



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2008–3
ОЭА

Д.А. Васильев, В.А. Кренделев, В.Н. Федорченко

ЦИФРОВОЙ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Протвино 2008

Аннотация

Васильев Д.А., Кренделев В.А., Федорченко В.Н. Цифровой термометр: Препринт ИФВЭ 2008–3. – Протвино, 2008. – 7 с., 6 рис., библиогр.: 4.

Описано устройство для цифрового измерения температуры с датчиками типа ТСП и ТСМ. Показана также схема подключения ряда устройств по линии RS485 через адаптер связи RS485/USB к персональному компьютеру. Термометры используются для измерения температуры электродвигателей откачных машин криогенного комплекса высокочастотного сверхпроводящего сепаратора.

Abstract

Vasiliev D.A., KrendeleV V.A., Fedorchenko V.N. Digital Thermometer: IHEP Preprint 2008–3. – Protvino, 2008. – p. 7, figs. 6, refs.: 4.

A device for digital temperature measurement with TSP and TSM sensors is described. A switching circuit for number of such devices to PC threw RS485/USB adapter also is given. The apparatus is implemented for vacuum pump motors temperature measurement on the Cryocomplex of the RF SC Separator.

Введение

В основе измерений температуры лежит преобразование показания датчика температуры в измеряемую электрическую величину. Для диапазона средних температур от -50°C до $+200^{\circ}\text{C}$ наиболее распространенным типом датчиков является термометр сопротивления (медный, платиновый и др.). Типичными представителями являются промышленные унифицированные термометры типа ТСП (термометр сопротивления платиновый) и ТСМ (термометр сопротивления медный). Чувствительные элементы этих термометров помещены в защитную арматуру, засыпаны порошком и герметизированы специальной замазкой. Выводы от чувствительного элемента подсоединены к контактным зажимам, расположенным в корпусе головки (фото на рис. 1).



Рис. 1. Промышленный унифицированный термометр.

Вторичный прибор располагается, как правило, на расстоянии в обслуживаемом помещении и присоединяется к датчику 2-, 3-, 4-проводной линией.

Основными недостатками таких приборов являются:

- протяженные линии связи между датчиками и вторичными преобразователями, как следствие – появление помех, наводок, шумов, причем увеличение измерительного тока ограничивается рассеиваемой на датчике мощностью;
- наличие вторичной измерительной аппаратуры.

В то же время современная элементная база позволяет значительно упростить схему измерения с одновременным улучшением характеристик.

Предлагаемый цифровой термопреобразователь, обладая высокой точностью измерения и встроенным интерфейсом RS485, позволяет устанавливать его в соединительную головку промышленных термометров. В рамках данной разработки возможно последовательно соединять до 128 таких устройств, что обеспечивает значительную экономию соединительных измерительных проводов и потребляемой мощности. Цена протяженных измерительных проводов уже сопоставима с ценой таких цифровых измерительных устройств, например цена 20 метров 4-жильного кабеля в экране равна стоимости самого микроконтроллера.

Схема преобразователя

Для построения канала измерения температуры выбран микроконтроллер ADuC834, имеющий на борту, в частности:

- встроенный стабильный источник тока (200 мкА или 400 мкА);
- встроенный датчик температуры;
- два независимых канала (16- и 24-битного разрешения) сигма-дельта АЦП, основной АЦП – 24 разряда без пропуска кодов;
- предварительный входной усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA);
- 64 Кбайт внутренней FLASH памяти программ;
- 640 байт внутренней FLASH памяти данных;
- 256 байт оперативной памяти данных с произвольным доступом (RAM);
- последовательный порт (UART), поддерживающий режимы последовательной загрузки и отладки.

Микропроцессор работает с кварцевым резонатором 32768 Гц, а встроенная система ФАПЧ образует требуемую внутреннюю рабочую частоту 12.58 МГц. Ядро представляет собой микроконтроллер 8052, поэтому система команд совместима с набором 8051.

Температурный диапазон от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.

