

УДК 536.5 (35)

**АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО
КОЭФФИЦИЕНТА ПЛАТИНОВОГО ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
СОПРОТИВЛЕНИЯ**

Л.К. Бегоян

Государственный инженерный университет Армении (Политехник)

Предлагается структурная схема построения аналого-цифрового преобразователя температурного коэффициента платинового термопреобразователя сопротивления. Приведены формулы для расчета параметров схемы.

Ключевые слова: платиновый термопреобразователь сопротивления, температурный коэффициент, сигма-дельта аналого-цифровой преобразователь.

Введение. Платиновые термопреобразователи сопротивления (ПТС) нашли широкое применение при точных измерениях температуры в диапазоне от минус 200 до 660 °С (для технических ПТС) и 1100 °С (для образцовых ПТС). Измерение температуры основано на измерении сопротивления ПТС при данной температуре. При этом ПТС подключается по мостовой схеме (уравновешенной или неуравновешенной), или через ПТС пропускается стабильный постоянный либо переменный ток и измеряется падение напряжения на ПТС. При высокоточных измерениях применяется второй способ. Сопротивление ПТС зависит от температуры нелинейно и выражается функцией Каллендар Ван-Дюзена [1]:

$$R_{\theta} = R_0 W_{\theta} = R_0 [1 + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)\theta^3], \quad (1)$$

где R_0 – сопротивление ПТС при температуре $\theta=0$ °С; A, B, C – постоянные коэффициенты (для диапазона измерений $\theta \geq 0$ °С, $C=0$).

В [1] приведены формулы расчета температуры по значению W_{θ} . Для диапазона измерения $\theta \geq 0$ °С вычисления производятся по формуле

$$\theta = \frac{\sqrt{A^2 - 4B\left(1 - \frac{W_{\theta}}{R_0}\right) - A}}{2B} = -\frac{A}{2B} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4B}{A^2} (1 - W_{\theta})}\right) \quad \text{для } \theta \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

$$\theta = \sum_{i=1}^4 D_i \left(\frac{R_{\theta}}{R_0} - 1\right)^i = \sum_{i=1}^4 D_i (W_{\theta} - 1)^i \quad \text{для } \theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где D_i - постоянные коэффициенты [1].

Методы исследования. Из (2) следует, что погрешность измерения температуры зависит только от погрешности измерения W_θ . В [1] приведены значения W_θ с 5-ю значащими цифрами, однако расчеты показали, что для получения высокой точности ($\Delta\theta \leq 0,002$ °C) необходимо иметь значения W_θ с 6-ю значащими цифрами. В таблице приведены значения W_θ для термопреобразователей сопротивления с коэффициентами $\alpha_1=0,00385$ °C⁻¹ и $\alpha_2=0,00391$ °C⁻¹.

Таблица
Расчетные значения температур по формулам (2)

$\theta, \text{°C}$	W_θ		$\theta_{\text{расч.}} \text{°C}$	
	$\alpha_1=0,00385 \text{ °C}^{-1}$	$\alpha_2=0,00391 \text{ °C}^{-1}$	α_1	α_2
-200	0,18520	0,17244	-199,998	-199,999
-100	0,60256	0,59639	-100,000	-100,000
-50	0,80306	0,80000	-50,000	-50,000
0	1	1	0	0
10	1,03902	1,03963	9,987	10,000
20	1,07793	1,07915	19,999	20,000
30	1,11673	1,11854	30,000	30,000
40	1,15541	1,15783	40,000	40,000
50	1,19397	1,19699	49,999	50,000
100	1,38505	1,39106	99,998	100,000
200	1,75856	1,77044	199,999	200,000
400	2,47092	2,49414	399,999	399,999
600	3,13708	3,17112	599,998	599,999
700	3,45283	3,49209	699,998	699,999
800	3,75704	3,80138	799,998	799,999

Из таблицы следует, что цену единицы младшего разряда выходного кода аналого-цифрового преобразователя (АЦП) температурного коэффициента ПТС целесообразно брать равной $q_w=0,00001$. При этом погрешность квантования при измерении температуры в диапазоне $-200 \text{ °C} \leq \theta \leq 800 \text{ °C}$ будет не более $0,002$ °C. В данном диапазоне выходному коду АЦП будет соответствовать диапазон чисел $17244 \leq N_x \leq 380138$. Следовательно, количество разрядов АЦП должно быть $n \geq 19$.

