

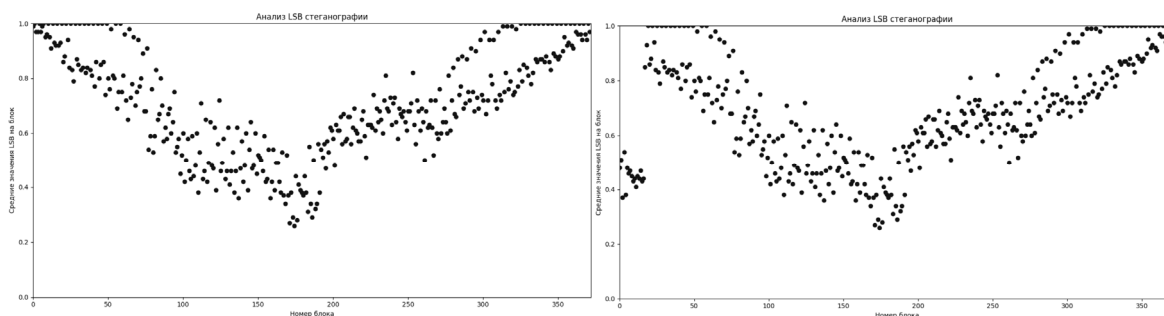


Рисунок 4 — Точечный график средних значений наименее значимых битов (LSB) разделенный на блоки

Заключение. Разработанный программный продукт решает задачу стеганографии LSB-методом желаемого изображения с возможностью расшифровки и экспертного анализа по трем типам графиков.

Список цитируемых источников

1. Кустов, В. Н. Цифровая стеганография — от прошлого к будущему / В. Н. Кустов, Д. К. Процко // Вестник научных конференций. — 2017. — № 2—3(18). — С. 61—71.
2. Skyeng. — URL: <https://skyeng.ru/magazine/chto-takoe-visual-studio-code/> (дата обращения: 25.11.2024).
3. Skillfactory media. — URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/python/> (дата обращения: 25.11.2024).

УДК 621.315.322.4

И. В. Дубень, Д. В. Гордич, А. Д. Пахольчик

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,
Барановичи, Республика Беларусь*

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Введение. Распределённые электронагреватели играют важнейшую роль в решении задач, связанных с контактным нагревом крупных объектов и протяжённых конструкций. Они применяются для предотвращения замерзания трубопроводов, подогрева водосточных систем, поддержания оптимальных температур технологических ёмкостей и многое другое. Традиционные резистивные нагревательные устройства демонстрируют высокую эффективность и надёжность в большинстве случаев эксплуатации.

Современные требования рынка всё чаще обращают внимание на инновационные материалы, такие как карбоновое (углеродное) волокно, которое становится перспективной заменой металлическим компонентам в нагревательных кабелях. Благодаря силиконовой или тефлоновой изоляции они обеспечивают высокую теплопроводность, способность работать в широком диапазоне температур, а минимальный радиус изгиба и большие значения и широкий диапазон удельного сопротивления (от 17 до 133 Ом/м) позволяют использовать их в различных применениях [1]. Монтаж производится параллельно включенными секциями длиной по 10...12 м, что позволяет обеспечить необходимую поверхность нагрева и надёжность устройства в целом.

Выполненный нами анализ распределённых резистивных нагревательных устройств, и в частности, электрообогреваемых полов [1, 2] показал, что в большинстве случаев необходимо использование регулятора мощности как минимум с одним датчиком температуры, который размещают непосредственно в зоне нагрева.

Как известно [3], тепловыделение зависит от условий теплопередачи на всей поверхности нагрева, которая может достигать 8...12 м² и более, в т. ч. от температуры самого нагревательного элемента с учетом его температурного коэффициента сопротивления. Поэтому контроль температуры только в одном месте установки датчика температуры может быть недостаточным. Кроме того, в большинстве известных терморегуляторов регулирование осуществляется дискретным образом — путем включения и отключения напряжения по достижении минимального и максимального пороговых значений температуры [2].

Нами разработана автоматическая система регулирования нагрева на основе микроконтроллера Arduino Nano без использования датчика температуры — в функции потребляемого тока путем периодического измерения удельного сопротивления нагревательного элемента и пакетного способа управления нагрузкой [4].

