

из выражения (3) можно определить величину s' , а пользуясь эквивалентной схемой, — значения $h_{3в}$, $h_{3н}$, $\alpha'_{3в}$ и $\alpha'_{3н}$. Полагая $d_2 = f'_2 + f'_3$ и ограничиваясь членами, не превышающими γ^2 , находим величину расфокусировки

$$\Delta'' = -\gamma^2 \frac{f'_1 f'^2_3}{f'^2_2} \left[2 - \frac{b_2}{2f'_1} - \frac{2(b_1 + \Delta)}{f'_1} \right] \quad (4)$$

(f'_1 — фокусное расстояние объектива O_1).

Минимизировать Δ'' можно подбором расстояний b_1 и b_2 . Если $f'_1 = b_1 + b_2/4$, то остаточная расфокусировка равна $\Delta'' = 2\gamma^2 \Delta f'^2_3 / f'^2_2$. Оценим величину расфокусировки

для реальной схемы со следующими основными параметрами: $f'_1 = f'_2 = 20$ мм, $f'_3 = 8$ мм, $b_2 = 6$ мм. Носитель информации — диск с биениями: $\Delta' = \pm 0,1$ мм и $h = \pm 0,1$ мм. Тогда $\gamma = \pm 2^\circ$, $\Delta'' = \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$ мм, т. е. Δ'' не превышает глубины резкости фокусирующего микрообъектива ($l = 2 \cdot 10^{-3}$ мм).

Быстродействие системы автоматической фокусировки ограничивается частотой собственного резонанса подвижной части исполнительного механизма.

Предложенная схема ОЗУ реализует простой и эффективный способ увеличения частоты собственного резонанса путем уменьшения массы подвижной части. Замена перемещаемого микрообъектива двугранным уголкового отражателем (прямоугольной призмой) позволяет увеличить резонансную частоту, а следовательно, и быстродействие приблизительно в $\sqrt{m_1 m_2}$ раз при одинаковой жесткости подвеса, где m_1 — масса микрообъектива, m_2 — масса призмы, и уменьшить мощность, потребляемую исполнительным механизмом.

Авторами экспериментально получен пятикратный выигрыш в быстродействии при замене микрообъектива облегченной конструкции ($m_1 = 24$ г) на прямоугольную призму ($m_2 = 1$ г).

Таким образом, предложенная схема ОЗУ отличается от известных высоким быстродействием отслеживания торцевых биений носителя, простотой конструкции и возможностью использования стандартных, серийно выпускаемых микрообъективов без повышенных требований на вибропрочность. Приведенные соотношения позволяют оптимальным образом выбрать параметры элементов устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нгбек G. W. An experimental optical videodisc playback system.— "J. SMPTE", 1974, N 83, p. 580.
2. Петров В. В. Оптическое запоминающее устройство.— Авт. свид-во, № 469140, Б. И., 1975, № 16.
3. Блохин А. С., Налимов И. П. Дисковые системы телевизионного кинематографа.— «Зарубеж. радиоэлектроника», 1975, № 8, с. 102.
4. Абокумов В. Г., Татаринев В. В. Продольное сканирование в лазерном устройстве считывания.— В кн.: Оптическая и электрооптическая обработка информации. М., «Наука», 1974.

Поступило в редакцию 25 мая 1977 г.

УДК 621.317.742 : 621.317.767

Т. Н. ГОЛОВКИНА, Н. Е. РОДИОНОВ

(Томск)

ФАЗОВАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ДВУХЛУЧЕВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Развитие лазерной техники поставило на повестку дня вопросы исследования статистических характеристик распространения лазерного излучения в тропосфере. Для идентификации результатов измерений необходим учет влияния измерительной аппаратуры на результаты измерений. В известных нам работах, посвященных измерению флуктуаций оптического излучения, прошедшего слой турбулентной атмосферы [1—3], вопросы анализа основных погрешностей измерений не рассматриваются.

