5. Корндорф С.Ф. Фотоэлектрические измерительные устройства в машиностроении. М., "Машиностроение", 1965.

УДК 620.314.263

М.Ф.Зарипов, И.А.Лиманов, А.В.Капцов

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В МАГНИТОПРОВОДЕ МАГНИТОУПРУГОГО ДАТЧИКА

В настоящее время с целью измерения механических напряжений в различных деталях и конструкциях машин применяются магнитоупругие датчики [1].

Магнитоупругий датчик механических напряжений обычно представляет собой П-образный магнитопровод с возбуждающей и измерительной обмотками. При расчете электрических параметров датчика в основном пользуются схемой замещения с сосредоточенными параметрами [2], [3], что приводит к значительному расхождению между теоретическими и экспериментальными значениями измеряемых величин.

В данной работе рассматривается аналитическая зависимость индуктивности обмоток с учетом потоков рассеяния в магнитопроводе и измеряемой детали.

На рис. 1 приведена конструкция датчика.

Пренебрегая нелинейностью характеристик магнитного сопротивления сердечника и детали, потоками выпучивания в непосредственной близости от воздушных зазоров, составим дифференциальные уравнения для потоков и МДС, создаваемых распределенной обмоткой.

Изменения потоков и МДС на элементарных участках магнитной линии dx_1 и dx_2 в магнитопроводе и измеряемой детали составляют:

$$-d\Phi_{x_1} = F_{x_1} g_1 dx_1 ; \qquad (1)$$

$$-dF_{x_1} = \Phi_{x_1} z_{\mu_1} dx_1 + Jw_y dx_1 ; \qquad (2)$$

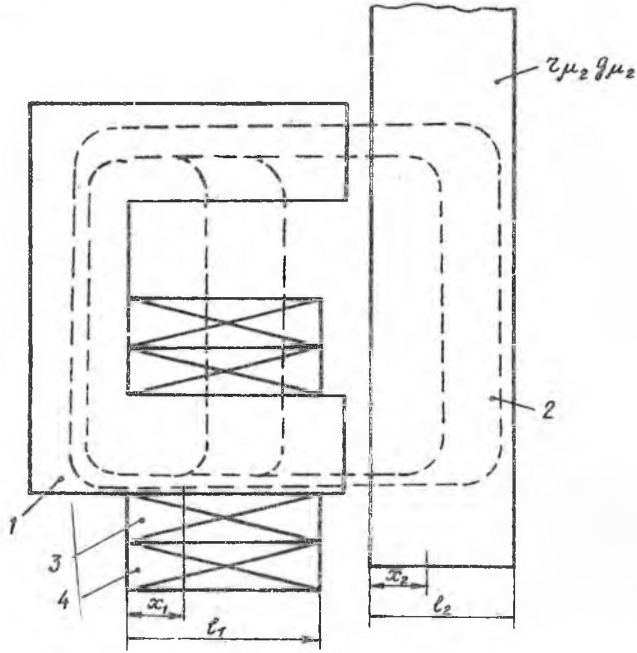
$$-d\Phi_{x_2} = F_{x_2} g_2 dx_2 ; \qquad (3)$$

$$-dF_{x_2} = \Phi_{x_2} z_{\mu_2} dx_2 , \qquad (4)$$

где g_1 и r_{μ_1} – соответственно удельная воздушная магнитная проводимость между стержнями магнитопровода и магнитное сопротивление сердечников;

$g_2 = \frac{1}{r_{\mu_2}}$ – удельная магнитная проводимость измеряемой детали;

Jw_y – удельная МДС.



Р и с. I. Конструкция датчика: I – магнитопровод; 2 – измеряемая деталь; 3 – измерительная обмотка; 4 – возбуждающая обмотка

Вторые производные от потоков Φ_{x_1} и Φ_{x_2} по dx_1 и dx_2 из выражений (I) и (3) с учетом (2) и (4) дают дифференциальные уравнения:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d^2\Phi_{x_1}}{dx_1^2} - \Phi_{x_1} g_1 r_{\mu_1} = Jw_y\, g_1; \\ &\frac{d^2\Phi_{x_2}}{dx_2^2} - \Phi_{x_2} g_2 r_{\mu_2} = 0. \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

Общие решения полученных уравнений имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_{x_1} &= A_1 e^{\gamma_1 x_1} + Б_1 e^{-\gamma_1 x_1} - Iw_y \frac{1}{z_{\mu_1}}; \\ \Phi_{x_2} &= A_2 e^{\gamma_2 x_2} + Б_2 e^{-\gamma_2 x_2}, \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

где $\gamma = \sqrt{z_\mu g}$.

