

Оптический Метод Измерения Механических Амплитуды Колебаний Ультразвуковых Излучателей

Игорь И. Савин, Владимир Н. Хмелев

Бийский технологический институт

Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрено применение метода перекрытия светового потока для измерения значения амплитуды механических колебаний рабочей поверхности ультразвукового излучателя. Метод располагает возможностью преобразования значения измеряемой величины в электрический сигнал. Результаты измерений не зависят от формы и материала рабочего инструмента.

I. Введение

Ультразвуковые технологии получают все большее распространение в различных областях современной индустрии. Это объясняется тем, что применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в различных технологиях позволяет не только ускорить протекание существующих физико-химических процессов, но и создать технологии для получения новых веществ, материалов и изделий имеющих уникальные характеристики.

В технологических целях используется ультразвук высокой интенсивности (амплитудный диапазон 10-300 микрометров) низкой частоты (16-48 кГц).

Амплитуда и частота наиболее важные параметры ультразвукового воздействия на технологический объект. Например, вода распыляется с вибрирующей поверхности, если амплитуда колебаний более 12 микрометров, пластиковые трубки свариваются более эффективно при частоте порядка 44 кГц, а ультразвуковая размерная обработка хрупких материалов – на малой частоте (16-18 кГц) и большой амплитуде (порядка 100 микрометров). Если амплитуда больше критического значения – колебательная система и технологический объект могут быть разрушены. Поэтому измерение амплитуды – важная задача. Измерение частоты ультразвуковых колебаний обычно достаточно просто (частота механических колебаний всегда совпадает с частотой тока, питающего колебательную систему). Измерение амплитуды более сложная задача, так как зависимость между параметрами тока, питающего колебательную систему и амплитудой механической колебаний носит разный характер для различных колебательных систем и определяется геометрическими параметрами, свойствами материала концентратора и пьезокерамики, а так же рабочей частотой.

Современная виброметрия располагает большим количеством различных методов. Это механические (контактные), индукционные и оптические методы. Однако, методы классической виброметрии разработаны для проведения измерений на низких частотах (десятки-сотни герц), и могут некорректно работать на ультразвуковых частотах. Ультразвуковой преобразователь представляет собой резонансную систему с высокой добротностью. Это исключает возможность применения датчиков, основанных на механическом контакте с излучающей поверхностью. Генераторы и колебательные системы, создаваемые в лабораториях и опытно-промышленных производствах обычно имеют уникальные характеристики – в частности размеры и форму рабочего инструмента, материал концентратора – что исключает применение индукционных методов, поскольку напряжение на измерительной катушке зависит не только от колебательной скорости но и от магнитной проницаемости материала, формы инструмента и зазора между катушкой и поверхностью.

Этот факт делает применение индукционного метода измерений практически неприменимым в таких условиях в связи с необходимостью калибровки под конкретный тип преобразователей.

Оптические методы делятся на лазерные методы и метод визуального наблюдения. Серьезным недостатком лазерных методов является необходимость направленного отражения луча от колеблющейся поверхности.

Метод визуального наблюдения имеет следующие достоинства: наблюдение ведется сбоку, что позволяет проводить измерения при нагруженной торцевой поверхности, нечувствительность к форме и материалу колебательной системы. Такой метод не нуждается в предварительной калибровке. Однако у такого метода есть существенный недостаток, затрудняющий его использование – необходимость участия в процессе измерения человека оператора и как следствие, невозможность преобразования значения измеряемой величины в электрический сигнал.

II. Физические основы метода

Функциональная оптическая схема приведена на рис.1. Источник света (поз.1) создает освещенность. Диафрагма (поз. 2) формирует прямоугольный световой поток. $x(t)$ – величина колебательного смещения рабочей поверхности. Рабочий инструмент (поз.4) колебательной системы перекрывает часть светового по-

тока. Суммарный поток преобразуется в напряжение фотоэлектрическим преобразователем (поз.5). Поскольку поверхность движется, площадь светового потока меняется.

Световой поток

$$\Phi = E_0 \cdot S,$$

где E_0 - освещенность, создаваемая источником;

S - площадь потока.

