

# Контроллер мониторинга электропроводки в помещении

Валерий Жижин

Данная статья является продолжением темы, начатой в статье «Мониторинг состояния шлейфов силовой и осветительной электропроводки в помещении», опубликованной в журнале «Современные технологии автоматизации» (СТА), № 3, 2024 г. [1]. В работе были подробно рассмотрены концепция и методы реализации системы мониторинга состояния шлейфов электропроводок в помещении с целью своевременного обнаружения коротких замыканий и перегрузок в подключённых нагрузках с последующим быстродействующим обесточиванием аварийных шлейфов. Настоящая статья посвящена описанию характеристик конкретного реализованного габаритного прототипа устройства.

## Введение

Напомним, что одной из самых частых причин пожаров в квартирах и промышленных помещениях является возгорание электропроводки. Возгорание электропроводки может возникать по нескольким причинам:

- использование старых шлейфов электропроводки и автоматических выключателей приводит к короткому замыканию (далее – КЗ) и к нагреву компонентов шлейфов;
- наличие слабых контактов соединений приводит к перегреву изоляции шлейфов;
- длительная перегрузка в электросети или некачественное оборудование также приводит к недопустимому нагреву шлейфов и распределительных коробок.

Указанные деструктивные факторы могут привести к воспламенению даже после срабатывания автоматов защиты и УЗО. Наибольшую пожароопасность представляет короткое замыкание в шлейфе. Вероятность возгорания электропроводки из-за перегрузки значительно ниже, поскольку в современных электроустановках зданий для защиты от сверхтоков в обязательном порядке (Правила устройства электроустановок (ПУЭ), актуальная версия на 2024 год – глава 7.1) должны применяться устройства защиты от импульсных помех и перенапряжений (УЗИПы) и автоматы выключения. Для раннего обнаружения и блокирования ситуаций короткого замыкания, перегрузки по напряжению, нагрева проводов в шлейфах электропроводки необходим быстродействующий кон-

троллер мониторинга тока, сетевого напряжения, температуры изоляции проводников с последующим отключением повреждённых шлейфов.

При разработке контроллера мониторинга был проведён анализ типовых схем разводки электропроводки в квартирах, частных домах и складских помещениях с учётом требований документа «Правила устройства электроустановок (ПУЭ), актуальная версия на 2024 год».

Данное устройство является дополнением, а не заменой существующего оборудования, размещается в электрощкафу последовательно с центральным автоматом защитного выключения и может быть интегрировано в систему Умный дом, Интернет вещей (IoT) по интерфейсу Wi-Fi.

## Техническое описание устройства

С целью минимизации ложных срабатываний алгоритм работы устройства должен учитывать характеристики современного подключаемого оборудования.

Современное подключаемое оборудование, как то: AC/DC-модули светодиодных осветительных приборов, встроенные электродвигатели различных устройств, компьютерные бестрансформаторные блоки питания обладают значительным реактивным импедансом нагрузки (ёмкостным или индуктивным), что приводит к искажению гармонической формы тока в шлейфе и импульсным броскам тока и напряжения. Электродвигатели свыше 1 кВт обладают значительным

начальным пусковым током, порядка 30–35 А, и в момент запуска двигателя это приводит к возникновению ударных токов свыше 100 А.

## Принципы функционирования и состав устройства

В основу работы контроллера мониторинга электропроводки в помещении заложено следующее техническое решение.

1. Используется алгоритм обнаружения КЗ и токовых перегрузок, основанный на непрерывном, с интервалом 0,002 с, отслеживании скоростей изменения (производных) токовых характеристик в контролируемых шлейфах и сравнении полученных величин с пороговыми значениями. При превышении этих значений выдаётся команда на выключение быстродействующего (время отключения не более 0,01 с) силовоточного твердотельного оптореле переменного тока, входящего в состав устройства мониторинга. Текущие значения производных токовых характеристик рассчитываются программным обеспечением (ПО) микроконтроллера, входящего в состав устройства, на основе сигналов, поступающих с внешних бесконтактных датчиков тока, закреплённых на фазных проводах шлейфов.
  2. В составе устройства применяется специальный защитный дроссель, ограничивающий скорость нарастания тока в шлейфе при КЗ и токовых перегрузках.
  3. В шлейфах производится непрерывный температурный мониторинг изоляции проводов с помощью контактных температурных датчиков.
  4. Осуществляется мониторинг сетевого напряжения на входе контроллера. При выходе значений величин сетевого напряжения из диапазона 197–254 В переменного тока контроллер генерирует сообщение «Перегрузка по напряжению».
- Функциональная схема контроллера мониторинга электропроводки представлена на рис. 1.

