

УДК 53.082.4

Г.Н. Ковшов, д-р техн. наук, проф.,  
Е.А. Пономарева, специалист,  
Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитектуры,  
г. Днепропетровск

## МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОБ ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЕ ПО ПЛОЩАДИ ОТКЛИКА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

*Г.М. Ковшов, О.А. Пономарьова. Метод одержання інформації про вимірювану величину за площею відгуку вихідного сигналу.* Досліджено математичні моделі датчиків лінійних переміщень при паралельному та послідовному з'єднанні елементів. Розроблено метод одержання інформації про вимірювану величину за площею відгуку вихідного сигналу.

*G.N. Kovshov, E.A. Ponomariova. Method of obtaining information about the measured value by the area of the output signal response.* The mathematical models of linear movement pick-ups are investigated at parallel and consecutive connection of parts. The method of obtaining information about the measured value by the area of the output signal response is developed.

Использование систем автоматического управления объектами и процессами обусловлено требованиями неуклонного роста производительности труда и качества продукции, сложностью и постоянно возрастающими скоростями производственных процессов, а также особенностями технологических процессов.

Управление процессами осуществляется на основе сбора, обработки и накопления измерительной информации. Поэтому основными элементами систем управления являются первичные преобразователи, воспринимающие и преобразующие информацию в электрические аналоговые сигналы [1]. Следовательно, исследование и разработка эффективных преобразователей, а также методов получения информации от первичных преобразователей является весьма актуальной задачей.

Существует большое количество преобразователей, предназначенных для измерения самых разных физических величин, например, датчики температуры, давления, линейных и угловых перемещений, скорости, момента, тока, напряжения и др. [2], питание которых может осуществляться как постоянным, так и переменным током или напряжением.

Аналоговые преобразователи с достаточной степенью точности могут быть описаны дифференциальными уравнениями первого и второго порядка [3, 4]. Источником информации об измеряемой величине при их использовании служит, как правило, амплитуда выходного сигнала. Однако, нередки случаи, когда для контроля и регулирования технологического параметра такой метод не всегда удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к точности измерения, т.к. амплитуда выходного сигнала не несет полной и точной информации об измеряемом параметре, что приводит к увеличению общей погрешности измерения.

Выбор в качестве первичного преобразователя феррозонда с импульсным возбуждением [5, 6] имеет ряд преимуществ по сравнению с питанием датчика синусоидальным напряжением. Возможность получения информации за время действия импульса возбуждения длительностью 0,5...1,0 мкс обеспечивает необходимый режим энергосбережения и высокую помехоустойчивость. Однако, об измеряемом параметре судят по амплитуде выходного сигнала, т.е. данный способ также обладает указанными недостатками.

Для повышения точности измерений предлагается в качестве источника информации об измеряемой величине при импульсном питании преобразователя использовать площадь отклика выходного сигнала.

Составим математическую модель датчика линейного перемещения.

Существует две схемы соединения элементов датчиков — последовательная и параллельная (рис. 1).

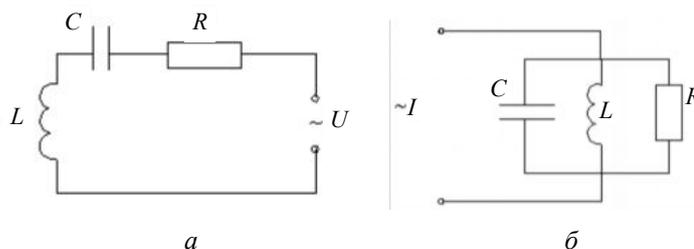


Рис. 1. Схема электрического контура с последовательным (а) и параллельным (б) соединением элементов  $L$ ,  $R$ ,  $C$  цепи

Математическая модель датчика при последовательном соединении

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = u(t), \quad (1)$$

при параллельном соединении

$$C \frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{du}{dt} + \frac{1}{L} u = i(t) \quad (2)$$

Уравнения (1), (2) представляют собой линейные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами и правой частью [3]. Решим уравнение (2). Для этого, упрощая данное уравнение, запишем

$$C \ddot{u} + \frac{1}{R} \dot{u} + \frac{1}{L} u = i(t), \quad \text{при } t > 0. \quad (3)$$

Решим уравнение (3) учитывая, что

$$x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0. \quad (4)$$

Здесь функция  $i(t)$  задается формулой

$$i(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq t \leq a, \\ A, & \text{при } a < t < b, \\ 0, & \text{при } t \geq b. \end{cases} \quad (5)$$

