International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

ИНТЕЛИГЕНТНА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ УРЕДИ ЧРЕЗ ARDUINO

Пенка Янева[1], Никола Ваклинов[1]

[1]УХТ - Пловдив, бул. „Марица“ 26, Пловдив, България;

**Кореспондиращ автор: pepayaneva@gmail.com.*

INTELLIGENT SYSTEM FOR ELECTRICAL APPLIANCE CONTROL VIA ARDUINO

Penka Yaneva[1], Nikola Vaklinov[1]

[1]UFT - Plovdiv, 26 Maritsa Street, Plovdiv, Bulgaria;

**Corresponding author: pepayaneva@gmail.com.*

Abstract

Modern home and industrial automation demand energy-efficient, safe, and flexible hardware-software architectures for load control. This paper proposes a multifunctional intelligent control system designed to safely interface low-voltage microcontroller logic with standard high-voltage electrical infrastructure. The prototype utilizes an Arduino Uno microcontroller connected to an array of sensors (PIR motion, LDR light level, and ultrasonic distance), an IR receiver, an LCD status screen, and a multi-channel relay module. A non-blocking state-management software architecture processes parallel inputs in real time without function delay. The system successfully executes automated motion-triggered and ambient-adaptive illumination, a perimeter security mode with visual/auditory alarms upon object proximity, and wireless IR remote overrides. Full galvanic isolation is guaranteed, ensuring operational safety when driving 230V AC consumer devices via 5V control signals. The experimental prototype demonstrates that combining open-source embedded systems with structured power routing creates a scalable, highly reliable energy management platform. The work presents a modular, highly cost-effective concept suitable for utility model registration, offering direct applicability in smart buildings, industrial warehouse management, and machine safety zones.

Keywords: Arduino, Smart Home Automation, Relay Control, Sensor Integration.

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременната концепция за Индустриален интернет на нещата (Industrial IoT) и усъвършенстваната сградна автоматизация поставят нови, по-високи изисквания към системите за управление на силови електрически товари. В условията на динамично променящи се икономически и екологични фактори, оптимизацията на енергопотреблението и повишаването на оперативната безопасност се превръщат в ключови приоритети за съвременната инженерна практика.

Традиционните комерсиални платформи за сградна автоматизация и индустриален контрол масово разчитат на затворени хардуерни и софтуерни архитектури. Тези решения често се характеризират с висока първоначална инвестиция, скъпа поддръжка, както и със сериозни ограничения при необходимост от персонализация или интеграция с нестандартно оборудване. Това създава сериозна бариера за малките и средни предприятия, както и за разработването

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

на специализирани локални системи за управление.

Едно от най-съществените технически предизвикателства при проектирането на микроконтролерни управляващи среди е осигуряването на надежден, сигурен и галванично разделен интерфейс между слаботоковата управляваща логика и силовата захранваща електрическа мрежа. Директното свързване или недостатъчно защитената комутация крие постоянен риск от възникване на токови удари, индуцирани обратни напрежения и къси съединения, които могат незабавно да разрушат чувствителните полупроводникови елементи на микроконтролера.

Настоящото изследване си поставя за цел да предложи концепция и да реализира физически прототип на мултифункционална интелигентна система за управление на електрически товари на базата на отворената хардуерна платформа Arduino. Разработката обединява съвременна сензорна мрежа за мониторинг на околната среда в реално време, асинхронен софтуерен модел за управление на състоянията без блокиращи закъснения и специализиран оптоизолиран изпълнителен блок.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Избор на управляваща микроконтролерна платформа и съпоставка с алтернативни решения.

В основата на разработената интелигентна система за управление на силови товари стои микроконтролерната платка Arduino Uno. Arduino Uno, който е показан на фиг. 1 представлява популярна платформа с отворен код (Open-Source Hardware), базирана на гъвкав и лесен за използване хардуерен и софтуерен модел. Моделът Uno се отличава с вградения 8-битов микроконтролер ATmega328P (произведен от Atmel/Microchip Technology), работещ на тактова честота от 16MHz притежаващ 32KB Flash памет за съхранение на програмата, 2KB SRAM и 1KB EEPROM памет.