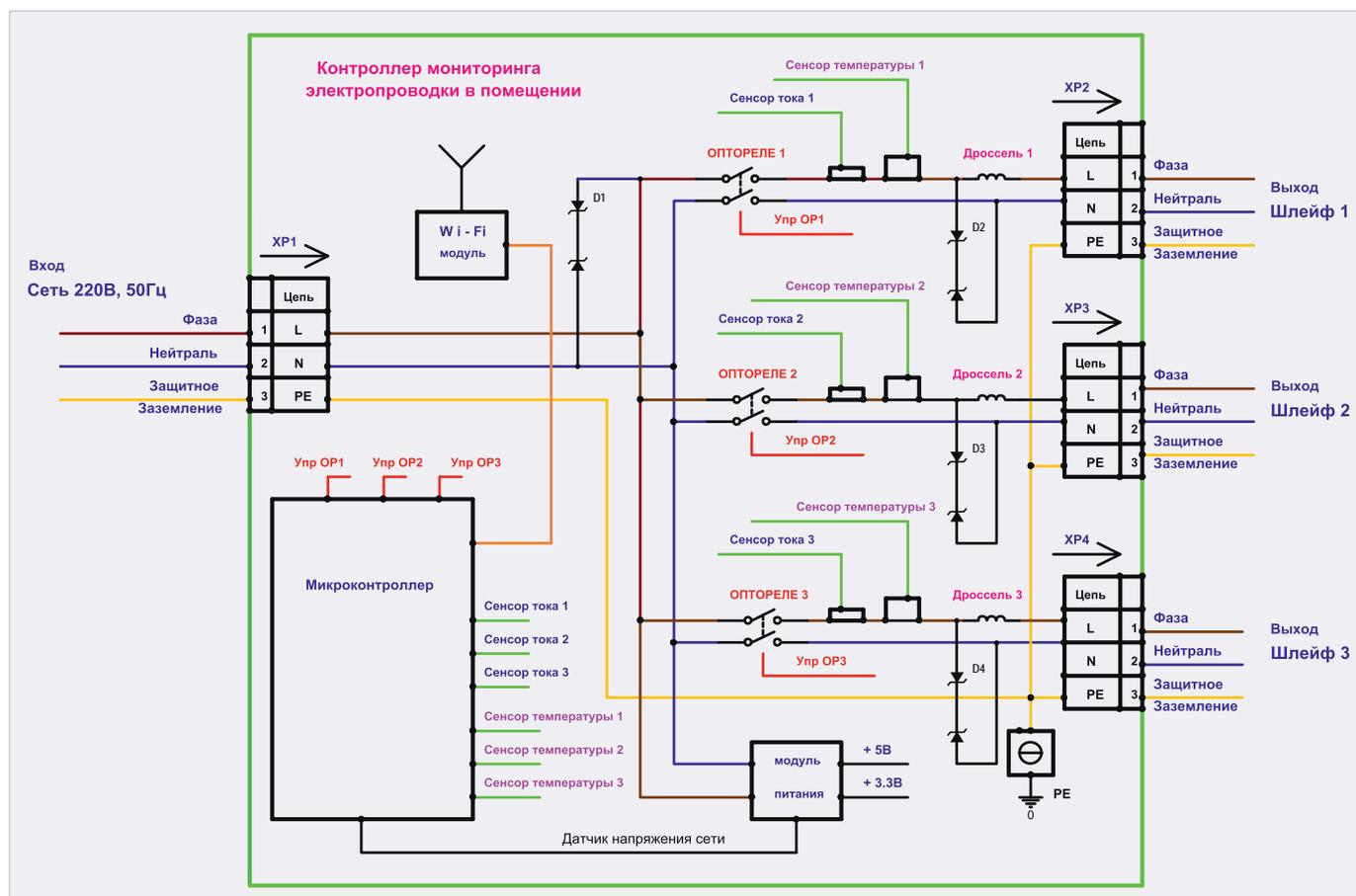


Рис. 1. Функциональная схема контроллера мониторинга электропроводки

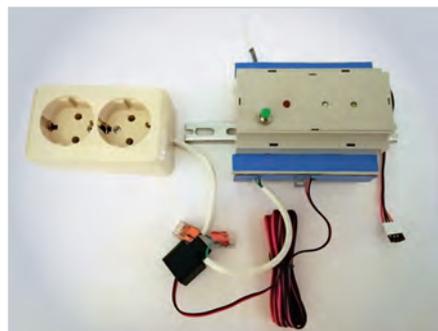


Рис. 2. Внешний вид контроллера мониторинга электропроводки

Конструктивно аппаратура контроллера размещена в стандартном корпусе D4MG размерами 90×71×57 мм с креплением на DIN-рейке. Внешний вид контроллера мониторинга показан на рис. 2.

Данная реализация устройства (версия 1) поддерживает подключение до 3 шлейфов. В последующих версиях предполагается реализовать расширение с помощью сетевого объединения контроллеров.

Как видно из представленной схемы, ядром устройства мониторинга является микроконтроллер с прошивкой в нём программой, реализующей алгоритм работы устройства.

При мониторинге бесконтактными токовыми сенсорами производятся измерения токов в шлейфах. Сенсоры закреплены с помощью клипс непосредственно на кабелях шлейфов (на фото рис. 2 датчик тока в корпусе чёрного цвета).

Выходы сигналов с токовых, температурных сенсоров и датчика сетевого напряжения, размещённого в блоке питания, подключены к портам АЦП микроконтроллера «Сенсор тока 1», «Сенсор тока 2», «Сенсор тока 3» и «Сенсор температуры 1», «Сенсор температуры 2», «Сенсор температуры 3», «Датчик напряжения сети» соответственно.

Модифицированная передаточная характеристика датчика тока выражается формулой:

$$U(t) = 0,033 \times I(t) + 1,8 (1),$$

где  $U(t)$  – напряжение на выходе датчика;  $I(t)$  – регистрируемый ток.

Модификация передаточной характеристики токового сенсора относительно исходной  $U(t) = 0,033 \times I(t)$  необходима для согласования диапазона выходных сигналов датчика  $\pm 2$  В, соответствующих диапазону токов  $\pm 60$  А, с входным диапазоном 0...3,6 В канала АЦП микроконтроллера. Для всех

3 каналов модификация осуществляется схмотехническим методом.

