

УДК 681.5:004.383

## АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ

*Тыманович Н.А., студент, Скудняков Ю.А., канд. техн. наук*

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

*Скудняков Ю.А. – канд. техн. наук, доцент каф. ИСиТ*

**Аннотация.** Для аппаратного обеспечения микроконтроллерной системы в работе используется технология Bluetooth Low Energy, разработана модульная структура прототипа системы, проведены основные этапы проектирования системы, схемотехнические и конструкторские решения.

**Ключевые слова.** Аппаратное обеспечение, микроконтроллерная система, модульная структура, этапы проектирования.

**Введение.** Пользовательский опыт испытывает большие издержки при организации взаимодействия посредством проводных интерфейсов и интерфейсов, имеющих проблемы в организации «горячих» подключений и прочих опций, улучшающих общее качество пользовательского опыта. Однако, начиная появляться стандарты беспроводной связи, которые предусматривают многие трудности и проблемы, которые возникают при создании соответствующих связей, встраиваются в современные микропроцессоры и становятся готовы к проектированию сложных систем на их основе уже сегодня. Одна из таких технологий – Bluetooth Low Energy.

**Основная часть.** Bluetooth 5 – это наиболее значительное усовершенствование стандарта Bluetooth с момента появления технологии BLE 4.0 (Bluetooth Low Energy в Bluetooth 4.0). Он выводит Bluetooth LE на новый уровень, делает возможными новые варианты использования и улучшает существующие [1,2]. Многопротокольные SoC серии nRF52 обладают высокой производительностью и поддерживают Bluetooth 5. GATT – это аббревиатура от Generic ATTtribute Profile, и он определяет способ, которым два устройства Bluetooth с низким энергопотреблением передают данные туда и обратно, используя концепции, называемые сервисами и характеристиками. Он использует общий протокол данных, называемый протоколом атрибутов (ATT), который используется для хранения сервисов, характеристик и связанных данных в простой таблице поиска с использованием 16-битных идентификаторов для каждой записи в таблице. Сервис может иметь одну или несколько характеристик, и каждый сервис отличается от других сервисов с помощью уникального числового идентификатора, называемого UUID, который может быть либо 16-битным (для официально принятых сервисов BLE), либо 128-битным (для пользовательских сервисов). Характеристики – это основной элемент, с которым предстоит взаимодействовать центральным и периферийным устройством BLE, поэтому важно понимать данную концепцию. Они также используются для отправки данных обратно на периферийное устройство BLE, поскольку также существует возможность записи характеристики.

При проектировании микроконтроллерной системы (МКС) можно использовать однокристалльный микроконтроллер (МК) [3]. В данной разработке используется МК серии nrf5xxx. Он отвечает требованиям сложных приложений, которым требуется параллелизм протоколов, а также богатый и разнообразный набор периферийных устройств и функций. Полностью поддерживается многопротокольность с полным параллелизмом протоколов благодаря поддержке популярных операционных систем реального времени и проектированием продвинутой периферии интерфейсов с DMA, поддерживаются протоколы Bluetooth LE, Bluetooth mesh, Thread, Zigbee, 802.15.4, ANT и собственные стеки 2,4 ГГц. МК спроектирован на базе 32-разрядного ЦП ARM® Cortex™-M4 с модулем с плавающей запятой. Также имеется NFC-A. Имеется множество цифровых периферийных устройств и интерфейсов, таких как высокоскоростной SPI и QSPI для взаимодействия с внешней флэш-памятью и дисплеями, PDM и I2S для цифровых микрофонов и аудио, а также полноскоростное USB-устройство для передачи данных и источника питания для подзарядки аккумулятора. Исключительно низкое энергопотребление достигается за счет сложной встроенной системы адаптивного управления питанием. Общее описание BME280 представляет собой комбинированный цифровой датчик влажности, давления и температуры. BME280 обеспечивает высокие показатели точности влажности, давления и температуры. Датчик поддерживает интерфейсы SPI и I<sup>2</sup>C и может питаться от 1,71 до 3,6 В для питания датчика V DD и от 1,2 до 3,6 В для питания интерфейса V DDIO. Когда датчик отключен, потребление тока падает до 0,1 мкА. Чтобы адаптировать скорость передачи данных, шум, время отклика и потребляемый ток к потребностям пользователя, могут быть выбраны различные режимы передискретизации, режимы фильтрации и скорости передачи данных. Прототип МКС представляет собой модульную конструкцию, состоящую из 3-х взаимозаменяемых модулей. Каждый модуль может быть заменен на сопоставимый по функционалу. Ниже приведена схема взаимодействия модулей между собой и их назначение (рис. 1).

