

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Козинцова Е.А.

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

Научный руководитель: Кудина А.В. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. В статье рассматривается разработка программно-аппаратного контроля энергопотребления электрооборудования. Основная часть работы заключается в создании комплексного решения, которое обеспечивает сбор параметров электрической сети, хранение и передачу на системы верхнего уровня, контроль энергопотребления на основе полученных данных. Обоснована актуальность создания данного решения, а также сформулированы ключевые требования к его реализации.

Ключевые слова: программно-аппаратный модуль, управление энергопотреблением, модуль контроля энергопотребления, автоматизированные электрические сети.

Введение. Программно-аппаратный модуль контроля энергопотребления электрооборудования (далее – модуль) предназначен для непрерывного измерения, учёта и контроля параметров электрической сети и потребления электроэнергии различными электрическими нагрузками. Модуль обеспечивает сбор оперативных данных: действующее значение напряжения, действующее значение тока, активная мощность, полная мощность, коэффициент мощности, средняя мощность нагрузки. Выполняет хранение и передачу измерительной информации на системы верхнего уровня (системы диспетчеризации, автоматизированные системы учёта и управления энергопотреблением). Модуль также реализует функции защиты от перегрузки и срабатывания тревог при выходе параметров сети за заданные пределы, обеспечивает регистрацию событий и аварий, поддерживает коммуникационные интерфейсы для интеграции в энергоменеджмент и промышленную автоматику [1].

Основная часть. В данной статье рассматривается программно-аппаратный модуль для контроля энергопотребления с интегрированным измерительным трактом и коммуникационными интерфейсами. Модуль состоит из аппаратной и программной частей. Наиболее близкий аналог (прототип) программно-аппаратного устройства изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Устройство мониторинга электроэнергии KM50-E1-FLK

В устройстве KM50-E1-FLK отсутствует наличие встроенного Wi-Fi модуля и встроенного источника резервируемого питания [2].

Аппаратной частью выступает микроконтроллер STM32L151CCT6 от компании STMicroelectronics, относящийся к продуктовой линейке решений с низким энергопотреблением. Микроконтроллеры данной компании широко распространены и обладают большим сообществом пользователей, что очень часто помогает при возникновении неисправностей [3]. Чтобы разрабатываемый индикатор получился компактным и легким, в аппаратной части применяются компоненты типоразмера 0402. Также детектором гамма-излучения выступает счетчик Гейгера-Мюллера СБМ-21. Он характеризуется небольшими габаритными размерами: 21×6×6 мм. В корпусе расположен дисплей «LCD1602». В качестве

питания используется встроенный импульсный источник питания с режимом резервирования от *Li-Ion* аккумуляторной батареи. Передача данных осуществляется через встроенный *Wi-Fi* модуль (*Wi-Fi* 802.11 b/g/n).

Программная часть включает встроенное программное обеспечение (далее – ПО) (ПО для микроконтроллера, установленного в аппаратную часть), которое выполняет задачи управления. Встроенное ПО имеет прошивку с меню-конфигурациями, поддерживающая настройку каналов, установок, периодов архивации и коммуникационных параметров. Опрос и передача происходит в реальном времени с периодом от 1 с до 1 мин (в зависимости от конфигурации). Формируются архивы энергопотребления: суточные, почасовые, поминутные и архивы с заданным периодом сохранения. В прибор встроены часы реального времени (*RTC*) с резервным питанием для корректной метки времени. Используется объём локальной памяти от нескольких мегабайт до десятков мегабайт (возможна поддержка внешней флеш-памяти)[4]. Измеряемые величины: мгновенные значения U , I , P (активная), Q (реактивная), S (полная), частота сети, потреблённая или отданная энергия (фазная и суммарная).

Область применения охватывает предприятия промышленного, коммунально-бытового и коммерческого секторов, где требуется точный локальный контроль энергопотребления, оптимизация расхода энергетических ресурсов и интеграция в систему управления энергией (*EMS*). В промышленном производстве предполагает использование для мониторинга потребления на цеховых распределительных щитах, контроль электродвигателей и технологических агрегатов, выявление энергоёмких режимов, предотвращение перегрузок и аварий. В коммунальном хозяйстве модуль может быть предназначен для учёта и анализа потребления в многоквартирных домах, котельных, насосных станциях и на объектах уличного освещения для оптимизации графиков включения и снижения потерь. В торговых центрах, офисах, гостиницах осуществляет контроль по зонам для формирования тарифных стратегий, слежение за пиковыми нагрузками и снижение затрат. В сфере энергосбыта и распределительных сетей использование модуля обуславливает удалённый учёт на высоковольтных или низковольтных линиях – фидерах, контроль соответствия договорных мощностей, выявление хищений и несанкционированных подключений. Подходит для объектов с критичной инфраструктурой: дата-центры, больницы, где требуется оперативное оповещение о нарушениях электроснабжения и поддержка бесперебойности работы. Возможно использование в проектах энергосбережения и сертификации в качестве сбора базовой информации для энергоаудита, оценка эффективности мероприятий по энергосбережению.

