

ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ПОПЕРЕЧНЫМ ПОЛЕМ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА НА ВАЛУ

Введение. Для своевременного выявления аварийных ситуаций возникающих в металлических деталях, наиболее предрасположенных к повреждениям, а также, оперативного управления в создавшихся ситуациях необходимо знать фактическое напряженно-деформированное состояние объекта контроля. Перспективными для бесконтактного контроля механических напряжений возникающих в цилиндрических (вал) ферромагнитных изделиях являются вихретоковые методы, которые позволяют получать первичную информацию в виде электрического сигнала [1].

Известно, что механическое усилие вызывает искажение кристаллической структуры ферромагнетика, а следовательно, и изменение его абсолютной магнитной проницаемости δ_μ ($\mu = \mu_0 \mu_r$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ_r - относительная магнитная проницаемость). Помимо магнитоупругого эффекта, в металлических изделиях при наличии в них деформации всегда существует и магниторезистивный эффект, заключающийся в том, что при деформации материала образца изменяется его удельное электрическое сопротивление δ_ρ . В работах [2,3] рассмотрены вихретоковые преобразователи проходного типа для совместного бесконтактного контроля μ_r и ρ цилиндрических ферромагнитных образцов на которые действует механическая сила. Основным недостатком таких преобразователей является то, что их невозможно использовать, если к объекту контроля нет доступа с торцевой части. Этому недостатка лишены вихретоковые преобразователи с поперечным полем, так как они могут работать при одностороннем доступе к объекту контроля. В работах [4,5] рассмотрены вопросы использования ВТП с поперечным полем для контроля немагнитных изделий.

Постановка задач исследования.

В данной работе рассмотрен вихретоковый преобразователь с поперечным полем для бесконтактного контроля изменения δ_μ и δ_ρ под действием механической деформации, работа которого основана на измерении амплитуды и фазы ЭДС измерительной катушки накладного типа (см. рис. 1). На рисунке схематично обозначен вал электропривода с вращающим моментом M , находящийся в поперечном магнитном поле. Силовые линии поля перпендикулярны плоскости измерительной обмотки, которая расположена на расстоянии x_0 от оси вращающегося вала.

Выражения, связывающие амплитуду и фазу сигнала вихретокового преобразователя с параметрами исследуемого образца, режимами работы и конструкцией преобразователя можно записать в виде:

$$A = \mu_r \sqrt{\frac{(1 + \lambda)^2 - 2(1 + \lambda)\lambda \frac{E}{E_0} \cos \varphi_0 + \left(\lambda \frac{E}{E_0}\right)^2}{(1 - \lambda)^2 + 2(1 - \lambda)\lambda \frac{E}{E_0} \cos \varphi_0 + \left(\lambda \frac{E}{E_0}\right)^2}}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\lambda \frac{E}{E_0} \sin \varphi_0}{1 - \lambda^2 + 2\lambda^2 \frac{E}{E_0} \cos \varphi_0 - \left(\lambda \frac{E}{E_0}\right)^2}; \quad (2)$$

где E и E_0 – ЭДС измерительной обмотки преобразователя с образцом и без образца соответственно;

φ_0 – фазовый угол между E и E_0 ;

A и $\operatorname{tg} \varphi$ – амплитуда и фаза нормированного параметра, характеризующего распределение магнитного потока

в образце, которая однозначно зависит от обобщенного параметра x ($x = a \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r 2\pi f}{\rho}}$);

f – частота намагничивающего тока;

λ – геометрический форм-фактор, который определяется из выражения:

$$\lambda = \frac{1}{2 \left(\frac{a}{a_1}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (a_1/x_0)^2}}\right)}; \quad (3)$$

где a – радиус изделия;

a_1 – средний радиус измерительной катушки;

x_0 – расстояние от центра изделия до середины катушки.