При возникновении аварийных ситуаций в шлейфе (короткое замыкание, длительное импульсное перенапряжение) происходит резкое, в 4–5 раз, повышение скоростей изменения токов относительно номинальных. При этом ПО микроконтроллера на линии Упр ОР вырабатывает сигнал выключения соответствующего оптореле (ОР), осуществляет фиксацию номера повреждённого шлейфа, температуры проводников и даты события в формате месяц-день-час-минута.

Период измерения тока составляет 0,002 с. Время выключения аварийного шлейфа при обнаружении токовой перегрузки или короткого замыкания не превышает 0,005–0,007 с, что в 3–4 раза быстрее времени реакции на это событие стандартных автоматов выключения электропитания.

Температурный мониторинг изоляции проводов шлейфов осуществляется с периодом 2 с (контактные температурные сенсоры 1–3). При температуре изоляции свыше 75 градусов (при максимально допустимой температуре нагрева 100°C) происходит аварийное отключение соответствующего шлейфа.

Дроссели 1–3 позволяют ограничить скорость нарастания ударных токов при коротком замыкании и тем самым снижают вероятность разрушения и оплавления токоведущих жил, а также предотвращают ложные выключения устройства мониторинга из-за воздействия кратковременных импульсных помех и пусковых токов при включении электроинструмента.

*Рассмотрим физический механизм работы дросселей на примере.*

Пусть шлейф электропроводки содержит проводники сечением  $1,5 \text{ мм}^2$  (диаметр  $0,7 \text{ мм}$ ). В этом случае его погонная индуктивность составляет  $1,6 \text{ мкГн/м}$ . Оценку проведём для длины шлейфа, равной  $30 \text{ м}$ . Предположим, что при КЗ сопротивление нагрузки снизилось до  $0,5 \text{ Ом}$ , а напряжение электропитания подаётся на изначально короткозамкнутый шлейф. Начальная фаза подачи напряжения равна  $0$ .