Термометры сопротивления, как правило, запрашиваются током 1 мА, что обеспечивает удовлетворительное отношение «сигнал-шум» и не ведет к разогреву датчика. В нашем случае, учитывая расположение контроллера в непосредственной близости от датчика, имеется возможность уменьшить величину тока запитки датчика и использовать встроенный источник тока 400 мкА. Тем самым гарантируются минимальные погрешности, вызванные нагревом самого датчика.

В состав измерительного канала также входит микросхема согласования уровней с RS485 ADM1485 и регулятор напряжения положительной полярности 78L05.

Потребляемый ток измерительного канала не превышает 20 мА.

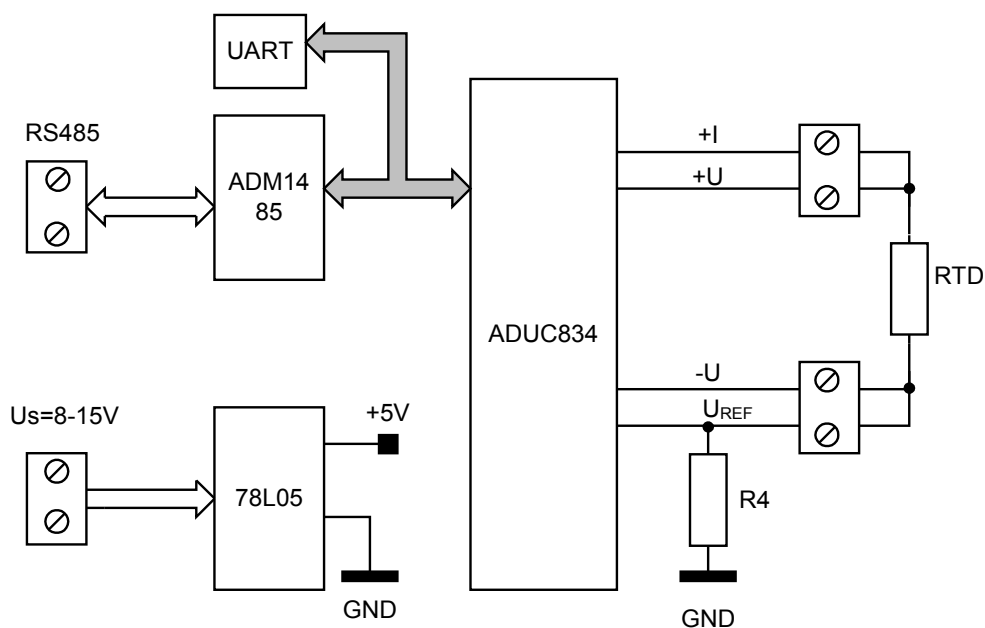


Рис. 2. Структурная схема термопреобразователя.

На рис. 2 показана схема типового использования ADuC834 для выполнения аналогового измерения – четырехпроводной интерфейс к термопреобразователю сопротивления (ТС). Внешнее опорное напряжение (U_{REF}) для ADuC834 создается током, протекающим через высокостабильный резистор R4. Этот же ток протекает непосредственно через ТС, на котором создается напряжение, пропорциональное температуре. Это напряжение подается на положительный и отрицательный входы основного АЦП (AIN0 и AIN1 соответственно).

Анализ погрешности измерения

В приведенной схеме изменения тока возбуждения не оказывают влияния на точность измерения, так как входное и опорное напряжения создаются одним и тем же током. Резистор R4 должен иметь низкий температурный коэффициент сопротивления (ТКС) не более $\pm 25 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ для того, чтобы избежать температурной зависимости опорного напряжения (U_{op}) и связанной с ней ошибки.

Объявленные параметры основного АЦП:

- интегральная нелинейность $\pm 15 \text{ ppm}$ от FSR [макс.];
- ошибка смещения $\pm 3 \text{ мкВ}$ [сред.];
- дрейф смещения $\pm 10 \text{ нВ}/^\circ\text{C}$ [сред.];
- ошибка полной шкалы $\pm 10 \text{ мкВ}$ [сред.];
- дрейф усиления $\pm 0.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ [сред.].