Основная часть. Микроконтроллер Arduino представляет собой многофункциональное устройство, которое может применяться для управления различными системами, в т. ч. нагревательными устройствами. В нашем случае плата Arduino контролирует температуру карбонового нагревательного провода типа 12K (CF-12-F) [5] длиной 10 м с номинальным удельным сопротивлением 33 Ом/м (при температуре 20 °C).

В качестве датчика тока используется измерительный токовый трансформатор типа ZMCT103C с номинальным током 5 А в составе модуля HW-670, который обеспечивает также гальваническую развязку между цепью сетевого напряжения и измерительной цепью микроконтроллера. Встроенный в модуль двухканальный операционный усилитель LM358 с подстроечным резистором позволяют регулировать его чувствительность.

Сила тока по результатам текущего мониторинга (A) в течение времени 250 мс (12 периодов синусоиды):

$$I = \frac{I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}}{2\sqrt{2}},$$

где $I_{\text{макс}}$ и $I_{\text{мин}}$ — максимальное и минимальное значения тока в течение времени измерения (A).

Удельное сопротивление нагревательного провода (Ом/м):

$$r = \frac{U}{I L},$$

где U — напряжение сети (принимая $U = 230$ В);

L — длина провода, м.

Температура нагревательного провода ($^{\circ}\text{C}$):

$$T = 20 + \frac{r - r_{20}}{\alpha},$$

где r_{20} — номинальное удельное сопротивление при температуре 20°C , $r_{20} = 33$ Ом/м;

$\alpha = -0,0157$ Ом/($^{\circ}\text{C}$) — температурный коэффициент сопротивления карбонового нагревательного провода.

Так как возможностей 10-битного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), встроенного в микроконтроллер Arduino Nano, для обеспечения необходимой точности измерений недостаточно, поэтому нами использован 16-битный модуль АЦП типа ASD1115, который имеет максимальное разрешение 0,0625 мВ/дел. при допустимом уровне входного напряжения 2,048 В и быстродействии до 860 измерений в секунду.

После получения данных с АЦП по протоколу I2C микроконтроллер производит вычисления, позволяющие оценить текущую температуру нагрузки с погрешностью $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ и определить относительную мощность p на промежуток времени цикла работы $t_{\text{ц}}$:

$$p = \frac{T_{\text{макс}} - T}{T_{\text{макс}} - T_{\text{мин}}} \cdot 100\%,$$

где $T_{\text{макс}}$ и $T_{\text{мин}}$ — установленные максимальное и минимальное значения температуры, $^{\circ}\text{C}$.

Управление нагревательным проводом осуществляется посредством полупроводникового реле FOTEK SSR-25DA, которое включает и отключает нагревательный элемент в моменты перехода тока через ноль синусоиды на заданные промежутки времени.

Если температура ниже минимального порогового значения $T_{\text{мин}}$, то нагрузка работает постоянно ($p = 1$); по мере приближения к максимальной температуре время включения уменьшается, снижая интенсивность нагрева ($0 < p < 1$); при достижении верхнего порога температуры $T_{\text{макс}}$ реле полностью отключается, предотвращая перегрев ($p = 0$). Тогда время работы t_p (с) и останова t_o (с) устройства:

$$t_p = t_{\text{ц}} p; \quad t_o = t_{\text{ц}} (1 - p).$$

Таким образом, время цикла работы устройства t_p включает: мониторинг силы тока при $p = 100\%$ в течение времени 250 мс (12 периодов синусоиды сетевого напряжения), расчет значений тока I , сопротивления R , температуры T , уровня мощности p и рабочий цикл в течение $t_{\text{ц}} = 5$ с при времени работы t_r и останова t_o .

Настройка температурных пределов (таблица 1) выполняется с помощью инкрементального энкодера: однократное нажатие на его кнопку переводит систему в режим настройки, вращением рукоятки энкодера без нажатия устанавливается максимальная температура $T_{\text{макс}}$, а с нажатием — минимальная температура $T_{\text{мин}}$. Повторное нажатие кнопки энкодера сохраняет настройки и переводит устройство в рабочий режим. Значения температуры отображаются на четырехразрядном семисегментном дисплее типа TM1637.

