

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ, ВНОСИМЫХ В КРУГОВОЙ КОНТУР ОГРАНИЧЕННОЙ ПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В работе [1] приведен приближенный метод расчета вносимого активного и реактивного сопротивления витка, находящегося вблизи ограниченной с двух сторон проводящей поверхности. Однако в полученных авторами расчетных выражениях не учтено влияние боковых поверхностей.

В данной работе дается уточненный расчет вносимых параметров витка для любых соотношений $\frac{b}{a}$ с учетом влияния боковых поверхностей. В ранее полученные выражения [1] для вносимого активного сопротивления $R_{\text{вн}}$ и вносимой индуктивности $L_{\text{вн}}$ введем следующие поправки.

1. В расчетных формулах для $R_{\text{вн.г}}$ и $L_{\text{вн.г}}$ от горизонтальной поверхности при вычислении элементарной площади $\Delta S_{\text{г}}$ под датчиком на проводящей поверхности, на которой значение нормальной и тангенциальной составляющих напряженности магнитного поля можно считать постоянными (рис. 1), будем использовать в зависимости от соотношения между b и ρ выражения:

$$\text{а) при } \frac{\rho}{a} > \frac{b}{2a}, \Delta S_{\text{г}} = 2\rho a \Delta\rho = 0,4\rho a \cdot \arcsin \frac{b}{2\rho}, \quad (1)$$

$$\text{б) при } \frac{\rho}{a} \leq \frac{b}{2a}, \Delta S_{\text{г}} = 2\pi\rho \Delta\rho = 0,2\pi\rho a. \quad (2)$$

Тогда с учетом вышеизложенного выражения, полученные в работе [1], приводятся к виду

$$R_{\text{вн.г}} = \frac{1}{32\sqrt{2}\pi^2} \sqrt{\frac{\omega\mu_2}{\sigma_2}} \left[0,2\pi \sum_{\frac{\rho}{a}=0}^{\frac{\rho}{a}=\frac{b}{2a}} \frac{A^2}{\rho/a} + 0,4 \sum_{\frac{\rho}{a}=\frac{b}{2a}+\frac{\Delta\rho}{a}}^{\frac{\rho}{a}=\frac{b}{a}} \frac{A^2}{\rho/a} \arcsin \frac{b}{\frac{\rho}{a}} \right] =$$

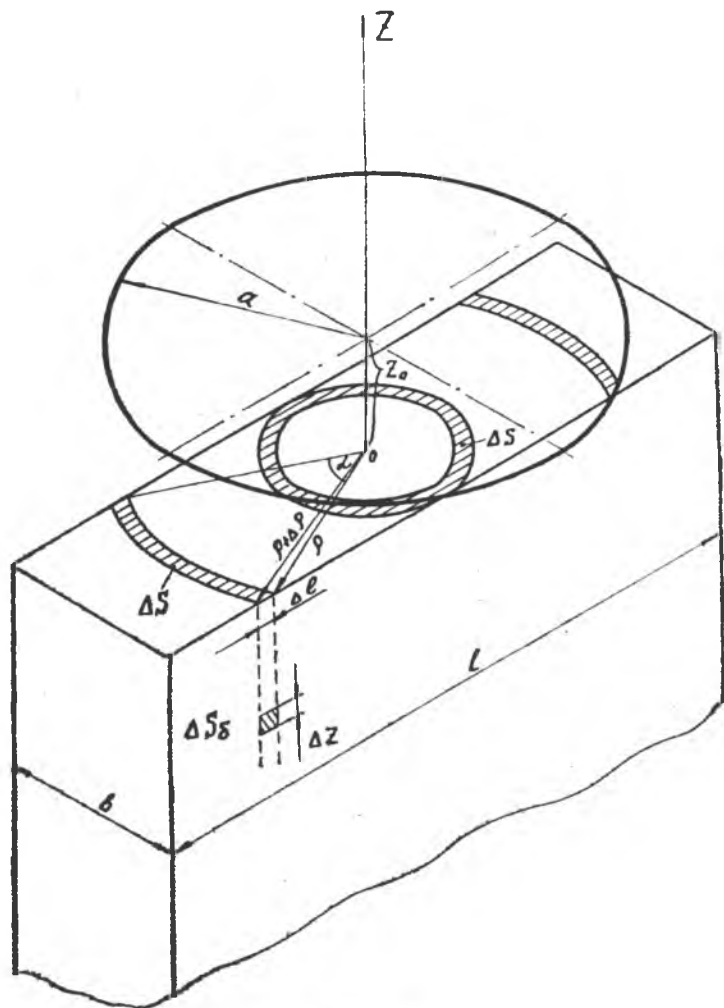


Рис. 1

$$= \frac{1}{32\sqrt{2}\pi^2} \sqrt{\frac{\omega\mu^2}{\sigma^2}} \cdot G_r\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right). \quad (3)$$