Постоянные интегрирования A_1, $Б_1$, A_2, $Б_2$, определяются из граничных условий:

$$\left.\begin{aligned} & F_{x_1=0} = 0; \\ & \Phi_{x_1=e} = \Phi_{x_2=0}; \\ & F_{x_1=e} - \Phi_{x_2=0}\, z_{\mu\delta} = F_{x_2=0}; \\ & \Phi_{x_2=e_2} = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

где $z_{\mu\delta}$ - магнитное сопротивление воздушного зазора.

Определим величины z_{μ_2} и g_2.

Известно, что магнитное сопротивление стали определяется по формуле

$$z_m = \frac{F}{\Phi} = \frac{F}{B_0 S}. \qquad (8)$$

В то же время, если на поверхности измеряемой детали индукция поля равна B_0, то с увеличением координаты x_2 индукция магнитного поля B_{x_2} уменьшается. При условии, что $\mu_2 = const$, т.е. μ_2 не зависит от напряженности магнитного поля, индукцию B_{x_2} можно определить по формуле

$$B_{x_2} = \frac{B_0}{\sqrt{\frac{ch\, kx_2 + \cos kx_2}{2}}}. \qquad (9)$$

Тогда магнитное сопротивление измеряемой детали с учетом затухания поля с увеличением x_2 будет равно:

$$z'_m = f(x_2) = \frac{F}{B_0 S}\sqrt{\frac{ch\, kx_2 + \cos kx_2}{2}}, \qquad (10)$$

где B_0 - индукция поля на поверхности, т.е. при $x_2 = 0$;

$k = \sqrt{\frac{\omega \mu_2 \gamma_g}{2}}$; γ_g - электропроводность детали.

Следовательно, z_{μ_2} и g_2 будут равны:

$$\left.\begin{aligned} z_{\mu_2} &= \rho_\mu \frac{1}{S}\sqrt{\frac{ch\, kx_2 + \cos kx_2}{2}} = \frac{1}{\mu_{2\sigma}\, bc}\sqrt{\frac{ch\, kx_2 + \cos kx_2}{2}}; \\ g_2 &= \mu_{2\sigma}\frac{b}{a}\frac{1}{\sqrt{\frac{ch\, kx_2 + \cos kx_2}{2}}}, \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

где a, b, c – геометрические размеры магнитопровода.
Магнитная проницаемость μ_2 измеряемой детали изменяется под действием механических напряжений по линейному закону

$$\mu_{2\sigma} = \mu_2 (1 + k\sigma), \qquad (12)$$

где k – коэффициент магнитоупругости материала.

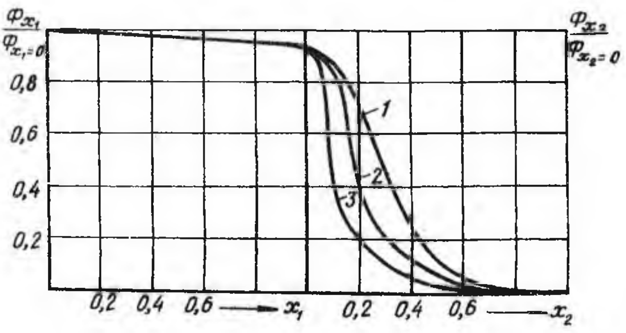
Рассчитывая постоянные интегрирования методом определителей, получаем выражения для магнитных потоков в магнитопроводе и измеряемой детали:

$$\Phi_{x_1} = \frac{Jw_y}{z_{\mu_1}} \left\{ \frac{2\left(\frac{\gamma_2}{g_2} ch\beta_2 + z_{\mu\sigma} sh\beta_2\right) ch\gamma x_1}{\left(\frac{\gamma_2}{g_2} + \frac{\gamma_1}{g_1}\right) ch(\beta_1+\beta_2) + \left(\frac{\gamma_2}{g_2} - \frac{\gamma_1}{g_1}\right) ch(\beta_1-\beta_2) + z_{\mu\sigma}\left[sh(\beta_1+\beta_2) - sh(\beta_1-\beta_2)\right]} - 1 \right\}$$