Результаты исследования и их обсуждение. В настоящее время в цифровых средствах измерения широкое распространение получили сигма-дельта АЦП (СД АЦП), которые имеют высокую точность, помехозащищенность и последовательный кодовый выход. Основными параметрами СД АЦП являются количество разрядов (полное и без “дрожания”), уровень шумов, динамический диапазон, опорное напряжение. Лучшими

характеристиками обладают СД АЦП фирм Analog Devices, Texas Instruments. Фирма Analog Devices в своих спецификациях приводит разрешение “от пика до пика”, которое соответствует числу разрядов без “дрожания” или числу разрядов, свободных от шума. При этом “дрожащие” разряды отбрасываются. Обычно пиковое значение шумового сигнала принимается равным $6,6U_{шум}$ (где $U_{шум}$ - действующее значение шумового сигнала, которое зависит от частоты работы внутреннего фильтра и установленного коэффициента усиления).

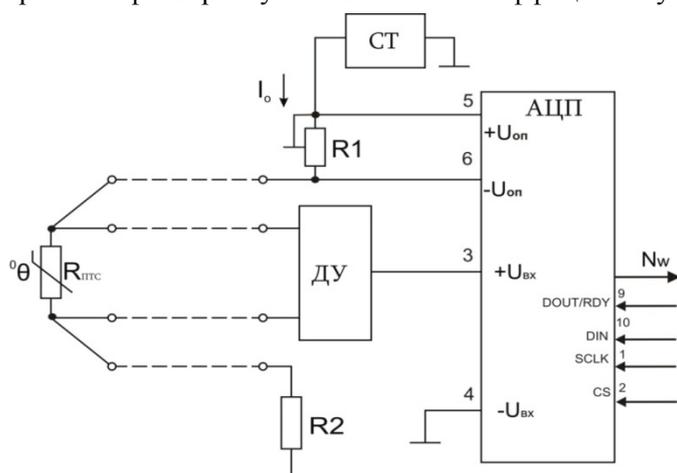


Рис. Структурная схема АЦП температурного коэффициента ПТС

В качестве СД АЦП целесообразно использовать микросхему AD7791, количество разрядов без “дрожания” или разрешение “от пика до пика” которой равно 19,5 ($n=24$), с одним дифференциальным входом, $U_{шум}=1,1 мкВ$ при частоте преобразования 9,5 Гц, опорное напряжение, которое можно выбрать от 0,1 до 2,5 В, напряжение смещения нуля 3 мкВ, его температурный дрейф 10 нВ/°С, выходному коду соответствует число [2]

$$N=2^n U_{вх}/U_{оп}, \quad (3)$$

где $U_{оп}$ - опорное напряжение СД АЦП; $U_{вх}$ - входное напряжение СД АЦП; $n=24$ - количество двоичных разрядов.

Младшему разряду n -разрядного двоичного кода СД АЦП соответствует напряжение $q = U_{оп}/2^n$.

