

## ПОДКЛЮЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ к ПК УЧЕБНЫЙ ПРАКТИКУМ

Тесленко В.А., НТУУ "КПИ". г.Киев

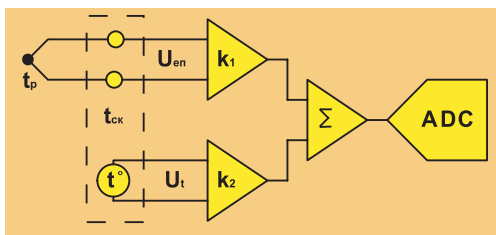
Настоящая статья является логическим продолжением статьи "Датчики в системах сбора данных и управления", опубликованной в предыдущем номере журнала "ПИКАД".



Разработаем измерительный канал устройства ввода информации в компьютер для измерения температуры в диапазоне 0..1300°C с помощью термопары типа хромель-алюмель (ХА) с разрешающей способностью 0.5°C. В расчетах учтем, что проектируемое устройство должно функционировать в диапазоне рабочих температур +5..+45°C.

0°C	0 мВ
20°C	0.798 мВ
1300°C	52.398 мВ

Составим функциональную схему измерительного канала:



Выходное напряжение термопары, без учета нелинейности характеристики, определяется соотношением:

$$U_{тп} = k_{тп} (t_p - t_{ск}),$$

где  $k_{тп}$  - коэффициент преобразования термопары;  $t_p$  - температура рабочего спая (измеряемая температура);  $t_{ск}$  - температура свободных концов термопары (холодного спая).

Для компенсации температуры свободных концов термопары будем использовать полупроводниковый датчик температуры TMP37, напряжение на выходе которого:

$$U_t = k_d \cdot t_{ск}, \text{ где } k_d = 20 \cdot 10^{-3} \text{ В/}^\circ\text{C}$$

Задаемся коэффициентом преобразования сумматора, равным 1. Тогда напряжение на входе АЦП можно определить выражением:

$$U_{АЦП} = k_1 \cdot U_{тп} + k_2 \cdot U_t,$$

$$U_{АЦП} = k_1 \cdot k_{тп} (t_p - t_{ск}) + k_2 \cdot k_d \cdot t_{ск}$$

Для  $t_{ск} = 0^\circ\text{C}$  напряжение на входе АЦП  $U_{АЦП} = k_1 \cdot k_{тп} \cdot t_p$ . В конечной точке диапазона измеряемых температур  $t_p = 1300^\circ\text{C}$  будем иметь.  $k_{тп} \cdot t_p = 52.398 \text{ мВ}$ . Тогда, для входного диапазона АЦП 0..5В, значение

$$k_1 = 5 / 52.398 \cdot 10^{-3} = 95.42$$

Для определения коэффициента  $k_2$  необходимо задать  $t_{ск} = 20^\circ\text{C}$  (значение внутри диапазона рабочих температур устройства, см. таблицу), а  $t_p = 0^\circ\text{C}$ . В этом случае напряжение на входе АЦП должно быть равным 0, т.е.

$$k_1 \cdot k_{тп} \cdot t_{ск} = k_2 \cdot k_d \cdot t_{ск}$$

Так как для  $20^\circ\text{C}$   $k_{тп} \cdot t_{ск} = 0.798 \text{ мВ}$ , то  $k_2 = 95.42 \cdot 0.798 \cdot 10^{-3} / (20 \cdot 10^{-3} \cdot 20) = 0.19$

И наконец, сформулируем требования к температурному дрейфу усилителя  $k_1$ . Считая характеристику термопары линейной в диапазоне температур 0..+20°C, определим приращение сигнала, соответствующее 0.5°C:

$$\Delta U = 0.798 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5 / 20 \approx 20 \cdot 10^{-6} \text{ В}$$

При диапазоне рабочих температур  $\Delta T = \pm 20^\circ\text{C}$ , в котором должно функционировать устройство (условная средняя точка соответствует +25°C), температурный дрейф нуля входного усилителя по напряжению не должен превышать:

$$\Delta U / \Delta T \approx 1 \text{ мкВ/}^\circ\text{C}$$

Разрядность АЦП  $N$  определим по отношению требуемой разрешающей способности  $\Delta t = 0.5^\circ\text{C}$  к диапазону измеряемых температур  $D_t = 1300^\circ\text{C}$