Предусматривается возможность использования модуля в составе системы «умного здания» или для управления генерацией и аккумуляцией энергии, синхронизации с солнечными панелями и инверторами. Установка модуля на вводе цеха обеспечивает отдельный учёт прибыли подразделений и ограничения потребления в пиковые часы с помощью диспетчеризации. Интеграция нескольких модулей по *RS-485/Modbus* в *SCADA*-систему возможна для централизованного отображения установок, временной регистрации событий и построения отчётов по потреблению.

Основные характеристики:

- корпус для монтажа на *DIN*-рейку со степенью защиты корпуса не менее *IP20*;
- линейное напряжение питания 192...242 В *AC* (50 Гц) или вариант 24 В *DC* (в зависимости от исполнения);
- потребляемая мощность до 10...15 Вт.;
- рабочая температура от 0 °C до +55 °C;
- относительная влажность до 95% без конденсации;
- количество конфигурации измеряемых каналов от однофазного до трёхфазного (3-проводное либо 4-проводное) с возможностью расширения дополнительными входами тока;
- диапазон измеряемого напряжения от 57...400 В (фаза-фаза либо фаза-нейтраль);
- входы напряжения с гальванической развязкой или трансформаторным подключением;
- диапазон измеряемого тока от 0...5 А (для прямого подключения) и через трансформаторы тока (ТТ) – до 5/1 А на вход, поддерживаются ТТ с классом точности для нужных диапазонов (допускается подключение внешних шунтов для больших токов);
- класс точности для активной энергии не ниже 1, для напряжений и токов не ниже 0.5.

В приборе защита связи включает поддержку паролей, права доступа, шифрование каналов (дополнительная опция). Используются шины связи: *RS 485* (поддержка многоточечного подключения), *Ethernet 10/100Base T* (дополнительная опция), *USB* (для настройки и локального скачивания данных). Учтена защита от перенапряжения на входах, фильтрация помех, гальваническая развязка измерительных входов, формирование цифровых сигналов аварии, релейных выходов или сообщений по сети при превышении установленных параметров. Возможны различные варианты подключения: точка к точке для локального считывания, многоточечная шина для объединения нескольких модулей, интеграция по *Ethernet* в корпоративную сеть. Рабочий ресурс рассчитан на длительную непрерывную эксплуатацию в промышленной среде [5].

Заключение. Разработанный программно-аппаратный модуль для контроля энергопотребления представляет собой современное решение, сочетающее компактность, энергоэффективность и удобство использования. Применение микроконтроллера *STM32L151CCT6* обеспечивает удовлетворительную точность измерений при минимальном энергопотреблении и небольших габаритах устройства, что делает систему практичной для повседневного использования персоналом.

Перспективы развития системы включают интеграцию с облачными сервисами для удаленного мониторинга, применение более совершенных алгоритмов обработки данных и расширение функциональных возможностей. Учитывая обширное количество предприятий, использующих электрооборудование, данный модуль обладает значительным потенциалом для внедрения в различных отраслях – от медицины до атомной энергетики.

Таким образом, предложенное решение обеспечивает эффективный контроль энергопотребления, соответствуя современным требованиям безопасности. Его практическая ценность подтверждается актуальностью задачи, продуманной архитектурой и возможностями для дальнейшего развития.

Список литературы

1. Технология сборки электронных модулей: учебнометодическое пособие / В.Л. Ланин, А.А. Костюкевич. – Минск : БГУИР, 2018. – 88 с;
2. Устройства мониторинга электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.proenergo.ru/statyi/ustroystva-kontrolya-energopotrebleniya/?ysclid=mliaatuiro793581084> – Дата доступа: 20.02.2026 г.;
3. *STM32F103C8T6 Datasheet (PDF)* – *STMicroelectronics* [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html> – Дата доступа: 19.02.2026 г.;
4. Программирование микроконтроллеров *STM32*: учеб. пособие / А.А. Ключарёв, К.А. Кочин, А.А. Фоменкова. – СПб. : ГУАП, 2023. – 196 с.;
5. Телеш, Е.В. Специальное технологическое оснащение. Конспект лекций по дисциплине «Специальное технологическое оснащение» / Е.В. Телеш – Минск : БГУИР, 2007. – 202 с.

UDC 621.397.3–048.24:004.056.5

HARDWARE AND SOFTWARE MODULE FOR MONITORING ENERGY CONSUMPTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Kazintsova Y.A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
Kudina A.V. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ETT*

Annotation. This article discusses the development of hardware and software for monitoring the energy consumption of electrical equipment. The primary focus of the work is the creation of a comprehensive solution that collects electrical network parameters, stores and transmits them to higher-level systems, and monitors energy consumption based on the data collected. The relevance of this solution is substantiated, and key requirements for its implementation are formulated.

Keywords: Electrical equipment, energy consumption monitoring module, electrical networks, energy management, hardware and software module.