В статье предпринята попытка изучить влияние нестабильности частоты газового лазера на результаты фазовых измерений. Основная схема фазовых измерений представляет двухлучевой интерферометр в той или иной модификации. Представим интерферометр устройством, преобразующим частотные флуктуации на входе в фазовые на выходе, и найдем коэффициент передачи такого устройства.

Пусть на вход двухлучевого интерферометра с задержкой одного луча относительно другого на время τ_0 подается сигнал с флуктуациями частоты $\nu(t)$ ($\nu(t)$ — случайный стационарный процесс). На выходе интерферометрической схемы сигнал зависит от разности фаз $u(t, \tau_0)$ интерферирующих колебаний

$$u(t, \tau_0) = \varphi(t) - \varphi(t - \tau_0). \quad (1)$$

Пользуясь известным соотношением, связывающим частоту и фазу колебания,

$$\varphi(t) = \int_0^t \nu(x) dx, \quad (2)$$

можно найти коэффициент передачи такой системы

$$K(p) = [1 - \exp(-p\tau_0)]/p. \quad (3)$$

Спектральные плотности сигналов на выходе линейной системы $S_{\text{вых}}(\omega)$ и на входе $S_{\text{вх}}(\omega)$ связаны через квадрат модуля частотной передаточной функции

$$S_{\text{вых}}(\omega) = |K(p)|^2 S_{\text{вх}}(\omega). \quad (4)$$

Следовательно, задаваясь спектральной плотностью частотных флуктуаций $S_\nu(\omega)$ газового лазера на входе интерферометра, по найденному коэффициенту передачи $K(p)$ можно найти дисперсию $D_\varphi(\tau_0)$ флуктуаций фазы на выходе интерферометра:

$$D_\varphi(\tau_0) = 2 \int_0^\infty S_{\text{вых}}(\omega) d\omega = 2 \int_0^\infty |K(p)|^2 S_{\text{вх}}(\omega) d\omega. \quad (5)$$

Для имеющихся в литературе экспериментальных данных по измерению спектральной плотности технических флуктуаций частоты газовых ОКГ непрерывного действия определим дисперсию фазовых флуктуаций излучения на выходе интерферометра в зависимости от его длины L (длиной L интерферометра будем называть величину $L = c\tau_0$, где c — скорость света; τ_0 — время задержки одного луча относительно другого).

1. Экспериментально измеренная спектральная плотность частотных флуктуаций излучения на выходе ОКГ при использовании системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) [4]

$$S_\nu(\omega) = (3,75 \cdot 10^7) / \omega^{0,5}. \quad (6)$$

Используя (3) и (5), найдем дисперсию флуктуаций фазы

$$D_\varphi(\tau_0) = 0,886 \cdot 10^8 \tau_0^{3/2}. \quad (7)$$

Зависимость среднеквадратичной величины флуктуаций фазы $\sigma_\varphi(\tau_0) = (D_\varphi(\tau_0))^{1/2}$ от длины L интерферометра представлена на рис. 1.

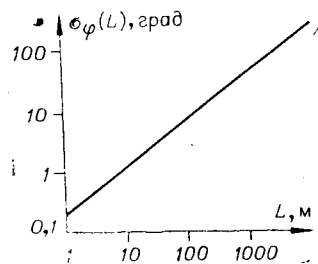


Рис. 1.

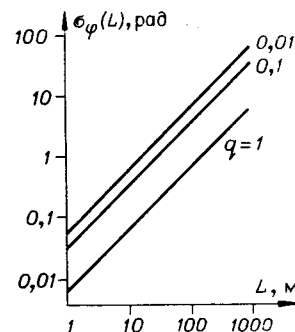


Рис. 2.

2. Экспериментальные данные по измерению спектральной плотности частотных флуктуаций излучения ОКГ, работающего без АПЧ, в статье [5] аппроксимируются выражением

$$S_v(\omega) = 10^{12}/\omega^2. \quad (8)$$

Непосредственное использование функций типа A/ω^n (где $n \in [1, 2]$, A — постоянный коэффициент), которыми наиболее часто аппроксимируются известные нам из литературы экспериментальные данные, приводит к расходимости интеграла в (5).

