

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 53.082:5.534.08

А. И. ИЛЬЯНКОВ
 (Москва)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДОППЛЕРА
 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

В настоящее время оптический эффект Доплера находит применение для бесконтактных измерений в различных областях техники [1—4]. Схемы соответствующих устройств содержат интерферометр для выделения сигналов доплеровской частоты. В случае использования двухлучевого интерферометра одно из его зеркал жестко связано с объектом, скорость или смещение которого измеряют, а другое закреплено на измерительной платформе. Как известно, фаза выходного сигнала такого интерферометра пропорциональна смещению подвижного зеркала, а частота — линованной скорости этого смещения.

На практике часто встречаются случаи, когда необходимо измерить скорость перемещения или амплитуду вибрации одной детали относительно другой или относительно корпуса изделия. При проведении подобных измерений в производственных условиях результаты измерений могут быть сильно искажены посторонними вибрациями, идущими, например, от фундамента.

В статье описаны два интерферометра, которые позволяют удовлетворительно решать упомянутые задачи.

Если у двухлучевого лазерного интерферометра (см. рисунок, а) зеркало *I* движется со скоростью v_1 , а зеркало *II* — со скоростью v_2 , то ФЭУ выделит сигнал разностной частоты $\Delta\nu = |v_1 - v_2|$. Так как

$$v_1 = v_0 \left(1 - \frac{2v'_1}{c} \right), \text{ а } v_2 = v_0 \left(1 - \frac{2v'_2}{c} \right), \text{ то}$$

$$\Delta\nu = \frac{2(v'_1 - v'_2)}{\lambda}, \quad (1)$$

т. е. разностная доплеровская частота $\Delta\nu$ пропорциональна разности скоростей движения зеркал интерферометра в направлении падающих пучков света.

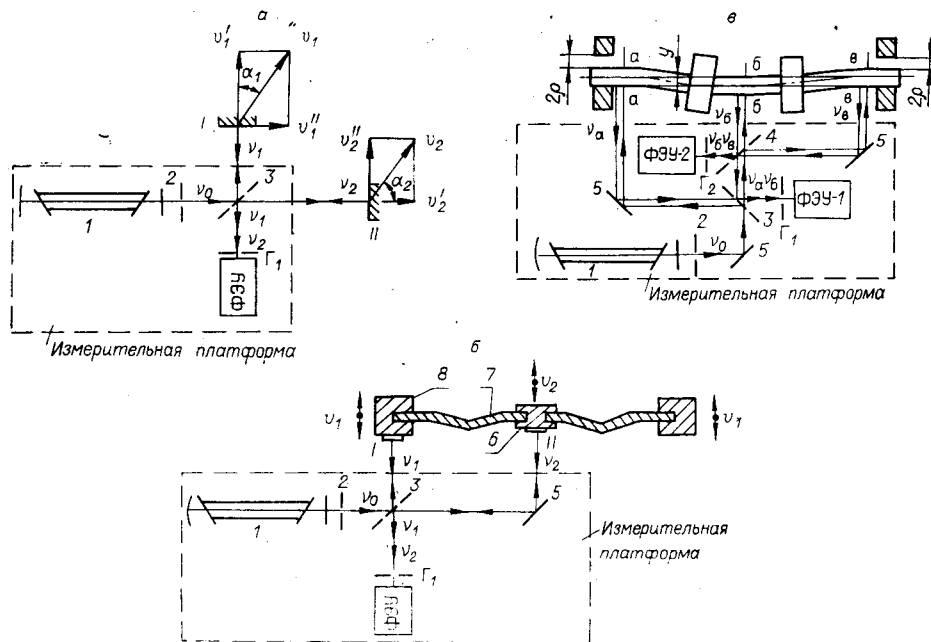
На рисунке б приведен пример использования интерферометра с двумя подвижными зеркалами для измерения виброскорости центра *б* мембраны *7* относительно корпуса *8*. Один пучок света попадает на зеркало *I*, закрепленное на корпусе, а второй — на зеркало *II*, закрепленное в центре мембраны. При наличии колебаний и корпуса, и мембраны ФЭУ выделит сигнал разностной доплеровской частоты

$$\Delta\nu = \frac{2(v_2 - v_1)}{\lambda}, \text{ откуда } v_2 - v_1 = \frac{\Delta\nu\lambda}{2}.$$

Таким образом, измеряя $\Delta\nu$, можно получить значение виброскорости.

Второе применение подобного интерферометра решает актуальную задачу измерения прогиба гибких роторов при проведении работ, связанных с их динамическим уравновешиванием [5]. Используемые для этих целей емкостные и индуктивные датчики [6, 7] имеют недостаточную точность при измерении малых величин прогиба, что соответственно снижает точность уравновешивания таких роторов.

На рисунке в приведена оптическая схема разработанного в МАИ интерферометра для измерения малых величин прогиба. В качестве подвижных зеркал используется повернутая измеряемого вала, специально обработанная в местах падения на него луча ОКГ. Чистота поверхности в этих местах влияет на точность измерений и для рассматриваемого случая должна соответствовать 10—11-му классу ($R_a = 0,05—0,1$ мкм) [8].



Схемы измерения перемещений, не чувствительные к посторонним вибрациям:
а — двухлучевой интерферометр с подвижными зеркалами, *б* — измерение скорости движения центра мембраны относительно ее корпуса, *в* — схема измерения прогиба вала в среднем сечении относительно сечений у опор; 1 — ОКГ; 2 — диафрагма; 3 — полупрозрачное зеркало; 4, 5 — зеркала; 6 — центр мембраны; 7 — мембрана; 8 — корпус.

