

пределений нормированного вектора Пойнтинга S/S_{\max} . Для получения более близкого согласия теории и эксперимента необходимо уточнить теоретическую модель с учетом разброса диаметров воздушных каналов ФКВ.

Представлен макет экспериментальной установки для детектирования угловых распределений рассеянного поля в дальней зоне, возникающего в результате дифракции светового гауссова пучка на микроструктурном волокне при его поперечном освещении. Полученные зависимости сопоставлены с результатами численного решения дифракционной задачи методом функций Грина.

Литература

1. Lossy mode resonances in photonic crystal fibers / M. S. Sicacha [et al.] // Journal of the European Optical Society. – 2021. – Vol. 17, № 24. – P. 1–12.
2. Сотский, А. Б. Дифракция светового пучка на микроструктурном волокне / А. Б. Сотский, О. А. Бельская, Л. И. Сотская // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 11–19.

РАЗРАБОТКА ЕМКОСТНОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO UNO

С. Р. Киселев, Н. В. Вабищевич

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

Представлена разработка прототипа емкостной панели управления на базе платформы Arduino Uno, включающая в себя несколько сенсорных зон и оснащенная системой автономного питания и системой помехоустойчивости, а также встроенным программным обеспечением. Практическая значимость устройства обусловлена возможностью его использования в образовательных программах учебных дисциплин инженерно-технического профиля.

Ключевые слова: Arduino Uno, емкостный сенсор, радиомодуль nRF24L01, Python.

DEVELOPMENT OF A CAPACITIVE CONTROL PANEL BASED ON ARDUINO UNO

S. R. Kiselev, N. V. Vabishchevich

*Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk, Novopolotsk,
Republic of Belarus*

This paper presents the development of a prototype capacitive control panel based on the Arduino Uno platform. It includes several touch zones and is equipped with a self-contained power supply, noise immunity, and embedded software. The practical significance of the device lies in its potential use in educational programs for engineering and technical disciplines.

Keywords: Arduino Uno, capacitive sensor, nRF24L01 radio module, Python.

В настоящее время емкостные сенсоры, действие которых основано на изменении электрической емкости проводников при касании их телом человека, являются одним из наиболее востребованных направлений развития интерфейсов взаимодействия человека и техники и широко применяются в электронике, медицине, робототехнике, автомобильной отрасли и т. д. [1]. При этом усилия исследователей и инженеров направлены на разработку достаточно дешевых, компактных и автономных устройств, которые возможно использовать как в реальных технических устройствах, так и в образовательных проектах.

Цель настоящей работы состояла в разработке прототипа емкостной панели управления на базе платформы Arduino Uno, включающей в себя несколько сенсорных зон и оснащенной системой автономного питания, системой помехоустойчивости и встроенным программным обеспечением (ПО) анализа и обработки экспериментальных данных.

В настоящей работе для создания прототипа емкостной панели управления использовалась платформа Arduino Uno [2, 3].

Каждый сенсорный элемент конструкции представляет собой трехслойную структуру: медный электрод, изолирующий слой бумаги и экранирующий слой.

Принцип работы каждого сенсора реализован на базе библиотеки CapacitiveSensor и заключается в методе емкостного заряда и разряда. Емкость системы изменяется при приближении руки человека к поверхности сенсора, что воспринимается системой как добавление параллельно подключенного конденсатора и приводит к заметному росту времени разряда, фиксируемого микроконтроллером, чем и регистрируется факт взаимодействия.

Аппаратными компонентами системы беспроводной связи и питания, обеспечивающими ее автономность и беспроводное взаимодействие являются радиомодуль nRF24L01+ и система на базе аккумулятора и повышающего преобразователя. Модуль подключается к микроконтроллеру через интерфейс SPI и два цифровых вывода для управления [2, 3].

Основой системы автономного питания в разработанном устройстве являлся литий-ионный аккумулятор формата 18650 с номинальным напряжением 3,7 В и емкостью 2500 мА · ч. Для получения стабильного напряжения +5 В, необходимого для питания платы Arduino Uno, применялся повышающий импульсный преобразователь на микросхеме MT3608.

