

В. Г. НИКИТИН

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОГО СИГНАЛА НА АМПЛИТУДНУЮ И ФАЗОВУЮ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Трансформаторные преобразователи перемещения нашли широкое применение в авиационной промышленности как датчики различных информационно-измерительных систем. Основной их недостаток — наличие остаточного сигнала при нейтральном положении подвижного элемента — вызывает искажение амплитудной и фазовой характеристик преобразователя, являющееся источником дополнительных погрешностей системы в целом. Уменьшение остаточного сигнала в самом датчике является актуальной задачей.

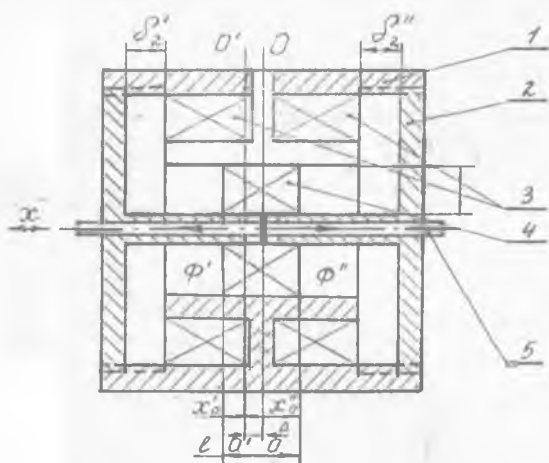


Рис. 1.

На рис. 1 приведена конструкция дифференциально-трансформаторного преобразователя линейных перемещений с регулируемой магнитной цепью, позволяющего без применения фазовых

дискриминаторов, усложняющих аппаратуру, полностью избавиться от квадратурной составляющей в остаточном сигнале.

Материал магнитопровода — сталь АРМКО.

В цилиндрический корпус преобразователя 1 устанавливаются подвижные крышки 2, позволяющие изменять комплексные магнитные сопротивления обеих, относительно оси симметрии ОО, половин датчика за счет изменения величин нерабочих зазоров δ_2 . Обмотка возбуждения 3 состоит из двух секций, включенных последовательно и встречно, и создающих соответственно потоки Φ' и Φ'' . Магнитные потоки, пронизывая витки вторичной обмотки 4, укрепленной на подвижном штоке 5, наводят э. д. с.:

$$\begin{aligned} e_2' &= -j \cdot \omega \cdot W_2 \cdot \Phi', \\ e_2'' &= -j \cdot \omega \cdot W_2 \cdot \Phi'', \end{aligned} \quad (1)$$

где ω — круговая частота,

W_2 — число витков вторичной обмотки.

Максимальная координата перемещения x_{\max} подвижной обмотки (шириной l) в рабочем зазоре δ_1 (влево и вправо от оси симметрии ОО) ограничена координатой потока рассеяния.

Выходной сигнал, снимаемый с клемм вторичной обмотки, равен

$$e_{\text{вых}} = e_2 = e_2' + e_2'' \quad (2)$$

В идеальном случае (магнитная и геометрическая нейтрали датчика совпадают с осью симметрии ОО) векторы E'_{20} и E''_{20} равны по амплитуде и противофазны, тогда

$$E_{\text{вых}0} = E_{20} = E'_{20} - E''_{20} = 0. \quad (3)$$

В реальном случае (магнитная нейтраль сдвинута относительно геометрической нейтрали на величину Δ) амплитуды векторов неравны $E'_{20} \neq E''_{20}$, угол сдвига фаз равен $180^\circ \pm \beta$, тогда

$$E_{\text{вых}0} = E_{20} = E_{\text{ост}} \neq 0. \quad (4)$$

На рис. 2 представлена векторная диаграмма, соответствующая реальному случаю, при рабочем перемещении подвижной обмотки влево относительно оси симметрии и положительном β , возникшем в результате рассогласования правой половины датчика. Во всех остальных возможных случаях (рабочее перемещение вправо от оси симметрии; рассогласована левая половина датчика; угол β — отрицательный) характер процессов не меняется, только вектор $E_{\text{вых}}$ меняет направление вращения.

Из векторной диаграммы видно, что остаточный сигнал не только искажает амплитудную характеристику, но и приводит к изменению фазовой характеристики преобразователя, т. к. вектор выходного напряжения вращается относительно опорного напряжения,

Считая характеристику датчика линейной, можно записать:

$$E_2' = E_{20}' + S \cdot x, \quad (5)$$

$$E_2'' = E_{20}'' - S \cdot x,$$

где E_{20}' и E_{20}'' — э. д. с. соответственно левой и правой половин вторичной обмотки датчика в нейтральном положении;

S — чувствительность датчика;

x — координата перемещения.

