

УДК 620.179

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Протасов А. Г.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

В статье рассмотрена схема построения многоканального стенда для контроля температуры. В состав стенда вошли цифровые термометры, которые образуют однопроводную сеть, построенную по технологии I-Wire. Преимуществами цифровых термометров с точки зрения организации магистрали, по сравнению с другими температурными сенсорами являются высокие метрологические характеристики и хорошая помехоустойчивость, что дает им предпочтение при построении многоточечных систем температурного контроля. Проведенные исследования на экспериментальном стенде позволили продемонстрировать эффективность использования технологии I-Wire при построении сети цифровых преобразователей, которая может обеспечить относительные измерения, контроль параметров в различных точках закрытого объема, а так же обеспечить многоточечный температурный мониторинг в режиме реального времени. Однопроводные сети I-Wire, организованные на базе цифровых преобразователей температуры могут найти применение в построении систем автоматизации контроля и управления технологическими процессами, где температура является ключевым параметром.

Ключевые слова: цифровые термометры, однопроводные сети.

Постановка проблемы

Проблема измерения и контроля температуры сегодня не является новой, но остается актуальной. Потребность в измерениях температуры с познавательной целью возникла еще в середине XVI в. С тех пор до сегодняшнего времени появилось множество средств измерения, позволяющих с той или иной точностью определять значения температуры. Температура играет важную роль в повседневной жизни человека. Согласно статистическим данным около 40% всех измерений приходится на температурные. В некоторых областях промышленности эта доля значительно выше. Так, в энергетике температурные измерения составляют до 70% общего количества измерений [1]. Непрерывная интенсификация технологических процессов, направленная на повышение качества продукции, сокращение энергоемкости производства, удовлетворение растущих требований экологии выдвигают новые требования перед учеными и инженерами. Нужно отметить, что особое значение температура имеет при контроле, автоматизации и управлении технологическими процессами [2]. Точность соблюдения температурного режима часто определяет не только качество, но и принципиальные возможности применения продукции в определенных целях, например при выращивании полупроводниковых монокристаллов и т.п.

Очень часто на практике требуется получать не абсолютные, а относительные измерения, контролировать параметры в различных точках закрытого объема (печах, термо-камерах и т.п.), определять среднее значение температуры в закрытом объеме. Осуществлять непосредственный мониторинг температуры в режиме реального времени, обеспечивать приоритетную сигнализацию о факте

выхода контролируемого параметра за пределы заданных значений. Сегодня, так же, нужна не только абсолютная точность измерения, но и малая дискретность представления температуры.

Анализ последних исследований и публикаций

Рядом зарубежных фирм (например, DALLAS Semiconductor Corporation (Maxim Integrated Products) [3]) были разработаны цифровые датчики температуры, которые минимизируют дискретность представления результата измерения [4]. Принцип действия таких датчиков основан на подсчете количества импульсов, вырабатываемых генератором с низким температурным коэффициентом во временном интервале, который формируется генератором с большим температурным коэффициентом. Счетчик инициализируется значением, соответствующим минимальной измеряемой температуре. Если счетчик достигает нуля перед тем, как заканчивается временной интервал (это означает, что температура больше минимальной измеряемой), то регистр температуры, который также инициализирован значением этим значением, инкрементируется. Одновременно счетчик предустанавливается новым значением, которое задается схемой формирования наклона характеристики. Эта схема нужна для компенсации параболической зависимости частот генераторов от температуры. Счетчик снова начинает работать, и если он опять достигает нуля, когда интервал еще не закончен, процесс повторяется снова. Схема формирования наклона загружает счетчик значениями, которые соответствуют количеству импульсов генератора на один градус Цельсия для каждого конкретного значения температуры. По окончании процесса преобразования регистр температуры будет содержать значение температуры.

К важным разработкам компании DALLAS в области электроники можно отнести однопроводной интерфейс, который нашел применение в трех основных сферах- приложениях [5]:

- для решения проблем идентификации, переноса или преобразования информации (технология iButton),
- программирование встроенной памяти интегральных компонентов,
- системы автоматизации (технология сетей 1-Wire).

Если первое применение широко известно на мировом рынке, и уже давно пользуется заслуженной популярностью, а второе с успехом обеспечивает возможность легкой перестройки функций полупроводниковых компонентов с малым количеством внешних выводов, производимых фирмой Dallas Semiconductor Corp., то системы автоматизации на базе 1-Wire-шины еще не получили должного признания. Ранее такая ситуация определялась, крайне ограниченным набором компонентов для организации применений в области автоматизации. Однако в последнее время появляется все больше сообщений и конкретных примеров использования 1-Wire-интерфейса в самых различных областях, все больше разработчиков проявляют интерес к этой технологии, что связано,

прежде всего, со значительным расширением номенклатуры однопроводных компонентов.

