 682–687. DOI: 10.1070/QE1979v009n06ABEH009098
- [4] Grushin M.E., Kolbas Yu.Yu. Vibration error of laser gyros. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2017, no. 4, pp. 27–42 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-27-42
- [5] Gorshkov V.N., Lariontsev E.G., Medvedev A.A., Grushin M.E., Savel'ev I.I. Impact of Ne₂₀ and Ne₂₂ isotopes proportion in active mixture on sensitivity of Zeeman laser gyros to the external mechanical exposure. *60 Nauch. konf. MFTI* [60th MIPT Sc. Conf.]. Dolgoprudnyy, 2017 (in Russ.).
- [6] Kolbas Yu.Yu., Savel'ev I.I., Khokhlov N.I. Effect of external and internal magnetic fields on the bias stability in a Zeeman laser gyroscope. *Kvantovaya elektronika*, 2015, vol. 45, no. 6, pp. 573–581 (in Russ.). DOI: 10.1070/QE2015v045n06ABEH015538
- [7] Popov E.P. Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie [Automatic regulation and control]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 388 p.

Grushin M.E. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Head of Department, JSC Polyus Research Institute of M.F. Stelmakh (Vvedenskogo ul. 3/1, Moscow, 117342 Russian Federation).

Kolbas Yu.Yu. — Dr. Sc. (Eng.), Head of Department, JSC Polyus Research Institute of M.F. Stelmakh (Vvedenskogo ul. 3/1, Moscow, 117342 Russian Federation).

Gorshkov V.N. — Junior Research Fellow, JSC Polyus Research Institute of M.F. Stelmakh (Vvedenskogo ul. 3/1, Moscow, 117342 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Grushin M.E., Kolbas Yu.Yu., Gorshkov V.N. Specific Aspects of Laser Cavity Optical Path Control System and Vibrational Error of the Zeeman Laser Gyroscope Filled with 50 % Mixture of Neon Isotopes. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2018, no. 6, pp. 75–86 (in Russ.).

DOI: 10.18698/0236-3933-2018-6-75-86