

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ARDUINO IDE ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА ОТ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

В работе рассмотрены возможности среды разработки Arduino IDE для создания программного обеспечения (ПО) контроллера заряда аккумуляторной батареи (АКБ) от фотоэлектрической панели. Проанализированы ключевые алгоритмы управления, включая метод широтно-импульсной модуляции (PWM) и многостадийный заряд. Особое внимание уделено встроенным функциям и библиотекам среды, которые упрощают работу с аналоговыми сигналами и таймерами микроконтроллера. Показано, что Arduino IDE является эффективным инструментом для учебного прототипирования и быстрой реализации базовых систем управления в малой автономной энергетике.

Ключевые слова: Arduino IDE, контроллер заряда, солнечная панель, аккумуляторная батарея, широтно-импульсная модуляция (PWM), алгоритм заряда, микроконтроллер, прототипирование.

Введение. Распространение автономных энергосистем на базе возобновляемых источников стимулирует поиск решений для накопления энергии. В маломощных установках применяются фотоэлектрические панели (ФЭП). Их нестабильность требует использования контроллеров заряда для защиты аккумуляторных батарей (АКБ) [1, с. 36]. Разработка контроллеров связана со сложным низкоуровневым программированием микроконтроллеров. Платформа Arduino и её среда разработки (IDE) предлагают альтернативный подход, предоставляя инструментарий для создания прошивок [2, с. 1563]. Ключевое преимущество Arduino IDE — ускорение процесса разработки за счёт библиотек, что позволяет сосредоточиться на алгоритмах, а не на конфигурировании аппаратуры [3].

Целью данной работы является оценка Arduino IDE как инструмента для программирования контроллеров заряда, анализ поддерживаемых ею алгоритмов и определение сферы эффективного применения данного решения.

Алгоритмы управления зарядом АКБ

Эффективный и безопасный заряд аккумуляторной батареи (АКБ) от фотоэлектрической панели требует программно-алгоритмического управления процессом. Это обусловлено двумя основными факторами: нестабильностью выходной мощности панели, зависящей от уровня инсоляции, и строгими требованиями АКБ к режимам заряда и разряда для сохранения их ресурса [4]. Программная реализация на микроконтроллере позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям и поддерживать оптимальные параметры заряда в реальном времени.

PWM-алгоритм (широтно-импульсная модуляция)

Алгоритм регулирует средний зарядный ток путём изменения скважности импульсов на силовом ключе. При низком напряжении АКБ скважность максимальна, по мере роста напряжения она снижается, стабилизируя его. Простота реализации и низкая нагрузка на МК делают ШИМ предпочтительным для учебных проектов и маломощных систем [5, с. 2-3].

Многостадийный алгоритм CC/CV

Алгоритм реализует фазы заряда постоянным током (CC) и стабилизации напряжения (CV). Такой многостадийный контроль повышает точность процесса и сохраняет ресурс АКБ, но требует более интенсивного использования ресурсов микроконтроллера [6, с. 133]. Выбор алгоритма определяется приоритетом: ШИМ для простоты и малой мощности, CC/CV — для эффективности и долговечности.

Реализация алгоритмов управления в среде Arduino IDE

Программная реализация рассмотренных алгоритмов на микроконтроллере существенно упрощается при использовании интегрированной среды Arduino IDE. Её ключевое преимущество — предоставление высокоуровневых функций и библиотек, которые абстрагируют разработчика от низкоуровневой работы с аппаратурой, позволяя сосредоточиться на логике управления зарядом [7].

Ключевые функции для работы с аппаратурой

Программная реализация алгоритмов управления в Arduino IDE основана на использовании высокоуровневых функций (таких как `analogRead()` для измерения напряжения и `analogWrite()` для генерации ШИМ) и готовых библиотек для работы с периферией [7]. Это позволяет абстрагироваться от низкоуровневых настроек микроконтроллера. Например, структура программы для ШИМ-контроллера включает циклический опрос напряжения АКБ и корректировку скважности управляющего сигнала. Применение специализированных библиотек (например, для датчика тока INA219) дополнительно ускоряет разработку [8, с. 31].

Использование готовых библиотек

Экосистема Arduino включает обширные библиотеки, которые ещё больше ускоряют разработку. Например, библиотека EEPROM позволяет сохранять калибровочные коэффициенты, а библиотеки для дисплеев (например, LiquidCrystal) — выводить текущие параметры системы. Для точного измерения тока и напряжения можно использовать специализированные библиотеки для датчиков, таких как INA219 [8, с. 31].

