

ЛИТЕРАТУРА

1. Хоменко А. В., Ковалев Н. Н., Петров М. П. Оптическая запись информации в PROM-структуре на основе $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. — «Письма в ЖТФ», 1976, т. 2, вып. 23, с. 1095—1098.
2. Feinleib J., Oliver D. S. Reusable optical image storage and processing device. — "Appl. Opt.", 1972, vol. 11, N 12, p. 2752—2759.
3. Hou S. L., Oliver D. S. Pockels readout optical memory using $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. — "Appl. Phys. Lett.", 1971, vol. 18, N 8, p. 325—328.
4. Клипко А. Т., Котляр П. Е., Нежевенко Е. С., Фельдбуш В. И., Шибанов В. С. Пространственно-временные модуляторы света на монокристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. — «Автоматрия», 1976, № 4, с. 34—43.
5. Шафферт Р. Электрофотография. М., «Мир», 1968.

Поступило в редакцию 4 июля 1977 г.;
окончательный вариант — 6 марта 1978 г.

УДК 531.383 : 621.378.325.2

В. В. КАРНАКОВ, Д. К. МЫНБАЁВ

(Ленинград)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА

Применение лазерного гиromетра (ЛГ) в навигационных системах — один из путей повышения точности этих систем (естественно, при условии высокоточной работы самого ЛГ). Основной источник ошибок ЛГ — зависимость его оператора преобразования от вектора параметров, который меняется под действием влияющих факторов в реальных условиях эксплуатации. Уменьшение этих ошибок ЛГ возможно путем автоматической стабилизации параметров прибора около их номинального (оптимального) значения. Этот путь хорошо изучен (см., например, [1, 2]), предложено и реализовано множество типов систем автоматической стабилизации расстройки (периметра) и мощности (накачки) излучения. Принципиальными недостатками этого пути являются, во-первых, ограниченные возможности применения (например, в существенно нестационарных условиях эксплуатации препятствием является ограниченность хода исполнительного элемента системы стабилизации расстройки, кроме того, перемещение этого элемента — само источник ошибок), во-вторых, возможность построения таких систем не для всех параметров ЛГ (практически реализованы только системы стабилизации расстройки и мощности излучения). Поэтому автоматическая стабилизация параметров ЛГ не является универсальным и исчерпывающим методом повышения точности ЛГ.

Другим методом повышения точности ЛГ может служить автоматическая коррекция его показаний. Этот метод, насколько нам известно, практически не исследовался, в то время как он универсален, применим в любых условиях эксплуатации, достаточно прост в технической реализации. В настоящей работе рассматриваются сущность метода коррекции показаний и возможность его применения для уменьшения ошибок ЛГ из-за неустойчивости разности потерь встречных волн.

В общем случае уравнение измерительного преобразования, полученное в результате решения уравнений движения измерительного преобразователя (ИП), имеет вид

$$y = H(P, x)x, \quad (1)$$

где y и x — выходной и входной сигналы соответственно, H — оператор преобразования, P — вектор параметров ИП. Уравнение оптимального преобразования имеет вид

$$y_0 = H_0(P_0, x_0)x_0. \quad (2)$$

где индекс 0 означает, что берется оптимальное значение объекта исследования.

Погрешность измерения Δy представляет собой функционал «расстояния» между сигналами y и y_0 :

$$\Delta y = F(y, y_0). \quad (3)$$

Поскольку функционалом F является равномерная метрика в том или ином определении, то уравнение (3) всегда однозначно разрешимо относительно y :

$$y = \varphi(\Delta y, y_0). \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в (1), получим

$$\varphi(\Delta y, y_0) = H(P, x)x, \quad (5)$$

которое целесообразно назвать основным уравнением измерительного преобразования.

В этом уравнении содержатся два неизвестных: измеряемая величина x и погрешность ИП Δy (результат оптимального преобразования известен по определению). Если теперь удастся составить уравнение, связывающее погрешность Δy с основной причиной ее появления — изменением вектора параметров $\Delta P = (P - P_0)$:

$$\Delta y = f(\Delta P), \quad (6)$$

то выражение (5) и (6) образуют систему, разрешая которую относительно Δy , можно найти x . Уравнение (6) обычно удается составить с помощью методов теории чувствительности.

Таким образом, измерение отклонения вектора параметров ИП ΔP от оптимального значения P_0 позволяет исключить погрешность Δy , вызванную этим изменением, и тем самым повысить точность измерения величины x . В этом и состоит сущность метода автоматической коррекции показаний.

Рассмотрим теперь применение метода коррекции для исключения погрешностей ЛГ из-за нестабильности разности потерь Δl встречных волн. Анализ существующей математической модели ЛГ [3] показывает, что изменение Δl — одна из основных, наряду с изменением расстройки и мощности излучения, причин погрешности ЛГ. Отсутствие эффективных систем стабилизации Δl объясняется тем, что, во-первых, не была найдена такая характеристика ЛГ, которая доставляла бы информацию о текущем значении Δl , во-вторых, исполнительными элементами всех предлагавшихся систем стабилизации Δl являлись оптические устройства, вносимые в контур резонатора ЛГ, что приводило к появлению погрешности ЛГ, значительно превышающей погрешность от изменения Δl . Поэтому разработка коррекции для Δl особенно актуальна.

Для расчетов использовались уравнения движения ЛГ, представленные в работе [3], с учетом эффектов однородного уширения линии усиления и атомных столкновений. Расчеты проводились на ЭВМ М-222.

Результаты расчетов показывают, что в качестве информационной характеристики для определения нестабильности разности потерь Δl целесообразно использовать постоянную составляющую разности интенсивностей ΔI^0 , причем

$$\Delta I^0 = K_1 \Delta l \quad (7)$$

и значение $K_1 = \text{const}$ практически постоянно во всем диапазоне входных угловых скоростей $\Omega \in [50 \div 300 \text{ кГц}]$.