Данные ошибки могут быть скомпенсированы системной калибровкой до величины $\pm 0.05^\circ\text{C}$. Наличие встроенного датчика температуры в самом измерительном устройстве позволяет программным способом скомпенсировать температурные погрешности всего измерительного канала, не вызывая дополнительную погрешность. Погрешность калибровки датчика составляет 0,1%. Таким образом, суммарная погрешность измерения температуры составляет 0,15%.

Конструктивные особенности

Печатная плата преобразователя выполнена в виде круга диаметром 40 мм (фото на рис. 3) и легко интегрируется в головки промышленных унифицированных термометров сопротивления ТСП и ТСМ. На плате установлены 4 винтовых соединителя: два для подачи питания устройства -Us в диапазоне 8-15 В, два для подключения интерфейса RS485.

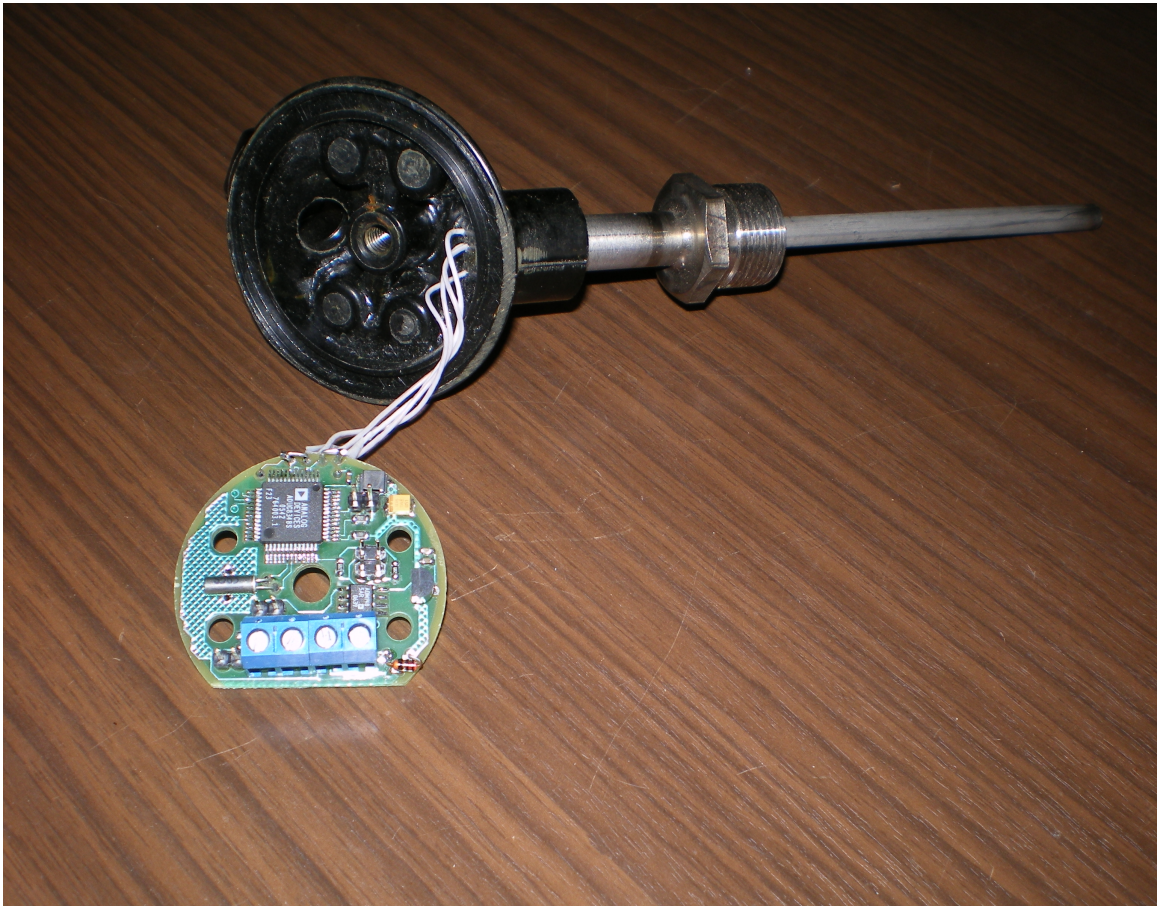


Рис. 3. Печатная плата термопреобразователя.

