УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

С.З.ЗАЙНАБИДИНОВ, Р.М.ХАБИБУЛИН, А.О.КУРБАНОВ, О.ПАРПИЕВА

Мақолада кичик силжиш ва тезликларни контактсиз, масофадан ўлчайдиган, Доплер эффекти асосида ишловчи юқори сезгирликка эга автоматлаштирилган лазер ускуналардан бири – деформографнинг тузилиши ва ишлаш принциплари ёритилиб, бу турдаги ускуналарнинг ютуқ ва камчиликлари келтирилган.

Калит сўзлар: *лазер, деформограф, монохроматик, интерференция, фаза, спектр, қутбланиш, гетеродин, дамлаш.*

В статье рассмотрены устройство и принцип работы деформографа – высокочувствительной автоматизированной лазерной аппаратуры для бесконтактного дистанционного измерения малых смещений и скоростей различных объектов на основе эффекта Доплера, описаны преимущества и недостатки таких устройств.

Ключевые слова: *лазер, деформограф, монохроматичный, интерференция, фаза, спектр, поляризация, гетеродин, накачка.*

Structure and principle of operation of deformograph – which is one of highly sensitive automated laser devices for contactless measurement of small shifts and speeds of objects on the basis of Doppler's effect, advantages and disadvantages of such devices are described in article.

Key words: *laser, deformograph, monochromatic, interference, phase, spectrum, polarization, heterodyne, pumping.*

Разработка и создание высокочувствительной автоматизированной лазерной аппаратуры для бесконтактного дистанционного измерения малых смещений и скоростей различных объектов будут всегда иметь в науке и технике актуальное значение. Эффективность таких систем определяется их дистанционным и невозмущающим воздействием на объекты, динамика которых изучается. Такая аппаратура необходима для наблюдения за состоянием природных и техногенных сооружений, сейсмометрии, контроля деформаций, измерения скоростей потоков, движения субмикронных и биологических структур. Лазерные измерители деформационных смещений - деформографы обладают чувствительностью, ограничиваемой только квантовыми свойствами излучения, равномерным частотным диапазоном вплоть до субоптического, с точностью в доли длины волны на удалении до сотен метров.

Лазерные интерферометрические системы основаны на сопоставлении измеряемой длины с известной длиной волны, что позволяет получать данные непосредственно в линейных единицах, исключая необходимость проведения калибровки. Это позволяет создать деформографические системы, способные измерять смещения объектов в непрерывном диапазоне от нанометров до сотен микрон.

Деформограф может применяться для измерения параметров вибрации, основанного на изменении частоты лазерного излучения, отраженного от объекта, с использованием эффекта Доплера. Перспективность развития лазерного доплеровского метода определяется следующими его достоинствами: отсутствие возмущений, линейная связь измеряемой скорости с доплеровской разностью частот, широкий динамический диапазон измеряемых скоростей (более десяти порядков), высокое пространственное разрешение локальных измерений, высокое быстродействие и возможность автоматизации измерений, возможность дистанционных измерений, устойчивость к высоким перепадам температуры и агрессивности исследуемой среды.

Однако широкое применение этих устройств ограничено воздействием окружающей среды на точность измерений и сложностью поддержания рабочих частот лазеров.

ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ДЕФОРМОГРАФОВ

Как правило, измерение малых перемещений при помощи оптических интерферометрических систем, сводится к определению разности фаз интерферирующих световых волн. Следовательно, чувствительность того или иного лазерного измерителя малых перемещений в конечном счёте определяется точностью определения малых изменений фазовых сдвигов.

Для того, чтобы измерить скорость какого-нибудь объекта, используя рассеяние или отражение монохроматического света, необходимо регистрировать изменение частоты оптического излучения. Интересуемый сдвиг частоты можно регистрировать, если на фотодетекторе рассеянный свет смешать с исходным. При оптическом смешении сигнал с детектора содержит биения на частоте сдвига, пропорциональной скорости объекта. На этом гетеродинном принципе выделения сигнала была основана первая схема лазерного доплеровского измерителя.