$$L_{\text{внр}} = \frac{\mu_1 a}{4\pi} \left(0,2\pi \sum_{\frac{\rho}{a}=0}^{\frac{\rho}{a}=\frac{b}{2a}} \cdot B \cdot \frac{\rho}{a} + 0,4 \sum_{\frac{\rho}{a}=\frac{b}{2a}+\frac{\Delta\rho}{a}}^{\frac{\rho}{a}=1} B \cdot \frac{\rho}{a} \cdot \arcsin \frac{\frac{b}{2a}}{\frac{\rho}{a}} \right) - \frac{R_{\text{вн}}}{\omega} =$$

$$= \frac{\mu_1 \cdot a}{4\pi} \cdot D\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right) - \frac{R_{\text{вн}}}{\omega}, \quad (4)$$

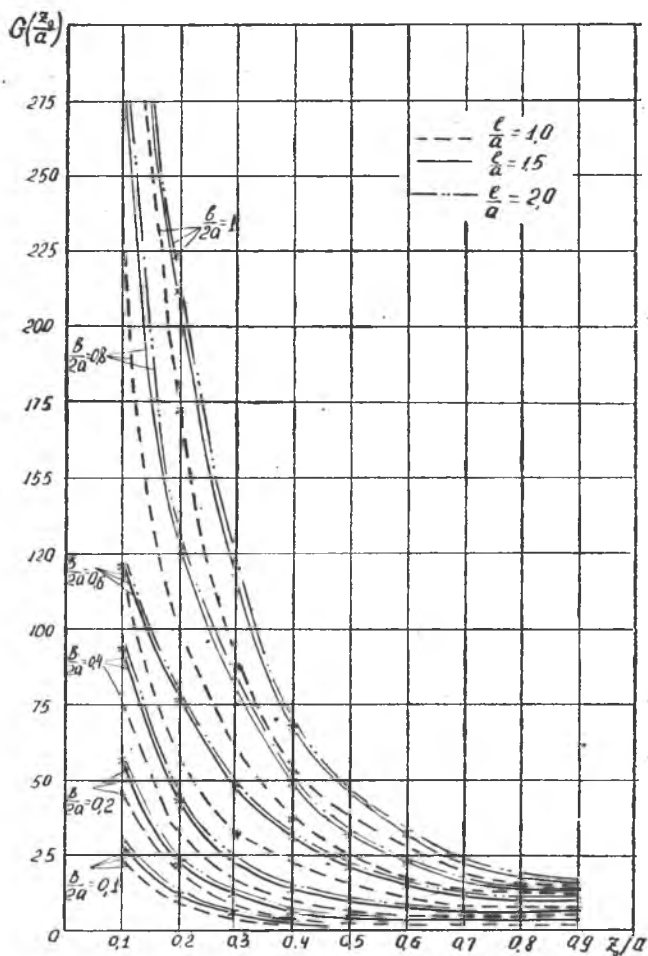


Рис. 2

где $G_r\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right)$ и $D\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right)$ — являются функциями относительно перемещения: $\frac{z_0}{a}$ и ширины пластины $\frac{b}{2a}$. Они рассчитаны на ЭВМ и их значения для различных соотношений $\frac{b}{2a}$ и $\frac{l}{a}$ представлены на рис. 2,3. Отсюда видно, что при $\frac{l}{a} > 1,5$ эти функции мало отличаются друг от друга и при этом длина l не оказывает существенного влияния на их значения.