Численные оценки характеристики переходного процесса для тока были выполнены в среде MicroCap 12.

С учётом суммарного  $L = 48 \text{ мкГн}$  за интервал выключения оптореле  $5 \text{ мс}$  ток в цепи достигнет максимальной амплитудной величины  $620 \text{ А}$ . При последовательном включении в линию дросселя величиной  $5 \text{ мГн}$  за это же время ток достигнет величины порядка  $270 \text{ А}$ . Индуктивность дросселя выбиралась из компромиссных соображений: ограничение нарастания сверхтока при КЗ и минимальное влияние на характеристики нагрузок электрооборудования.

Таким образом, при наличии защитного дросселя на электропроводку при КЗ воздействует значительно меньший сверхток, что снижает риски повреждения электропроводки и электрооборудования.

Для подавления индуктивных выбросов при выключении оптореле в схеме устройства по входу и выходу предусмотрены быстродействующие (время срабатывания порядка  $1 \text{ нс}$ ) двуполярные защитные диоды D1–D4.

Главными отличительными особенностями представляемого устройства от аналогичных по назначению являются анализ производной токовой характеристики и применение защитного дросселя. В устройстве также предусмотрена светодиодная индикация состояния шлейфов: индикатор синего цвета – «норма», индикатор красного цвета – «авария».