В процессе работы поверхность движется параллельно стороне "b". Ширина светового потока

$$b(t) = b_0 + x(t),$$

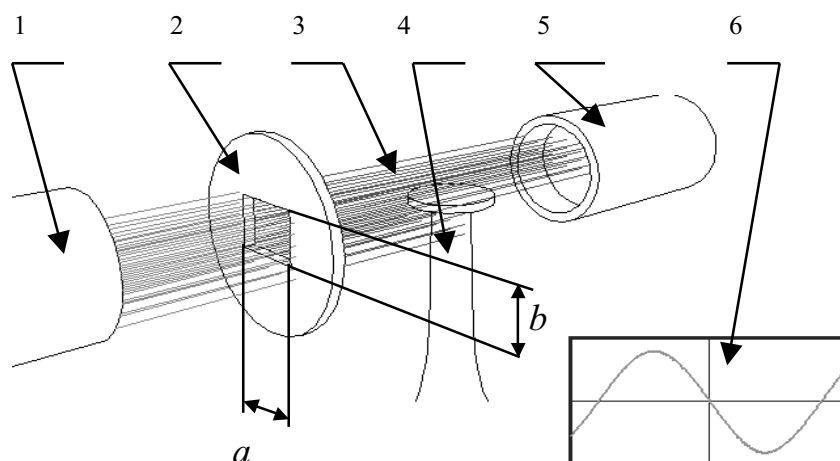


Рис. 1 – Функциональная оптическая схема

где b_0 - ширина потока в момент, когда рабочая поверхность находится в положении равновесия.

Если колебания гармонические

$$x(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t),$$

где f – частота колебаний.

Величина светового потока

$$\Phi = E_0 \cdot a \cdot (b_0 + x(t)),$$

Напряжение на фотопреобразователе

$$u = G(\Phi),$$

где G – передаточная функция.

Фотодиодный преобразователь имеет характеристику близкую к линейной

$$u = K \cdot \Phi,$$

где K – передаточный коэффициент.

$$u = K \cdot E_0 \cdot a \cdot (b_0 + x(t)), \quad (1)$$

это выражение может быть записано в иной форме

$$u = U_0 + k \cdot x(t),$$

где U_0 - постоянная составляющая,

$k \cdot x(t)$ - переменная составляющая.

$$U_0 = K \cdot E_0 \cdot a \cdot b_0,$$

$$k = K \cdot E_0 \cdot a,$$

Постоянная составляющая несет информацию о начальной позиции колебательной системы относительно светового потока и не несет информации о процессе колебаний.

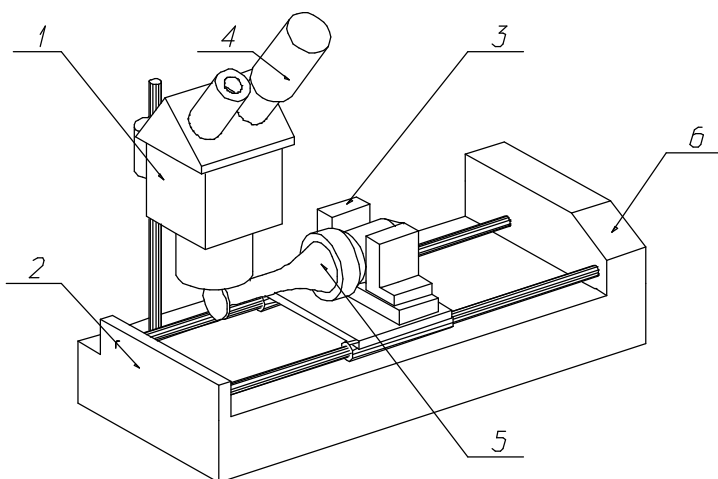


Рис. 2. – Общая схема устройства

Переменная составляющая копирует форму механических колебаний.

Для гармонических колебаний

$$u = U_0 + k \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t).$$

III. Конструкция

Для реализации предложенного метода было разработано экспериментальное измерительное устройство, состоящее из оптической, механической и электронной части. Общая схема устройства представлена на рис. 2. Оптический микроскоп (поз.1) является базой оптической системы. Микроскоп собирает и фокусирует свет на чувствительную поверхность фотопреобразователя (поз. 4).

Механическая часть состоит из шасси (поз.2) и перемещаемого держа-

теля (поз.3), используемого для позиционирования колебательной системы относительно светового потока при подготовке измерений и удержания в неподвижном состоянии в процессе измерения.

Электронная часть используется для обработки сигналов от датчика, вычисления значений измеряемой величины и управления установкой.

Функциональная схема электронной части представлена на рис.3.