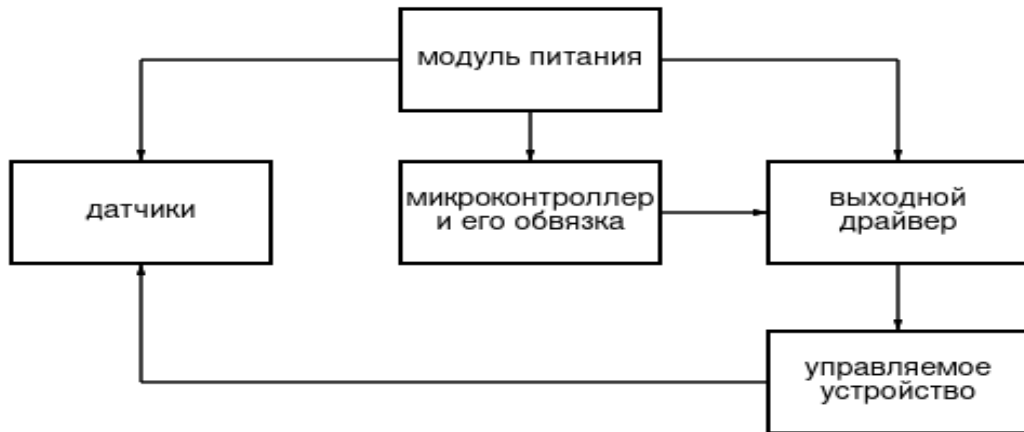


Рисунок 1 – Схема модулей прототипа MKS

Например, конечным управляемым устройством является увлажнитель воздуха.

Существует множество различных принципов работы увлажнителя воздуха.

Рассмотрим только один: пьезоэлемент, который под воздействием постоянно изменяющегося (импульсного или переменного) напряжения начинает деформироваться. Многократно повторяющаяся деформация на высокой частоте заставляет воду, в которой находится пьезоизлучатель, отделяться на достаточно мелкие частицы, чтобы улететь из емкости, образуя таким образом холодный пар. Датчики представляют собой набор отдельных плат (модулей), соединенных по шине SPI или I2C с МК. МК представляет собой отдельную плату, способную взаимодействовать с датчиками по шине SPI/I2C и выходным драйвером через обычные цифровые шины. Может быть организована работа с внешними устройствами, такими как компьютер или телефон для простоты и гибкости управления и настройки через такие интерфейсы, как bluetooth low energy, uart (и его подвид RS-232 и легко преобразуемый в RS-485), USB и т.п. Обвязка будет сильно зависеть от используемых интерфейсов, однако базовый функционал для автономной работы без внешнего взаимодействия фактически ничего не требует. Прототип может разрабатываться на произвольной отладочной плате и/или плате собственного производства. Единственным нюансом является наличие часового и высокочастотного кварца (32 МГц) и, непосредственно, антенны, для Bluetooth Low Energy, а также выхода USB (при его необходимости). Выходной драйвер представляет собой полумостовую схему, обладающую такими показателями, как высокий к.п.д., относительно простая корректировка номинальных режимов заменой комплектующих без изменения схемотехники, относительно высокие нагрузочные токи, работа с индуктивными элементами, такими как трансформаторы и т.п. Схема представлена ниже (рисунок 2).