***Фиг. 1**. Микроконтролер Arduino Uno Rev.3*

При проектирането на експериментални прототипи в сферата на сградната автоматизация и индустриалния интернет на нещата (IoT), изборът на подходяща централна управляваща единица е от критично значение. На пазара съществуват редица алтернативни решения, всяко със своите технологични предимства и недостатъци. За да бъде научно и практически обоснован направеният избор, в Таблица 1 е представен сравнителен анализ между избраната платформа Arduino Uno, промишлените PLC контролери и комерсиалните Smart Home системи по трите ключови показателя: цена, производителност и сигурност.

Таблица 1 *– Сравнителен анализ между различни платформи*

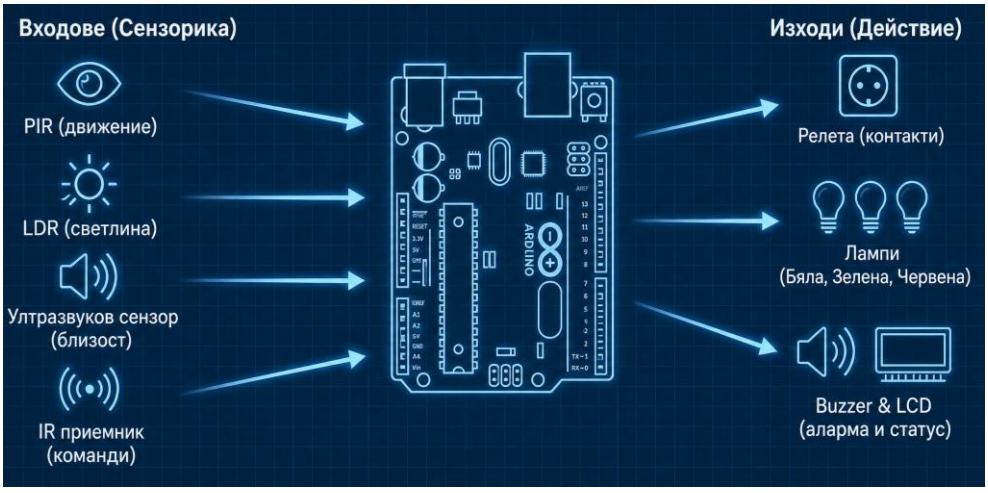
Критерий за съпоставка	**Arduino Uno**	**Индустриални PLC контролери**	**Комерсиални Smart Home платформи**
Цена	Изключително ниска. Отвореният код (*Open-Source*) и евтината компонента база осигуряват минимални разходи за прототипиране и разработка.	Висока. Изискват значителна първоначална инвестиция за хардуер, платена развойна среда и лицензи.	Умерена до висока. Фиксирана цена за устройствата, често съпроводена с месечни такси за облачни услуги или патентовани модули.
Производителност	Оптимална за конкретната цел. 8-битовият микроконтролер (16 MHz, 32KB Flash) е напълно достатъчен за бързо локално управление на товари без излишен софтуерен товар.	Много висока. Голям изчислителен ресурс, сканиране на входове/изходи в реално време и обработка на сложни	Умерена. Фокусирана главно върху потребителския интерфейс, графични приложения и комуникация, но с потенциални закъснения при облачен трансфер.
Сигурност	Хардуерно подсигурена. Недостатъкът от липса на индустриални сертификати се компенсира чрез оптоизолирани релейни модули, осигуряващи пълна галванична разредка (5V / 230V).	Максимална индустриална. Фабрична защита от смущения, къси съединения и тежки работни условия по индустриални стандарти.	Мрежова сигурност. Разчита на криптиране на безжичната връзка, но с риск от уязвимости при отпадане на интернет или кибератаки срещу сървърите.

Въпреки че Arduino Uno не притежава изчислителната мощ на едноплатковите компютри нито пък сертификатите за тежка индустриална експлоатация на професионалните PLC устройства, изборът ни се спря на нея именно поради

нейния основен стратегически приоритет – достъпността, ниската цена, широката разпознаваемост и изключително лесната макетна интеграция. Тъй като настоящата разработка представлява експериментален прототип, платформата Arduino Uno предоставя перфектния баланс между функционалност, бързина на софтуерната реализация и минимални финансови разходи, позволявайки пълноценна демонстрация на концепцията преди евентуално мащабиране към промишлен хардуер.

