

4. Для формирования сложного сигнала целесообразно варьировать все параметры преобразователя: P — размеры преобразователя, z_0 — исходный зазор, f — частоту тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Изд. ИЛ, М., 1963.
2. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. Физматгиз, М — Л, 1962.
3. Земельман М. А. Точный аналого-цифровой преобразователь на грубых элементах. «Измерительная техника», № 9, 1964.
4. Быховский Ю. С. Автоматическое определение чувствительности бесконтактного преобразователя перемещений и вибраций. «Известия вузов». Приборостроение, № 9, 1968.
5. Пустынников В. Г., Анисимов С. Д. Многопараметровый электромагнитный контроль стальных изделий. «Заводская лаборатория», № 10, 1964.
6. Анисимов С. Д. Формирование многочастотного сигнала по количеству информации. «Известия вузов», Электромеханика, № 4, 1965.

В. Н. ОСИПОВ, И. А. ЛИМАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ИНДУКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Динамическая характеристика определяет поведение индуктивного преобразователя при быстрых изменениях входной величины, она зависит от внутренней структуры датчика и его элементов.

Рассматривая принцип действия индуктивного преобразователя [1], нетрудно заметить, что он обычно состоит из двух динамических звеньев: механического и электрического.

Пусть изменение потокоцепления преобразователя пропорционально смещению x от положения равновесия якоря. Тогда

$$\psi(x) = \psi_0(1 + \alpha x), \quad (1)$$

где $\psi(x) = \psi_0$, если $x = 0$;

α — определяется из характеристики $\frac{\psi(x)}{\psi_0} = f(x)$.

Такая система обладает двумя степенями свободы и имеет соответственно две обобщенные координаты: смещение x и электрический заряд q , как интеграл от тока i , протекающего через катушку [2]. Функции системы определяются следующими энергетическими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= \frac{mv^2}{2} + \psi(x)i + \frac{Li^2}{2} \\ W_2 &= \frac{kx^2}{2} \\ W_3 &= \frac{fv^2}{2} + \frac{Ri^2}{2} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где m — масса подвижного якоря; v — его скорость; L — индуктивность преобразователя; k — жесткость системы; f — демпфирование или постоянная трения; R — активное сопротивление обмотки.

Применение оператора Лагранжа 2-го рода приводит систему (2) к виду

$$\left. \begin{aligned} L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 + \frac{q_2}{C_2} - R i_1 &= |u_2(t)| \\ L \frac{di_1}{dt} + R i_1 + R i_2 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где i_1 — изменение тока катушки L с активным сопротивлением.

Кроме того, имеем ряд электрических величин — аналогов механической системы преобразователя:

$$g_2 = \frac{\alpha \psi_0}{R} x_1 \text{ — заряд тока; } x_1 \text{ — смещение якоря;}$$

$$i_2 = \frac{\alpha \psi_0}{R} v_1 \text{ — аналоговый ток; } v_1 \text{ — скорость перемещения якоря на пути } x_1;$$

$$L_2 = m \left(\frac{R}{\alpha \psi_0} \right)^2 \text{ — индуктивность;}$$

$$R_2 = f \left(\frac{R}{\alpha \psi_0} \right)^2 \text{ — сопротивление;}$$

$$C_2 = \frac{1}{k} \left(\frac{\alpha \psi_0}{R} \right)^2 \text{ — емкость;}$$

$$u_2(t) = F(t) \frac{R}{\alpha \psi_0} \text{ — напряжение;}$$

$$F(t) \text{ — сила, действующая на якорь.}$$

Чтобы определить постоянную времени системы, перепишем уравнения (3) в виде одного уравнения

$$\begin{aligned} R_2 C_2 \frac{L_2}{R_2} \frac{L}{R} \frac{d^3 i_1}{dt^3} + \left(R_2 C_2 \frac{L_2}{R_2} + \frac{L}{R} R_2 C_2 \right) \frac{d^2 i_1}{dt^2} \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \left(R C_2 + \frac{L}{R} + \right. \\ \left. + R_2 C_2 \right) \frac{d i_1}{dt} + i_1 = \left| \frac{1}{k} \frac{\alpha \psi_0}{R} \frac{dF(t)}{dt} \right|. \end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициенты уравнения (4) определяют постоянные времени системы. Замечаем, что и сами коэффициенты $T_{\text{ом}}$ определяются через постоянные времени отдельных звеньев системы:

$$\tau_0 = \frac{L}{R} \text{ — электрическая постоянная;}$$

$$\tau_1 = R_2 C_2 = \frac{f}{k} \text{ — механическая постоянная;}$$

$$\tau_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{m}{f} \text{ — механическая постоянная;}$$

$$\tau_3 = R C_2 \text{ — электромеханическая постоянная.}$$

Из уравнения (4) получается передаточная функция системы — $W|P|$, которая полностью определяет динамические свойства системы

$$W|p| = \frac{\pm \frac{1}{k} \frac{\alpha \psi_0}{R} p}{T_{03}^3 p^3 + T_{02}^2 p^2 + T_{01} p + 1}. \quad (5)$$

Знак уравнения (5) зависит от выбора направления силы и рабочей точки на характеристике катушки датчика, т. е. на $\frac{d(x)}{d\psi_0} = f(x_1)$.