Для СД АЦП типа AD7791 ($n=24$, $U_{оп}=2,5 В$) получим

$$q = 2,5 * 10^6 мкВ / 2^{24} = 0,149 мкВ.$$

Выбирая количество разрядов без “дрожания” или количество разрешения “от пика до пика” равным $n_{p-p}=19$, младшему разряду двоичного кода без “дрожания” будет соответствовать напряжение

$$q_{p-p} = 2^5 q = 32 * 0,149 \text{ мкВ} = 4,768 \text{ мкВ}. \quad (4)$$

Для динамического диапазона получим

$$D = \frac{U_{on}}{q_{p-p}} = 2,5 * 10^6 \frac{\text{мкВ}}{4,768 \text{ мкВ}} = 2,03732 * 10^6. \quad (5)$$

Максимальному значению температурного коэффициента ПТС $W_m=380138$ будет соответствовать входное напряжение СД АЦП, равное

$$U_{ext} = q_{p-p} W_m = 4,768 * 380138 \text{ мкВ} = 1,8125 \text{ мкВ}.$$

Структурная схема АЦП приведена на рисунке. АЦП состоит из СД АЦП, дифференциального усилителя (ДУ), стабилизатора измерительного тока I_0 (СТ), резистора R1 (для получения опорного напряжения СД АЦП), резистора R2. Через ПТС проходит стабильный постоянный ток, и падение напряжения на нем усиливается ДУ с коэффициентом усиления $K_{ДУ}$. Выходное напряжение ДУ подается на измерительный вход СД АЦП. Входное и опорное напряжения СД АЦП определяются выражениями

$$U_{ex} = R_0 I_0 W_\theta K_{ДУ}, \quad U_{on} = I_0 R_1. \quad (6)$$

При токе $I_0=1 \text{ мА}$, $U_{on}=2,5 \text{ В}$ получим $R_1=2,5 \text{ кОм}$. Тогда число, соответствующее выходному коду СД АЦП без “дрожания”, будет

$$N_w = 2^{n_{p-p}} * \frac{R_0}{R_1} K_{ДУ} W_\theta = W_\theta / q_w. \quad (7)$$

При количестве разрядов выходного кода СД АЦП без “дрожания”, равном $n_{p-p}=19$, получим

$$N_w = 524288 \frac{R_0}{R_1} K_{ДУ} W_\theta = \frac{W_\theta}{q_w} = 10^5 W_\theta. \quad (8)$$

Из (8) получим

$$K_{ДУ} = 10^{-5} R_1 / 524288 R_0. \quad (9)$$

Для $R_1=2,5 \text{ кОм}$ и $R_0=100 \text{ Ом}$ получим $K_{ДУ}=4,768$.

Температурный коэффициент ПТС можно представить в виде

$$W_\theta = q_w N_w = 10^{-5} N_w. \quad (10)$$

Выводы. Предложенная схема позволяет с высокой точностью измерять температурный коэффициент ПТС, что дает возможность построить на ее базе автоматизированную систему поверки ПТС и точный цифровой термометр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний. – 27 с.
2. AN615R-Руководство по применению СД АЦП фирмы Analog Devices <http://www.analog.com>

*Поступила в редакцию 14.12.2013.
Принята к опубликованию 12.05.2014.*

ՊԼԱՏԻՆԵ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՋԵՐՄԱԿԵՐՊԱՓՈՒՆԻՉԻ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ԱՆԱԼՈԳԱԹՎԱՆՇԱՆԱՅԻՆ ԿԵՐՊԱՓՈՒՆԻՉ

L.Կ. Բեգոյան

Առաջարկվում է պլատինե դիմադրության ջերմակերպափոխիչի ջերմաստիճանային գործակցի անալոգաթվանշանային կերպափոխիչի կառուցվածքային սխեմա: Բերված են սխեմայի պարամետրերի հաշվարկման բանաձևերը:

Առանցքային բառեր. պլատինե դիմադրության ջերմակերպափոխիչ, ջերմաստիճանային գործակից, սիգմա-դելտա անալոգաթվանշանային կերպափոխիչ:

AN ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER FOR TEMPERATURE COEFFICIENT IN A PLATINUM THERMOTRANSDUCER OF RESISTANCE

L.K. Begoyan

A block diagram for designing an analog-to-digital converter for temperature coefficient in a platinum thermotransducer of resistance is proposed. Formulae for calculating the diagram parameters are introduced.

Keywords: platinum thermotransducer of resistance, temperature coefficient, sigma-delta analog-to-digital converter.