Интерфейс RS485 позволяет создавать автоматизированные системы сбора данных (до 128 таких устройств) (рис. 4). Ограничения по длине связанного кабеля:

- максимальное расстояние передачи протокола связи RS485 – 1200 м;
- падение питающего напряжения на соединительных проводах не должно приводить к снижению напряжения питания измерительного устройства ниже 8 В.

На рис. 4 приведена также схема подключения N устройств к персональному компьютеру (ПК) при помощи преобразователя интерфейса RS485/USB блока AC-4 (будет описан в следующей публикации). Соединительная магистраль включает в себя четыре линии (2 линии RS485 и 2 линии питания).

Пользователь имеет возможность с удаленного терминала (ПК) изменять адрес устройства в системе и калибровочную таблицу датчика.

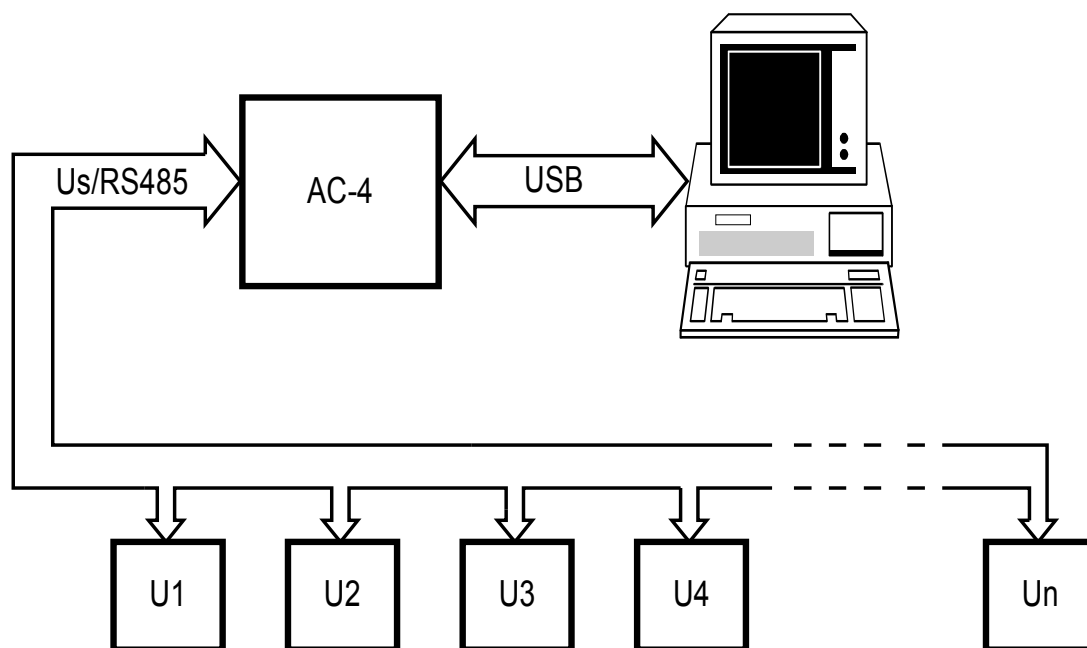


Рис. 4. Схема подключения группы термопреобразователей к ПК.

Пользовательский интерфейс

Программное обеспечение (ПО) для ПК выполнено в среде графического программирования LabView. В качестве примера на рис. 5 и 6 приведены программы настройки и калибровки для одного датчика температуры.

В основном окне программы на рис. 5 отображаются:

- параметры подключения (№ последовательного порта RS485, адрес устройства в системе, а также версия прошивки устройства);
- измеряемые параметры (измеряемое сопротивление термодатчика, измеряемая температура, пересчитанная по калибровочной характеристике термодатчика, температура микроконтроллера ADuC834);
- временные тренды выбранных измеряемых параметров;
- кнопка сброса графиков (СБРОС ГРАФИКОВ);
- кнопка перехода в окно просмотра и изменения калибровочной таблицы термодатчика (ТАБЛИЦА);
- Кнопка закрытия программы (ВЫХОД ИЗ ПРОГРАММЫ).