Так как передаточные функции разных знаков в нашем случае равноценны, то для построения амплитудно-фазовой характеристики ограничимся положительным значением $W|P|$.

В качестве примера рассчитаны постоянные времени индуктивного преобразователя, встроенного в упругий элемент грузозахватного устройства электродинамометра [3], для которого $m=50$ г, $g=9,8$ м/сек², $F(t)=5000$ н, $x_1=100$ мкм, $L=2$ мГн, $R=33$ ом, $U=6,4$ в.

$$t = \sqrt{\frac{2x_1}{g}} = 4,9 \cdot 10^{-3}, \text{ сек}; \quad (6)$$

$$v = gt = 48 \cdot 10^{-3} \text{ м/сек}; \quad (7)$$

$$f = \frac{F(t)}{v} = 104 \cdot 10^{-3} \text{ кг/сек}; \quad (8)$$

$$k = \frac{F(t)}{x_1} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ кг/сек}^2; \quad (9)$$

$$\tau_2 = 48 \cdot 10^{-8} \text{ сек}; \quad \tau_0 = 60 \cdot 10^{-6} \text{ сек}; \quad \tau_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ сек}; \quad \tau_3 = 0.$$

$$T_{03} = 0,635 \cdot 10^{-13} \text{ сек}; \quad T_{02} = 0,122 \cdot 10^{-6} \text{ сек}; \quad T_{01} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ сек}.$$

С помощью известных теперь постоянных и уравнения (5) нетрудно построить теоретическую амплитудно-фазовую характеристику (АФХ) системы (рис. 1, 2). Сравнение АФХ теоретической с АФХ, построенной по переходному экспериментальному процессу (рис. 3), показывает совпадение теории с экспе-

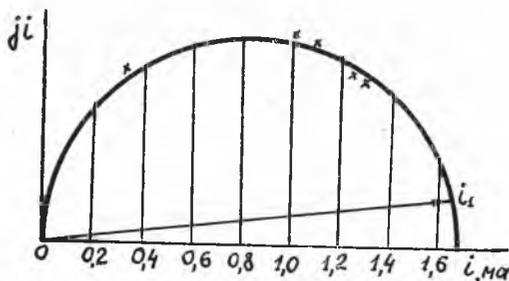


Рис. 1. Амплитудно-фазовая характеристика системы

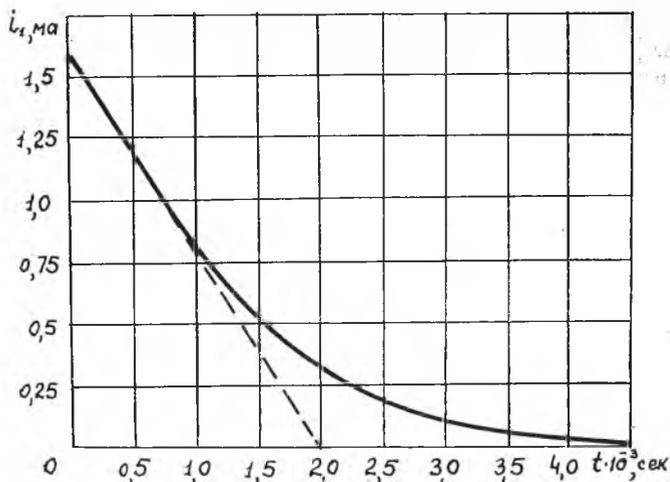


Рис. 2. Переходный процесс тока i_1

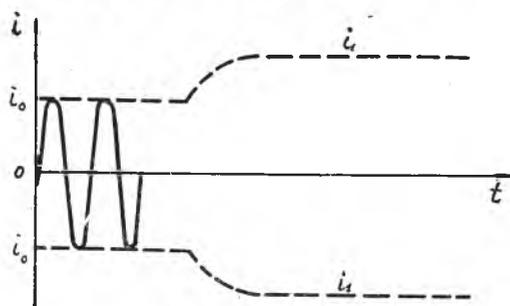


Рис. 3. Копия осциллограммы

риментом (обозначен — X) в пределах погрешностей измерительных приборов. Таким образом, на основании расчетных данных для постоянных времени τ могут быть рассчитаны постоянные времени системы и определены полностью динамические свойства индуктивного преобразователя без проведения специального эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликовский Л. Ф. Зарипов М. Ф. Индуктивные преобразователи перемещения. Изд. «Энергия», 1960.
2. Гарднер М. Ф. и Бернс Дж. Л. Переходные процессы в линейных системах. Физматгиз, М., 1961.
3. Лиманов И. А. Динамометрическое грузозахватное устройство. «Приборостроение», № 7, 1966.