Гетеродинная лазерная система для дистанционных фазовых измерений

Известные двухчастотные интерферометрические системы измерения линейных перемещений, используя перенос спектра получаемого сигнала в область ненулевых частот, обеспечивают более высокое отношение сигнал/шум и надежность в работе по сравнению с аналогичными одночастотными интерферометрическими системами.

Принцип работы измерительной системы основан на непрерывной регистрации изменения фазы волны во времени, обусловленного эффектом Доплера при отражении излучения от движущегося объекта, так что

$$\Delta l = \left(\Delta\phi(t)/2\pi\right)\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{4\pi}\int_0^T \Omega(t)dt$$

где Dl - регистрируемое перемещение, $\Delta\varphi(t)$ и $\Omega(t)$ - зависящие от времени разность фаз и частотный доплеровский сдвиг а Т - время измерения.

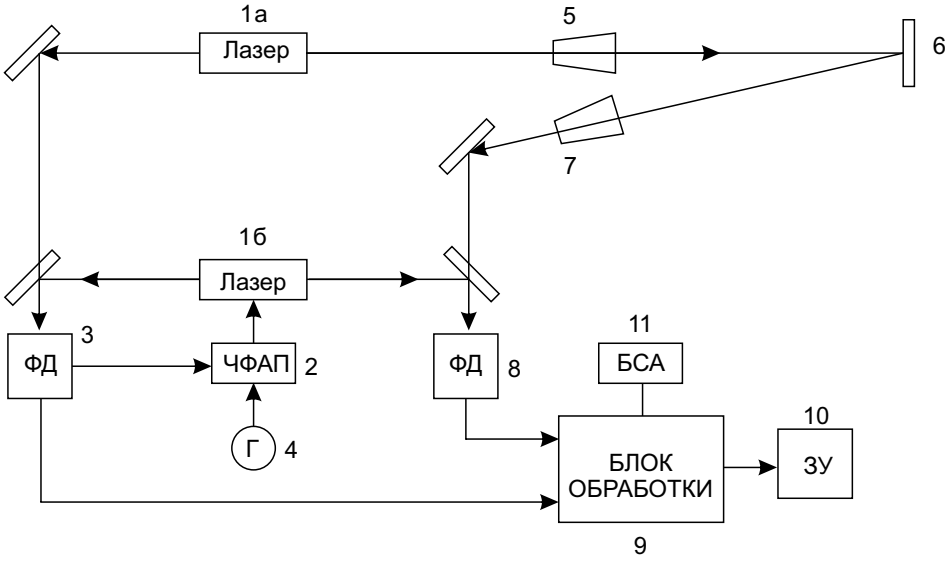

Схема лазерного измерителя малых перемещений на больших расстояниях

В основе измерителя лежит использование двух He-Ne лазеров (1а и 1б) с длиной волны *l*=0,63 мкм и мощностью *P*=1 мВт, синхронизованных между собой по фазе с помощью быстродействующей электронной системы частотно-фазовой автоматической подстройки (ЧФАП) (2). Благодаря автоматической подстройке частота биений (разность частот) лазеров, выделяемая на фотодетекторе (3), удерживается постоянной с точностью, определяемой стабиль-

ностью частоты опорного генератора (4). Излучение одного лазера (1а) с помощью передающего телескопа (5) посылается через атмосферу на перемещающийся объект (6), отражается обратно от зеркала, жестко связанного с объектом, попадает в приемный телескоп (7), после чего смешивается с излучением лазера-гетеродина (1б) на фотодетекторе (8). Величина перемещения объекта за определенный промежуток времени измерения определяется из анализа разности фаз двух радиосигналов биений фототока детекторов. Для этого выходные сигналы фотоприемников (3) и (8) по двум каналам направляются в электронный блок обработки (9), на выходе которого вырабатывается аналоговый сигнал, пропорциональный величине перемещений. Изменение разности фаз на 2p система регистрирует как смещение объекта на половину длины волны излучения (0.31 мкм). Результат измерений регистрируется на самописце (10) и в цифровом виде.