Вообще говоря, все экспериментальные данные по спектральной плотности флуктуаций излучения получены только в определенном интервале частот, так как для любого реального эксперимента, длящегося конечное время T , полный спектр $S_v(\omega)$ процесса $v(t)$ измерен только до частоты T^{-1} и более низкие частоты экспериментом не учитываются.

Результаты исследований поведения спектральной плотности технических флуктуаций частоты ОКГ в области 0—10 Гц нам не известны.

По-видимому, никакой реальный физический процесс не может обладать чисто фликкерным спектром $S_v(\omega) \sim \omega^{-n}$ во всем диапазоне частот.

Для ограничения спектра частотных флуктуаций мы ввели в (8) член q , имеющий размерность частоты, и при расчетах использовали следующее выражение:

$$S_v(\omega) = 10^{12}/(\omega^2 + q^2), \quad (9)$$

следовательно, для всех частот $|\omega| \ll q$

$$S_v(\omega) = 10^{12}/q^2$$

и не зависит от частоты наблюдения.

Для спектральной плотности частотных флуктуаций излучения ОКГ, заданной выражением (9), дисперсия фазовых флуктуаций на выходе интерферометра

$$D_\varphi(\tau_0) = (10^{12}\pi\tau_0^2/q) (1 - q\tau_0/3 + q^2\tau_0^2/12 - q^3\tau_0^3/48 + \dots). \quad (10)$$

Легко видеть, что для длин интерферометров вплоть до 10 км при $q = 1$ Гц $q\tau_0 \sim 10^{-5} \ll 1$, и можно пренебречь всеми членами, стоящими в круглых скобках выражения (10), по сравнению с единицей. Тогда

$$D_\varphi(\tau_0) \simeq 10^{12}\pi\tau_0^2/q. \quad (11)$$

На рис. 2 показано изменение среднеквадратичной величины флуктуаций фазы на выходе интерферометра в зависимости от его длины для значений $q = 1; 0,1$ и $0,01$ Гц.

Из сравнения рис. 1 и 2 видно, что применение системы АПЧ позволяет уменьшить фазовую погрешность интерферометра и в ряде задач, например при исследовании распространения лазерного излучения в атмосфере, можно пренебречь погрешностью, вносимой источником излучения, спектр которого аппроксимируется выражением (6), в результаты фазовых измерений.

Таким образом, введенный метод расчета погрешностей интерферометрических схем позволяет свести задачу влияния частотных флуктуаций источника на входную разность фаз к традиционной задаче нахождения коэффициента передачи устройства, что значительно упрощает расчет дисперсии фазовых флуктуаций. Кроме того, следует отметить пригодность данного подхода к решению некоторых других задач интерферометрии, например, изучению влияния нестабильности интерферометра на результаты фазовых измерений, оценке когерентности источника излучения.

Предложенный метод расчета позволяет оценить влияние технических флуктуаций частоты генератора на результаты измерения разности фаз интерферометрическим способом в случае любого спектра технических флуктуаций частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукин В. П., Покасов В. В., Хмелевцов С. С. Исследование временных характеристик флуктуаций фаз оптических волн, распространяющихся в приземном слое атмосферы.— «Иzv. высш. учеб. заведений. Радиофизика», 1972, т. XV, № 12, с. 1861.
2. Семенов А. А., Гордеев А. Н., Арсенья Т. И. Интерферометрический способ исследования флуктуаций фазы излучения ОКГ.— «Иzv. высш. учеб. заведений. Физика», 1970, № 11, с. 103.
3. Ohtsuka Y., Sasaki I. Light-beam measurement of phase fluctuations of a laser beam propagating through a turbulent atmosphere.— «Appl. Phys.», 1974, vol. 3, N 1, p. 15—20.

4. Морозов В. А., Седельников В. А., Тучин В. В. Автоматическая подстройка частоты двух He-Ne лазеров и частотные флуктуации разностного колебания.— «ПТЭ», 1971, № 5, с. 192.
5. Степанов Д. П. Стабилизация частоты и частотные флуктуации He-Ne лазера.— «Изв. высш. учеб. заведений. Радиофизика», 1968, т. 11, № 4, с. 514.