2. Учет влияния боковых поверхностей на вносимые параметры через мощность потерь на вихревые токи в них. Вносимое в

виток активное сопротивление от действия боковых граней определяется выражением

$$R_{\text{внб}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot I^2} \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_2}{\sigma_2}} \left[\int_{S_{\delta}} \cdot H_{\text{н}}^2 \cdot d \cdot S_{\delta} + \int_{S_{\delta}} \left(H_{\rho} \cos \frac{\alpha}{2} \right)^2 \cdot d S_{\delta} \right], \quad (5)$$

так как $H_{\text{н}}$ и $H_{\rho} \cos \frac{\alpha}{2}$ являются касательными составляющими напряженности магнитного поля для боковых поверхностей. Выра-

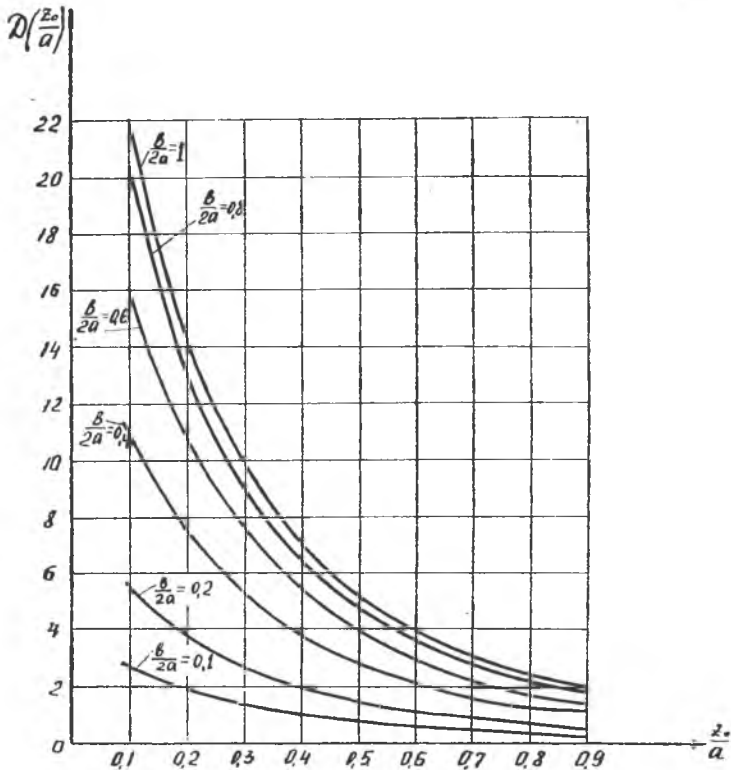


Рис. 3

жение (5) аналитически не определяется, а вычисляется разложением в сумму

$$\begin{aligned} R_{\text{внб}} &= \frac{1}{16 \sqrt{2} \pi^2} \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_2}{\sigma_2}} \iint_z \int_l \left(\frac{B^2}{a^2} + \frac{A^2}{\rho^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right) dz \cdot dl = \\ &= \frac{1}{16 \sqrt{2} \pi^2} \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_2}{\sigma_2}} \sum_{z=z_0}^{\infty} \sum_0^l \left(\frac{B^2}{a^2} + \frac{A^2}{\rho^2} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right) \Delta z \Delta l; \quad (6) \end{aligned}$$

где $\Delta S_{\delta} = \Delta z \Delta l$ — элементарная площадка на боковой поверхности

сти, на которой значение \bar{H} можно считать постоянным. Выразим Δl и $\cos^2 \frac{\alpha}{2}$ через координату ρ и ширину пластины b .

$$\Delta l = \sqrt{(\rho + \Delta\rho)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} - \sqrt{\rho^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2};$$

$$\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \rho^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2 \quad (7)$$

