

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ТЕРМОСТАТ

Янковский Н.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассматривается разработка универсального программируемого термостата, предназначенного для автоматизации процессов поддержания заданного температурного режима. Приведено обоснование выбора комбинированной системы управления, включающей симисторный регулятор для ТЭНа и полевые транзисторы для элемента Пельтье. Описана модульная архитектура устройства на базе микроконтроллера ATmega8-16, включающая интерфейсы RS-485, часы реального времени DS3231 и двухканальную систему измерения температуры. Представлены результаты обоснования технических характеристик, подтверждающие точность поддержания режима с погрешностью не более 5% в диапазоне от -20 до +80 °С, и экономическое обоснование, демонстрирующее эффективность разработки.

Ключевые слова: термостат, система терморегулирования, ATmega8-16, элемент Пельтье, симисторное управление, RS-485, прецизионное регулирование температуры.

Введение

В современной микроэлектронике, медицинской технике и промышленной автоматизации остро стоит вопрос создания высокоточных и надежных систем терморегулирования. Стабильность температурного режима является критическим фактором для обеспечения корректной работы чувствительных электронных компонентов, проведения биологических и химических реакций, а также для эксплуатации лазерных установок и оптических систем. Анализ существующих решений, таких как промышленные регуляторы серии ОВЕН ТРМ1 или бюджетные термореле W1209, выявил явный разрыв на рынке: простые устройства не обладают необходимым функционалом и точностью, в то время как профессиональные системы имеют избыточную стоимость и сложность. Это определяет потребность в разработке универсального программируемого термостата, сочетающего гибкость алгоритмов управления, высокую энергоэффективность и поддержку промышленных интерфейсов связи.

Основные методы терморегулирования и требования к системе

В современной практике управления температурой выделяют два основных подхода: позиционное (гистерезисное) управление и пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) регулирование. Простые релейные схемы, реализуемые в дешевых термостатах, неизбежно приводят к колебаниям температуры и появлению «пилообразного» графика, что неприемлемо для прецизионных задач. ПИД-регуляторы лишены этого недостатка, так как позволяют плавно изменять мощность на исполнительном устройстве.

Разрабатываемый термостат предназначен для работы в расширенном диапазоне температур от -20 °С до +80 °С. Ключевым требованием является обеспечение суммарной погрешности измерения и поддержания режима не более 5%. Для достижения такой точности в широком диапазоне, включая область отрицательных температур, где цифровые интерфейсы могут работать нестабильно, в проекте реализована комбинированная система измерения. Она включает внешний цифровой датчик DS18B20 в качестве основного канала и внутренний аналоговый сенсор, подключенный к встроенному АЦП микроконтроллера, для дублирования и верификации показаний.

Аппаратная архитектура устройства

Центральным элементом разрабатываемого термостата является 8-битный микроконтроллер ATmega8-16 от корпорации Atmel. Его выбор обусловлен оптимальным набором периферии: наличием встроенного 10-битного многоканального АЦП для обработки сигналов с аналогового датчика, аппаратной поддержкой UART для реализации промышленного интерфейса RS-485 и достаточным количеством портов ввода-вывода. Архитектура AVR обеспечивает высокую помехоустойчивость и стабильность работы в условиях коммутационных помех от силовых цепей.

Силовая часть системы построена по комбинированному принципу. Для управления нагревательным элементом (ТЭН) используется симисторный ключ с оптоэлектронной гальванической развязкой. Это позволяет реализовать алгоритмы плавного фазового регулирования мощности, исключить механический износ контактов, свойственный реле, и минимизировать термомеханические нагрузки на оборудование. Для режима охлаждения применяется термоэлектрический модуль Пельтье, управляемый мощным полевым транзистором (MOSFET), работающим в ключевом режиме, что обеспечивает высокий КПД.

Для временной синхронизации суточных графиков работы в устройстве предусмотрен блок часов реального времени на прецизионной микросхеме DS3231 со встроенной термокомпенсацией. Это гарантирует минимальный временной дрейф при любых колебаниях температуры внутри корпуса. Наличие интерфейса RS-485 на драйвере с дифференциальными выходами позволяет интегрировать термостат в промышленные сети мониторинга для удаленного сбора данных и изменения уставок на больших расстояниях в условиях сильных электромагнитных помех. Все пользовательские настройки и профили работы сохраняются в энергонезависимой памяти EEPROM микроконтроллера, что обеспечивает автономность прибора при пропадании основного питания.

Заключение

Разработанный универсальный программируемый термостат представляет собой законченное техническое решение, готовое к применению в лабораторном и промышленном оборудовании. Модульная архитектура, поддержка комбинированных исполнительных устройств (ТЭН и элемент Пельтье), наличие промышленного интерфейса RS-485 и прецизионной системы измерения обеспечивают ему высокую конкурентоспособность и потенциал для дальнейшего масштабирования..

Список использованных источников:

1. Микроконтроллер 8-бит с 8 Кбайт программируемой Flash-памятью ATmega8. Техническое описание [Электронный ресурс] / Корпорация Atmel. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/> – Дата доступа: 18.03.2026.
2. Цифровой термометр с интерфейсом 1-Wire DS18B20. Техническое описание [Электронный ресурс] / Maxim Integrated. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/> – Дата доступа: 18.03.2026.
3. Белов, А. В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR / А. В. Белов. – СПб.: Наука и Техника, 2018. – 544 с.
4. Руководство по проектированию интерфейса RS-485 [Электронный ресурс] / Технический отчет Texas Instruments SLLA272. – Режим доступа: <https://www.ti.com.> – Дата доступа: 18.03.2026.