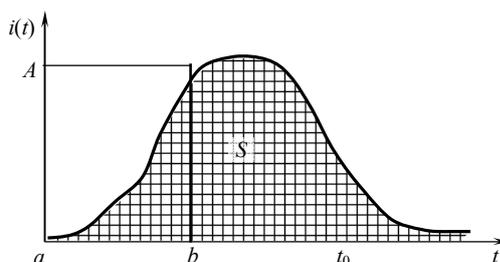


Рис. 2. Характер выходного сигнала датчика под действием импульса внешней силы:  $ab$  — ширина импульса,  $A$  — амплитуда выходного сигнала,  $S$  — площадь выходного сигнала

Найдем общее решение уравнения (3) методом вариации произвольных постоянных. Для этого рассмотрим однородное уравнение

$$C \ddot{u} + \frac{1}{R} \dot{u} + \frac{1}{L} u = 0. \quad (6)$$

Корни характеристического уравнения  $C\alpha^2 + \frac{1}{R}\alpha + \frac{1}{L} = 0$ :

$$\alpha_1 = \frac{-1/R + \sqrt{1/R^2 - 4C/L}}{2C}, \quad \alpha_2 = \frac{-1/R - \sqrt{1/R^2 - 4C/L}}{2C}.$$

В зависимости от величины элемента  $R$  корни уравнения могут принимать различные значения, чем и будет определяться вид решения исходного уравнения (3).

При  $R > 1$  оба корня вещественные и разные, переходный процесс носит аperiodический характер.

На основании теории линейных дифференциальных уравнений решение уравнения (6) имеет вид

$$i(t) = C_1 e^{\alpha_1 t} + C_2 e^{\alpha_2 t}.$$

Далее решение уравнения (3) будем искать в виде

$$i(t) = C_1(t) e^{\alpha_1 t} + C_2(t) e^{\alpha_2 t}, \quad (7)$$

где функции  $C_i(t)$ ,  $i=1, 2$ , удовлетворяют соотношению

$$C_1'(t) e^{\alpha_1 t} + C_2'(t) e^{\alpha_2 t} = 0. \quad (8)$$

Подставляя функцию (7) в уравнение (3) и учитывая соотношение (8), получаем равенство

$$C_1'(t) \alpha_1 e^{\alpha_1 t} + C_2'(t) \alpha_2 e^{\alpha_2 t} = \frac{i(t)}{C}. \quad (9)$$

Из уравнений (8), (9) находим

$$C_1'(t) = -\frac{i(t)}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} e^{-\alpha_1 t}, \quad C_2'(t) = \frac{i(t)}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} e^{-\alpha_2 t}.$$

Следовательно,

$$C_1(t) = C_1(0) - \int_0^t \frac{i(\tau)}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} e^{-\alpha_1 \tau} d\tau, \quad C_2(t) = C_2(0) + \int_0^t \frac{i(\tau)}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} e^{-\alpha_2 \tau} d\tau, \quad (10)$$

где  $\tau$  — независимая переменная интегрирования.

Таким образом, согласно (7), (10) получено общее решение неоднородного уравнения (3)

$$i(t) = C_1(0) e^{\alpha_1 t} + C_2(0) e^{\alpha_2 t} + \frac{1}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \int_0^t i(\tau) [e^{\alpha_2(t-\tau)} - e^{\alpha_1(t-\tau)}] d\tau, \quad (11)$$

откуда

$$i'(t) = C_1(0) \alpha_1 e^{\alpha_1 t} + C_2(0) \alpha_2 e^{\alpha_2 t} + \frac{1}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \int_0^t i(\tau) [\alpha_2 e^{\alpha_2(t-\tau)} - \alpha_1 e^{\alpha_1(t-\tau)}] d\tau. \quad (12)$$

Полагая в (11) и (12)  $t=0$ , согласно начальным условиям (4) получаем

$$C_1(0) + C_2(0) = 0, \quad C_1(0) \alpha_1 + C_2(0) \alpha_2 = 0.$$

Так как предполагали, что  $\alpha_1 \neq \alpha_2$ , то

$$C_1(0) = 0 \quad \text{и} \quad C_2(0) = 0.$$

Решение задачи (3), (4) определяется по формуле

$$i(t) = \frac{1}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \int_0^t i(\tau) [e^{\alpha_2(t-\tau)} - e^{\alpha_1(t-\tau)}] d\tau, \quad (13)$$

а с учетом вида функции (5) получаем

$$i(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq t \leq a, \\ \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \left[ \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1 \alpha_2} + \frac{1}{\alpha_2} e^{\alpha_2(t-a)} - \frac{1}{\alpha_1} e^{\alpha_1(t-a)} \right], & \text{при } a \leq t \leq b, \\ \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \left\{ \frac{e^{\alpha_2 t}}{\alpha_2} [e^{-\alpha_2 a} - e^{-\alpha_2 b}] + \frac{e^{\alpha_1 t}}{\alpha_1} [e^{-\alpha_1 b} - e^{-\alpha_1 a}] \right\}, & \text{при } t < b. \end{cases} \quad (14)$$

