бесконтактного токосъема позволяет измерять усилие и в том случае когда чувствительный элемент вращается относительно неподвижного корпуса.

Список использованных источников

1. Воронцов А.В. Классификация и сравнительный анализ датчиков крутящего момента / Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – Самара: ИПО СГАУ, 2008.-С. 54-57.

2. КонюховН.Е. Электромеханические функциональные преобразователи.- М.:Машиностроение, 1977. – 235 с.

3. Воронцов А.В., Тележный Ю.С. Исследование устройства контроля резьбовых соединений / Надежность и качество: Материалы международного симпозиума. – Пенза, 2008. – С. 37 – 38.

4. Зеленский А.В., Воронцов А.В. Электромагнитные датчики усилий и крутящего момента. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – 104 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ДАТЧИКАХ УСИЛИЙ И КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

А.В.Зеленский, А.В.Воронцов
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара
Тольяттинский государственный университет, г.Тольятти

Моделирование магнитных полей является важным инструментом исследования характеристик электромагнитных датчиков физических величин. В общем случае двумерная функция распределения магнитного поля $F(x,y)$ в датчиках усилий и крутящего момента представляет собой некоторую поверхность [1]. В качестве примера рассмотрим распределение магнитного поля в зазоре магнитопровода, полученное с помощью специализированной экспериментальной установки. Данная методика исследования может быть применена и для полей другой физической природы [2].

Рассмотрим первую группу сечений поверхности $F(x,y)$ плоскостями, параллельными плоскости YOZ. В этом случае получаем ряд зависимостей выходной ЭДС от X при Y_i = const. При аналитическом представлении искомой функции воспользуемся методом наименьших квадратов, который позволяет получить несмещенные и состоятельные оценки всех параметров.

Если все изменения значений функции $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ приведены с одинаковой точностью, то оценка параметров $a_0, a_1, \ldots, a_n$ определяется из условия, чтобы сумма квадратов отклонений измеренных значений $У_к$ от расчетных и была минимальной.

Рассмотрим сечение z=f(y) при x=const. По расположению точек исследуем три эмпирических формулы для этих сечений:

а) z =const;

б) $z = ay+b$;

в) $z= ay^2+by+c$ при x=const.

Воспользовавшись экспериментальными данными и учитывая симметричный характер кривых имеем:

для случая z=const, при x = 2, 3, 4, 5, 6 соответственно:

z =11,9; z =37; z =98,5; z =113; z =116.

Для случая $z = ay+b$ параметры определяются при решении системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{n} Z(y_i)\cdot y_i - a\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i^{2} - b\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i = 0, \\ \sum\limits_{i=1}^{n} Z(y_i) - a\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i - b_n = 0. \end{cases}$$

Для случая $z = ay^2+by+c$ параметры a,b,c определяются при решении следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=1}^{n} Z(y_i)\cdot y_i^{2} - a\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i^{4} - b\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i^{2} - c\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i^{2} = 0; \\ \sum\limits_{i=1}^{n} Z(y_i) - a\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i^{3} - b\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i - c\cdot n = 0; \\ \sum\limits_{i=1}^{n} Z(y_i)\cdot y_i - a\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i^{3} - b\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i^{2} - c\cdot\sum\limits_{i=1}^{n} y_i = 0. \end{cases}$$

Решая аналогичные системы для разных x, получим:

для $X = 2$: $z_2=0,27y^2-0,86y+9,52$;

для $X = 3$: $z_3=0,0655y^2+4,48y+17,68$;

для $X = 4$: $z_4=0,098y^2+0,98y+91,8$;

для $X = 6$: $z_6=y^2+5,5y+66,2$.

Рассмотрим вторую группу сечений поверхности $F(x,y)$ плоскостями, параллельными XOZ, т.е. найдем закон распределения поля по оси X [3]. Вид функциональной зависимости не изменяется при изменении Y, поэтому для выбора оптимального варианта аппроксимирующей формулы для $U(x)$ рассмотрим какое-либо одно сечение. По виду полученной кривой можно подобрать ряд математических зависимостей.