Для контроля влияний турбулентной атмосферы на параметры лазерного излучения, прошедшего по трассе туда и обратно, в схему фазовых измерений включен блок спектрального анализа (11), который позволяет изучать спектральные характеристики лазерного излучения в измерительном плече интерферометра в зависимости от атмосферных условий на трассе.

Нормальная работа измерителя перемещений возможна при условии, что разница частот двух лазеров в течение большого промежутка времени остается постоянной. Функции устройства, которое с высокой точностью стабилизирует эту разницу, выполняет электронная система частотно-фазовой автоподстройки (ЧФАП). Схема ЧФАП имеет фазовое и частотное кольца регулирования, которые работают параллельно. Роль частотного кольца - привести разностную частоту лазеров в полосу захвата фазового кольца. Сигнал биений лазеров с фотодиода через делитель частоты поступает на фазовый ФД и частотный ЧДдетекторы. Суммарный сигнал детекторов усиливается и служит для перестройки частоты лазера, путем изменения его оптической длины. Перестройка частоты осуществляется пьезокерамическими элементами. При этом частота одного из лазеров изменяется таким образом, чтобы разность их частот была с фазовой точностью равна частоте опорного радиогенератора.

Преимущества использования газовых лазеров в изготовлении деформографов

Газовые лазеры малой мощности, но с предельной стабильностью частоты излучения, используются в качестве стандартов частоты, длины и времени, имеют рекордную степень когерентности излучения, что является основным преимуществом данного типа лазеров в лазерных интерферометрических системах.

Использование газового лазера с накачкой поперечным высокочастотнымразрядом при конструировании деформографадает возможность снизить в 10-100 раз питающее напряжение, по сравнению с возбуждением разрядами постоянного и переменного тока и отличается лучшей стабилизацией и меньшим энергопотреблением. ВЧ-разряд устойчивее разряда постоянного тока, в нём достижим существенно больший энерговклад. Балластным сопротивлениям, которые всегда оказывают благотворное действие на стабильность разряда, можно придать ёмкостный (реактивный) характер, что избавляет от бесполезных потерь энергии. К тому же одномодового и одночастотного режима генерации в лазере с ВЧ накачкой добиться легче, за счет более легкого варьирования мощности накачки.

Также газовые лазеры обладают преимущественными показателями по стабильности мощности, расходимости излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанноеустройство и принцип работыдеформографов, работающих по принципу гетеродинного формирования измерительной системы и предназначенных для фазометрических измерений, обладают преимуществом перед другими аналогичными приборами высокочастотным возбуждением разряда, уменьшением габаритных показателей, большей герметичностью активных

элементов, лучшей стабильностью мощности излучения и отсутствием высоковольтных источников питания.

Таким образом, в данной статье описаны особенности устройства и принцип работы гетеродинного лазерного деформографа, отличающегося от существующих аналогов наличием блока спектрального анализа и частотно-фазовой автоматической подстройки.

Литература:

1. Лазерные измерительные системы. Под ред.Д.П. Лукьянова. – М. – Радио и связь. – 1981 г.

2. Коренкевич В.П., Ханов В.А. Современные лазерные интерферометры. – Новосибирск. – Наука.-1985.

3. Optical heterodyne interferometer with radiofrequency phase reference / Lavan M.J., Cadwallender W.K., DeYoung T.F.// Appl.Opl.-1976.-Vol.15,-N11.-P.2627-2628.

4. Akiro Ishida. Two-Wavelength Displacement-Measuring Interferometer Using Second-Harmonic Light to Eliminate Air-Turbulence Induced Errors// Japanese Journal of Applied Physics, vol.28, N3, 1989, p.L473-L475.

5. www.laser-portal.ru

Андижон давлат университети,
2013 йил 4 декабрда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. И.Каримов)