Пример структуры программы для ШИМ-контроллера:

Упрощённая структура программы, реализующей базовый PWM-алгоритм, может выглядеть следующим образом (рис. 1):

```
1 const int batteryPin = A0; // Пин измерения напряжения аккумулятора
2 const int pwmPin = 9; // Пин ШИМ для управления силовым ключом
3
4 // Пороговые значения напряжения (в АЦП-единицах)
5 const int U_MIN = 500; // минимальное напряжение АКБ
6 const int U_MAX = 700; // напряжение насыщения
7 int batteryVoltage = 0; // напряжение насыщения
8 int pwmValue = 0;
9
10 void setup() {
11   pinMode(pwmPin, OUTPUT);
12 }
13
14 void loop() {
15   batteryVoltage = analogRead(batteryPin); // считывание напряжения аккумулятора
16
17   if (batteryVoltage < U_MIN) { // Формирование ШИМ в зависимости от напряжения АКБ
18     pwmValue = 255; // Глубокий разряд – максимальная скважность
19   }
20   else if (batteryVoltage >= U_MIN && batteryVoltage <= U_MAX) {
21     pwmValue = map(batteryVoltage, U_MIN, U_MAX, 255, 0); // Плавное уменьшение скважности
22   }
23   else {
24     pwmValue = 0; // АКБ полностью заряжен – заряд отключён
25   }
26
27   analogWrite(pwmPin, pwmValue); // Вывод ШИМ-сигнала
28
29   delay(100); // Небольшая задержка для стабильности измерений
30
31 }
32 }
```

Рисунок 1 - Структура программы, реализующей базовый PWM-алгоритм управления зарядом аккумуляторной батареи

Данная структура является базовой и может быть расширена за счёт добавления измерения тока (с использованием датчика INA219 и соответствующей библиотеки), вывода информации на дисплей или реализации логики многостадийного заряда.

Анализ Преимуществ и перспектив развития

Главное преимущество платформы — низкий порог входа и высокая скорость разработки. Среда предлагает интуитивный API, скрывающий сложность низкоуровневых операций, и обширные библиотеки для типовых задач. Это позволяет студентам и инженерам быстро переходить от теоретического алгоритма к рабочему прототипу, фокусируясь на логике управления, а не на конфигурации микроконтроллера [7, с. 5-10]. Это делает среду эффективным инструментом для образования и прототипирования маломощных систем (до 200–300 Вт).

Перспективным направлением развития является интеграция Arduino IDE с технологиями искусственного интеллекта. Современные микроконтроллерные платформы позволяют запускать предобученные нейросетевые модели непосредственно на борту устройства, что открывает возможность создания интеллектуальных контроллеров заряда нового поколения, способных к прогнозированию выработки панели, адаптивному MPPT с самообучением и предиктивной диагностике состояния АКБ.

Текущие ограничения платформы (быстродействие, точность АЦП, отладка) в перспективе компенсируются гибридными решениями, где Arduino IDE выступает в роли доступной среды для быстрой реализации прототипов, а вычислительно сложные задачи ИИ делегируются специализированным сопроцессорам. Для серийных высоконагруженных систем по-прежнему требуется переход к профессиональным инструментальным цепочкам, однако на этапе исследований и разработки связка Arduino IDE с элементами машинного обучения представляет собой перспективную и экономически эффективную альтернативу.

Экспериментальный стенд на базе Arduino для исследования алгоритмов заряда

На рисунке 2 представлен экспериментальный стенд, реализованный на платформе Arduino. Стенд включает микроконтроллерную плату, коммутационные элементы и интерфейсы для подключения фотоэлектрической панели и аккумуляторной батареи. Программное обеспечение, разработанное в среде Arduino IDE, реализует алгоритмы ШИМ и CC/CV, обеспечивая управление процессом заряда.

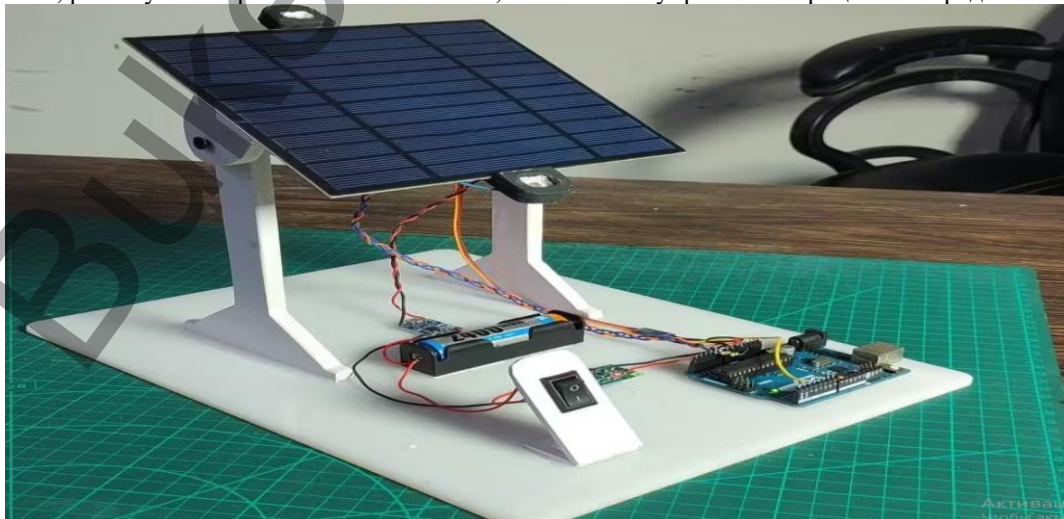


Рисунок 2 – Экспериментальный стенд для исследования алгоритмов управления зарядом АКБ от солнечной панели

В текущей конфигурации стенд реализует базовые алгоритмы управления. Перспективным направлением развития является интеграция с технологиями искусственного интеллекта: оснащение стенда измерительными модулями и нейросетевыми сопроцессорами позволит реализовать адаптивные МРРТ-алгоритмы с самообучением и предиктивную диагностику состояния АКБ.