Из уравнения (14) получаем, что при  $a \leq t \leq b$

$$i'(t) = \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \left[ \frac{1}{\alpha_2^2} e^{\alpha_2(t-a)} - \frac{1}{\alpha_1^2} e^{\alpha_1(t-a)} \right] > 0, \quad (15)$$

при  $t > b$

$$i'(t) = \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \left\{ \frac{e^{\alpha_2 t}}{\alpha_2^2} (e^{-\alpha_2 a} - e^{-\alpha_2 b}) + \frac{e^{\alpha_1 t}}{\alpha_1^2} (e^{-\alpha_1 b} - e^{-\alpha_1 a}) \right\}, \quad (16)$$

и для  $t \gg 1$   $i'(t) < 0$ .

При  $t$ , удовлетворяющем соотношению

$$e^{(\alpha - \alpha_1)t} = \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1^2} \left( \frac{e^{-\alpha_1 a} - e^{-\alpha_1 b}}{e^{-\alpha_2 a} - e^{-\alpha_2 b}} \right),$$

т.е. если

$$t = t_0 = \frac{1}{(\alpha_2 - \alpha_1)} \ln \left[ \frac{\alpha_2^2}{\alpha_1^2} \left( \frac{e^{-\alpha_1 a} - e^{-\alpha_1 b}}{e^{-\alpha_2 a} - e^{-\alpha_2 b}} \right) \right],$$

то производная  $i'(t_0) = 0$ .

Таким образом, площадь функции  $i=i(t)$  (см. рисунок 2)

$$\begin{aligned} S &= \int_a^b \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \left[ \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1 \alpha_2} + \frac{1}{\alpha_2} e^{\alpha_2(t-a)} - \frac{1}{\alpha_1} e^{\alpha_1(t-a)} \right] dt + \\ &+ \int_b^{+\infty} \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \left\{ \frac{e^{\alpha_2 t}}{\alpha_2} [e^{-\alpha_2 a} - e^{-\alpha_2 b}] + \frac{e^{\alpha_1 t}}{\alpha_1} [e^{-\alpha_1 b} - e^{-\alpha_1 a}] \right\} dt = \\ &= \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \left\{ \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1 \alpha_2} (b-a) + (e^{\alpha_2(b-a)} - 1) - \frac{1}{\alpha_1^2} (e^{\alpha_1(b-a)} - 1) - \right. \\ &\left. - \frac{1}{\alpha_2^2} (e^{\alpha_2(b-a)} - 1) - \frac{1}{\alpha_1^2} (1 - e^{\alpha_1(b-a)}) \right\} \frac{A}{C(\alpha_2 - \alpha_1)} \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{\alpha_1 \alpha_2} (b-a) = \\ &= \frac{A}{C\alpha_1\alpha_2} (b-a). \end{aligned}$$

Так как  $\alpha_1\alpha_2 = \frac{1}{LC}$ , то

$$S = A(b-a)L. \quad (17)$$

Формула (17) показывает, что при параллельном соединении элементов площадь отклика выходного сигнала зависит от амплитуды  $A$  входного сигнала, ширины импульса  $(b-a)$  и индуктивности  $L$  катушки датчика.

Если произвести аналогичные вычисления для выражения (1), то результирующая формула будет иметь вид

$$S = A(b - a)C. \quad (18)$$

Таким образом, при последовательном соединении элементов площадь отклика выходного сигнала зависит как от амплитуды  $A$  входного сигнала, ширины импульса  $(b - a)$ , так и от емкости конденсатора  $C$ .

Предлагаемый метод определения измеряемой величины по площади отклика выходного сигнала можно использовать для создания датчиков линейных или угловых перемещений с переменной емкостью или индуктивностью.

Достоинством предложенного метода является то, что информация об измеряемом параметре, полученная по площади отклика выходного сигнала, является более полной и точной, что приводит к снижению общей погрешности измерения.

### Литература

1. Электрические измерения / Байда Л.И., Добротворский Н.С., Душин Е.М и др. — Л.: Энергия, 1973. — 424 с.
2. Лурье Б.Я. Классические методы автоматического управления / Лурье Б.Я., Энрайт П.Дж. / Под ред. А.А. Ланнэ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 640 с.
3. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления: Учеб. для втузов. — М.: Наука, 1978. — 576 с.
4. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1975. — 240 с.
5. Мирошников В.В. Феррозонд с повышенной помехоустойчивостью для многоэлементных датчиков // Технічна електродинаміка. — 1999. — № 2. — С. 74 — 76.
6. Мирошников В.В. Проектирование дифференциального феррозонда / Мирошников В.В., Шевченко А.И. // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту. — 1997. — № 4. — С. 135 — 140.

Поступила в редакцию 22 июня 2005 г.