Поступило в редакцию 3 марта 1977 г.

УДК 621.378.33

Л. И. РИНТЫЛЬКУТ, Э. Г. САПРЫКИН, Г. И. СМИРНОВ

(Новосибирск)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГАЗОВОЙ СМЕСИ СО ЛАЗЕРА НА МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ

1. Лазеру на окиси углерода принадлежит весьма видное место среди мощных лазеров непрерывного действия. Благодаря сравнительно малой вероятности перехода колебательной энергии в поступательную и специфическому механизму заселения высших состояний молекулы CO, связанному с ее ангармонизмом [1], CO лазер может иметь большой КПД и работать в широком диапазоне длин волн (см. обзоры [2—4]).

Длительное время генерация CO лазера осуществлялась только в режиме прокачки рабочей смеси и при охлаждении до низких температур. Лишь в 1971 г. авторы работ [5, 6], применив в качестве дополнительной компоненты ксенон, продемонстрировали возможность создания отпаянного CO лазера. Добавка ксенона обеспечила получение долговременной интенсивной генерации при комнатной температуре и позволила увеличить мощность КПД. Иногда для улучшения параметров CO лазера применялись также небольшие добавки кислорода [5—7].

Таким образом, газовая смесь CO лазера стала многокомпонентной и приобрела актуальность задача выявления оптимального соотношения между различными компонентами смеси, определения оптимальных значений тока разряда и полного давления в среде. Решению этих вопросов посвящена настоящая работа.

2. Установка, предназначенная для экспериментального исследования зависимости мощности генерации от состава активной среды (CO+N₂+He+Xe), представляла собой обычный непрокачной электроразрядный CO лазер. Две соединенные разрядные трубки с внутренним диаметром 1,6 см имели отдельные разрядные промежутки длиной 80 см. Питание разрядных трубок обеспечивалось постоянным током 10—35 мА при напряжении 10—15 кВ. Падение напряжения на трубках измерялось киловольтметром. Электроды трубки были изготовлены из тантала, ее стенки охлаждались проточной водой. Окнами служили пластинки из CaF₂, прикрепленные к торцам лазерной трубки под углом Брюстера.

Резонатор лазера был образован сферическим ($R=10$ м) зеркалом с золотым напылением и плоским зеркалом с диэлектрическим покрытием на подложке из CaF₂ (коэффициент отражения 94%, длина резонатора 190 см). Настройка резонатора на максимум мощности генерации производилась с помощью фотосопротивления на основе германия, легированного золотом. Индикация выходной мощности велась по прибору ИМО-2.

Газовые смеси составлялись и перемешивались в объеме вакуумного поста. Разрядная трубка тщательно отжигалась в атмосфере гелия перед напуском каждой новой смеси.

В ходе измерений для каждой смеси исследовалась зависимость мощности выходного излучения от давления смеси, причем для каждого давления выбирался оптимальный ток разряда. Некоторые из таких зависимостей показаны на рис. 1. В результате этих измерений определяется величина максимальной мощности генерации и соответствующие этой величине общее давление смеси, ток разряда и вводимая в разряд электрическая мощность.

Газовая смесь готовилась из четырех компонент: CO, N₂, Xe, He. Меняя содержание Xe, N₂ и He относительно CO, можно определить оптимальное по выходной мощности соотношение компонент смеси. Сначала при фиксированных величинах соотношений между давлениями CO и Xe ($P_{Xe}:P_{CO}$), CO и N₂ ($P_{N_2}:P_{CO}$) исследуется зависимость мощности генерации от соотношения между CO и He ($P_{He}:P_{CO}$), из которой находят оптимальные пропорции He (рис. 2). Определенные этим способом оптимальные значения отношения $P_{He}:P_{CO}$ использовались затем для проведения серии опытов, в которых при фиксированных соотношениях Xe:CO (или N₂:CO)