Заключение

Проведённый обзорный анализ позволяет позиционировать среду Arduino IDE как специализированный инструмент для начальных стадий проектирования контроллеров заряда. Её функционал достаточен для программной реализации ключевых алгоритмов (ШИМ, СС/CV) посредством высокоуровневых абстракций.

Область максимальной эффективности среды — образовательные проекты и прототипирование маломощных автономных систем, где доминирующим требованием является скорость разработки. Выявленный компромисс между простотой использования и оптимальной производительностью закономерно ограничивает применение платформы в коммерческих высоконагруженных решениях, определяя необходимость последующего перехода к профессиональным инструментальным цепочкам.

В этом контексте Arduino IDE выполняет важную методическую роль, обеспечивая низкого порога доступ к практическому освоению принципов управления зарядом и оперативной проверке концепций. Дальнейшее развитие данного подхода связано с интеграцией технологий искусственного интеллекта, открывающей возможности для создания адаптивных и самообучающихся систем управления.

Литература

1 Китаев, С.В. Автономное энергоснабжение станций катодной защиты на магистральных газопроводах / С.В. Китаев, О.В. Смородова, С.Н. Костарева // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2025. – С. 33–39.

2 Жомуродов, Д.М. Современные подходы к обучению на платформе Arduino / Д.М. Жомуродов // Экономика и социум. – 2024. – № 6(121)-1. – С. 1559–1571.

3 Kondaveeti, H.K. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations / H.K. Kondaveeti, N.K. Kumaravelu, S.D. Vanambathina, S.E. Mathe, S. Vappangi // Computer Science Review. – 2021. – Vol. 40, Art. no. 100364. – DOI: 10.1016/j.cosrev.2021.100364.

4 Saadeh, O. New effective PV battery charging algorithms / O. Saadeh, R. Rabady, M. Bani Melhem // Solar Energy. – 2018. – Vol. 166. – P. 509–518.

5 Құттыбай, Н.Б. Статистический анализ контроллеров заряда для различных фотоэлектрических систем / Н.Б. Құттыбай, О.Б. Байболов // Вестник КазУТБ. – 2025. – Т. 2, № 27. – С. [1–11].

6 Шишов, К.А. Разработка экспериментального образца туристического термоэлектрического генератора и исследование путей по увеличению его энергоэффективности / К.А. Шишов, Х. Чэнь // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. – 2020. – № 2. – С. 128–136.

7 Муромцев, Д.И. Интернет вещей: введение в программирование на Arduino / Д.И. Муромцев, В.Н. Шматков. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 36 с.

8 Шарипов, С.А. Регистратор параметров электрической энергии с поддержкой карт-памяти: бакалаврская работа / С.А. Шарипов; науч. рук. Е.С. Глибин; Тольяттинский государственный университет, Институт энергетики и электротехники, кафедра «Промышленная электроника». – Тольятти, 2018. – [60] с.

Максут М.Ж., Южно-Казахстанский педагогический университет им. О.Жанибекова, факультет естествознания, гр. 1507-84, студент
(Научный руководитель — д.т.н., профессор Туртабаев С.К.)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Комплексные соединения — одна из наиболее активных областей исследований в современной химии. Известные с древних времен, координационные соединения привлекали в XIX веке столько же внимания благодаря своей огромной важности для общей проблемы химической связи, сколько и в силу своих уникальных и захватывающих свойств. К числу ранних хорошо известных координационных комплексов относятся красители, такие как прусская синь. Их свойства впервые были хорошо изучены в конце 1800-х годов, после работы Кристиана Вильгельма Бломстранда 1869 года. Бломстранд разработал то, что стало известно как теория цепей комплексных ионов. Следуя этой теории, датский учёный Софус Мадс Йоргенсен внес в неё усовершенствования. В своей версии теории Йоргенсен утверждал, что при диссоциации молекулы в растворе возможны два исхода: ионы связываются посредством аммиачных цепочек, описанных Бломстрандом, или ионы связываются непосредственно с металлом [1, с. 126–163].

Лишь в 1893 году Альфред Вернер опубликовал наиболее широко принятую на сегодняшний день версию теории. Работа Вернера включала два важных изменения в теорию Бломстранда. Во-первых, Вернер описал две возможности с точки зрения расположения в координационной сфере. Он утверждал, что если ионы образуют цепочку, это происходит вне координационной сферы, в то время как ионы, которые