Методы измерения вибрации.

Современные технологии требуют непрерывного контроля за многими параметрами технологического процесса и контроля состояния оборудования. Одними из важнейших являются параметры механического движения, в частности параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве (вибрации). Этими параметрами являются виброперемещение (амплитуда вибрации) и виброскорость (частота вибрации).

Подобный контроль необходим в самых разных областях: в полупроводниковой электронике (контроль вибрации установок для выращивания кристаллов), в микроэлектронике (вибрация установок фотолитографии), в машиностроении (вибрация станков и биение деталей), в автомобильной промышленности (контроль вибрации отдельных узлов автомобилей и всего автомобиля в целом), на железнодорожном транспорте (датчики приближения поезда), в энергетике (контроль вибрации лопаток газовых турбин), в авиастроении (контроль биений турбин) и т.д. Этот список можно продолжать достаточно долго, что говорит о необходимости создания высокоточных вибродатчиков.

В настоящее время разработано достаточно много вибродатчиков, основанных на различных эффектах. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Кроме того, существуют определенные трудности в теоретическом описании и моделировании работы вибродатчиков.

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ.

Существует две группы методов измерения параметров вибраций: контактные, подразумевающие механическую связь датчика с исследуемым объектом, и бесконтактные, т.е. не связанные с объектом механической связью.

Рассмотрим вначале контактные методы. Наиболее простыми являются методы регистрации вибраций с помощью пьезоэлектрических датчиков. Они позволяют проводить измерения с высокой точностью в диапазоне низких частот и относительно больших амплитуд вибрации, но вследствии своей высокой инерционности, приводящей к искажению формы сигнала делает невозможным измерение вибраций высокой частоты и малой амплитуды. Кроме того, если масса исследуемого объекта, а следовательно и его инерционность не велика, то такой датчик может существенно влиять на характер вибрации, что вносит дополнительную ошибку в измерения.

Эти недостатки позволяет устранить метод открытого резонатора, описанный в [1]. Суть метода заключается в измерении параметров СВЧ резонатора, изменяющихся вследствие вибрации исследуемого объекта. Резонатор имеет два зеркала, причем одно из них фиксировано , а другое механически связано с исследуемым объектом. Регистрация перемещений при малых амплитудах вибраций производится амплитудным методом по изменению выходной мощности в случае проходной схемы включения резонатора или отраженной мощности, в случае применения оконечного включения. Этот метод измерения требует постоянства мощности, подводимой к резонатору и высокой стабильности частоты возбуждения.

В случае больших амплитуд вибраций регистрируется смещение резонансной частоты, что можно сделать с очень высокой точностью. Для повышения добротности и уменьшения дифракционных потерь используют сферические зеркала.

Разрешающая способность данного метода 3 мкм. Метод обладает малой инерционностью по сравнению с описанным выше, но его применение рекоменуется, если масса зеркала принципиально меньше массы исследуемого объекта.

Однако механическая связь датчика с исследуемым объектом далеко не всегда допустима, поэтому последние годы основное внимание уделяется разработке бесконтактных методов измерения параметров вибраций. Кроме того, их общим достоинством является отсутствие воздействия на исследуемый объект и пренебрежительно малая инерционность.

Все бесконтактные методы основаны на зондировании объекта звуковыми и электромагнитными волнами.

Одной из последних разработок является метод ультразвуковой фазометрии, описанный в [2]. Он заключается в измерении текущего значения разности фаз опорного сигнала ультразвуковой частоты и сигнала, отраженного от исследуемого объекта. В качестве чувствительных элементов используется пьезоэлектрическая керамика.

На частоте ультразвука 240 кГц. чувствительность измерения виброперемещения 10 мкм. в диапазоне от 10 до 5\*10 мкм., расстояние до объекта до 1.5 м. На частоте 32 кГц. чувствительность 30 мкм., расстояние до объекта до 2 м. С ростом частоты зондирующего сигнала чувствительность растет.

В качестве достоинств метода можно отметить дешевизну и компактность аппаратуры, малое время измерения, отсутствие ограничения снизу на частотный диапазон, высокую точность измерения низкочастотных вибраций. Недостатками являются сильное затухание ультразвука в воздухе, зависимость от состояния атмосферы, уменьшение точности измерения с ростом частоты вибрации.

Большое распространение получили методы, основанные на зондировании объекта видимым светом. Описание и сравнение основных оптических методов приведено в [3].

Все оптические методы подразделяются на две группы. К первой относятся методы, основанные на регистрации эффекта Допплера. Простейшим из них является гомодинный метод, который позволяет измерять амплитуды и фазы гармонических вибраций, но с его помощью невозможно исследовать негармонические и большие по амплитуде вибрации. Эти недостатки можно устранить используя гетеродинные методы. Но они требуют калибровки и, кроме того, измерительная аппаратура сильно усложняется.

Существенным недостатком перечисленных выше методов являются высокие требования к качеству поверхности исследуемого объекта. Но они теряют свое значение при использовании голографических методов, которые и образуют вторую группу.

Голографические методы обладают высокой разрешающей способностью (до 0.05), но они требуют сложного и дорогостоющего оборудования. Кроме того, время измерений очень велико.

Общими недостатками оптических методов являются сложность, громоздскость и высокая стоимость оборудования, большое энергопотребление, высокие требования к качеству поверхности исследуемого объекта, высокие требования к состоянию атмосферы (определенная влажность, отсутствие запыленности и т.п.). Кроме того, лазерное излучение оказывает вредное влияние на зрение обслуживающего персонала и требует дополнительных мер предосторожности и защиты.

Часть этих недостатков можно устранить применяя методы, основанные на использовании СВЧ излучения [4]. Они подразделяются на интерференционные и резонаторные. В основе интерференционных методов лежит зондирование исследуемого объекта волнами ВЧ и СВЧ диапазонов, прием и анализ отраженных (рассеянных) объектом волн. Между излучателем и исследуемым объектом в результате интерференции образуется стоячая волна. Вибрация объекта приводит к амплитудной и фазовой модуляции отраженной волны и к образованию сигнала биений. У выделенного сигнала переменного тока амплитуда пропорциональна виброперемещению, а частота соответствует частоте вибрации объекта.

Один из вариантов интерференционного метода описан в [5]. Резонаторные методы основаны на размещении вибрирующего объекта в поле СВЧ резонатора (вне или, хотя бы частично внутри его), вследствие чего изменяются характеристики резонатора.

Бесконтактное измерение параметров вибраций резонаторным

методом возможно и при включении приемно-передающей антенны в частотнозадающую цепь СВЧ генератора, т.е. при работе в автогенераторном режиме. Такие системы называются автодинными генераторами или просто автодинами.

В [5] приведен пример автодинного измерителя вибраций на отражательном клистроне. Недостаток заключается в том, что клистрон требует больших питающих напряжений, что приводит к увеличению размеров аппаратуры и большому энергопотреблению. Но этого можно избежать, если в качестве СВЧ генератора использовать твердотельные СВЧ диоды (ДГ, ЛПД, ИПД, ТД и т.д.).