Тогда

$$E_{\text{вых}} = \sqrt{(E_2')^2 + (E_2'')^2 - 2 \cdot E_2' \cdot E_2'' \cdot \cos \beta}. \quad (6)$$

$$E_{20}' = \frac{E_{20}}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (7)$$

$$E_{20}'' = \frac{E_{20}}{\sin \beta}. \quad (8)$$

С учетом (4), (5), (7), (8) после преобразований будем иметь:

$$E_{\text{вых}} = \sqrt{2 \cdot S^2 x^2 (1 + \cos \beta) - 2 \cdot S \cdot x \cdot \sin \beta \cdot E_{\text{ост}} + E_{\text{ост}}^2} \quad (9)$$

Первая производная по перемещению будет равна:

$$\frac{dE_{\text{вых}}}{dx} = \frac{2 \cdot S^2 \cdot x (1 + \cos \beta) - S \cdot \sin \beta \cdot E_{\text{ост}}}{\sqrt{2 \cdot S^2 \cdot x^2 (1 + \cos \beta) - 2 \cdot S \cdot x \cdot \sin \beta \cdot E_{\text{ост}} + E_{\text{ост}}^2}}. \quad (10)$$

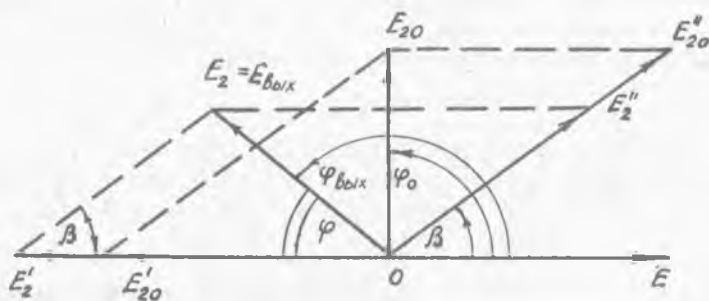


Рис. 2.

Для нахождения фазовой характеристики преобразователя обратимся опять к векторной диаграмме:

$$\frac{E_{\text{вых}}}{\sin \beta} = \frac{E_2''}{\sin \varphi}. \quad (11)$$

Так как

$$\varphi = \pi - \varphi_{\text{вых}}, \quad (12)$$

то, учитывая (4), (5), (8), можно записать:

$$\sin \varphi = \frac{\left(\frac{E_{\text{ост}}}{\sin \beta} - S \cdot x \right) \sin \beta}{E_{\text{вых}}}, \quad (13)$$

Тогда

$$\varphi_{\text{вых}} = \pi - \arcsin \frac{\left(\frac{E_{\text{ост}}}{\sin \beta} - S \cdot x \right) \sin \beta}{E_{\text{вых}}}, \quad (14)$$

Первая производная по перемещению будет равна:

$$\frac{d\varphi_{\text{вых}}}{dx} = \frac{S \cdot \sin \beta \cdot E_{\text{вых}} + \left[\left(\frac{E_{\text{ост}}}{\sin \beta} - S \cdot x \right) \sin \beta \right] \frac{dE_{\text{вых}}}{dx}}{E_{\text{вых}}^2 \sqrt{1 - \left[\frac{\left(\frac{E_{\text{ост}}}{\sin \beta} - S \cdot x \right) \sin \beta}{E_{\text{вых}}} \right]^2}}. \quad (15)$$

Полученные выражения (9) и (14) позволяют определять амплитудную и фазовую характеристики трансформаторных преобразователей с учетом всех основных параметров: чувствительности, остаточного сигнала, перемещения.

Угол рассогласования β может быть найден конкретно для каждой конструкции. В нашем случае, воспользовавшись обозначениями рис. 1 и рис. 2, имеем:

$$E_{\text{ост}} = E_{20} = \sqrt{(E_{20}'')^2 - (E_{20}')^2}. \quad (16)$$

$$\Delta = x_0'' - x_0'. \quad (17)$$

$$l = x_0' + x_0''. \quad (18)$$

Учитывая (5), (17), (18):

$$E_{\text{ост}} = S \cdot \sqrt{l \cdot \Delta}. \quad (19)$$

$$E_{\text{ост}} = S \cdot x_0' \cdot \text{tg } \beta. \quad (20)$$

Откуда

$$\beta = \arcsin \frac{E_{\text{ост}}}{S \cdot x_0'}. \quad (21)$$

или

$$\beta = \arcsin \frac{E_{\text{ост}}}{\frac{S}{\frac{1}{2} l - \Delta}}. \quad (22)$$

Величина смещения магнитной нейтрали Δ может быть найдена из выражения (19):

$$\Delta = \frac{\left(\frac{E_{\text{ост}}}{S}\right)^2}{l}. \quad (23)$$

Тогда окончательно имеем:

$$\beta = \text{arc tg} \frac{\left(\frac{E_{\text{ост}}}{S}\right) \cdot l}{\frac{1}{2} l^2 - \left(\frac{E_{\text{ост}}}{S}\right)^2}. \quad (24)$$