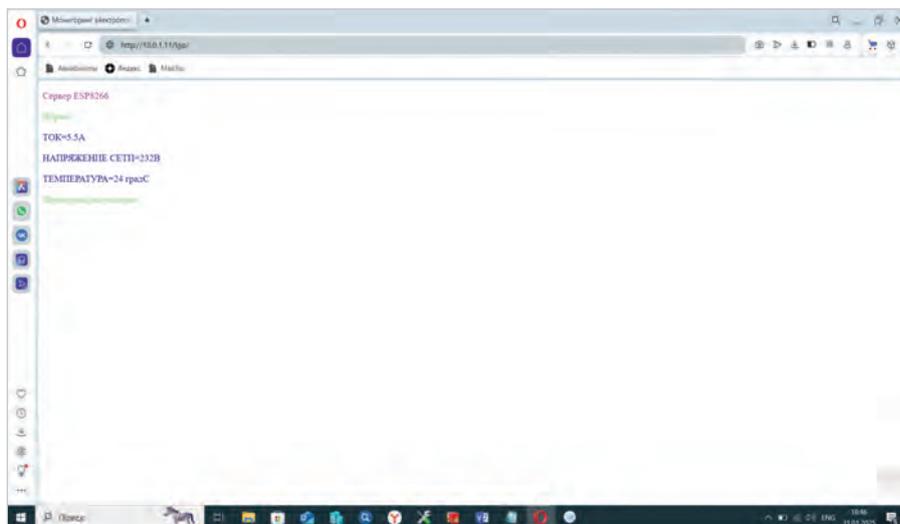


Рис. 3. Отображение результата мониторинга электропроводки в рабочем режиме

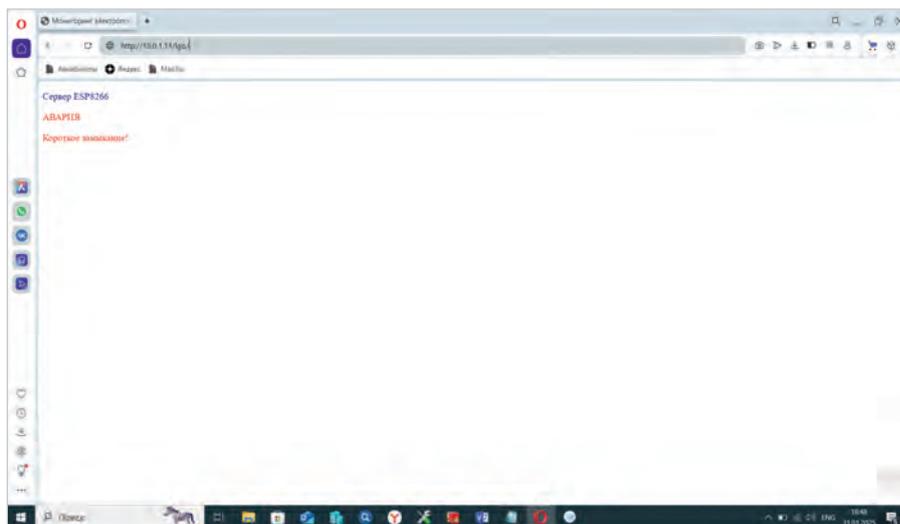


Рис. 4. Отображение результата мониторинга электропроводки при КЗ

Для минимизации ложной диагностики состояния КЗ при подключении сильнотоковых нагрузок, имеющих значительные пусковые токи (свыше  $30 \text{ А}$ ), например, мощного электроинструмента, предусмотрен режим блокирования мониторинга КЗ. Этот режим запускается пользователем с помощью подачи специальной команды. При работе в этом режиме с частотой  $1 \text{ Гц}$  мигает индикатор синего цвета.

### Элементная база контроллера

В изделии применены следующие широкодоступные и недорогие компоненты:

- микроконтроллер STM32F103C8T6;
- быстродействующие оптосимисторные реле переменного тока SSR-60DA с временем выключения не более  $10 \text{ мс}$ ;

- бесконтактные датчики тока CSCT.60, имеющие диапазон измерений  $-60...+60 \text{ А}$  и чувствительность  $0,033 \text{ В/А}$ . Преимуществами данного датчика на основе электромагнитной индукции перед интегральными токовыми сенсорами на эффекте Холла являются: бесконтактность, надёжность, простота монтажа, отсутствие электропитания;
- температурные сенсоры MF52A103F-3950  $10\text{k} - 1\%$ . Температурный диапазон  $-55...+125^\circ\text{C}$ ;
- быстродействующие двуполярные защитные диоды 1.5KE440CA.

### Взаимодействие с пользователем

Как было сказано выше, контроллер мониторинга может быть интегрирован в систему Умный дом, Интернет вещей по интерфейсу Wi-Fi. С этой целью в нём предусмотрен модуль