В окне просмотра и изменения калибровочной таблицы термодатчика (рис. 6) отображаются:

- параметры подключения (№ последовательного порта RS485, адрес устройства в системе);
- окно сообщений и подсказок;
- кнопка загрузки таблицы в память микроконтроллера интеллектуального датчика (Загрузить);
- кнопка выхода без изменения таблицы (Отмена);
- калибровочная таблица датчика;

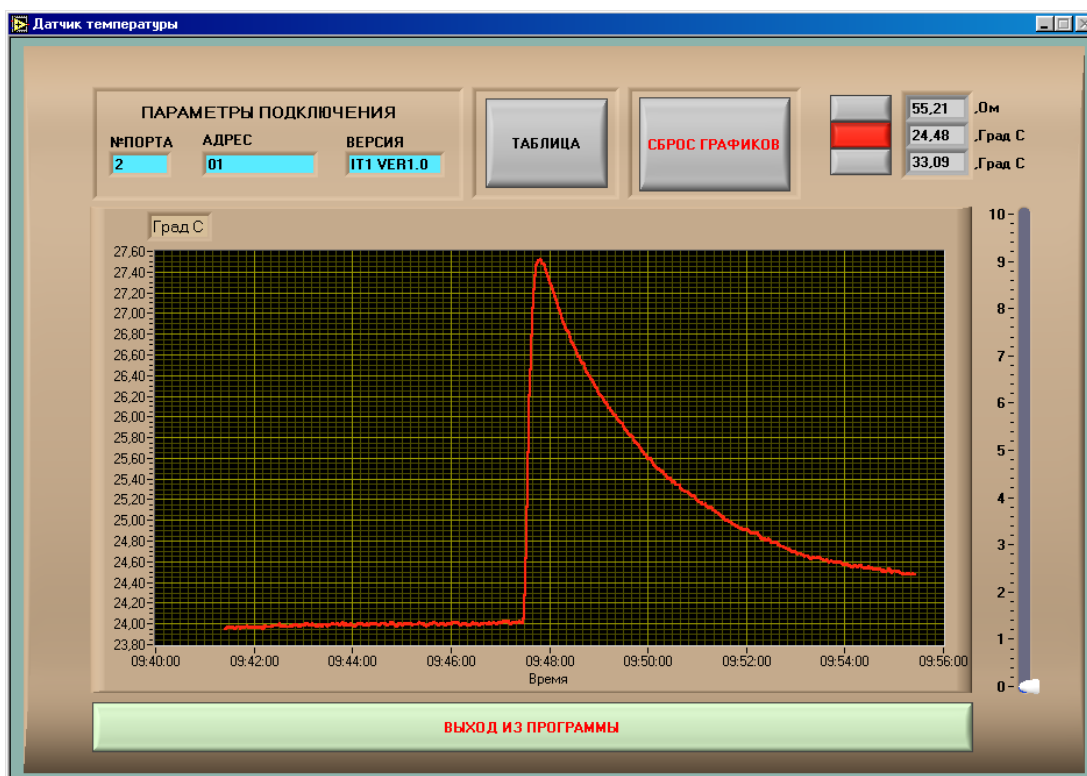


Рис.5. Основное окно программы.

