

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОЛЬЦЕВОГО ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА В СИСТЕМЕ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

**М.В. ЧИРКИН, В.В. КЛИМАКОВ, В. Ю. МИШИН, А.Е. СЕРЕБРЯКОВ,
С.В. УСТИНОВ (докладчик)**

Рязанский Государственный Радиотехнический Университет имени В.Ф. Уткина, Рязань

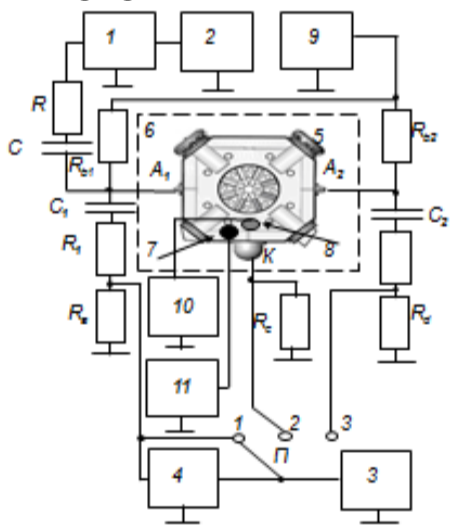
**ФВЗЧК-
26.05.2022**

Введение

Регистрация углов поворота (составляющих вектора угловой скорости) с помощью кольцевых гелий-неоновых лазеров (КЛ), функционирующих в составе бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), требует продолжительной безотказной работы КЛ в широком температурном диапазоне. Активная среда КЛ возбуждается симметричным двухплечевым разрядом постоянного тока [1], что ограничивает срок службы процессами, вызванными распылением холодного катода под действием ионной бомбардировки [2]. Возможность для снижения рабочего тока и, как следствие, увеличения ресурса лазера до 100 тысяч часов непрерывной работы открывают технологии формирования зеркал кольцевого резонатора со сверхслабыми потерями оптического излучения [3]. Однако разрядный промежуток КЛ включает два протяженных участка положительного столба, характеризующиеся падающими вольтамперными характеристиками (ВАХ). Отрицательное динамическое сопротивление газоразрядной плазмы, абсолютная величина которого растет по мере уменьшения тока, является предпосылкой развития неустойчивости электрической цепи и самовозбуждения колебаний тока и напряжения [4]. Таким образом, устойчивость разряда в КЛ необходимо гарантировать при минимально возможном токе.

Цель работы. Увеличение эксплуатационной надежности лазерного гироскопа на основе подавления неустойчивости стационарного состояния двухплечевого газового разряда в кольцевом лазере в широком диапазоне температур.

Экспериментальная установка для регистрации комплексного сопротивления и эквивалентная схема положительного столба. Экспериментальные исследования выполнены с помощью установки, использованной в [7] для измерения линейной реакции газового разряда на слабое гармоническое возмущение. Установка позволяет выполнять измерения комплексных сопротивлений положительного столба $Z(i\omega)$ в температурном диапазоне от -30 до $+85$ °C; $i = \sqrt{-1}$, ω - циклическая частота возмущения. В экспериментах использован КЛ, конструкция которого описана в работе [1]. Прибор изготовлен на основе ситаллового моноблока и наполнен смесью гелия и неона в соотношении 16:1 до давления 750 Па. Разрядные промежутки ограничены медными анодами и холодным катодом из алюминия. Длина каждого плеча разряда l составляет 6,3 см, диаметр разрядных каналов 2,7 мм.



1 – генератор ГЗ – III, 2 – частотомер ЧЗ-34, 3 – милливольтметр В7-27А/1, 4 – измеритель разности фаз Ф2-16, 5 – кольцевой лазер, 6 – термозолированный объем, 7 и 8 – термодатчики ТА-300S (установлены около катода на ситалловом моноблоке лазера), 9 – источник высокого напряжения, 10 и 11 – мультиметры цифровые АРРА-207, A_1 и A_2 – аноды, K – катод, П – трехпозиционный переключатель; $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ – комплексные амплитуды переменных составляющих регистрируемых напряжений

Экспериментальная установка.

Комплексное сопротивление Z положительного столба разряда для частот возмущения, превышающих 2 кГц, имитирует эквивалентная схема, содержащая последовательно соединенные отрицательное динамическое сопротивление и два инерционных элемента - RL цепочки [7]:

$$Z(i\omega) = \rho + \frac{i \cdot \omega \cdot \tau_1}{1 + i \cdot \omega \cdot \tau_1} \cdot R_1 + \frac{i \cdot \omega \cdot \tau_2}{1 + i \cdot \omega \cdot \tau_2} \cdot R_2, \quad \tau_k = \frac{L_k}{R_k}, \quad k=1,2, \quad i = \sqrt{-1}. \quad (1)$$

Литература

- [1]. Chirkin M.V., Klimakov V.V., Melekhin V.N., Molchanov A.V., Ulitenko A.I. Passive heat removal elements integrated into the design of the strapdown inertial navigation system // Proceedings of 19th S-Petersburg International conference of integrated navigation system, S-Pb 28-30 May, 2012, pp. 99-101.
- [2]. Molchanov A.V., Chirkin M.V., Serebryakov A.E., Klimakov V.V., Dao H.N., Mishin V.Yu. The effect of slow fluctuation processes in the ring laser gyroscope on its bias instability // Proceedings of 25th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS), St. Petersburg, 28 – 30 May 2018, P. 1-4.
- [3]. Колбас Ю.Ю., Грушин М.Е., Горшков В.Н. Немагнитная составляющая смещения нуля зеemanовского лазерного гироскопа // Квантовая электроника. – 2018. – Т. 48, № 3. – С. 283–289
- [4]. Морозов Д.А., Степанов В.А., Чиркин М.В. Распространение возмущений в экранированном канале ионизированного газа // Известия академии наук. Серия физическая. – 2000. – Т. 64, № 7. – С. 1423-1430.

