

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

В.Н. Нестеров, А.М. Баталова

Самарский государственный технический университет, г. Самара  
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С.П. Королева, г. Самара

В последнее время в публикациях, посвященных вопросам построения измерительных преобразователей, все чаще встречается термин «интеллектуальные датчики», появлению которого в значительной степени способствовало бурное развитие цифровой микропроцессорной техники. Датчик, снабженный самообучающейся микропроцессорной системой, позволяет с высокой скоростью обрабатывать большие объемы измерительной информации, реализуя те или иные интеллектуальные функции, к которым относят: коррекцию искажений измерительной информации на пути от датчика к микропроцессору; самодиагностику; мультиплексирование на основе использования различных первичных преобразователей; первичную обработку измерительной информации, не загружая этими операциями контроллеры; хранение образцовых мер и необходимых баз данных; изменение диапазона измерения; программирование различных алгоритмов работы датчика, улучшающих их технические и экономические характеристики. А снижение стоимости контроллерных микросхем, стремительный рост их функциональных возможностей позволяют легко интегрировать их во все меньшие по размерам и функционально различные изделия.

В общем случае структура интеллектуального датчика состоит из двух частей: блока первичного восприятия и преобразования измерительной информации и цифрового блока, в качестве которого могут быть использованы специализированные микросхемы [1].

В настоящей работе рассматриваются технологические проблемы, возникающие при выборе концепции построения блока восприятия и первичной обработки информации. Проблема заключается в том, что неверное структурирование этой части приводит к реализации алгоритмов не только не улучшающих качество датчика в целом, но приводящих к возникновению новых дополнительных погрешностей.

Проиллюстрируем проблему на примере технического решения [2], предназначенного для измерения крутящего момента с помощью размещенных на вращающемся валу тензорезисторов и представленного на рис. 1. В прототипе данной схемы, представленной в работе [3], резисторы 5 и 6 принимаются высоко стабильными точными элементами, с известными значениями сопротивления. По существу речь идет о реализации тестового метода, т.к. образцовые сопротивления включаются последовательно с первичными преобразователями и функционально связаны с

воспринимаемыми преобразователем величинами [4]. Автор работы [3] утверждает, что точность устройства в целом определяется стабильностью резисторов 5 и 6.

Для проверки правильности этого утверждения запишем выражение погрешности аналоговой части устройства от действия на входящие в него элементы различных возмущающих факторов.

Методика соответствующего метрологического анализа описана, например, в работе [5]. В общем случае выражение погрешности записывается в следующем виде:

$$\Delta F = \sum_q \sum_j \frac{\partial F}{\partial f_q} \cdot \frac{\partial f_q}{\partial k_{qj}} \Delta k_{qj}, \quad (1)$$

где  $\Delta F$  - отклонение реальной функции преобразования устройства от номинальной;  $\Delta k_{qj}$  - отклонение параметра  $k_{qj}$   $j$ -го элемента  $q$ -го канала преобразователя от номинального значения в результате воздействия дестабилизирующих факторов.

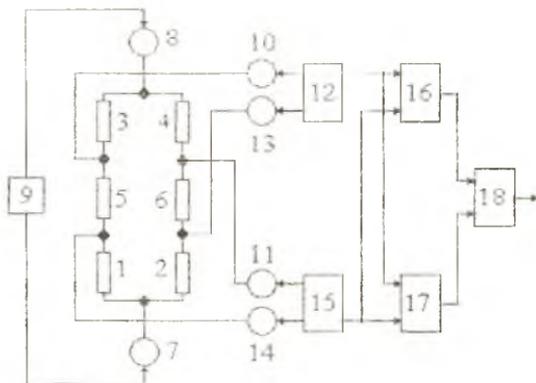


Рис. 1. Структура интеллектуального измерительного преобразователя: 1-4 - первичные преобразователи; 5, 6 - резисторы; 7, 8, 10, 11, 13, 14 - токосъемные контакты; 9 - источник питания; 12, 15 - дифференциальные усилители; 16 - сумматор; 17 - вычитатель; 18 - устройство деления.