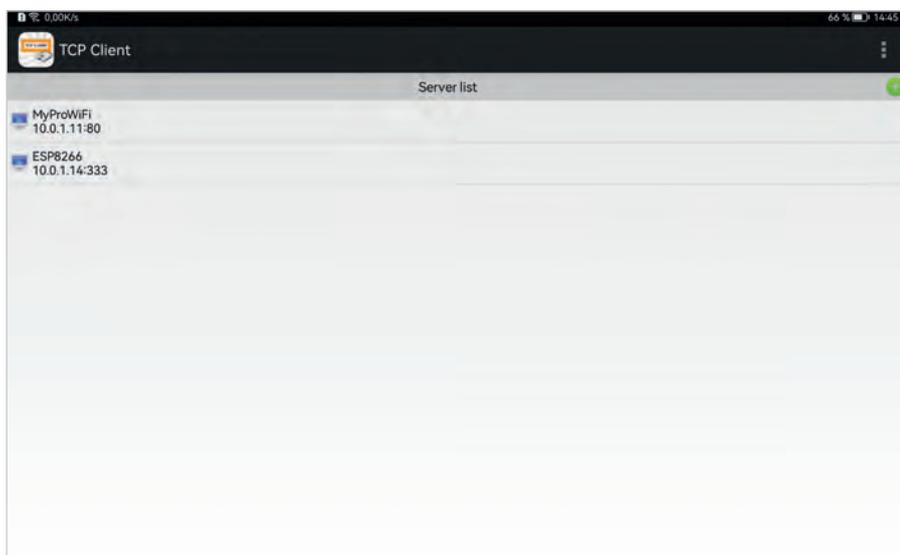


Рис. 5. Скриншот окна приложения TCP client

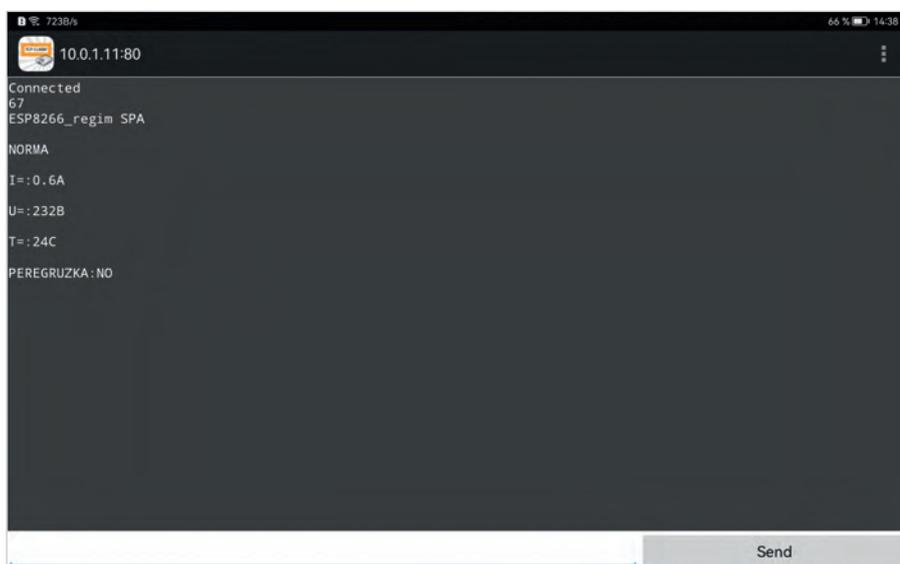


Рис. 6. Скриншот окна приложения TCP client при отображении результатов мониторинга в рабочем режиме

Wi-Fi ESP-01 – один из самых популярных модулей серии ESP8266 [2] китайского производителя Espressif Systems.

Данный компонент поддерживает стандарт 802.11b/g/n, имеет рабочую частоту 2,4 ГГц и выходную мощность 20 дБм. Радиус действия на открытой местности составляет примерно 500 м.

Основанием для выбора данной модели является и то, что для неё существуют бесплатные программные средства разработки и большой выбор библиотек и готовых решений, представленных в Интернете.

Модуль ESP-01 может быть сконфигурирован как точка доступа (soft-AP) или как станция (soft-STA). В первом случае он выступает как роутер в локальной сети без выхода в Интернет. Во второй конфигурации модуль

подключается к роутеру Wi-Fi домашней сети с выходом в Интернет.

Для получения информации от контроллера о результатах мониторинга в online-режиме наиболее предпочтительен последний вариант.

В данном устройстве реализован протокол TCP. В последующих версиях изделия планируется использовать набирающие популярность в IoT-системах экономичные протоколы MQTT или CoAP [3].

В ПО контроллера мониторинга заложена возможность управлять включением/выключением подачи электропитания на шлейфы, а также предоставлять информацию о состоянии шлейфов электропроводки: величине протекающего тока, напряжении в сети, наличии/отсутствии перегрузок по напряжению, наличии состоя-

ния КЗ. С этой целью на базе микроконтроллера устройства создаётся небольшой веб-сервер.

Связь пользователя с сервером может быть обеспечена двумя способами.

**Способ 1** – по HTTP-протоколу передачи данных с использованием «клиент-серверной» модели. При обращении к веб-серверу клиент должен послать с любого браузера HTTP-запрос, в котором должен указать IP-адрес устройства и команду для совершения конкретного действия, например, `http://10.0.1.11/lon/` – включить контроллер мониторинга с IP-адресом 10.0.1.11.

IP-адрес устройства назначается Wi-Fi-роутером домашней сети. Информацию о нём можно получить при подключении ПК к USB-порту (виртуальный COM-порт) в любой терминальной программе. Данное действие, а также мнемоника запросов при различных командах приведены в Руководстве по эксплуатации.

В контроллере предусмотрены 4 вида команд:

- «lon» – включение;
- «lof» – выключение;
- «lgo» – запрос результатов мониторинга;
- «ofkz» – отключить режим обнаружения КЗ.

Далее представлены скриншоты отображения информации, когда к контроллеру подключён один шлейф с нагрузкой. Скриншоты окон браузера Opera при запросе клиентом результатов мониторинга для рабочего и аварийного режима показаны на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

В окне представлена информация о токе в шлейфе, температуре проводников, напряжении в электросети и отсутствии перегрузок по напряжению.