В таблице приведены расчеты чувствительности ΔI^0 к изменению основных параметров ЛГ (расстройки ξ_0 , коэффициента превышения χ , разности потерь Δl), которые показывают, что изменения ΔI^0 в основном определяются изменением Δl .

Анализ зависимости $\Delta I^0 = f(\Delta l)$ при $\xi_0 \neq 0$ (это имеет место даже при работе системы стабилизации ξ_0) показывает, что в этом случае чувствительность $S_{\Delta l}^{\Delta I^0}$

Ω , кГц	$S_{\Delta l}^{\Delta I^0}$	$S_{\chi}^{\Delta I^0}$	$S_{\xi_0}^{\Delta I^0}$
50	40	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$
150	40	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$

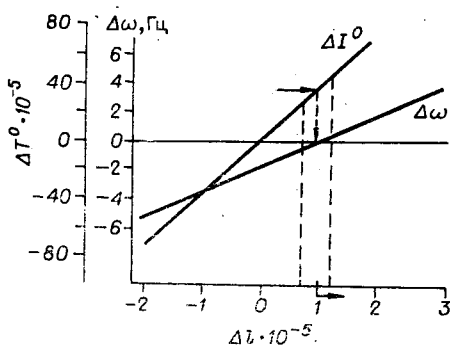


Рис. 1.

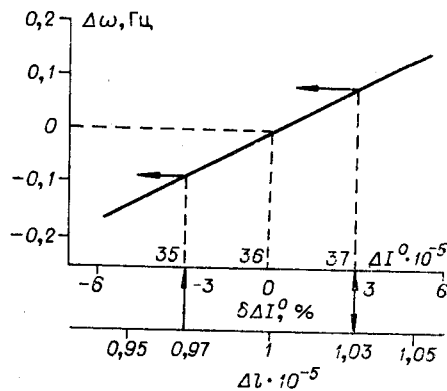


Рис. 2.

частоты биений ω к изменению Δl составляет $\sim 27 \cdot 10^4 \frac{\text{Гц}}{\text{отн. ед.}}$ (при $\xi_0 = 50 \text{ МГц}$).

Таким образом, для обеспечения точности измерений ЛГ порядка 0,05 град/ч требуется стабильность $\Delta l \approx 3 \cdot 10^{-7}$.

На рис. 1 приведены результаты расчета зависимостей $\Delta l^0 = f(\Delta l)$ и $\Delta \omega = \omega - \omega_0 = f(\Delta l)$, где ω_0 рассчитывалось при $\Delta l = 10^{-5}$. Линейный характер приведенных зависимостей позволяет построить зависимость $\Delta \omega (\text{Гц}) = f(\delta \Delta l^0)$ (рис. 2), позволяющую рассчитывать поправку $\Delta \omega$ по измерениям Δl^0 и корректировать выходной сигнал ЛГ. Проведенные расчеты показывают, что поправка $\Delta \omega$ может быть вычислена по формуле

$$\Delta \omega (\text{Гц}) = K_2 \delta (\Delta l^0), \quad (8)$$

где

$$\delta (\Delta l^0) = \frac{\Delta l_{\text{тек}}^0 - \Delta l_{\text{ном}}^0}{\Delta l_{\text{ном}}^0}; \quad (9)$$

$K_2 = \text{const}$ (для одного из образцов ЛГ $K_2 \approx 0,03 \text{ Гц/процент}$).

Для обеспечения точности ЛГ 0,05 град/ч (стабильность $\Delta l \approx 3 \cdot 10^{-7}$) необходимо измерять $\Delta l_{\text{тек}}^0$ с точностью не хуже 3%.

Из изложенного следует алгоритм автоматической коррекции показаний ЛГ:

1. Фиксируется значение $\Delta l_{\text{ном}}^0$ при $P = P_0$, устанавливаемом в начале работы ЛГ (P_0 соответствует $\Delta \omega = 0$).

2. В процессе работы измеряется $\Delta l_{\text{тек}}^0$ и вычисляется значение $\delta (\Delta l^0)$ по формуле (8).

3. По формуле (7) с рассчитанным или измеренным коэффициентом K_2 определяется поправка $\Delta \omega$ [Гц].

Отметим, что предложенный метод автоматической коррекции показаний ЛГ может служить для повышения точности прибора при нестабильности любого из его параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мочалов А. В., Мынбаев Д. К. Комплексная стабилизация параметров лазерного гироскопа.— «Изв. ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)», 1974, вып. 152, с. 40—44.
2. Федоров Б. Ф., Шереметьев А. Г., Умников В. Н. Оптический квантовый гироскоп. Л., «Машиностроение», 1973, гл. 5.
3. Aronowitz F., Killpatrick J., Callaghan S. Power-dependent correction to the scale factor in the laser gyro.— «IEEE J. of Quant. Electron», 1974, vol. DE-10, N 2, p. 201—208.

Поступило в редакцию 4 августа 1977 г.

УДК 535-14

А. Н. КОЛЕСНИКОВ

(Новосибирск)

СТАТИСТИКА ФОТООТСЧЕТОВ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Цель данной работы — нахождение распределения числа фотоотсчетов, индуцированных тепловым излучением, промодулированным детерминированной функцией, для определения характеристик фотоэлектронных приборов.

Представим электрическое поле нестационарного излучения в виде произведения стационарного хаотического поля $\mathcal{E}(t)$ на модулирующую функцию $\sqrt{f(t)}$ ($0 \leq f(t) \leq 1$;

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt < \infty$$

$$\mathcal{E}_f(t) = \sqrt{f(t)} \mathcal{E}(t). \quad (1)$$