$$\Delta F = \frac{2}{(R_{010}((R_2 + \Delta R)_0 + (R_4 - \Delta R)_0 + R_{020}) + R_{020}((R_1 - \Delta R)_0 + (R_3 + \Delta R)_0 + R_{010}))^2} \times \left( \frac{((R_1 - \Delta R)_0 + (R_3 + \Delta R)_0 + R_{010})}{((R_2 + \Delta R)_0 + (R_4 - \Delta R)_0 + R_{020})} \cdot ((R_{020} + (R_4 - \Delta R)_0)(R_2 + \Delta R)_0) \cdot ((R_1 - \Delta R)_0)(R_1 - \Delta R)_0 - (R_{010} + (R_3 + \Delta R)_0)((R_{020} + (R_2 + \Delta R)_0)) \left( \frac{\Delta(R_2 + \Delta R)}{(R_2 + \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_{020} + \Delta(R_4 - \Delta R)}{R_{020} + (R_4 - \Delta R)_0} \right) + (R_{020} + (R_2 + \Delta R)_0)(R_4 - \Delta R)_0((R_{010} + (R_1 - \Delta R)_0)(R_{020} + (R_4 - \Delta R)_0) - (R_2 + \Delta R)_0 \times \right.$$

$$\begin{aligned}
& \times (R_3 + \Delta R)_0 \left( \frac{\Delta(R_4 - \Delta R)}{(R_4 - \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_{02} + \Delta(R_2 + \Delta R)}{R_{020} + (R_2 + \Delta R)_0} \right) + \frac{((R_2 + \Delta R)_0 + (R_4 - \Delta R)_0 + R_{020})}{((R_1 - \Delta R)_0 + (R_3 + \Delta R)_0 + R_{010})} \times \\
& \times \left( (R_{010} + (R_1 - \Delta R)_0)(R_3 + \Delta R)_0 - (R_1 - \Delta R)_0(R_4 - \Delta R)_0 - (R_{010} + (R_3 + \Delta R)_0) \times \right. \\
& \times (R_{1020} + (R_2 + \Delta R)_0) \left. \left( \frac{\Delta(R_3 + \Delta R)}{(R_3 + \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_{01} + \Delta(R_1 - \Delta R)}{R_{010} + (R_1 - \Delta R)_0} \right) + (R_{010} + (R_3 + \Delta R)_0) \times \right. \\
& \times (R_1 - \Delta R)_0 \left. \left( (R_{010} + (R_1 - \Delta R)_0)(R_{020} + (R_4 - \Delta R)_0) - (R_2 + \Delta R)_0(R_3 + \Delta R)_0 \right) \right) \times \\
& \times \left( \frac{\Delta(R_1 - \Delta R)}{(R_1 - \Delta R)_0} - \frac{\Delta R_{01} + \Delta(R_3 + \Delta R)}{R_{010} + (R_3 + \Delta R)_0} \right) + ((R_{010} + (R_1 - \Delta R)_0)(R_{020} + (R_4 - \Delta R)_0) - \\
& - (R_2 + \Delta R)_0(R_3 + \Delta R)_0) \left( (R_1 - \Delta R)_0(R_4 - \Delta R)_0 - (R_{010} + (R_3 + \Delta R)_0)(R_{020} + (R_2 + \Delta R)_0) \right) \times \\
& \times \left( \frac{\Delta K_2}{K_{20}} - \frac{\Delta K_1}{K_{10}} \right), \tag{2}
\end{aligned}$$

где  $\Delta K_1$ ,  $\Delta K_2$ ,  $\Delta(R_1 - \Delta R)$ ,  $\Delta(R_2 + \Delta R)$ ,  $\Delta(R_3 + \Delta R)$ ,  $\Delta(R_4 - \Delta R)$ ,  $\Delta R_{01}$ ,  $\Delta R_{02}$  - отклонения параметров соответствующих элементов схемы от номинальных значений под действием возмущающих факторов;  $K_0$ ,  $(R_1 - \Delta R)_0$ ,  $(R_2 + \Delta R)_0$ ,  $(R_3 + \Delta R)_0$ ,  $(R_4 - \Delta R)_0$ ,  $R_{010}$ ,  $R_{020}$  - номинальные значения соответствующих параметров.