ЭДС измерительной обмотки преобразователя можно найти из соотношения:

$$E = 4,44 f W_{изм} \pi a_1^2 \mu_0 H_0 ; \quad (4)$$

где $W_{изм}$ – количество витков измерительной обмотки;

H_0 – напряженность внешнего магнитного поля.

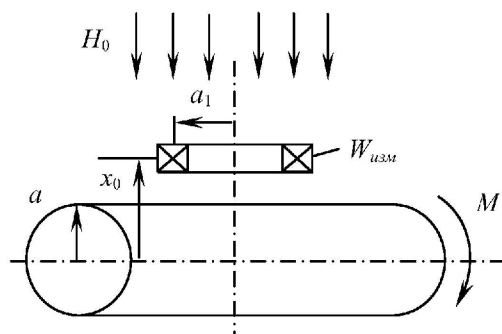


Рис. 1 – Расположение вала и измерительной катушки в поперечном магнитном поле.

Порядок проведения эксперимента состоит в следующем. Для известных геометрических параметров преобразователя и исследуемого образца определяют геометрический форм-фактор λ по формуле (3). Вначале, при ненагруженном состоянии вала, измеряют величины E и E_0 для фиксированных значений H и f . После подстановки этих значений в выражения (1) и (2), определяют начальные значения нормированной амплитуды A и ее фазы $\text{tg}\varphi$. Затем, при постепенном нагружении вала, измеряют текущие значения E_i и φ_{0i} , поддерживая напряженность и частоту поля неизменной. В эксперименте использовался стальной вал с начальными значениями $\mu_r=31$ и $\rho=0,909$ мкОм·м, радиусом $a=11,7$ мм. Параметры измерительной катушки ВТП: количество витков $W=100$; $a_1=11,3$ мм; $x_0=22,7$ мм; напряженность магнитного поля $H_0=120$ А/м; частота поля $f=107$ Гц. Результаты экспериментов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований преобразователя.

$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	2	4	6	8
μ_r	31	30,07	29,45	28,52	27,9
$\rho, \text{мкОм}\cdot\text{м}$	0,909	0,913	0,918	0,926	0,928
x	2	1,965	1,939	1,901	1,878
A	1,5036	1,4760	1,4567	1,4281	1,4116
$\text{tg}\varphi$	0,8312	0,8114	0,7969	0,7745	0,7611
$E, \text{мВ}$	37,240	37,230	37,223	37,213	37,205
$\varphi_0, ^\circ$	0,5728	0,5706	0,5683	0,5643	0,5634

Выводы. Как видно из таблицы 1, чувствительность по ЭДС для данного преобразователя составила $S_E=0,1$ мВ/Н·м, а по фазе $S_{\varphi_0}=0,01$ град/ Н·м. Таким образом, описанный метод позволяет расширить функциональные возможности вихретокового метода для случаев бесконтактного определения вращающего момента на валу электропривода по изменению δ_μ и δ_ρ деформированного вала.

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. Т. 2 / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, – 2003. – 688 с.
2. Горкунов Б.М. Амплитудный и фазовый методы определения механических напряжений // Труды Междун.-родной научно-технической кон-ференции "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье", Харьков-Мишкольц (Венгрия)-Магдебург (Германия) ч.3, 1997.-С.45-47.
3. Горкунов Б.М. Метрологические характеристики электромагнитного преобразователя при контроле механических напряжений в материалах // Вестник ХГПУ, Харьков: вып. 24, 1999.- С. 3-9.
4. Авраменко А.А., Себко В.П., Тюпа В.И., Горкунов Б.М. Методика расчета сигналов электромагнитного преобразователя с цилиндрическим изделием //Журнал "Приборостроение", Известия ВУЗов, Ленинград, № 4, 1986.- С.64-67.
5. Авраменко А.А., Себко В.П., Горкунов Б.М. Двухпараметро-вый способ контроля цилиндрических изделий в поперечных магнитных полях // Журнал "Дефектоскопия", изд-во Наука, Свердловск, №8, 1988.-С.70-75.