

Индуктивный аналого-цифровой преобразователь перемещений временного типа

С. Ю. ПОТОМСКИЙ, А. В. КОСИНСКИЙ

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия, e-mail: spotomskiy@hse.ru

Разработан индуктивный аналого-цифровой преобразователь линейных перемещений временного типа, в котором отсутствует этап преобразования перемещение—фаза, перемещение непосредственно преобразуется во временной интервал и затем в цифровой код. Представлена функциональная схема разработанного устройства и ее математическое описание.

Ключевые слова: индуктивный датчик, аналого-цифровой преобразователь временного типа, линейная характеристика преобразования.

The inductive analog-digital time type linear displacements converter has been developed. The functional circuit of the converter and its mathematical description are presented. The conversion stage is missed and the relocation is directly converted into time interval and then to digital code.

Key words: inductive sensor, time type AD converted, linear characteristic of conversion.

Разработка новых типов аналого-цифровых преобразователей (АЦП) перемещений, отвечающих современным требованиям, предъявляемым к цифровым измерительным устройствам, является актуальной задачей при проведении научных и технических исследований. К АЦП перемещений временного типа относится класс измерительно-преобразующих устройств, в которых измеряемая величина — перемещение — непосредственно преобразуется во временной интервал и далее в последовательность импульсов, поступающих в счетчик, с выхода которого снимается цифровой код [1]. Модулятором служит индуктивный датчик, преобразующий входное линейное перемещение в электрический сигнал.

Индуктивные датчики широко используют в автоматических системах управления технологическими процессами как для контроля положения металлических объектов, так и для измерения линейных перемещений. В случае применения индуктивного датчика, в цифровых системах управления необходимо преобразовывать выходной сигнал датчика в цифровой код [2]. Непосредственно для измерительных целей применяют двухтактные индуктивные измерительные преобразователи, которые включают по дифференциальной или мостовой схеме (рис. 1).

В данной статье предложена функциональная схема АЦП линейных перемещений на основе индуктивного датчика с непосредственным преобразованием перемещения во временной интервал (рис. 2). Устройство работает следующим образом. С выхода индуктивного датчика ИД снимается напряжение, пропорциональное перемещению:

$$U_{ИД} = 2UwL_0RX / [\delta_0 (R^2 + w^2L_0^2)],$$

где U — напряжение питания моста (см. рис. 1); $L_1 + L_2 = 2L_0$, L_1, L_2 — индуктивности плечей моста с числом витков w_1, w_2 ; $w = w_1 = w_2$; R — сопротивление нагрузки; X — измеряемое перемещение; δ_0 — воздушный зазор.

Усиленное напряжение с выхода индуктивного датчика:

$$U_y = k_y U_{ИД} = k_y 2UwL_0RX / [\delta_0 (R^2 + w^2L_0^2)].$$

Генератор несущей частоты ГНЧ (см. рис. 2) вырабатывает пилообразное напряжение [5]: $U_{ГНЧ} = U_m \omega t$, где $U_m = 2UwL_0R / (R^2 + w^2L_0^2)$ — амплитуда импульсов; ω — частота импульсов, поступающих с генератора.

Рассмотрим случай идеальной работы генератора, когда время восстановления значительно меньше рабочего времени [3]. Нуль-орган НО1 срабатывает в момент времени $t'_{Н1}$, когда напряжение с ГНЧ равно нулю. Момент срабатывания определим из выражения

$$t_{Н1} = t'_{Н1} + t''_{Н1}, \quad (1)$$

где $t'_{Н1}$ — момент времени, соответствующий равенству напряжения с выхода ГНЧ порогу срабатывания $U_{Н1}$ нуля-органа НО1; $t''_{Н1}$ — собственное время срабатывания НО1.

