

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГИСТРАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИНТЕРФЕЙСОМ USB И ПРОГРАММНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДАННЫХ НА БАЗЕ AVTduino UNO R4 С ПОДДЕРЖКОЙ ETHERNET И POE

Сидоревич М.В.

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

Научный руководитель: Яцук В.А. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы проектирования регистратора температуры с интерфейсом USB и возможностью программной визуализации данных. В качестве аппаратной платформы используется AVTduino UNO R4 с Ethernet-интерфейсом и поддержкой питания по технологии PoE. Проанализированы основные проблемы разработки подобных устройств, включая точность измерений, устойчивость передачи данных и энергопитание. Предложена архитектура системы, включающая датчики температуры, микроконтроллерный модуль и программное обеспечение визуализации. Рассмотрен пример реализации устройства и приведены результаты его работы. Показано, что использование Ethernet и PoE позволяет повысить надёжность и масштабируемость системы мониторинга.

Ключевые слова: микроконтроллер, AVTduino UNO R4, регистратор температуры, Ethernet, PoE, USB, IoT, визуализация данных

Введение. Современные системы мониторинга температуры широко применяются в промышленности, энергетике, сельском хозяйстве и научных исследованиях. Особенно актуальны компактные и недорогие решения на базе микроконтроллеров, способные обеспечивать сбор, хранение и передачу данных в реальном времени [1].

С развитием концепции интернета вещей (IoT) возрастают требования к функциональности таких устройств. Помимо базовой регистрации температуры, необходимо обеспечивать удалённый доступ к данным, визуализацию параметров и интеграцию в сетевую инфраструктуру. В этом контексте перспективным является использование платформы AVTduino UNO R4 совместно с Ethernet-модулями и технологией питания PoE [2].

Однако разработка подобных систем сопряжена с рядом технических проблем: обеспечение точности измерений, устойчивость передачи данных, оптимизация энергопотребления и разработка удобного программного интерфейса [1–13].

Целью данной работы является разработка и анализ архитектуры микроконтроллерного регистратора температуры с интерфейсами USB и Ethernet, а также исследование особенностей его практической реализации.

Основная часть. В основу разработки положена типовая архитектура Ethernet PoE-модуля, реализованная с использованием контроллера W5500 и изолированного преобразователя питания [7].

Принципиальная схема устройства включает входной разъём RJ-45, через который одновременно подаются данные и питание напряжением порядка 48 В. Питание поступает на PoE-модуль, соответствующий стандарту IEEE 802.3af, где происходит его детекция, классификация и преобразование в стабилизированное напряжение 12 В [8].

Далее напряжение подаётся на линейные стабилизаторы, формирующие уровни 5 В и 3,3 В для питания микроконтроллера и Ethernet-контроллера. Для защиты от перенапряжений применяются TVS-диоды, а для фильтрации помех используются керамические и электролитические конденсаторы, размещённые вблизи выводов питания микросхем [9].

Измерительный канал реализован на цифровом датчике температуры, подключённом к микроконтроллеру через однопроводный интерфейс. Обработка данных осуществляется программно, после чего результаты передаются либо через USB, либо через Ethernet в виде TCP/IP пакетов [10].

Проектируемая печатная плата выполнена из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,6 мм с медным покрытием толщиной 0,035 мм. Плата двухсторонняя, 3-го класса точности, с шагом координатной сетки 0,25 мм.

Паразитная ёмкость между проводниками рассчитывается с учётом диэлектрической проницаемости основания, длины перекрытия и геометрических размеров проводников, что особенно важно для высокочастотных цепей Ethernet. Минимальная ширина проводников для цепей питания по результатам расчёта составляет 0,214 мм, однако с учётом технологического запаса принято значение 0,3 мм. Для сигнальных цепей используется ширина 0,2 мм [7].

Индуктивность печатных проводников и сопротивление изоляции оказывают влияние на стабильность работы устройства, особенно при передаче высокоскоростных сигналов. При этом изменение диэлектрических свойств материала платы под воздействием температуры и влажности может приводить к значительным потерям энергии, достигающим значительных значений от расчётной мощности схемы [8].

Расчёт ёмкости печатной платы выполняется через суммарную площадь проводников и толщину основания, что позволяет оценить распределённые параметры схемы и их влияние на работу устройства.

При работе устройства выделяется тепловая мощность порядка 2 Вт, обусловленная работой микроконтроллера, Ethernet-контроллера и стабилизаторов.

Расчёт показал, что перегрев корпуса составляет около 10,7 К, а температура нагретой зоны достигает 52,4 °С при температуре окружающей среды 40 °С (рисунок 1) [9].

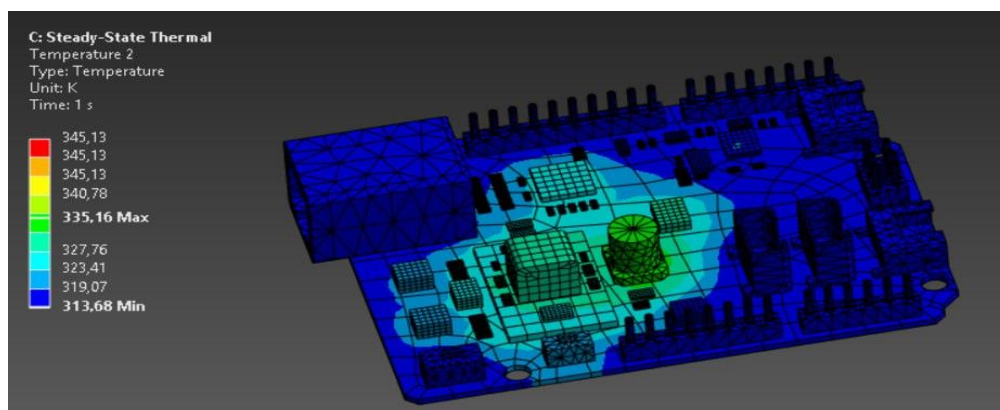


Рисунок 1 – Результат моделирования тепловых процессов в Ansys

Полученные значения находятся ниже допустимых температур для элементной базы, что подтверждает возможность эксплуатации устройства без применения активного охлаждения. Естественная конвекция через перфорированный корпус обеспечивает достаточный теплоотвод.