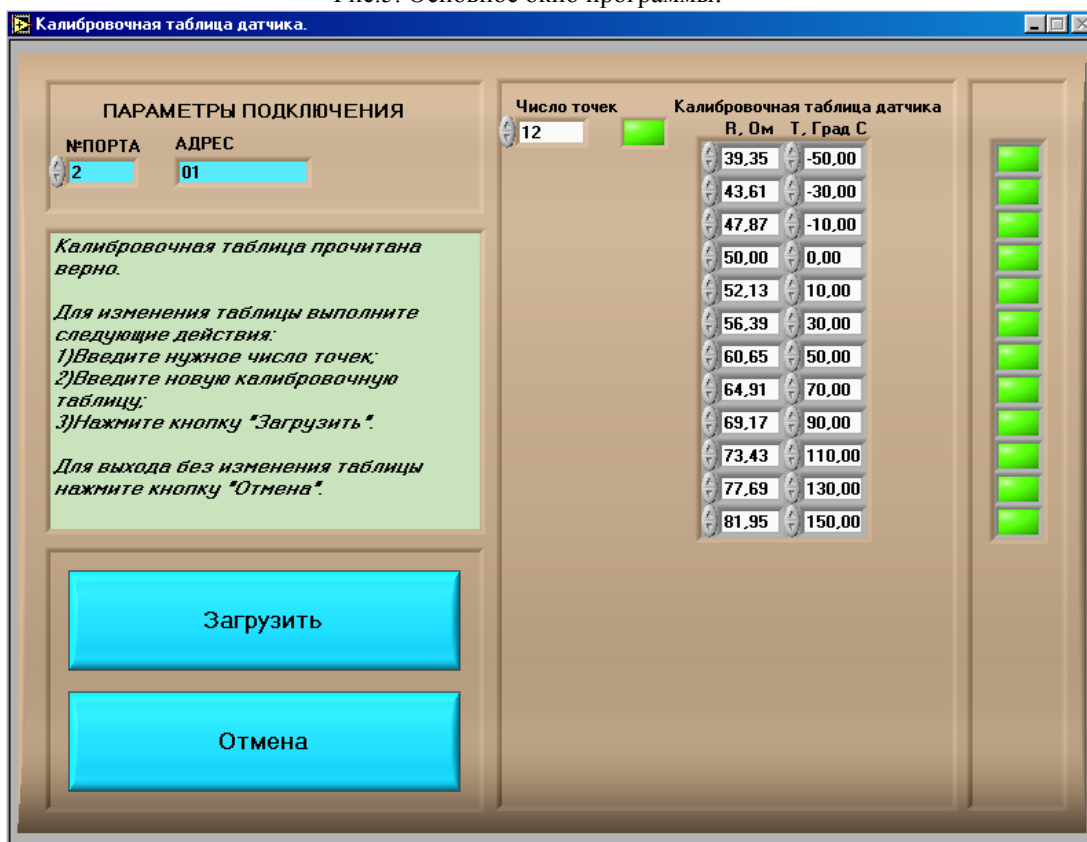


Рис. 6. Окно просмотра и изменения калибровочных таблиц.

Гибкость среды LabView позволяет в кратчайшие сроки разрабатывать ПО для системы с любым числом термопреобразователей.

Заключение

Приведенная в работе аппаратура позволяет:

1. Повысить точность измерения за счет рационального схемного решения.
2. Устранить необходимость прокладки в распределенных системах четырехпроводных измерительных линий от каждого датчика до вторичного преобразователя.
3. Уменьшить энергопотребление.
4. Контролировать и программно учитывать температурные дрейфы самого устройства.
5. Реализовать последовательное соединение нескольких устройств по интерфейсу RS485 с персональным компьютером.
6. Оперативно с ПК менять параметры подключения (номер последовательного порта, адрес устройства в системе), а также калибровочные таблицы самого датчика.

Авторы выражают благодарность В.Н. Алферову и А.И. Бакаю за полезные обсуждения.

Данная работа выполнена при поддержке Государственной корпорации «Росатом», контракт №Н.4д.47.03.08.081 от 15.02.08.

Список литературы

- [1] Куин Т. Температура. – М.: Мир, 1985.
- [2] Бычковский Р.В. Контактные датчики температуры. – М.: Metallurgia, 1978.
- [3] www.metran.ru
- [4] www.analog.com

Рукопись поступила 13 марта 2008 г.

Д.А. Васильев, В.А. Кренделев, В.Н. Федорченко
Цифровой термопреобразователь.

Редактор Л.Ф. Васильева.

Подписано к печати 26.03.2008. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 1,125. Уч.–изд.л. 0,9. Тираж 80. Заказ 33. Индекс 3649.
ЛР №020498 от 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2008-3, ИФВЭ, 2008