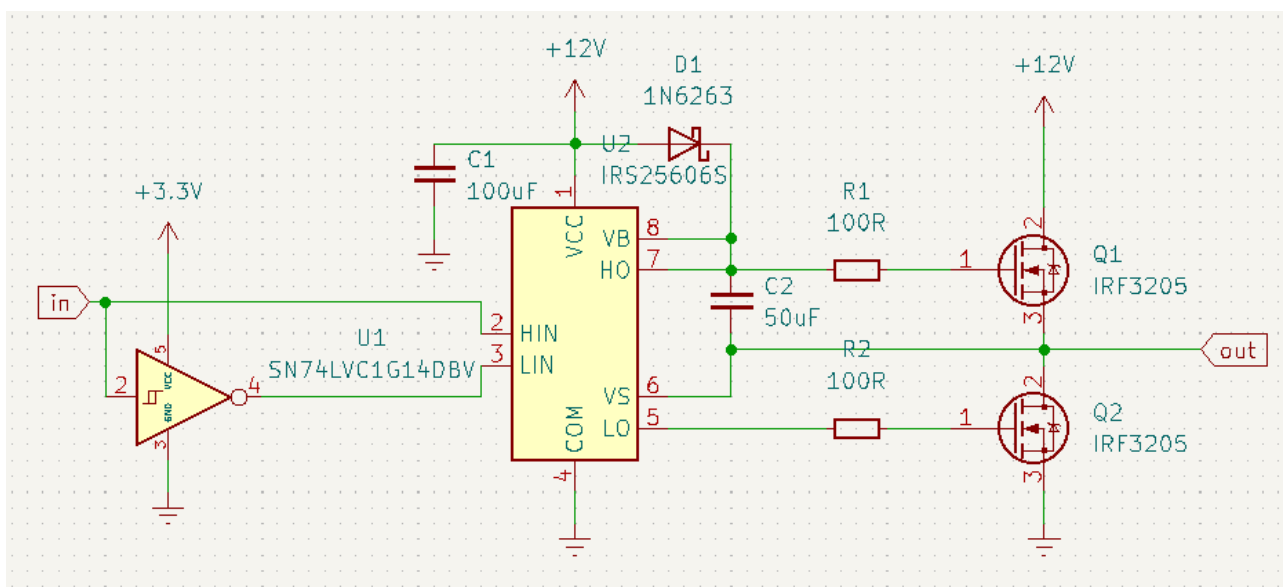


Рисунок 2 – Принципиальная схема драйвера для ШИМ-регулировки ПИД – регулятора

Транзисторы IRF3205 стоят по полумостовой схеме и, в зависимости от требуемых режимов, могут быть заменены на произвольные. Микросхема IRS, конденсаторы, диод и резисторы нужны как

обязательная обвязка и являются основой управления данных транзисторов. Резисторы играют токоограничительную роль, сохраняя работоспособность драйвера от перегрузок. Конденсатор С2 является вольтодобавочным и помогает управлять верхним ключом Q1. Диод заряжает конденсатор С2 и не дает возросшему напряжению на нем при работе верхнего плеча вернуться к питанию микросхемы. Конденсатор С1 просто сглаживает питание. Логический элемент НЕ в микросхеме U1 позволяет управлять драйверами, используя один единственный выход на микроконтроллере.

Таким образом, разработанное устройство, входящее в МКС, обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогами: простая и универсальная схема позволяет создать гибкий по цене/возможности драйвер, подходящий для широкого спектра нагрузок. Отсутствие внешних через ПК кнопок/дисплеев удешевляет конструкцию, а возможность вывода и управления непосредственно или смартфоны позволяет обеспечить принципиально новый пользовательский опыт при работе с данным устройством. Современный стек технологий и модульная архитектура позволяют создать устройство, оптимально подходящее под конкретные предложенные технологии нужды по соответствующей цене.

Таким образом, данное устройство и архитектура разработки качественно влияют на конечный продукт и сферы его применения. Разработана компактная и удобная в эксплуатации конструкция МКС, состоящая из 3-х модулей, которая может быть использована для решения задач мониторинга и управления объектами и процессами различного назначения.

**Заключение.** В процессе проведенного исследования:

- осуществлен анализ возможностей современных программно-аппаратных технологий для создания и эффективного функционирования МКС и входящих в нее беспроводных средств связи;
- осуществлено обоснование выбора МК и датчика;
- разработана схема модулей прототипа МКС, спроектирована принципиальная схема драйвера для ШИМ-регулировки ПИД-регулятора и создана конструкция МКС.

Разработанная МКС предназначена для мониторинга и управления объектами и процессами различного назначения (мобильными и стационарными объектами, производственно-технологическими процессами и т.д.). Разработка МКС прошла все этапы проектирования: начиная от постановки задачи, структурного, функционального, схематехнического и заканчивая конструкторским проектированием.

Для автоматизации функционирования МКС разработано ПО на языках C и Rust.

Использование разработанной МКС обеспечивает:

- повышение производительности ее работы и повышение комфорта при ее эксплуатации;
- гибкость в настройке;
- использование современных программно-аппаратных технологий;
- доступность для расширения функционала;
- минимизацию финансовых издержек при проектировании и изготовлении МКС.

**Список использованных источников:**

1. Калачев, А. В. Основы работы с технологией Bluetooth Low Energy / А. В. Калачев, М. В. Лапин, М. Е. Пелихов. – Питер : Изд-во Лань, 2020. – 224 с.
2. [www.nordicsemi.com](https://www.nordicsemi.com) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nordicsemi.com/Products/Bluetooth-Low-Energy/Bluetooth-5>. – Дата доступа: 11.04.2023.
3. Иоффе, В. Г. Структурная организация однокристалльных микроконтроллеров [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Г. Иоффе. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 206 с: ил.

UDC 681.5:004.383

## HARDWARE OF THE MICROCONTROLLER SYSTEM

*Tymanovich N.A., Skudnyakov Yu.A.*

*Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
Minsk, Republic of Belarus*

*Skudnyakov Yu.A. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

**Annotation.** Bluetooth Low Energy technology is used for the hardware of the microcontroller system, the modular structure of the prototype system has been developed, the main stages of system design, circuit engineering and design solutions have been carried out.

**Keywords.** hardware, microcontroller system, modular structure, design stages.