**Способ 2** – с помощью установленного на смартфоне, ПК или планшете бесплатного приложения TCP-client.

Скриншот окна приложения показан на рис. 5. В первой строке указано имя домашней сети, например, MyProWiFi, во второй строке – IP-адрес контроллера 10.0.1.11 и номер порта TCP-соединения (80). Скриншот приложения при отображении результатов мониторинга в рабочем режиме показан на рис. 6. Содержание окна аналогично показанному на рис. 3.

## Электропитание контроллера

При мониторинге в нормальном рабочем режиме электропитание осу-

ществляется от сети переменного тока 220 В, 50 Гц – с выхода внешнего общего автомата выключения. При возникновении аварийной ситуации возможно размыкание внешнего автомата. В этом случае аппаратура контроллера автоматически переходит на работу от встроенной АКБ. Для этой цели модуль питания содержит схему подзарядки АКБ. При размещении устройства в неотапливаемом помещении рекомендуется использовать морозостойкие литий-полимерные АКБ LP383454LC

фирмы EEMB с возможностью работы при температуре от  $-40^{\circ}\text{C}$ , ёмкостью 720 мА·ч и номинальным напряжением 3,7 В. Для устройства, предназначенного для работы в отапливаемом помещении, возможно использование более дешёвых обычных литий-полимерных АКБ ёмкостью 2000...3000 мА·ч. Назначение автономного электропитания – обеспечивать функционирование Wi-Fi-модуля для связи с пользователем при отсутствии напряжения в электросети.

## Требования к программному обеспечению

При разработке ПО микроконтроллера учитывалось несколько важных требований, среди которых:

- быстрое действие изделия. Определение аварийной ситуации и её блокирование должны выполняться за минимальный интервал времени. Для этого в данной разработке применяются решения, позволяющие использовать возможности аппаратного ускорения операций;
- автономность изделия. Контроллер мониторинга должен самостоятельно и без участия оператора выполнять весь рабочий цикл. Для выполнения этого требования связь с клиентом поддерживается исходя из следующих принципов:

- мониторинг осуществляется на основе вырабатываемых внутренних критериев;
- обмен данными с клиентом выполняется только по инициативе клиента;
- информационные сигналы посылаются клиенту только при его подключении к изделию;

- взаимодействие с модулем Wi-Fi.

Базовая конфигурация модуля ESP-01 должна производиться с помощью AT-команд и храниться в ПО микроконтроллера. Пример конфигурации модуля в режиме станции приводится ниже.

«AT» – проверка правильности подключения и работы модуля. Модуль ответит подтверждением.

«AT+RESTORE» – сброс настроек модуля Wi-Fi.

«AT+SLEEP=0» – перевод модуля в рабочий режим из SLEEP-режима.

«AT+CWLAP» – определение точек доступа и уровень их сигнала в зоне действия.

«AT+CWMODE=1» – устанавливает режим станции STA.

«AT+CWJAP»="SSID","PASSWORD" – подключение ESP-01 к домашнему роутеру с именем SSID и паролем PASSWORD.

«AT+CIPSTA?» – отображение полученного IP-адреса для контроллера мониторинга, значения маски и шлюза. По этому адресу осуществляется запрос в поисковой строке браузера клиента.

«AT+CIPMODE=0» – включение сквозного режима передачи данных.




## ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

### Полосковые дисплеи для транспорта

- ЖК-дисплеи серии SPANPIXEL™ с яркостью до 3000 кд/м<sup>2</sup>
- Размеры по диагонали от 6,2 до 65"
- Разрешение до 4K2K
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей)  $-30...+85^{\circ}\text{C}$
- Возможна разработка под заказ
- Ресурс до 100 000 часов

**ProCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА  
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIPRU • WWW.PROCHIPRU



Рис. 10

«AT+CIPMUX=1» – включение возможности множественного подключения.

«AT+CIPSERVER=1,80» – запуск сервера с указанием номера порта (80).

«AT+CIPSTO=180» – тайм-аут сервера в секундах.

«AT+PING="ya.ru"» – проверка пинга с Интернетом. Дальнейшие настройки не приводятся, так как это уже в меньшей степени относится к ПО устройства и в большей степени к разбору логики работы веб-сети и протокола HTTP.