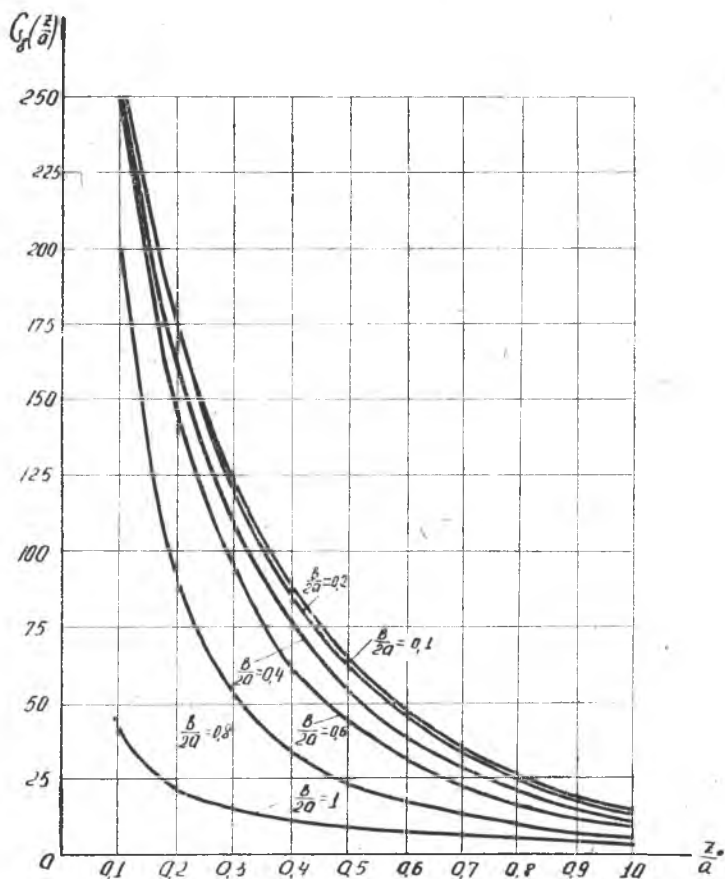


Рис. 4

Подставляя (7) в (6) и учитывая суммарное влияние противоположных боковых граней, получим

$$R_{\text{вн.б}} = \frac{1}{8\sqrt{2\pi^2}} \cdot V \frac{\omega \cdot \mu_2}{\sigma_2} \sum_{z=2a}^{z=\infty} \sum_{\rho=-\frac{b}{2}}^{\rho=\infty} \left[\frac{B^2}{a^2} + \frac{A^2}{\rho^2} \left(1 - \frac{b^2}{4\rho^2} \right) \right] \times$$

$$\times \left[\sqrt{(\rho + \Delta\rho)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} - \sqrt{\rho^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} \right]. \quad (8)$$

С достаточной для практических расчетов точностью можно принять

$$\Delta z = \Delta\rho = 0,1a$$

Окончательно получим

$$R_{\text{вн},6} = \frac{1}{80\sqrt{2}\pi^2} \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_2}{\sigma_2}} \sum_{\frac{z}{a}=\frac{z_0}{a}}^{\frac{z}{a}=2} \sum_{\frac{p}{a}=\frac{b}{2a}}^{\frac{p}{a}=2} \left[B^2 + A^2 \frac{\left(\frac{p}{a}\right)^2 - \left(\frac{b}{2a}\right)^2}{\left(\frac{p}{a}\right)^4} \right] \times$$

$$\times \left[\sqrt{\left(\frac{p}{a} + 0,1\right)^2 - \left(\frac{b}{2a}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{p}{a}\right)^2 - \left(\frac{b}{2a}\right)^2} \right] =$$

$$= \frac{1}{80\sqrt{2}\pi^2} \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_2}{\sigma_2}} \cdot G_6\left(\frac{z}{a}, \frac{b}{2a}\right). \quad (9)$$

Коэффициент $G_6\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right)$ зависит только от размеров датчика, ширины пластины и расстояния от плоскости датчика до контролируемой поверхности. По результатам расчета построены нормированные графические зависимости $G_6\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right)$ для различных соотношений $\frac{b}{2a}$ (рис. 4).

Влияние боковых граней на величину вносимой индуктивности учитывается добавлением в формулу (4) дополнительного члена, равного

$$L_{i6} = \frac{R_{\text{вн}6}}{\omega}. \quad (10)$$

Окончательные выражения для $R_{\text{вн}}$ и $L_{\text{вн}}$ с учетом вышеизложенного будут иметь вид

$$\left\{ R_{\text{вн}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi^2} \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{\sigma_2}} \left[\frac{1}{32} G_7\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right) + \frac{1}{80} G_6\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right) \right]; \quad (11)$$

$$\left\{ L_{\text{вн}} = \frac{\mu_2 a}{4\pi} \cdot D\left(\frac{z_0}{a}, \frac{b}{2a}\right) - \frac{R_{\text{вн}7} + R_{\text{вн}6}}{\omega}. \quad (12)$$

Таким образом, получены новые расчетные выражения, которые позволяют более точно определить вносимые параметры в круговой контур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматические измерительные и регулирующие устройства. Научные труды вузов Поволжья. Вып. IV, Куйбышев, 1968.