Проблема обеспечения устойчивости показаний емкостных сенсоров к помехам в настоящей работе решалась комплексно в сочетании аппаратных методов (подключение сенсоров к плате в устройстве экранированным кабелем и заземление, при котором все экранирующие элементы объединены в единственную точку, которая подключена к земляной шине (GND) Arduino по схеме «звезда») и экранирования с программными алгоритмами фильтрации и буферизации данных. К аппаратному экранированию относятся:

Встроенное программное обеспечение написано на языке C++ в среде Arduino IDE с использованием ключевых библиотек: CapacitiveSensor.h для работы с емкостными датчиками, RF24.h для управления трансивером nRF24L01+ и SPI.h для реализации низкоуровневого интерфейса связи с радиомодулем. ПО передатчика реализует быстрое стартовое конфигурирование системы, высокую помехоустойчивость при распознавании приближения руки и энергоэффективную беспроводную передачу данных, используя аппаратный интерфейс SPI для высокоскоростного обмена данными с радиомодулем. ПО приемника стороны представляет собой систему, способную детектировать факт однократного касания и анализировать сложные жестовые комбинации.

Для визуализации данных, поступающих с сенсорной панели, диагностики системы и анализа ее работы в реальном времени на языке Python было разработано специализированное кроссплатформенное приложение. Интерфейс приложения интуитивно понятен и разделен на несколько логических областей. Техническая реализация приложения использует библиотеки pyserial для связи с Arduino, tkinter для создания GUI и matplotlib для построения графиков.

Для оценки надежности работы устройства проводились экспериментальные испытания, направленные на оценку основных характеристик системы: чувствительности и помехоустойчивости сенсоров, эффективности экранирования, а также проверку работоспособности всего комплекса в режиме управления внешним устройством.

вом. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность всех компонентов системы, эффективность примененных решений по экранированию и помехозащитности, а также продемонстрировали возможность применения разработки для бесконтактного управления.

В результате выполнения проекта разработан прототип сенсорной панели с тремя емкостными зонами, в которой реализована индивидуальная калибровка каждого канала, оснащенная системой автономного питания, системой помехоустойчивости и встроенным программным обеспечением. Результаты проведенных в работе экспериментальных испытаний разработанного устройства свидетельствуют о его достаточной надежности и готовности для конечного применения как в реальных технических устройствах, так и для внедрения инновационных методов и технологий в образовательный процесс для демонстрации принципов емкостного взаимодействия и проектирования человеко-машинных интерфейсов.

Л и т е р а т у р а

1. Емкостные датчики: принцип работы, виды, применение. – URL: <https://leuze.ru/emkostnye-datchiki> (дата обращения: 16.09.2025).
2. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 560 с.
3. Подключение к Arduino радиочастотного модуля nRF24L01: схема и программа. – URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/kak-rabotaet-modul-nrf24l01-i-kak-ego-podklyuchit-k-arduino/> (дата обращения: 16.09.2025).

РАЗРАБОТКА УДАЛЕННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И. Е. Монархович, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Предложено использовать применяемую на Белорусской железной дороге систему централизованного мониторинга Zabbix для контроля состояния электрооборудования с использованием сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: система электроснабжения, мониторинг, сверточные нейронные сети.

DEVELOPMENT OF A REMOTE MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEM FOR RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEM ELECTRICAL INSTALLATIONS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

I. E. Monarkhovich, V. N. Galushko, I. L. Gromiko

Belarusian State University of Transport, Gomel

It is proposed to use the Zabbix centralized monitoring system, currently used by Belarusian Railways, to monitor the condition of electrical equipment using convolutional neural networks.

Keywords: power supply system, monitoring, convolutional neural networks.

Современные системы электроснабжения и высокотехнологичные электроустановки часто требуют непрерывного контроля работоспособного состояния, особенно в критически важных инфраструктурах, таких как железнодорожный транспорт. На