Интерфейс 1-Wire содержит двунаправленную шину связи для устройств с низкоскоростной передачей данных (обычно 15,4 Кбит/с, максимум 125 Кбит/с в режиме overdrive) в которых данные передаются по цепи питания. При этом используются всего два провода — один для заземления, а второй для питания и данных. В некоторых случаях может использоваться и отдельный провод питания. Особенно привлекательным качеством технологии 1-Wire является исключительная простота настройки, отладки и обслуживания сети практически любой конфигурации, построенной по этому стандарту.

Технология iButton (также известна под названиями "touch memory") представляет собой стандарт механической упаковки, в котором компонент 1-Wire размещается внутри небольшой "таблетки" из нержавеющей стали, и подключается к системам шины 1-Wire посредством разъемов с контактами, которые касаются "крышки" и "дна" таблетки. Таким образом, элементы iButton легко могут быть соединены между собой или удалены из цепи.

Постановка задачи

Целью данной работы является исследование возможностей применения технологии 1-Wire с использованием цифровых датчиков температуры в многоканальных системах для контроля температуры в реальном масштабе времени и в нескольких точках объекта одновременно.

Изложение основного материала

Для исследований нами был разработан лабораторный стенд, в состав которого вошли цифровые термометры компании DALLAS Semiconductor Corporation серии DS18S20, которые обеспечивают измерение температуры в диапазоне $-55..+125^{\circ}\text{C}$ с дискретностью $0,5^{\circ}\text{C}$.

Преимуществами этих цифровых термометров с точки зрения организации магистрали, по сравнению с любыми другими интегральными температурными сенсорами являются высокие метрологические характеристики и хорошая помехоустойчивость, что дает им предпочтение при построении многоточечных систем температурного контроля.

Каждый экземпляр цифрового термометра имеет свой 48-битный номер, записанный с помощью лазера во внутреннее постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) в процессе производства. Этот номер используется для адресации устройств. Кроме серийного номера в ПЗУ содержится код семейства и контрольная сумма.

Кроме ПЗУ термометр DS18S20 имеет промежуточное ОЗУ объемом 8 байт, плюс два байта энергонезависимой памяти. Для DS18S20 температура представляется в виде 9-битного значения в дополнительном коде. Поскольку это значение занимает 2 байта, все разряды старшего байта равны знаковому разряду. Дискретность представления температуры составляет $0,5^{\circ}\text{C}$.

Каждая микросхема термометра выполнена по технологии iButton, т.е. заключена в стальной герметичный цилиндрический корпус (Micro Can) и имеет свой регистрационный номер (ID), записываемый в процессе изготовления в ПЗУ. Конструкция iButton позволяет закрепить микросхему практически на любой поверхности, включая печатные платы. Обмен данными с iButton производится через интерфейс 1-Wire.

Основной архитектуры 1-Wire-сетей, является топология общей шины, когда каждое из устройств подключено непосредственно к единой магистрали, без каких-либо каскадных соединений или ветвлений. При этом в качестве базовой используется структура сети с одним *ведущим* (мастером) и многими *ведомыми*. В этом случае каждый из однопроводных приборов сразу готов к использованию в составе 1-Wire-сети, без каких-либо дополнительных аппаратно-программных модификаций. На рис. 1 показана конфигурация интерфейсной части такой сети.

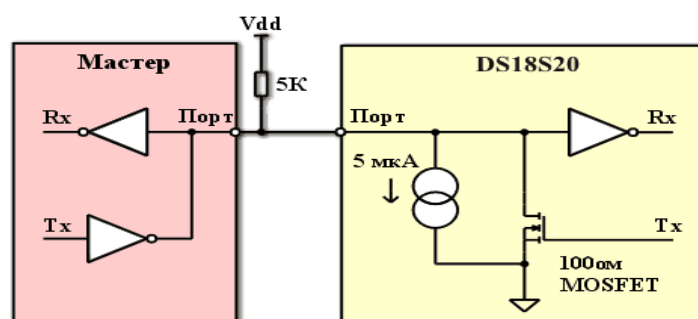


Рис. 1. Аппаратная конфигурация интерфейсной части однопроводных устройств

Протокол интерфейса 1-Wire обеспечивает возможность работы с множеством микросхем iButton, подключенных параллельно к линии данных. Команды интерфейса позволяют определить ID всех iButton, подключенных в данный момент к линии и затем работать с конкретным прибором, переведя остальные в режим ожидания. Управление линией данных и выдачу команд производит ведущее устройство, в качестве которого может использоваться любой микроконтроллер или персональный компьютер. Для обеспечения целостности данных используется вычисление контрольных кодов, а также аппаратный промежуточный буфер в ОЗУ iButton. Данные сначала записываются в этот буфер, затем ведущий проверяет их правильность, и только после этого выдает команду ведомому устройству – скопировать их из буфера в основную память.