Если перекрыть луч, идущий на сечение а-а, то доплеровская частота сигнала, выделенного ФЭУ-1 и ФЭУ-2, будет одинакова и равна

$$\Delta v_1 = \Delta v_2 = v_6 - v_B. \quad (2)$$

Если перекрыть луч, идущий на сечение б-б, то частота сигнала, получаемого от ФЭУ-1,

$$\Delta v_3 = v_a - v_B, \quad (3)$$

а на ФЭУ-2 попадает только пучок света, отраженный от сечения в-в.

Если же перекрыть луч, идущий на сечение в-в, то частота сигнала, выделенного ФЭУ-1,

$$\Delta v_4 = v_6 - v_a, \quad (4)$$

а на ФЭУ-2 попадает только пучок света, отраженный от сечения б-б. Здесь

$$v_a = v_0 \left(1 - \frac{2v_a}{c}\right), \quad v_6 = v_0 \left(1 - \frac{2v_6}{c}\right), \quad v_B = v_0 \left(1 - \frac{2v_B}{c}\right)$$

— доплеровское смещение частоты пучков, отраженных соответственно от сечений а-а, б-б, в-в.

Считая, что прогиб ротора и смещение его концов подчиняются синусоидальному закону, легко показать, что осредненные за период модули скорости соответствующих точек определяются выражениями

$$v_a = v_B = 4f\rho, \quad v_6 = 4f(y + \rho).$$

Здесь f — частота вращения ротора, а ρ и y амплитуда смещения концов ротора и прогиба соответственно. Тогда

$$\Delta v_1 = \Delta v_2 = \Delta v_4 = \frac{8fy}{\lambda}, \quad \Delta v_3 = 0,$$

откуда

$$y = \Delta v \lambda / 8f.$$

Сигнал, поступающий с ФЭУ, предварительно очищается от высокочастотных шумов, появляющихся вследствие наличия микронеровностей на отражающей поверхности,

и направляется на счетный блок, в качестве которого в наших экспериментах использовался частотомер ЧЗ-33. Сигнал частоты f колебаний вала снимается с индуктивного датчика — отметчика оборотов. Качество юстировки оптической системы оценивается по виду доплеровского сигнала на экране осциллографа С1-16, на второй вход которого подается сигнал частоты колебаний вала. Величина амплитуды колебаний (прогиба) подсчитывается по формуле (5).

Описанное устройство не требует специальной виброзащиты, так как точность измерений не зависит от посторонних вибраций фундамента, что делает его пригодным для точных измерений в промышленных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Дубнищев и др. Измерение линейной скорости движения тела с помощью оптического эффекта Доплера.— «Опт. и спектр.», 1973, т. 34, вып. 3.
2. Ю. Н. Дубнищев и др. Измерение скорости в потоке жидкости с использованием оптического эффекта Доплера.— «Автометрия», 1969, № 6.
3. Ю. Г. Василенко и др. Лазерный доплеровский измеритель скорости с применением интерферометра Фабри — Перо.— «Автометрия», 1971, № 3.
4. Ю. Н. Дубнищев и др. Измерение параметров турбулентных потоков с помощью лазерного доплеровского измерителя скорости.— «Автометрия», 1971, № 1.
5. М. Е. Левит, В. П. Ройзман. Вибрация и уравнивание роторов авиадвигателей. М., «Машиностроение», 1970.
6. В. А. Костомахин. Измеритель перемещений ИП-5К для балансировки роторов.— В кн.: Теория и практика балансировочной техники. Под ред. В. А. Щепильникова. М., «Машиностроение», 1973.
7. В. И. Иванов. Измерительная аппаратура и приборы с сейсмическими и параметрическими датчиками для измерений перемещений и прогибов валов турбомашин.— В кн.: Теория и практика балансировочной техники. Под ред. В. А. Щепильникова. М., «Машиностроение», 1973.
8. ГОСТ 2789—59. Шероховатость поверхности.

*Поступило в редакцию 3 декабря 1973 г.;
окончательный вариант — 20 мая 1974 г.*

УДК 621.375.826

В. А. ХАНОВ, А. П. ШЕБАНИН

(Новосибирск)

СТАБИЛИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ОКГ ПРИ ПОМОЩИ ТОНКОСЛОЙНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АТТЕНЮАТОРА

Необходимость повышения стабильности мощности излучения оптических квантовых генераторов (ОКГ) вызвана прежде всего решением задач прикладного характера (измерение коэффициентов пропускания и поглощения вещества, голография). Флюктуации выходной мощности промышленных ОКГ, используемых для этих целей, обычно достигают 10—15% и являются следствием изменения длины и добротности резонатора при его тепловых деформациях, воздействия акустических и механических вибраций, нестабильности параметров плазмы активной среды, конкуренции генерируемых мод и т. д. Уменьшение действия возмущающих факторов приводит к повышению стабильности мощности излучения ОКГ. Однако такой путь эффективен только при дополнительном использовании систем стабилизации с обратными связями, в которых сигнал, пропорциональный отклонению мощности излучения от стабилизируемого значения, воздействует на регулирующий элемент ОКГ и подстраивает его выходную мощность.

Предложенные ранее способы стабилизации мощности излучения предполагают управление ею либо за счет изменения усиления активной среды [1, 2], либо использования внешнего оптического аттенюатора [3, 4]. Для ОКГ с малой выходной мощностью последний способ является наиболее оптимальным, но из-за большого рассеяния энергии в аттенюаторе (например, кристалле КДР) он практически не реализуем для ОКГ большой мощности.

При стабилизации мощности излучения ОКГ за счет изменения усиления активной среды используется зависимость выходной мощности от тока возбуждения или величины неоднородного магнитного поля, в которое помещается активная среда. Так как ха-