Если рассматривать закон изменения поля по координате X как композицию нормального закона:

$$f_1(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{(x-m_\infty)^2}{2b}}.$$

С учетом закона равномерной плотности:

$$f_2(x_2) = \frac{1}{\beta - \alpha},$$

где: $\alpha < x_2 < \beta$.

При $m_x = 0$ имеем:

$$U(x) = z(x) = A\left[\Phi\left(\frac{\beta - z}{\sigma\sqrt{2}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - z}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right];$$

$$A = \frac{1}{2(\beta - \alpha)},$$

где $z = x_1 + x_2$ - сумма двух независимых случайных величин;

$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ - табулированная функция Лапласа.

Представив $U(x)$ в виде нормального закона и воспользовавшись экспериментальными данными получим:

$$U(x) = 0{,}125 \cdot e^{\frac{x^2}{20{,}4}}.$$

Если $U(x)$ выразить степенным полиномом, то при анализе видно, что для точной аппроксимации необходим полином двенадцатой степени.

Рассмотрим наиболее простую аппроксимацию закона изменения магнитного поля по координате X:

$$\begin{cases} 116, \ -1{,}75 \le x \le 1{,}75; \\ 51{,}6 \cdot x + 206, \ x > 1{,}75; \\ 51{,}6 \cdot x + 206, \\ x < -1{,}75. \end{cases}$$

Очевидно, что F(x,y) будет представлена совокупностью трех плоскостей.

Рассмотрим случай $z_y = V(y)$=const. Если первая плоскость проходит через три точки с координатами (1,75; 3,5; 1,16); (4; 4; 0) и (4; 5; 0), то, решая систему уравнений вида:

$$\begin{cases} A(x-x_1)+B(y-y_1)+C(z-z_1)=0; \\ A(x-x_2)+B(y-y_2)+C(z-z_2)=0\ ; \\ A(x-x_3)+B(y-y_3)+C(z-z_3)=0. \end{cases}$$

Получим уравнение этой плоскости: $z_1\,(x,y)$=51,6x + 215,3 при -1,75 > x > -4.

Тогда:

$$\iint F(x,y)dxdy=\phi(x)=\int_{x-4}^{x-1.75}dx\int_0^{f(x)}(51.6+215.3)dy+$$

$$+\int_{x-1.75}^{x+1.75}dx\int_0^{f(x)}116ydy+\int_{x+1.75}^{x+4}dx\int_0^{f(x)}(-51.6+215.3)dy.$$

Если $V(y)=\ ay\ +\ b$, то $F(x,y)$ представляет собой также совокупность трех плоскостей.

Так, как $\int_0^{f(x)}V(y)dy=\dfrac{W(x)}{U(x)}$ то учитывая, что $K_1{\cdot}x,\ 0\leq x\leq 1$ получим:

$$\begin{cases} U(x)=\ \ K_0; \\ 1<x\leq 2\ ; \\ K_2{\cdot}x,\ 2<x\leq 3; \\ V(y)=ay+b; \\ f(x)=\dfrac{-b\pm\sqrt{b^2+4a\cdot\dfrac{W(x)}{U(x)}}}{2a}. \end{cases}$$

Таким образом, располагая экспериментальными данными распределения модуля поля по координате X и Y и пользуясь предложенной методикой, достаточно просто определяется закон изменения искомого профиля практически для любых требуемых нелинейных зависимостей.

Список использованных источников

1.КонюховН.Е. Электромеханические функциональные преобразователи.- М.:Машиностроение, 1977. – 235 с.

2.Зеленский А.В., Воронцов А.В. Электромагнитные датчики усилий и крутящего момента. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – 104 с.

3.Воронцов А.В., Тележный Ю.С. Исследование устройства контроля резьбовых соединений / Надежность и качество: Материалы международного симпозиума. – Пенза. 2008. – С. 37 – 38.