Для подключения iButton к персональному компьютеру фирмой Dallas Semiconductor выпускаются адаптеры, преобразующие сигналы стандартных портов компьютера (COM, LPT и USB) в сигналы 1-Wire. В качестве адаптера для организации предлагаемой сети термометров был выбран адаптер типа MicroLAN, который дает возможность персональному компьютеру обслуживать в качестве мастера 1-Wire-сеть. На рис. 2. Показана схема организации се-

тей MicroLAN, которая позволяет составлять сеть преобразователей, протяженностью до 25 метров.

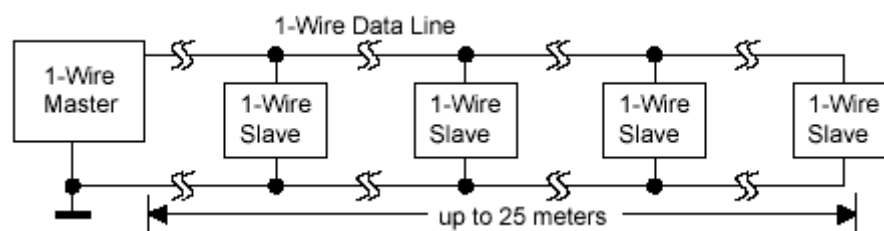


Рис. 2. Схема организации сетей MicroLAN

Экспериментальная реализация предложенного метода

Для организации многоканального стенда были выбраны 5 цифровых датчиков температуры типа DS18S20. В качестве объекта контроля использовалась пластина из текстолита. Цифровые преобразователи располагались на пластине по схеме, показанной на рис. 3А. Через адаптер типа MicroLAN преобразователи были подключены к компьютеру, образуя пятиканальную систему измерения температуры. Функциональная схема этой системы представлена на рис. 3Б.

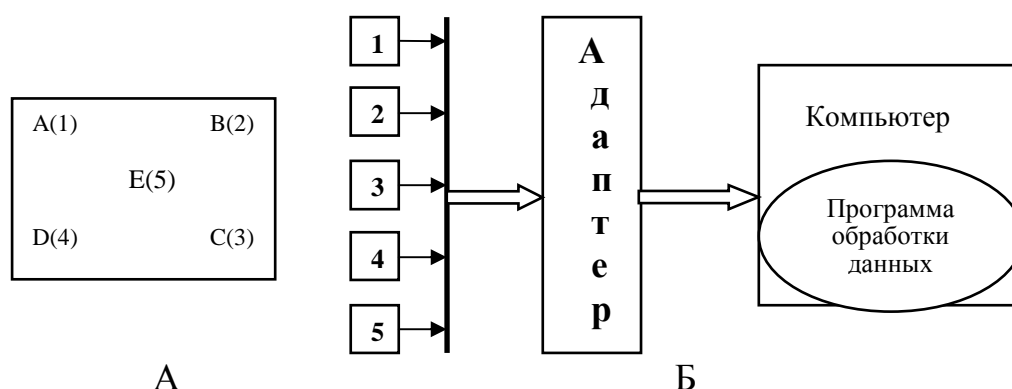


Рис. 3. А – схема размещения цифровых преобразователей на пластине; Б – функциональная схема стенда для измерения температуры, где 1, 2, 3, 4, 5 – цифровые преобразователи

В процессе эксперимента контролируемая пластина нагревалась кварцевой лампой типа КФО-05. Напряжение питания нагревателя регулировалось при помощи источник питания ЛАТР-1М, что позволяло изменять температуру пластины. Кроме того, контролируемая пластина была закреплена на шарнире, который позволял изменять угол наклона пластины по отношению к нагревателю, что обеспечивало неравномерный нагрев пластины.