2. Системна апаратна топология и хардуерни компоненти.

Архитектурата на разработената интелигентна система за управление е проектирана на строг модулен принцип, което гарантира висока надеждност, лесна диагностика, бърза подмяна на дефектирали възли и отлична степен на скалируемост при евентуално разширение на периферията (фиг. 2). Хардуерната структура е организирана в три основни функционални нива, обхващащи сензорния входен блок, обработващото микроконтролерно ядро и силовия изпълнителен и интерфейсен блок.



***Фиг. 2**. Обща архитектура на системата*

2.1. Сензорен входен блок

Този блок е предназначен за непрекъснато събиране на физични параметри от околната среда и преобразуването им в електрически сигнали, разбираеми за управляващия микроконтролер. В структурата му са включени:

- **PIR сензор за движение (фиг. 3):**



***Фиг. 3**. PIR сензор за движение*

Инфрачервен, засича обекти – източници на инфрачервена светлина 7μm – 14μm.

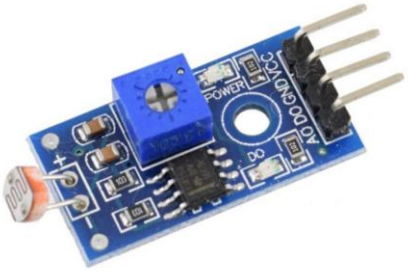
Подходящ е за отчитане на човешко движение, защото хората излъчват инфрачервен сигнал от 8μm до 14μm. Има голям ъгъл на засичане 120 градуса и обхват до 6 метра. Когато има движение в обхвата на сензора, на порта OUT се генерира за няколко секунди цифров сигнал с високо ниво.

- **LDR фоторезистор (фиг. 4):**

Използва се за аналогово измерване на интензитета на околната осветеност. Резисторът променя своето съпротивление обратнопропорционално на попада-

щото върху него светлинно количество. Чрез включването му в схема на делител на напрежение, микроконтролерът разчита аналоговата стойност през вградения си АЦП и я сравнява с предварително зададен праг (LDR_THRESHOLD = 600), осигурявайки адаптивно поведение на осветлението при намаляване на естествената светлина.

Технически характеристики: Захранващо напрежение: от 3,3V до 5V; Фоторезистор: GL5616; Аналогов изход; Цифров изход; Компаратор LM393; Размери: 32мм x 14мм x 8мм.



***Фиг. 4**. LDR фоторезистор*

- **Ултразвуков сензор за разстояние HC-SR04 (фиг. 5):**

Използва се за прецизно измерване на разстоянието до близки обекти и препятствия в охраняваната зона. Сензорът работи на принципа на ехото – генерира кратък ултразвуков импулс чрез предавател (трансмитер), който се разпространява във въздуха, докато достигне до даден обект. След това вълната се отразява обратно към сензора и се улавя от приемника (ресийвър). Чрез точно измерване на времето между излъчването и получаването на отразения сигнал (време на полет – time of flight), микроконтролерът изчислява разстоянието до обекта, като отчита и скоростта на звука във въздуха. Този метод позволява безконтактно и сравнително точно измерване на дистанции в реално време.

Технически характеристики: Работно напрежение: 5V(DC); Ток в покой: 2mA; Изходен сигнал: Цифров; Ъгъл на сензора: не повече от 15 градуса; Разстояние на откриване: 2cm-400cm; Високо прецизен: до 0.3cm; Входен тригерен сигнал: 10us TTL impulse; Echo сигнал : изход TTL PWL сигнал; Пинове: 1.VCC 2.trig(T) 3.echo(R) 4.GND.



