

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 531.715 : 621.375.826

В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ, В. Н. БУРНАШОВ, В. В. ВОРОБЬЕВ
 (Новосибирск)

**ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ВИБРАЦИЙ
 ЗЕРКАЛЬНО И ДИФФУЗНО ОТРАЖАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ**

В ряде физико-технических экспериментов возникает необходимость в одновременном измерении малых вибраций (с амплитудой колебаний порядка длины волны света и меньше) и абсолютного смещения образца, т. е. перемещения. При измерении перемещений наибольшую точность дает гетеродинный метод, который может быть реализован с помощью двухчастотного лазера [1] или однополосного электрооптического модулятора [2]. В работе [3] описан принцип измерения амплитуд вибраций с помощью интерферометра с однополосным электрическим модулятором, однако он основан на обращении составляющих спектра сигнала в нуль, что не дает возможности исследовать вибрации с произвольными амплитудами и измерять амплитуды вибраций меньше $2,4\lambda/4\pi$ (λ — длина волны излучения лазера). Ниже приводятся принципы построения и результаты испытаний установки для измерения перемещений и вибраций зеркально и диффузно отражающих объектов на основе интерферометра с однополосным электрооптическим модулятором.

Для двухчастотного интерферометра, измеряемый объект которого совершает синусоидальные колебания, сигнал информационного фотоприемника имеет вид

$$U = A \sin(\omega t + a \sin \Omega t), \quad (1)$$

где A — амплитуда сигнала; ω — разностная частота в случае использования двухчастотного лазера [1] или частота модуляции при использовании одночастотного лазера с электрооптическим модулятором, сдвигающим частоту части излучения лазера на ω ; $a = 4\pi l/\lambda$, l — амплитуда вибраций; Ω — частота вибраций.

Разлагая (1) по функциям Бесселя, получим

$$U = A \left[\sin \omega t J_0(a) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_n(a) \sin(\omega - n\Omega)t + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(a) \sin(\omega + n\Omega)t \right]. \quad (2)$$

Из (2) следует, что, измеряя амплитуду гармоники с частотой ω и амплитуду одной из гармоник с частотой $\omega \pm \Omega$, можно определить a из равенства

$$U_{\omega \pm \Omega} / U_{\omega} = J_1(a) / J_0(a), \quad (3)$$

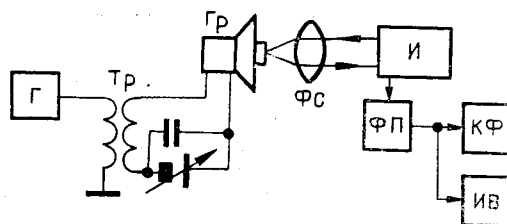
а следовательно, и l . Для малых амплитуд вибраций ($a \ll 1$) $U_{\omega \pm \Omega} / U_{\omega} \approx a/2$, т. е. $l \approx U_{\omega \pm \Omega} \lambda / U_{\omega} 2\pi$.

Из формулы (1) следуют ограничения на максимальную частоту и амплитуду вибрации. Для того чтобы частота информационного сигнала не переходила область нулевых частот, а это требуется для правильного измерения перемещения кумулятивным фазометром, необходимо выполнение соотношения

$$\min(\omega + a\Omega \cos \Omega t) = \omega - a\Omega > 0,$$

т. е. $a\Omega < \omega$.

На рисунке приведена схема установки, которая использовалась для одновременного измерения перемещения и вибраций исследуемого объекта. В установке был применен интерферометр И на одночастотном лазере с электрооптическим модулятором



в опорном плече, дающим сдвиг частоты излучения опорного плеча на ω . Излучение информационного плеча фокусировалось фокусирующей системой ФС (объектив «Гелиос-44», фокусное расстояние 58 мм) на исследуемом объекте, закрепленном на диффузоре громкоговорителя Гр. В качестве исследуемого объекта использовалось небольшое зеркало или алюминиевая фольга. Громкоговоритель подключался к генератору Г через согласующий трансформатор Тр, во вторичную обмотку которого последовательно с обмоткой громкоговорителя включен регулируемый источник постоянного тока, шунтированный емкостью и служащий для перемещения объекта. К фотоприемнику ФП, кроме кумулятивного фазометра КФ, измеряющего перемещение с точностью до 1 нм, был подключен избирательный вольтметр ИВ (в эксперименте использовался вольтметр В6-1), с помощью которого измерялось напряжение на частотах ω и $\omega + \Omega$. В эксперименте $\omega/2\pi = 1$ МГц, $\Omega/2\pi = 20$ кГц.

Полученные экспериментальные данные сведены в следующую таблицу.

Параметр	Зеркальная поверхность	Диффузно отражающая поверхность
Пределы измерения перемещений, мкм	± 300	± 200
Разрешающая способность при измерении перемещений, нм	1—2	1—2
Уровень шумов ($\min U_{\omega+\Omega}$), мкВ	2—2,5 ($\Delta f = 1$ кГц) 7—8 ($\Delta f = 10$ кГц)	1,5—2 ($\Delta f = 1$ кГц) 8—9 ($\Delta f = 10$ кГц)
Уровень сигнала на частоте ω ($\max U_{\omega}$), мВ	300—400	3
Разрешающая способность при измерении вибраций, нм	($\Delta f = 1$ кГц) (5—7) 10^{-4} ($\Delta f = 10$ кГц) (2—3) 10^{-3}	(0,05—0,06) (0,2—0,3)

Следует отметить, что точность электронно-счетного устройства измерения перемещений при изменении уровня сигнала интерферометра не более чем на $\pm 10\%$ и температуры не более чем на $\pm 4^\circ\text{C}$ совпадает с разрешающей способностью при измерении перемещений и составляет $1 \div 2$ нм. Теоретически оцененная погрешность, вносимая интерферометром, составляет $0,1$ мкм/ $^\circ\text{C}$.

Таким образом, показана возможность измерения вибраций зеркально отражающих поверхностей с разрешением до $5 \cdot 10^{-4}$ нм и диффузно отражающих поверхностей — до $0,05$ нм при одновременном измерении смещения поверхностей с разрешением в 1 нм.

ЛИТЕРАТУРА

- Атутов С. Н., Бессмельцев В. П., Буришов В. Н., Воробьев В. В., Коронкевич В. П., Лохматов А. И., Соболев В. С. Измеритель угловых и линейных перемещений на основе двухчастотного лазера.— «Автометрия», 1975, № 5, с. 48—53.
- Воробьев В. В. Измерители перемещений на основе интерферометров с электрооптическим модулятором.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 127—129.
- Застрогин Ю. Ф. Измерение параметров механических колебаний методами оптической интерферометрии.— «Измерительная техника», 1972, № 9, с. 65—67.

Поступило в редакцию 22 марта 1977 г.;
окончательный вариант — 16 декабря 1977 г.