Приравнявая нулю выражение (2) получаем условия, выражающие собой технологические требования, выполнение которых приводит к компенсации погрешностей от действия возмущающих факторов на элементы преобразователя:

$$\frac{\Delta(R_2 + \Delta R)}{(R_2 + \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_{02} + \Delta(R_4 - \Delta R)}{R_{020} + (R_4 - \Delta R)_0}; \tag{3}$$

$$\frac{\Delta(R_4 - \Delta R)}{(R_4 - \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_{02} + \Delta(R_2 + \Delta R)}{R_{020} + (R_2 + \Delta R)_0}; \tag{4}$$

$$\frac{\Delta(R_3 + \Delta R)}{(R_3 + \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_{01} + \Delta(R_1 - \Delta R)}{R_{010} + (R_1 - \Delta R)_0}; \tag{5}$$

$$\frac{\Delta(R_1 - \Delta R)}{(R_1 - \Delta R)_0} = \frac{\Delta R_{01} + \Delta(R_3 + \Delta R)}{R_{010} + (R_3 + \Delta R)_0}; \tag{6}$$

$$\frac{\Delta K_2}{K_{20}} = \frac{\Delta K_1}{K_{10}}. \tag{7}$$

Как видно из выражений (3) - (6), при  $\Delta R_{02} = 0$  условие (3) противоречит условию (4), а при  $\Delta R_{01} = 0$  условие (5) противоречит условию (6). Чтобы этого не произошло, резисторы 5 и 6 с параметрами  $R_{01}$  и  $R_{02}$  не должны быть высоко стабильными, как утверждается в работе [3]. Более того, условия компенсации возмущающих воздействий на аналоговые элементы

преобразователя, представленные соотношениями (3)-(7), формулируются прямо наоборот: Если элементы 5 и 6 настолько же нестабильны как преобразователи 1 -4, то именно в этом случае достигаются качества заявленные в [3].

Приведенный пример показывает, что слепое использование алгоритмических методов обработки измерительной информации без предварительного метрологического анализа, зачастую не приводит к поставленным целям, а применение современной процессорной техники при проектировании интеллектуальных датчиков не всегда является залогом высокого качества получаемой информации. Ошибки, заложенные в структуре преобразователя на стадии проектирования, зачастую являются результатом недостаточной проработки технологических вопросов, представляющих во многих случаях «ноу хау» для данного конкретного преобразователя.

#### Список использованной литературы

1. Соловьев А. Однокристалльные системы сбора данных семейства ADuC8xx // Компоненты и технологии. – 2000. -№3. – С.36-37.
2. Нестеров В.Н. Инвариантные измерительные мосты для измерения крутящего момента // Метрология. – 1992. -№12. – С.28-36.
3. А.с. 1195263 СССР, МКИ G 01 R 17/10. Измерительный преобразователь / В.В.Пашенко. - №3707017/24-21; Заявл. 26.12.83; Опубл. 30.11.85. Бюл. №44.
4. Мартяшин А.И., Куликовский К.Л., Куроедов С.К. и др. Основы инвариантного преобразования параметров электрических цепей / Под ред. А.И. Мартяшина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.
5. Инвариантные параметрические измерительные преобразователи для измерительных приборов и автономных систем: Учеб. пособ. / В.Н.Нестеров.- Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 1998. - 56с.

### ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА МИКРОСХЕМ КМОП—ТИПА

А.В. Архипов, М. Н. Пигаюв, С. В. Тюлевин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С.П. Королева, г. Самара

Необходимость входного контроля радиокомпонентов и тем более ИМС — очевидна. Однако, в ряде случаев, параметрический контроль недостаточен. Это особенно справедливо если от надежного функционирования элементов зависит работоспособность аппаратуры военного или аэрокосмического назначения. Поэтому разрабатываются