***Фиг. 5**. Ултразвуков сензор за разстояние*

- **Инфрачервен приемник (фиг. 6):**

Осигурява интерфейс за безжичен ръчен контрол от оператор. Чрез използването на специализирани библиотеки (IRremote), системата дешифрира инфрачервени команди, изпратени от стандартно дистанционно управление, което позволява приоритетно ръчно превключване на режимите или изключване на силовите товари. Технически характеристики: Разстояние на предаване: до 8 метра; Ефективен ъгъл: 60 градуса; Косумация в покой: 3-5uA, при употреба 3-5mA; IR приемник: 38KHz (CHQ1838).



***Фиг. 6**. Инфрачервен приемник с дистанционно управление*

- **8-канален релеен модул (фиг. 7):**

Осигурява връзката между слаботоковата и силнотоковата част на веригата.

Платката предлага възможност за индивидуален контрол на осем електромагнитни превключвателя с товарни вериги от 10 A при 250V. Захранването на платката се осъществява чрез подаване на 5V и GND на съответните пинове. Контролните пинове са изолирани с оптрони, осигуряващи висока безопасност и гарантират, че няма да се появят пикове в управляващата електроника. Нивата на контролните пинове са 5V толерантни. Контролните пинове се управляват с активно ниско напрежение, а релейните интерфейси са с нормално отворени вериги. На изходните клеми са изведени и трите релейни изходи – нормално затворен, общ и нормално отворен, обозначени графично.



***Фиг. 7**. 8-канален релеен модул.*

2.2.Микроконтролерно ядро:

Централният елемент на системата е платката **Arduino Uno**, изградена около 8-битовия микроконтролер **ATmega328P**, работещ на тактова честота 16MHz. Този микроконтролер разполага с достатъчен ресурс (32KB Flash памет, 2KB SRAM и 1KB EEPROM) за изпълнение на софтуерната програма. Ядрото непрекъснато сканира състоянието на входните сензори, обработва постъпилите данни чрез неблокиращи времеви алгоритми и генерира управляващи сигнали към изпълнителните механизми, без да допуска забавяне в критичните моменти.

2.3. Изпълнителен и интерфейсен блок:

Този блок реализира физическото въздействие върху външната среда и осигурява визуализация на работния статус. Той включва:

- **I2C LCD 16x2 екран (фиг. 8):**

Използва се за визуализация в реално време на системния статус, измереното разстояние от ултразвуковия сензор и активните алармени събития, като комуникира с микроконтролера през двупроводна I2C шина (пинове SDA/SCL), пестящ ценни входно-изходни изводи.



***Фиг. 8**. I2C LCD 16x2 екран*

- **Звуков сигнализатор / Зумер (фиг. 9)**:

Използва се за генериране на акустични алармени сигнали при нарушаване на периметъра.



***Фиг. 9**. Активен зумер*

- **Оптоизолирани изходи за релета и силови вериги.**

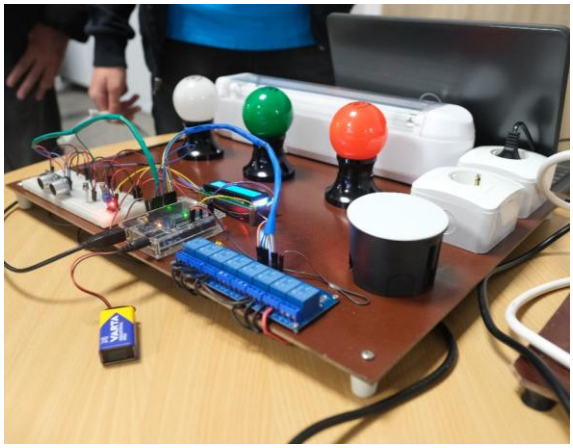
Изпълнителният блок управлява реални силови консуматори и осветителни тела, както и силови контакти за мрежово напрежение 230V AC. За да се гарантира абсолютна безопасност и да се за-

щити едновременното изпълнение на задачи в реално време (детекция на присъствие, следене на осветеността, разстоянието и безжичните инфрачервени команди) без забиване или забавяне на процесора, което повишава цялостната устойчивост на системата.

3. Практическа реализация и принцип на работа:

В процеса на практическата реализация всички изброени хардуерни блокове – сензорен входен блок, микроконтролерно ядро и изпълнително-интерфейсен блок – са интегрирани в едно общо схемно решение, което е показано на фиг. 10.