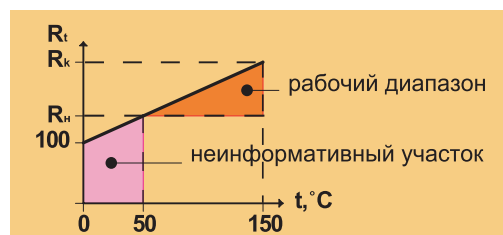
$$N \geq \text{Ent} [ \log_2 (D_t / \Delta t + 1) ],$$

$$N \geq 12$$



Измерение температуры с помощью термометров сопротивления также имеет свои особенности. Рассчитаем канал на основе медного терморезистора с номинальным сопротивлением 100 Ом (температурный коэффициент сопротивления 4.26 · 10<sup>-3</sup> 1/°C) для диапазона измеряемых температур +50..+150°C с разрешающей способностью 0.1°C.

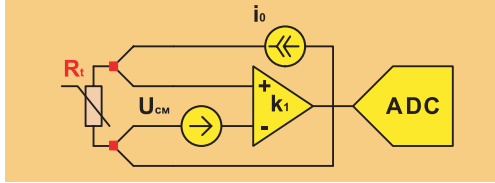
Медный терморезистор имеет линейную зависимость выходного сигнала от температуры:



$$R_t = R_0 (1 + \alpha t),$$

где  $\alpha = 4.26 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ , а  $R_0 = 1000 \text{ Ом}$

Используем потенциометрическую четырехпроводную схему включения с одним генератором тока  $i_0$ . Для исключения неинформативного участка 0..+50°C в классическую схему необходимо добавить вычитающее устройство и источник напряжения смещения  $U_{см}$ .



При рабочем токе  $i_0 = 1 \text{ mA}$ , напряжение на датчике  $R_t$  изменяется в диапазоне от  $U_{R50} = 121.3 \text{ мВ}$  до  $U_{R150} = 163.9 \text{ мВ}$  и приращение напряжения составит  $\Delta U = 42.6 \text{ мВ}$ . А для исключения неинформативного участка следует выполнить условие:

$$U_{см} = U_{R50} = 121.3 \text{ мВ}$$

Тогда при максимальном напряжении на входе АЦП  $U_{АЦП} = 5 \text{ В}$ , коэффициент усиления  $k_1 = U_{АЦП} / \Delta U = 117.3$ . Полученное значение определяет требования к допустимому смещению нуля АЦП. При рабочем токе 1 мА, приращение напряжения на датчике, соответствующее 0,1°C, будет равно  $U_{0,1} = 4.26 \cdot 10^{-4} \text{ В}$ . И если напряжение смещения нуля АЦП не превысит значение  $U_{0,1} \cdot k_1$ , т.е.  $U_{см АЦП} < 50 \text{ мВ}$ , то и максимальное значение абсолютной погрешности не будет превышать значения  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ .

По аналогии с предыдущим примером оценим разрядность АЦП:

$$D_t = 150 - 50 = 100^\circ\text{C}, \Delta t = 0.1^\circ\text{C}$$

$$N \geq \text{Ent} [ \log_2(100/0.1 + 1) ],$$

$$N \geq 10$$

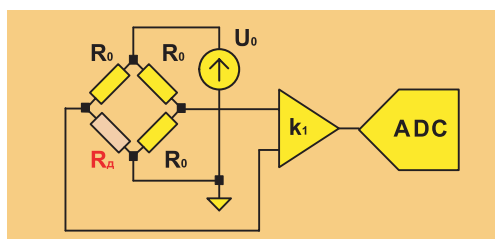


Еще один пример с резистивным датчиком - тензорезистором. Пусть требуется измерять деформацию  $\Delta L/L$  в пределах  $0..0.5 \cdot 10^{-2}$ , а в качестве первичного измерительного преобразователя используется тензорезистор с номинальным сопротивлением  $R_0 = 200 \text{ Ом}$ , коэффициентом относительной тензочувствительности  $k = 2$  и допустимой удельной рассеиваемой мощностью

$P_{уд} = 6 \text{ мВт/мм}^2$ . Тип тензорезистора - проволочный, радиус проволоки 0.1 мм, общая длина 120 мм. Тепловой контакт с объектом обеспечивается по половине периметра проволоки



По допустимой рассеиваемой тензорезистором мощности и геометрическим характеристикам можно определить допускаемый рабочий ток через датчик, включенный в мостовую измерительную схему.