Сбор и обработка результатов измерения осуществлялся при помощи компьютерной программы «Temp. Keeper», которая позволила визуально наблюдать за происходящими изменениями, а так же контролировать указанные параметры. Программа была адаптирована для работы с цифровыми термометрами DS1820 фирмы Dallas Semiconductor через адаптер сети MicroLan, подключае-

мый к последовательному порту компьютера. Предлагаемый вариант программы позволяет осуществить следующие операции:

- автоматическое нахождение подключенных датчиков по команде,
- индивидуальные настройки сигнализации для каждого датчика,
- отображение измеряемых параметров на графике для более удобной оценки их изменений,
- выдача выбранного для каждого объекта звукового сигнала,
- вычисление средней температуры при многоточечном контроле.

Результаты измерений многоканального стенда отображались на экране компьютера в виде таблицы с числовыми значениями температуры по каждому каналу (рис. 4). Данные постоянно обновлялись через заданный промежуток времени (в данном случае 2 с).

Time	Status	DS10_001	DS10_002	DS10_003	DS10_004	DS10_005
01.01.00 0:08:04	Start					
01.01.00 0:08:04		22,6°	21,9°	21,7°	21,9°	22,4°
01.01.00 0:08:07		22,6°	21,9°	21,8°	21,9°	22,4°
01.01.00 0:09:03		22,6°	22°	21,8°	21,9°	22,4°
01.01.00 0:09:05		22,6°	21,9°	21,8°	21,9°	22,4°
01.01.00 0:09:52	Stop					
01.01.00 0:09:57	Start					
01.01.00 0:09:57		22,8°	21,9°	21,7°	21,9°	22,4°
01.01.00 0:10:00	Stop					
01.01.00 0:10:07	Start					
01.01.00 0:10:07		22,8°	21,9°	21,8°	21,9°	22,4°
01.01.00 0:10:12		22,7°	21,9°	21,8°	21,9°	22,4°
01.01.00 0:10:16	Unload					
01.01.00 0:10:21	Load					
01.01.00 0:10:31	Start					
01.01.00 0:10:31		22,8°	21,9°	21,8°	22°	22,4°
01.01.00 0:10:32		22,8°	21,9°	21,8°	22°	22,4°
01.01.00 0:10:41		22,8°	21,9°	21,8°	22°	22,4°
01.01.00 0:10:43		22,9°	21,9°	21,8°	22°	22,4°
01.01.00 0:10:45		22,9°	22°	21,9°	22°	22,5°

Рис. 4. Таблица результатов измерения температуры

Для наглядности представления информации результаты так же были представлены в виде графиков изменения температуры во времени (рис. 5). Таким образом, предложенная система дает возможность наблюдать изменения температуры в контрольных точках в режиме реального времени.

Увеличение разрешающей способности результатов измерения возможно получить путем дополнительных вычислений.

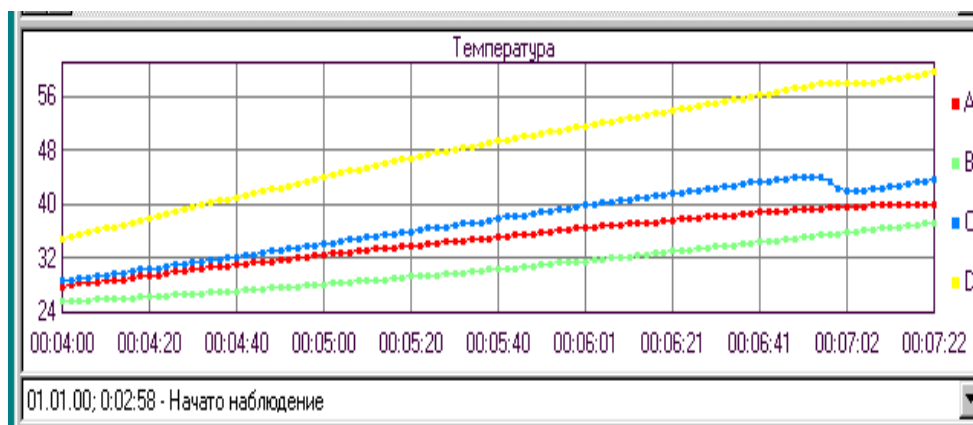


Рис. 5. Графики изменения температуры во времени для А, В, С, D преобразователей

Для этих вычислений требуется отбросить младший бит полученного значения температуры и произвести вычисления по формуле:

$$T = A - 0,25 + (B - C) / B,$$

где T – действительное значение температуры, A – полученное значение температуры, B – количество импульсов на один градус для данной температуры, C – значение, оставшееся в счетчике в конце измерения. Такой расчет позволяет получить дискретность представления температуры $0,1^{\circ}\text{C}$.