След като бе разгледана физическата реализация и хардуерната конфигурация на готовата микроконтролерна система, представена на фигурата по-горе, е необходимо да се дефинира нейният пълен работен алгоритъм.



***Фиг. 10**. Макет на системата*

Координираното взаимодействие между входящите сензорни устройства, управляващото ядро на Arduino Uno и изпълнителните силови елементи определя поведението на цялата система в реални условия. За по-ясна и структурирана представа за логиката на управление, основните работни режими, входните прагове и съответните изходни реакции са систематизирани в таблица 2.

***Таблица 2 -** Функционални режими и реакции на системата*

Функционален режим	**Активен сензор**	**Входен праг / Сигнал**	**Задействан модул**	**Изходна реакция**
Автоматично осветление	PIR сензор	Движение = HIGH	Реле 1 (Бяла лампа)	Включване за 10s след последно движение
Адаптивно осветление	LDR Фоторезистор	Осветеност < 600 (ADC)	Реле 2 (Зелена лампа)	Постоянно включване при тъмнина
Периметърна охрана	Ултразвук HC-SR04	Дистанция <=20см	Реле 3 (Червена лампа+ Зумер)	Импулсен алармен сигнал
Приоритетен контрол	IR приемник	Сигнал от дистанционното	Ръчен контрол на лампи и контакти	Пълна автоматизация

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамките на настоящата разработка бе успешно проектиран, физически реализиран и експериментално тестван макетен прототип на интелигентна микроконтролерна система за управление на силови товари, предназначена за приложение в съвременни сградни и инду-

стриални инсталации. Постигнатите резултати от лабораторните изпитвания доказват високата ефективност, надеждност и оперативна сигурност на внедрената архитектура.

Основните изводи и приноси от реализирания проект могат да бъдат обобщени в следните направления:

- **Хардуерна интеграция и безопасност:** Чрез използването на микроконтролерната платформа Arduino Uno, съчетана с разширена сензорна мрежа (PIR, LDR, ултразвуков датчик и IR интерфейс) и оптоизолирани релейни модули, бе решен един от най-критичните инженерни проблеми в микроконтролерната техника – надеждното и галванично разделено управление на силови вериги с променливо напрежение 230V AC от нисковолтова логическа среда (5V DC). Това елиминира риска от обратни токови удари и електромагнитни смущения към управляващото ядро.
- **Софтуерна оптимизация:** Разработването на неблокиращ софтуерен модел, базиран на системната функция millis(), позволи едновременното изпълнение на задачи в реално време без забиване или забавяне на процесора, което повишава цялостната устойчивост на системата.
- **Икономическа ефективност и практическа приложимост:** Използването на достъпни компоненти с отворен код значително понижава финансовата стойност на готовото изделие в сравнение с търговските индустриални решения, запазвайки функционалността и гъвкавостта на високите технологични стандарти.

Направените експериментални проверки потвърждават, че прототипът притежава отличен потенциал за директно внедряване в малки и средни обекти за повишаване на енергийната ефективност и сигурността, като същевременно предоставя надеждна основа за бъдещо разширение с комуникационни IoT модули за отдалечен мониторинг и управление.

ЛИТЕРАТУРА

[1] S. Enkov. „Programming in ARDUINO Environment – Practical Guide“. Plovdiv: University Publishing House „Paisii Hilendarski“, 2017.

[2] R. Petrov. „Microprocessor Systems and Microcontrollers“. Sofia: Novi Znania, 2011.

[3] D. Petkov. „Microcontrollers. Architecture and Principle of Operation“. 1st ed. Sofia, 2015.

[4] „Sensors for Arduino“. Available at: [https://www.robotev.com/index.php?cPath=1_29]

[5] J. Boxall. „Arduino Workshop: A Hands-On Introduction with 65 Projects“. No Starch Press, 2013. Available at: [http://constans.pbworks.com/w/file/fetch/120089319/John_Boxall_-_Arduino_Workshop.pdf]

[6] S. Monk. „Programming Arduino: Getting Started with Sketches“. McGraw-Hill Education, 2016.