Надёжность устройства определяется суммарной интенсивностью отказов всех элементов, которая рассчитывается как сумма интенсивностей отказов отдельных компонентов с учётом их количества [10].

Для резисторов принята базовая интенсивность отказов порядка $3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ при коэффициенте нагрузки 0,5, а общее количество элементов составляет несколько десятков.

В результате расчёта получена средняя наработка на отказ порядка 7463 часов и вероятность безотказной работы за 15000 часов около 0,13.

Полученное значение является недостаточным для серийного изделия, что требует применения компонентов повышенной надёжности либо сокращения срока службы устройства.

Разработанный регистратор температуры обеспечивает стабильное измерение параметров среды и передачу данных по двум независимым каналам связи. Использование Ethernet позволяет интегрировать устройство в локальную сеть и реализовать удалённый мониторинг, тогда как USB обеспечивает удобство локальной настройки и диагностики.

Применение PoE существенно упрощает установку устройства и снижает требования к инфраструктуре, поскольку исключается необходимость отдельного источника питания.

Заключение. В ходе работы разработан микроконтроллерный регистратор температуры с интерфейсами USB и Ethernet и поддержкой питания PoE. Проведённый схемотехнический анализ показал целесообразность использования стандартных Ethernet-решений на базе контроллера W5500 и PoE-модулей.

Выполненный тепловой анализ показал допустимость работы устройства в заданных условиях без дополнительного охлаждения.

Расчёт надёжности выявил необходимость повышения качества элементной базы, что является важным направлением дальнейшей доработки устройства.

В целом предложенное решение может быть использовано в учебных и инженерных задачах, связанных с разработкой распределённых измерительных систем.

Список литературы

1. Электронные измерительные системы / А. А. Сидоров. – Москва : Наука, 2020. – С. 156-164
2. Arduino UNO R4 Datasheet [Электронный ресурс]. – Arduino SA. – Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-r4> – Дата доступа: 28.03.2026.
3. Алексеев, В. Ф. Определение целевых функций и их ограничений в задачах оптимизации при генеративном проектировании = *Determination of objective functions and their constraints in optimization problems in generative design* / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // *Big Data и анализ высокого уровня = Big Data and Advanced Analytics* : сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Республика Беларусь, Минск, 23–24 апреля 2025 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2025. – С. 487–494.
4. Алексеев, В. Ф. Прототипирование и концептуальное проектирование средств медицинской электроники = *Prototyping and conceptual design of medical electronics* / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // *Медэлектроника-2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии* : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.]. – Минск, 2024. – С. 202–206.
5. Моделирование и оптимальное проектирование технических систем : учебно-методическое пособие / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун, В. В. Шаталова. – Минск : БГУИР, 2024. – 99 с.
6. Алексеев, В. Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ: Учеб. пособие / В. Ф. Алексеев. – Мн.: БГУИР, 2003. – 197 с.
7. W5500 Ethernet Controller Datasheet [Электронный ресурс] / WIZnet Co., Ltd. – Режим доступа: <https://wiznet.io/products/ethernet-chips/w5500> – Дата доступа: 28.03.2026.
8. IEEE 802.3af Standard. Power over Ethernet [Электронный ресурс] / IEEE Standards Association. – Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/802_3af-2003.html – Дата доступа: 28.03.2026.
9. Silvertel PoE Modules Guide [Электронный ресурс] / Silvertel Ltd. – Режим доступа: <https://www.silvertel.com> – Дата доступа: 28.03.2026.
10. Стивенс, У. Р. TCP/IP Illustrated. Volume 1: The Protocols / У. Р. Стивенс. – Boston : Addison-Wesley, 2011. – 768 с.
11. Основы проектирования печатных плат : учебное пособие / под ред. В. В. Кузнецова. – Москва : Машиностроение, 2018. – 256 с.
12. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.
13. Методы расчёта надёжности радиоэлектронных средств : учебное пособие / под ред. Н. Н. Смирнова. – Москва : Радио и связь, 2015. – 288 с.

UDC 621.3.049.77:004.318

DESIGN OF A TEMPERATURE DATA LOGGER WITH USB INTERFACE AND DATA VISUALIZATION USING ARDUINO UNO R4 WITH ETHERNET AND POE SUPPORT

Sidorevich M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Yashchuk V.A. – Master of Sci., Assistant Professor, Department of Information and Computer Systems Design

Annotation. This paper presents the design of a microcontroller-based temperature data logger with a USB interface and software-based data visualization. The system is based on the Arduino UNO R4 platform with Ethernet connectivity and Power over Ethernet (PoE) support. Key challenges such as measurement accuracy, data transmission reliability, and power supply are analyzed. The proposed system architecture includes temperature sensors, a microcontroller unit, and visualization software. A prototype implementation is described, demonstrating stable operation and effective data handling.

Keywords: microcontroller, AVTduino UNO R4, temperature logger, Ethernet, PoE, USB, IoT, data visualization