Использование в предложенном стенде описанных компонентов дает возможность осуществлять сбор дискретной информации с территориально рассредоточенных датчиков. Что позволяет использовать предложенный стенд в многоканальных цепях систем автоматизации контроля и управления температурными режимами различных технологических процессов или рассредоточенного оборудования (нагреватели, кондиционеры и т.п.).

А так же, описанный стенд может быть успешно использован в учебной лаборатории для изучения студентами явления распространения тепловой энергии в наглядной форме, которая обеспечивает отображение сущности этого процесса.

Выводы

Таким образом, предложенная схема построения многоканального стенда контроля температуры показывает эффективность использования технологии 1-Wire при построении сети цифровых преобразователей температуры, которая обеспечивает многоточечный температурный мониторинг в режиме реального времени путем регистрации температурных значений, измеренных через заданные промежутки времени и обеспечивает индикацию и сохранение полученной информации в энергонезависимой памяти.

Однопроводные сети 1-Wire, организованные на базе цифровых преобразователей температуры могут найти применение в построении систем автоматизации контроля и управления технологическими процессами, где температура является ключевым параметром.

Перспективы дальнейших исследований

Поскольку дискретная информация о температуре объекта контроля не отображает распределение теплового поля по всей поверхности объекта, то дальнейшие исследования могут быть направлены на построение (реконструкцию) и визуализацию этого поля по полученным дискретным значениям температуры. А так же, определение оптимального количества точек для измерения, по которым тепловое поле может быть реконструировано с учетом требуемой точности измерения температуры и размера объекта.

Литература

1. Температурные измерения. Справочник/ под ред. Геращенко О. А. АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения. – К.: Наук. Думка, 1989. – 704 с.

2. Корогод А. С. Пирометр с FRAM- памятью / А. С. Корогод, А. Г. Протасов // Сб. докладов 6-й международной н-т конф. «Приборостроение 2013», Минск. – 2013. – С. 68 – 70.
3. <http://www.maximintegrated.com/>
4. <http://pdfserv.maxim-ic.com/arpdf/DS18S20.pdf>.
5. <http://www.maximintegrated.com/en/products/ibutton/software/1wire/wirekit.cfm/>

*Надійшла до редакції
15 лютого 2015 року*

© Протасов А. Г., 2015

УДК 620.179.14

ІМПУЛЬСНИЙ ВИХРОСТРУМОВИЙ КОНТРОЛЬ ТОВЩИНИ ДІЕЛЕКТРИЧНОГО ПОКРИТТЯ НА МАГНІТНІЙ ОСНОВІ

Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
м. Київ, Україна*

В статті розглядається проста і ефективна альтернатива традиційному вихрострумому методу неруйнівного контролю з гармонічним збудженням – імпульсний вихрострумний метод контролю. Можливості застосування цього методу показані на прикладі контролю товщини діелектричного покриття на електропровідній основі. Метою роботи є аналіз системи контролю товщини покриття перетворювачем в режимі імпульсного збудження. Наведено методіку оброблення інформаційного сигналу - відгуку системи «ВСП-ОК» на збуджуючий імпульсний сигнал, яка ґрунтується на використанні перетворення Гільберта. Наведено експериментальні результати оцінки товщини покриття. В якості інформативних параметрів сигналу перетворювача, розглянуто використання частоти та загасання коливань інформаційного сигналу. Встановлено загальний характер залежності цих параметрів від товщини діелектричного покриття.

***Ключові слова:** імпульсний вихрострумний неруйнівний контроль, перетворення Гільберта, амплітудна та фазова характеристики, декремент, частота сигналу.*

Вступ

Застосування в засобах неруйнівного контролю сучасних цифрових методів оброблення інформативних параметрів сигналів дозволяє підвищити їх ефективність і розширити функціональні можливості. Традиційні методи вихрострумного неруйнівного контролю (ВСНК) з використанням гармонічного сигналу збудження при оцінці різних характеристик об'єкта контролю (ОК) зазвичай полягає в аналізі таких інформативних параметрів, як амплітуда і початкова фаза прийнятих сигналів (або ортогональні складові сигналів у разі їх представлення на комплексній площині) [1]. Проте в практиці ВСНК все частіше застосовують й інші методи ВСНК, наприклад методи, які ґрунтуються на імпульсному збудженні вихрових струмів. Наприклад в роботі [2] розглянуто спільне використання гармонічного і імпульсного режимів збудження електромагнітного поля при контролі стінок труби з метою збільшення числа контрольованих характеристик ОК. Позитивний ефект досягається за рахунок використання під час оброблення інформаційного сигналу вихрострумного перетворювача (ВСП) додатко-