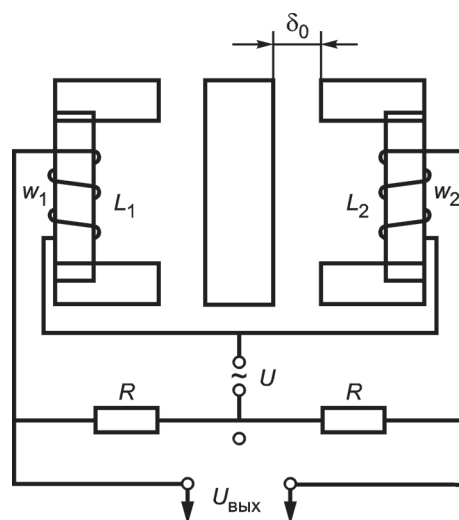


Рис. 1. Схема мостового индуктивного датчика

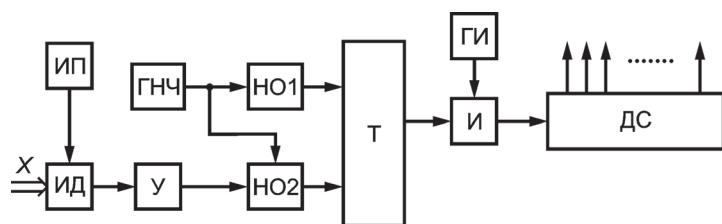


Рис. 2. Функциональная схема индуктивного АЦП перемещений временного типа:

ИП — источник питания; ИД — индуктивный датчик; ГНЧ — генератор несущей частоты; У — усилитель; НО1, НО2 — нуль-органы; Т — RS-триггер; ГИ — генератор счетных импульсов; И — логический элемент; ДС — двоичный счетчик

Нуль-орган НО2 срабатывает в момент t'_{H2} равенства напряжения с выхода ГНЧ напряжению U_y с выхода усилителя. Момент его срабатывания вычислим как

$$t_{H2} = t'_{H2} + t''_{H2}, \quad (2)$$

где t''_{H2} — собственное время срабатывания НО2.

Время t'_{H1} найдем из уравнения $U_{HЧ} = U_{H1}$ или $U_m \omega t'_{H1} = U_{H1}$, откуда

$$t'_{H1} = U_{H1} / (\omega U_m). \quad (3)$$

Время t'_{H2} определим из уравнения $U_{HЧ} = U_y$, откуда

$$t'_{H2} = k_y 2UwL_0RX / [\omega \delta_0 (R^2 + w^2 L_0^2) U_m]. \quad (4)$$

По сигналу с НО1 срабатывает триггер Т, а по сигналу с НО2 он возвращается в исходное состояние. Временной интервал, в течение которого триггер находится в открытом состоянии

$$t_T = t_{H2} - t_{H1} + t_o - t_c, \quad (5)$$

где t_o , t_c — время отпускания и срабатывания триггера.

От генератора счетных импульсов ГИ поступают заполняющие импульсы кратностью 2^N , где N — число разрядов АЦП.

На один вход логического элемента И подают сигнал с выхода триггера, на другой — заполняющие импульсы от генератора импульсов. Логический элемент И выполняет роль ключа и пропускает импульсы с генератора в то время, когда триггер находится в открытом состоянии, т. е. этими импульсами заполняется временной интервал.

Число импульсов, поступающих на двоичный счетчик ДС: $N_X = t_T \omega_{ГИ}$, где $\omega_{ГИ}$ — частота следования импульсов с генератора.

С учетом выражений (1)–(5) получим

$$N_X = \frac{\omega_{ГИ}}{\omega} \left(\frac{k_y 2UwL_0RX}{\delta_0 (R^2 + w^2 L_0^2) U_m} - \frac{U_{H1}}{U_m} \right) + \omega_{ГИ} (t''_{H2} - t'_{H1} + t_o - t_c). \quad (6)$$

Перепишем (6) с учетом порога срабатывания $U_{H1} = 0$ нуль-органа НО1 и условия, что собственно время срабатывания нуль-органов и триггеров пренебрежимо малы: $N_X = \omega_{ГИ} X / (\delta_0 \omega)$. При этом должны выполняться равенства

$$U_m = k_y 2UwL_0R / (R^2 + w^2 L_0^2) \text{ и } \omega_{ГИ} / \omega = 2^N.$$

Таким образом, $N_X = 2^N X / \delta_0$.

Вывод. Предложенное техническое решение позволяет создавать АЦП линейных перемещений временного типа // Измерительная техника. 2011. № 5. С. 20—21; Kosinskii A. V., Potomskii S. Yu. Time-type analog-to-digital displacement transducer // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N. 5. P. 502—504.

Литература

1. Косинский А. В., Потомский С. Ю. Аналого-цифровые преобразователи перемещений временного типа // Измерительная техника. 2011. № 5. С. 20—21; Kosinskii A. V., Potomskii S. Yu. Time-type analog-to-digital displacement transducer // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N. 5. P. 502—504.
2. Бабинов М. А., Косинский А. В. Элементы и устройства автоматики. М.: Высшая школа, 1975.
3. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2004.

Дата принятия 09.06.2014 г.