

УДК 621.3.013

Н.Н. ВОРСИН
Брест, БрГТУ

ИНДУКТИВНЫЙ ДАТЧИК В МАГНИТНЫХ ТОЛЩИНОМЕРАХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТЕНОК

Для измерения толщины стенок со сложным профилем применяется магнитное зондирование. Соответствующие приборы известны под названием «стенкомеры» и используются с 80-х годов прошлого века [1, 2].

В настоящее время магнитные стенкомеры, основанные на принципе, изложенном в [1], производятся фирмой ElektroPhysik [3] и Ижевским институтом комплексного машиностроения [4]. Основным элементом данных приборов является датчик Холла, установленный на вершине сильно-го постоянного магнита. Этот магнит притягивает через измеряемую стенку ферромагнитный шарик – индуктор, центрируя его над датчиком. Одновременно происходит намагничивание индуктора, который создает собственное магнитное поле. Индукция этого поля измеряется датчиком Холла, и по результатам этого измерения формируется оценка толщины стенки.

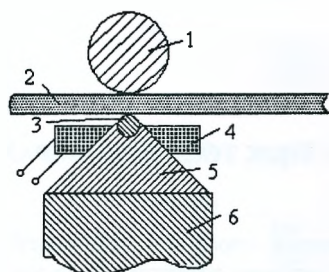
Использование датчика Холла для измерения поля индуктора представляется естественным. Однако такое построение не является вполне удачным по следующим причинам:

Датчик Холла является хрупким устройством и нуждается в защитном колпачке, который создает неустранимый зазор между датчиком и индуктором, уменьшая диапазон изменений сигнала датчика.

Сигнал датчика Холла является сигналом постоянного тока. Это создает трудности для его измерений, поскольку вблизи нулевой частоты велика спектральная плотность избыточных шумов со спектром $1/f$, присущая всем электронным приборам.

Максимальный диапазон изменения сигнального напряжения датчика Холла при приближении индуктора издалека до минимального расстояния составляет десятки милливольт. Столь малая величина максимального диапазона в совокупности с трудностями усиления сигнала постоянного тока и высоким уровнем избыточного шума ограничивает разрешающую способность прибора, особенно при измерениях толщин, близких к верхней границе диапазона измерений.

Результатом мер по ослаблению отмеченных факторов становится высокая стоимость измерительной головки и всего прибора.



Суть предлагаемого нами решения заключается в замене датчика Холла на индуктивный датчик в виде катушки, намотанной на дополнительном ферромагнитном сердечнике и закрепленной на торце постоянного магнита. На рисунке показана конструкция такой измерительной головки. Постоянный магнит (6) притягивает ферромагнитный шарик (1) через измеряемую стенку (2) и вынуждает его занять максимально близкое положение к центру катушки индуктивности (4). Индуктивность этой катушки зависит от близости к ней ферромагнитного шарика и, следовательно, от толщины измеряемой стенки. Конусный ферромагнитный сердечник катушки (5) усиливает эту зависимость. Твердосплавный шарик (3), установленный на вершине сердечника, улучшает его износостойкость.

Расчеты и опыты показывают, что по величине относительного диапазона изменения сигнальной величины индуктивный датчик практически не уступает датчику Холла. Такие параметры измерительной головки, как размеры, диапазон измеряемых толщин, величина центрирующей силы, при переходе к индуктивному датчику изменяются незначительно. Однако приобретаются следующие качества:

Измерение индуктивности осуществляется на переменном токе достаточно высокой частоты, что позволяет избавиться от шумов со спектром $1/f$ и значительно уменьшить флуктуации результатов измерений. Это улучшает разрешающую способность прибора.

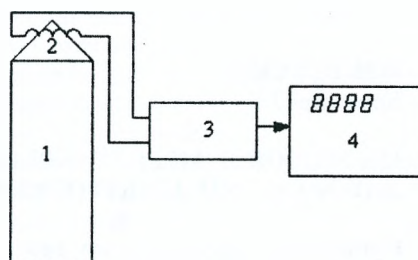
Конструкция головки приобретает прочность. Удары по наконечнику головки, фатальные для нее при использовании датчика Холла, не приносят вреда индуктивному датчику.

Стоимость измерительной головки уменьшается в десятки раз.

Упрощается оцифровка результата измерений, что также уменьшает стоимость прибора.

Структурная схема стенкомера с индуктивным датчиком показана на рисунке. Она состоит из трех блоков: измерительной головки (1) с индуктивным датчиком (2), резистивно-индуктивного генератора импульсов (3), использующего индуктивность измерительной катушки, и микроконтроллера узла формирования результата измерений (4). Генератор импульсов вырабатывает периодический импульсный сигнал, в котором частота следования импульсов f определяется сопротивлением внутреннего резистора R и индуктивностью катушки измерительной головки — L : $f \sim R/L$.

Формирователь результата измеряет частоту следования импульсов путем подсчета их количества за время измерения (0.65 с). Далее полученное число используется для формирования результата измерения по имеющимся в памяти микроконтроллера результатам калибровки прибора. Можно показать [5], что



зависимость индуктивности катушки измерительной головки L от расстояния между ее вершиной и ферромагнитным шариком s весьма точно выражается следующей формулой

$$L = L(\infty) \left[1 + \frac{1}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3} \right].$$

В данной формуле $L(\infty)$ – индуктивность катушки при достаточно большом удалении шарика, $b_0 - b_3$ – постоянные коэффициенты для имеющейся измерительной головки. Пять параметров, входящих в формулу, определяются путем калибровки прибора по пяти эталонным толщинам, запоминаются в ПЗУ микроконтроллера и используются им для вычисления расстояния s по измеренной частоте сигнала генератора.

Принципиально важным моментом построения индуктивного датчика является сохранение достаточной дифференциальной магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника, который размещается в сильном поле постоянного магнита и оказывается в состоянии, близком к магнитному насыщению. Наилучшим материалом является высокопроницаемое порошковое железо (Iron Powder) или железоникелевый порошок (High Flux). Удовлетворительные результаты дает также использование альсифера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент SU 750263.
2. Патент SU 1597521.
3. Измеритель толщины неферромагнитных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://axion-iikp.ru/catalog/1/9>.
4. 1 Shot Paint Supply | WalPage.com [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.epkusa.com/files/FH7200_7400%20Manual_2.pdf. – Date of access: 13.02.2015.
5. Бухгольц, Г. Расчет электрических и магнитных полей / Г. Бухгольц. – М. : Изд-во иностр. лит., 1961. – 712 с.