Режим работы	Кнопка энкодера	Установка	Значение по умолчанию, диапазон регулирования
Ручной	Отпущена	Относительная мощность p , %	90 % (0...98 % с шагом 5 %)
Автоматический	Отпущена	Верхний уровень температуры $T_{\max}$, °C	60 °C (+10...80 °C с шагом 5 °C)
	Нажата	Нижний уровень температуры $T_{\min}$, °C	20 °C (20...40 °C с шагом 5 °C)

Заключение. Разработанная система регулирования температуры нагревательного элемента, основанная на косвенном измерении температуры посредством мониторинга силы тока и сопротивления, демонстрирует высокую эффективность и универсальность. Она может быть полезна в широком спектре применений, где требуется управление температурой распределенных нагревательных устройств без использования датчика температуры. Устройство может эффективно применяться в тепличных хозяйствах, системах подогрева трубопроводов и производственных ёмкостей, для обустройства тёплых полов и других распределенных обогревательных установок. Использование микроконтроллера Arduino в сочетании с полупроводниковым реле и энкодером позволяет гибко настраивать температурные параметры, обеспечивая управление нагревом в режиме реального времени. Такое решение открывает новые возможности для создания энергоэффективных и компактных систем обогрева, соответствующих современным требованиям.

Список цитируемых источников

1. Калькулятор для расчета греющего кабеля. — URL: <https://minifermer.ru/raschet-moshchnosti-greyushchego-kabelya> (дата обращения: 19.09.2024).
2. Терморегулятор для теплого пола. — URL: <https://teploluxe24.com/kontakty> (дата обращения: 19.09.2024).
3. Заяц, А. Е. Электрические элементные нагреватели: пособие / А. Е. Заяц, В. С. Корко, Р. И. Кустова. — Минск : БГАТУ, 2011. — 180 с.
4. Тиристорные регуляторы МЕАНДР ТРМ-1, 2, 3 и др. — URL: <https://ekm.nt-rt.ru/catalog/tiristornye-regulatory> (дата обращения: 19.09.2024).
5. Minco Heat 12k: Carbon Fiber Heating Film. — URL: <https://www.minco-heatingcable.com/carbon-fiber-heating-film> (дата обращения: 24.04.2025).

УДК 621.317.7

И. В. Дубень, Е. И. Дулько, Е. А. Титов

Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,
Барановичи, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА МИЛЛИСЕКУНДОМЕРА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Введение. В современной электронике и автоматизированных системах управление временными параметрами работы электрических цепей играет ключевую роль. От точности измерения длительности импульсов и интервалов зависят эффективность промышленного оборудования, безопасность энергетических сетей и корректность функционирования электронных устройств.

В прикладных задачах часто возникает необходимость достаточно точного измерения интервалов времени работы устройств в десятых, сотых и тысячных долях секунды. Традиционно для решения таких задач используются специализированные приборы — миллисекундомеры и хронометры. Однако их высокая стоимость и ограниченная гибкость делают их малодоступными для образовательных учреждений. Кроме того, большинство подобных устройств имеют закрытую архитектуру, что исключает возможность их модернизации или адаптации под специфические требования.

Например, в практике испытания и сертификации автоматических выключателей используется измеритель параметров реле ЧИ 2400, который предназначен для измерения временных параметров переключения контактов реле и может использоваться в качестве миллисекундомера с пределом измерения до 100 с и минимальной единицей младшего разряда 0,1 мс [1]. Однако для использования в качестве учебного оборудования возможности данного прибора являются излишними, к тому же его стоимость составляет свыше 2500 бел. руб.

Основная часть. Нами разработана конструкция и изготовлен универсальный миллисекундомер на базе микроконтроллера Arduino Nano, способный измерять время работы цепи постоянного и переменного тока с напряжением до 250 В. Возможности прибора позволяют использовать его в учебной практике для измерения времени срабатывания тепловых и электромагнитных расцепителей автоматических выключателей с точностью порядка 1 мс.

Выбор платформы Arduino Nano обусловлен ее доступностью, открытому программному обеспечению и модульности [2, 3]. Микроконтроллеры семейства Arduino широко применяются в проектах «сделай