Фотоэлектрический преобразователь, выполненный на фотодиоде, размещается в металлическом экранирующем корпусе на окуляре.

После усиления сигнал фотоэлектрического преобразователя разделяется на постоянную и переменную составляющие дифференцирующей и интегрирующей цепями.

Постоянная составляющая используется для дополнительных функций – стабилизации яркости лампы и позиционирования колебательной системы.

Пиковый детектор выделяет амплитудное значение постоянной составляющей.

Микропроцессорный модуль базируется на микроконтроллере AT4434, который включает в себя высокопроизводительный RISC процессор, ЭСППЗУ программ, ОЗУ, ЭСППЗУ данных, три таймера/счетчика, многоканальный АЦП, 32 линии ввода вывода.

Из формулы (1) видно, что корректное значение измеряемого параметра возможно вычислить только при постоянном значении освещенности. Для этого используется стабилизатор тока лампы, уставку для которого задает микроконтроллер. Когда поток полностью открыт, микроконтроллер измеряет значение постоянной составляющей и задает необходимое значение тока.

Для более простого использования устройство имеет возможность автоматического позиционирования излучающей поверхности относительно светового потока с помощью сервопривода. При этом микроконтроллер запускает серводвигатель и измеряет значение постоянной составляющей. Когда последняя будет равна примерно половине своего значения при полностью открытом световом потоке, это значит, что рабочая поверхность перекрывает примерно половину светового потока. После этого начинается процесс измерения.

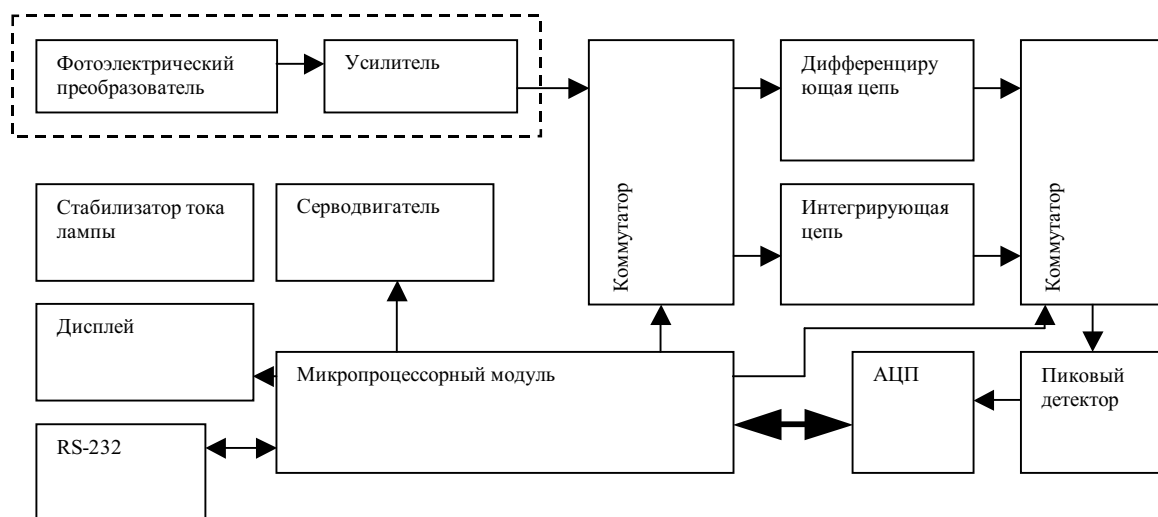


Рис.3. – Функциональная электрическая схема

Микроконтроллер в процессе измерения производит оцифровку значения напряжения на пиковом детекторе и вычисляет значение измеряемой величины.

Таблица 1. Основные технические характеристики

Параметр	Значение
1. Диапазон измеряемых амплитуд, мкм	25 – 300
2. Относительная погрешность измерения, не более	2.5%
3. Диапазон рабочих частот, кГц	16-48

IV. Заключение

Практическое применение метода перекрытия светового потока показало его работоспособность. Метод можно применять для определения характеристик колебательных систем и генераторов в процессе разработки ультразвуковых аппаратов, а также для автоматического регулирования амплитуды колебаний в процессе работы.

Список использованных источников

1. Макаров Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковых технологий. Москва, Машиностроение, 1983.
2. Кайдалов С.А. Фотоэлектрические приборы и их применение. Москва, Радио и Связь 1995.