Две RL цепочки имитируют инерционные процессы в положительном столбе: первая отражает влияние на ионизационный баланс в плазме процессов с участием метастабильных атомов, вторая - вклад ионизации атомов газа прямым электронным ударом. За времена $\tau_1 \approx 13$ мкс, $\tau_2 \approx 0,3$ мкс устанавливаются концентрации метастабильных атомов и электронов, соответственно. Результаты экспериментов и синтез эквивалентных схем для различных температур моноблока позволили зарегистрировать монотонно спадающую зависимость величины сопротивления R_1 от температуры (рис. 1); для других параметров эквивалентной схемы температурные зависимости не обнаружены.

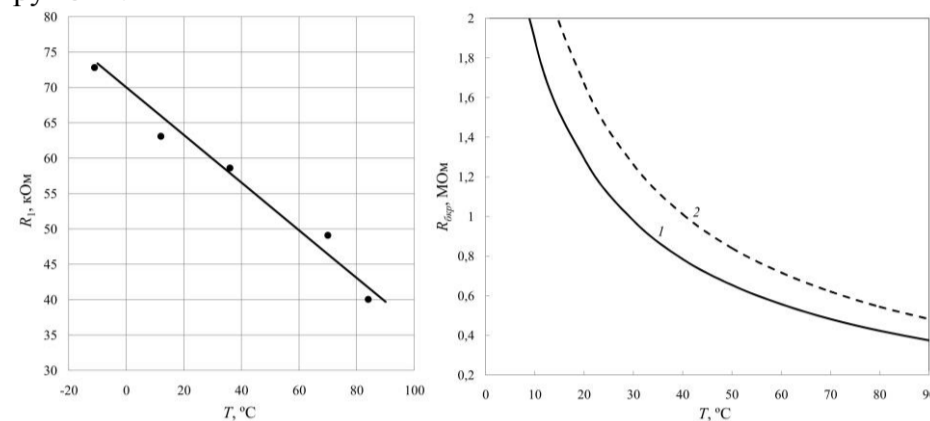


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления R_1 в синтезированной эквивалентной схеме положительного столба. Ток в плече разряда 750 мкА

Рис. 2. Активная линия передачи «положительный столб разряда в КЛ – корпус» и зависимости критического значения балластного сопротивления от температуры. Ток в плече разряда 750 мкА, монтажная емкость C_0 , пФ: 1 – 3,0, 2 – 1,5. Ниже критической кривой разряд устойчив

Критические кривые на рис. 2 позволяют выбрать величину балластного сопротивления R_b , обеспечивающую устойчивость стационарного состояния двухплечевого разряда, однако лишь при величине тока, для которой выполнены измерения частотной зависимости комплексного сопротивления и синтезирована эквивалентная схема.

Кольцевой лазер работает при токе горения разряда, усиление при котором в два раза превышает потери, что является критерием выбора тока горения разряда. Изменять величину тока разряда в зависимости от температуры необходимости нет, это усложняет систему, ухудшая эксплуатационную надежность. Эксперимент подтвердил, что порог неустойчивости кольцевого лазера зависит от температуры определенным образом: с увеличением температуры порог неустойчивости по току становится ближе к рабочему.

Результаты

1. Нестабильность дрейфа выходного сигнала лазерного гироскопа вследствие переноса газа в каналах кольцевого гелий-неонового лазера под действием газового разряда обусловлена изменениями напряженности продольного электрического поля в зависимости от концентрации посторонних примесей в активной среде и снижается при уменьшении тока разряда.
2. Рост температуры газового наполнения кольцевого гелий-неонового лазера сопровождается изменением концентрации метастабильных атомов в положительном столбе и, как следствие, увеличением частоты изменения знака у действительной части его комплексного сопротивления.
3. Пороговое значение тока разряда в кольцевом гелий-неоновом лазере, при котором стационарное состояние электрической цепи теряет устойчивость, является монотонно возрастающей функцией температуры газового наполнения.

- [5]. Александров Л.С., Перебякин В.А., Степанов В.А., Чиркин М.В. Динамика пространственно однородной плазмы разряда в инертных газах // Физика плазмы. – 1989. – Т. 15. № 4. – С. 467-473.
- [6]. Кузнецов А.Г., Молчанов А.В., Чиркин М.В., Измайлов Е.А. Прецизионный лазерный гироскоп для автономной инерциальной навигации // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45. № 1. – С. 78-88.
- [7]. Молчанов А.В., Морозов Д.А., Устинов С.В., Чиркин М. В. Модуляционные исследования газоразрядной плазмы в гелий-неоновом лазере // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2015. – № 54. Ч.2 – С. 115-120