## Испытание изделия

Были проведены предварительные испытания устройства, целью которых являлось подтверждение правильности выбора алгоритмов работы, схемотехнических решений и достоверности обнаружения аварийных ситуаций «короткое замыкание», «перегрузка по напряжению». Испытания в целом подтвердили правильность выбранных технических решений. По результатам проведённых испытаний были оптимизированы характеристики защитных дросселей и топология размещения

компонентов на материнской плате изделия.

## Выводы

Проведена разработка, и на её основе создан недорогой контроллер мониторинга электропроводки в помещении.

Основное назначение устройства – своевременное обнаружение аварийных ситуаций в шлейфах электропроводки, таких как короткое замыкание, перегрузка по току с последующим быстрым отключением аварийных шлейфов, тем самым предотвращая возгорание электропроводки и подключённого к ней электрооборудования.

Время обесточивания аварийного шлейфа в 2–2,5 раза меньше времени срабатывания стандартного автоматического выключателя при перегрузке по току или КЗ. Данное изделие является дополнением, а не заменой существующего оборудования, размещается в электрошкафу последовательно с центральным автоматом защитного выключения и может быть интегрировано в систему Умный дом, Интернет вещей по интерфейсу Wi-Fi.

Информацию о результатах автоматического мониторинга через установленное приложение TCP-client или с использованием любого веб-браузера пользователь может получать на ПК, смартфон или планшет.

Главными отличительными особенностями представляемого устройства от аналогичных по назначению являются анализ производной токовой характеристики и применение защитных дросселей для ограничения нарастания тока при КЗ.

Контроллер мониторинга может выпускаться в двух исполнениях: для работы в отапливаемом помещении и для работы в неотапливаемом помещении. В настоящее время идёт подготовка к выпуску РКД на изделие с последующим выпуском опытной партии и сертификацией устройства.

В следующей модификации контроллера мониторинга для гибкой интеграции в сеть IoT планируется использование протокола MQTT или CoAP, а также улучшение дизайна веб-страницы пользователя.

Ожидаемая себестоимость производства изделия при объёме выпуска 200 шт. в месяц – 900...1000 рублей. ☺

## НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

### Учёные разработали крошечного 6-граммового робота, способного плавать и маневрировать в воде с невероятной точностью

Этот миниатюрный робот использует бесшумные волнообразные движения плавников для передвижения в узких и сложных водных пространствах. Его создание может произвести революцию в таких областях, как экологический мониторинг, точное земледелие и исследование водных экосистем. Разработка принадлежит инженерам из Лаборатории мягких преобразователей (LMTS) и Лаборатории диагностики нестационарного потока Инженерной школы EPFL в сотрудничестве с Институтом интеллектуальных систем Макса Планка.

Современные плавательные роботы, используемые для мониторинга окружающей среды, часто оснащены пропеллерами, которые создают шум и могут разрушать хрупкие экосистемы, например коралловые рифы или прибрежные зоны. Кроме того, такие устройства не всегда способны эффективно маневрировать среди естественных препятствий, таких как водоросли,



рыбы или мусор. Новый робот EPFL решает эти проблемы благодаря своей уникальной конструкции, которая имитирует движения морских плоских червей. Он бесшумно скользит по воде, не нарушая природного баланса, и способен перемещаться в ограниченных пространствах, таких как рисовые поля или узкие каналы.

#### Особенности робота

- **Миниатюрные размеры и вес.** Робот меньше кредитной карты и весит всего 6 граммов, что делает его идеальным для работы в труднодоступных местах.
- **Высокая маневренность.** Используя четыре искусственные мышцы, робот может двигаться вперед, назад, вбок и поворачивать с высокой точностью.
- **Скорость.** Благодаря волнообразным

движениям плавников, которые могут совершать до 10 колебаний в секунду, робот развивает скорость до 12 сантиметров в секунду (2,6 длины тела в секунду).

- **Автономность.** Робот оснащён датчиками света, которые позволяют ему автономно следовать за источниками света, что делает его независимым от внешнего управления.
- **Энергоэффективность.** Электронная система управления робота работает при напряжении до 500 вольт, но потребляет всего 500 милливатт – это в четыре раза меньше, чем у электрической зубной щётки. При этом низкие токи и экранированная схема делают устройство безопасным для окружающей среды.