Определим приращение сопротивления датчика при максимальном измеряемом сигнале и известном коэффициенте относительной тензочувствительности из выражения:

$$k = (\Delta R / R_0) / (\Delta L / L),$$

$$\Delta R = k \cdot R_0 \cdot (\Delta L / L) = 2 \cdot 200 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} = 2 \text{ Ом}$$

Т.е. максимальное сопротивление датчика  $R_{д макс} = 202 \text{ Ом}$ .

Общая площадь теплового контакта  $S = (2\pi \cdot r / 2) \cdot l$ , где  $r$  - радиус, а  $l$  - общая длина проволоки. Тогда  $S = 37.68 \text{ мм}^2$ . Допустимая мощность рассеивания, с одной стороны, определяется как  $P = P_{уд} \cdot S = 226 \text{ мВт}$ , а с другой -  $P = i^2 \cdot R_{д макс}$ , где  $i$  - допустимый рабочий ток:

$$i = \sqrt{P / R_{д макс}} = 33.4 \text{ mA}$$

Сформулируем требования к источнику питания мостовой схемы:

$$U_0 \leq i \cdot 2R_0, \text{ т.е. } U_0 \leq 13,36 \text{ В}$$

Выбираем стандартное напряжение  $U_0 = 12 \text{ В}$ , при этом рабочий ток  $i = 30 \text{ mA}$ , а ток нагрузки источника  $i_0 \geq 2i$ , т.е.  $i_0 \geq 60 \text{ mA}$ .

Определим приращение напряжения в диагонали моста без учета нелинейности характеристики:

$$\Delta U = U_0 \cdot \Delta R / 4R_0 = 0.03 \text{ В}$$

При входном диапазоне АЦП  $\pm 5 \text{ В}$  коэффициент усиления согласующего усилителя:

$$k_1 = U_{АЦП} / \Delta U = 166,66$$

Зададим требования к погрешности квантования АЦП -  $\gamma_{кв} \leq 0.05\%$ , которая связана с разрядностью АЦП  $N$  соотношением:

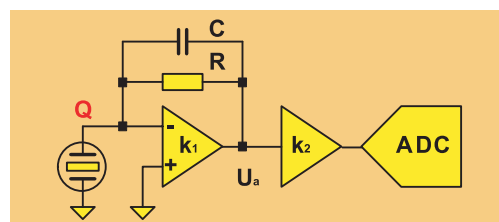
$$\gamma_{кв} = (1 / (2^N - 1)) \cdot 100\%$$

С учетом двухполярного входного диапазона АЦП получим  $N = 12$ .



Пьезодатчик - случай особый. Спроектируем измерительный канал устройства ввода с датчиком вибрации - пьезоэлектрическим акселерометром с чувствительностью  $10 \text{ пКл/мс}^{-2}$ . Устройство предназначено для создания системы измерения спектральных характеристик виброускорений в диапазоне -10 дБ..+60 дБ, 0 дБ соответствует виброускорению, равному  $3 \cdot 10^{-4} \text{ мс}^{-2}$ . Частотный диапазон сигнала -  $1 \text{ Гц}..10 \text{ кГц}$ .

В структуру измерительного канала включаем усилитель заряда, дополнительный усилитель напряжения и аналого-цифровой преобразователь.



Определяем абсолютные значения измеряемых виброускорений.

Уровень виброускорений в дБ оценивается как  $20 \cdot \lg(a/a_0)$ , где  $a$  - измеряемое виброускорение,  $a_0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ мс}^{-2}$ .

Максимальное значение виброускорения, соответствующее уровню +60 дБ, составит  $a_{\text{МАКС}} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ мс}^{-2}$ , а минимальное, соответствующее уровню -10 дБ,  $a_{\text{МИН}} = 0.949 \cdot 10^{-4} \text{ мс}^{-2}$ .

Следующий шаг - определение выходного сигнала датчика в диапазоне от  $a_{\text{МАКС}}$  до  $a_{\text{МИН}}$ . Величина заряда на акселерометре:

$$Q = S \cdot a, \text{ где } S - \text{чувствительность датчика, т.е.}$$

$$Q_{\text{МИН}} = 10 \cdot 0.949 \cdot 10^{-4} = 0.949 \cdot 10^{-3} \text{ пКл,}$$

$$Q_{\text{МАКС}} = 10 \cdot 3 \cdot 10^{-1} = 3 \text{ пКл}$$

Выходной сигнал усилителя заряда с токозадающим резистором  $R$  в цепи обратной связи можно описать следующим выражением:

$$U_a = (Q/S) (j\omega RC / (1 + j\omega RC))$$

Т.е. усилитель представляет собой фильтр верхних частот, статическая характеристика которого имеет вид:

$$U_a = (Q/C) = k_1 \cdot Q, \text{ где } k_1 = 1/C$$

Запишем выражение для напряжения на входе АЦП:

$$U_{\text{АЦП}} = k_2 \cdot k_1 \cdot Q = k_2 \cdot Q/C$$

Для полного использования диапазона преобразования АЦП, например  $\pm 5В$ , необходимо выполнить условие:

$$U_{\text{АЦП}} = k_2 \cdot Q_{\text{МАКС}}/C = 5В$$

Если принять  $k_2 = 1$ , то:

$$C = Q_{\text{МАКС}}/U_{\text{АЦП}} = 0,6 \text{ пФ}$$

Такое значение емкости конденсатора  $C$  сравнимо с паразитными емкостями монтажа. Поэтому необходимо выбрать емкость конденсатора из условия  $C \geq 50 \text{ пФ}$ . Пусть  $C = 60 \text{ пФ}$ . Определяем значение коэффициента усиления усилителя напряжения:

$$k_2 = U_{\text{АЦП}} \cdot C / Q_{\text{МАКС}} = 100$$

Значение сопротивления резистора  $R$  находится из выражения для выходного сигнала усилителя заряда как фильтра верхних частот первого порядка. Частота среза такого фильтра определяется параметрами  $RC$ -цепи:

$$f_{\text{ср}} = 1/(2\pi \cdot R \cdot C),$$

и должна удовлетворять условию:

$$f_{\text{ср}} \leq f_H,$$

где  $f_H$  - нижняя частота рабочего диапазона,  $f_H = 1 \text{ Гц}$ . Следовательно:

$$R \geq 1/(2\pi \cdot f_H \cdot C), R \geq 2.65 \cdot 10^9 \text{ Ом}$$

Сформулируем требования к АЦП. Разрядность АЦП определяется диапазоном измеряемых уровней виброускорения и требуемым минимальным соотношением сигнал/шум. Т.к. минимальный сигнал соответствует -10дБ, то шум квантования должен быть как минимум на 6дБ меньше. Тогда полный динамический диапазон АЦП в этом случае составляет  $D = 76\text{дБ}$  и, соответственно, разрядность  $N$  определим из соотношения  $N \geq D/6$ , т.е.  $N \geq 13$ .

Требование к быстродействию АЦП определяется частотой дискретизации  $f_d$ , которая, в свою очередь, должна быть выбрана в соответствии с теоремой Котельникова:

$$f_d \geq 2 \cdot f_B, \text{ где } f_B = 10\text{кГц}$$

$f_B$  - верхняя частота рабочего диапазона.

Если выберем АЦП со временем преобразования 25 мкс (40 кГц), что соответствует  $f_d = 4 \cdot f_B$  (четыре точки на период максимальной частоты) - хуже не будет.

**КОНТАКТЫ:**  
т. (044) 245-31-00  
e-mail: tesva@yandex.ru

**От редакции.**

Рассмотренные примеры расчетов параметров электронных схем сопряжения наиболее популярных типов датчиков не исчерпывают всех возможных вариантов. Они могут служить в качестве иллюстрации подходов к решению таких практических задач и, главным образом, содержат методики проведения расчетов, которые читатели смогут применить и для других типов датчиков в своей практической деятельности.

**СЛУЖБА НОВОСТЕЙ**

**ХОЛИТ на выставке в Одессе**

7-10 сентября в Одессе, на территории Морского Вокзала, прошла 4-я международная выставка-симпозиум "ЭЛЕКТРОНИКА и ЭНЕРГЕТИКА 2004".



Впервые Одесса увидела наш периодический журнал "ПИКАД". Особый интерес к журналу проявили преподаватели Одесских вузов. По их словам, журнал поможет преподавателям и будущим специалистам постоянно знакомиться с самыми передовыми и современными технологиями в области промышленной автоматизации.

Как всегда, большой интерес у специалистов вызывали контроллеры сбора и обработки данных для систем АСУ ТП компаний ICP DAS, ХОЛИТ Дейта Системс, National Instruments и промышленные блоки питания MEAN WELL.

Впервые на этой выставке были показаны наши панельные компьютеры с сенсорным экраном семейства touchGRAF с размером ЖКИ 8,4" и 10,4", а также операторские панели hmiCON и модули сбора данных семейства tetraCON с поддержкой протокола Modbus RTU.

Приятно отметить, что выставка с каждым годом становится полнее, разнообразнее и число ее участников растет.

**СЛУЖБА НОВОСТЕЙ**