$$\Phi_{x_2} = \frac{Jw_y}{z_{\mu_1}} \cdot \frac{2\frac{\gamma_1}{g_1} sh\beta_1\, sh(\gamma_2 x_2 - \beta_2)}{\left(\frac{\gamma_2}{g_2} + \frac{\gamma_1}{g_1}\right) ch(\beta_1+\beta_2) + \left(\frac{\gamma_2}{g_2} - \frac{\gamma_1}{g_1}\right) ch(\beta_1-\beta_2) + z_{\mu\sigma}\left[sh(\beta_1+\beta_2) - sh(\beta_1-\beta_2)\right]}, \qquad (13)$$

где $\beta = \gamma e$.

На рис. 2 представлены зависимости относительных потоков $\Phi_x = \frac{\Phi_x}{\Phi_{x=0}} = f(X)$ при различных механических напряжениях σ в измеряемой детали. Из графиков видно, что для конструкции датчика рассеяние магнитного потока в магнитопроводе незначительно. В то же время распределение магнитного потока по глубине измеряемой детали даже с учетом того, что в уравнениях (5) принято $\mu_2 = const$, ярко выражено.



Р и с. 2. Потокораспределение в магнитопроводе и измеряемой детали при $\sigma = 0$ (1); $\sigma = 4$ (2); $\sigma = 8$ кг/мм² (3)

Из выражений (I3) можно определить индуктивность измерительной (возбуждающей) обмотки:

$$L = \frac{1}{J}\int_0^{\ell_1} \Phi_{x_1} W_y \, dx_1 + \frac{W}{J}\int_0^{\ell_2} \Phi_{x_2 y} \, dx_2 =$$

$$= \frac{2W_1^2}{z\mu_1 \ell_1}\left\{\frac{\frac{1}{\beta_1}\left(\frac{\gamma_2}{g_2} ch\beta_2 + z_{\mu\sigma} sh\beta_2\right) sh\beta_1 + \frac{1}{\beta_2}\left(\frac{\gamma_1}{g_1} sh\beta_1 - \frac{\gamma_1}{g_1} sh\beta_1 ch\beta_2\right).}{\left(\frac{\gamma_2}{g_2} + \frac{\gamma_1}{g_1}\right) ch(\beta_1+\beta_2) + \left(\frac{\gamma_2}{g_2} - \frac{\gamma_1}{g_1}\right) ch(\beta_1-\beta_2) + z_{\mu\sigma}\left[sh(\beta_1+\beta_2) - sh(\beta_1-\beta_2)\right]} - 1\right\}. \quad (14)$$

Полученное выражение (I4) позволяет с большей точностью определить индуктивность измерительной обмотки с учетом потокораспределения в измеряемой детали, что дает возможность проектировать магнитоупругие датчики для измерения механических напряжений с заданными параметрами.

Литература

I. Механцев Ю.Я. Магнитоупругие датчики для исследования остаточных напряжений. Свердловск, издательство Уральского гос. университета им. А.М.Горького, I97I, с. 9I-III.

2. Фридман Л.А. и др. О чувствительности феррозондатчика П-образной формы. "Дефектоскопия", I975, № I, с. 33-37.

3. Чаплыгин В.И., Безотосный В.Ф. Электромагнитный преобразователь с уменьшенным влиянием зазоров. М., Известия вузов "Приборостроение", I975, № 8, с. 49-52.

4. Катлянский Н.И. и др. Теоретические основы электротехники. М.,-Л., Госэнергоиздат, I96I, с. 494.

УДК 68I.325.3

В.М.Гречишников

НОНИУСНЫЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ "УГОЛ-КОД"

Оптоэлектронный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) угловых перемещений является одним из наиболее распространенных элементов цифровых систем управления. Как правило, высокие метрологические свойства АЦП достигаются за счет снижения их быстродействия, увеличения габаритов кодирующих узлов и создания специальных условий экс-