

УДК 004.624, 004.5

## КОНСТРУИРОВАНИЕ ЁМКОСТНОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO UNO

*С. Р. КИСЕЛЁВ**(Представлено: Н. В. ВАБИЩЕВИЧ)*

*Представлен прототип ёмкостной панели управления на базе платформы Arduino Uno, включающий в себя несколько сенсорных зон и оснащённая системой автономного питания и системой помехоустойчивости. Практическая значимость устройства обусловлена возможностью его использования в образовательных программах учебных дисциплин инженерно-технического профиля.*

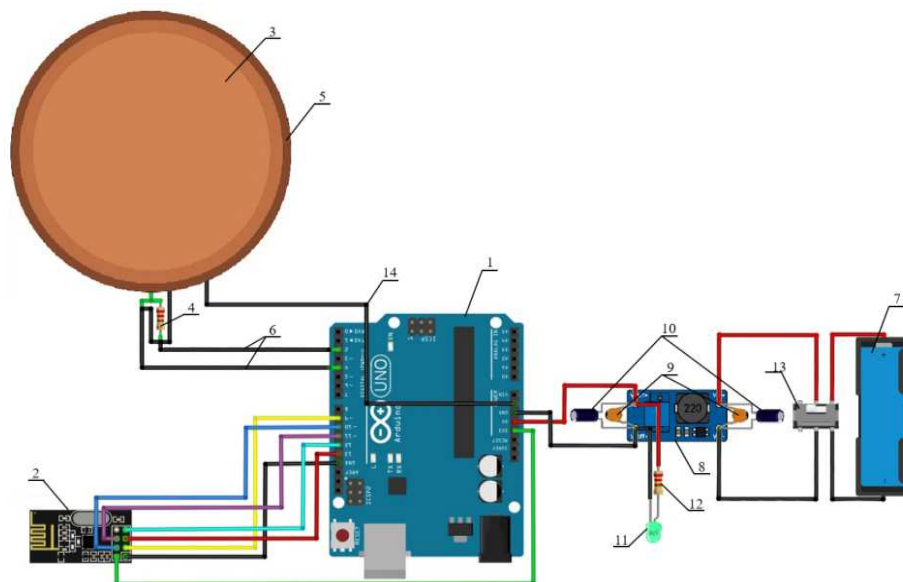
**Введение.** История использования ёмкостных технологий начинается с промышленной автоматизации второй половины XX века. В настоящее время ёмкостные сенсоры, действие которых основано на изменении электрической ёмкости проводников при приближении или касании их телом человека, являются одним из наиболее востребованных направлений развития интерфейсов взаимодействия человека и техники и широко применяются в электронике, медицине, робототехнике, автомобильной отрасли и т.д. [1,2]

Особое внимание в последние годы уделяется поиску современных компактных и экономически оправданных технических решений по разработке устройств сенсорного управления, которые могли бы применяться как в реальных технических устройствах, так и для внедрения инновационных методов и технологий в образовательный процесс при подготовке и переподготовке специалистов инженерно-технического профиля.

*Цель настоящей работы* состояла в разработке прототипа ёмкостной панели управления на базе платформы Arduino Uno, включающий в себя несколько сенсорных зон и систему обработки жестов.

**Основная часть.** *Принцип работы ёмкостного сенсора.* Общий принцип действия ёмкостных сенсоров, являющихся основным элементом разработанной панели управления, основан на измерении изменений электрической ёмкости проводника при приближении тела человека.

В настоящей работе для создания прототипа ёмкостной панели управления использовалась платформа Arduino Uno [3-5]. Общая принципиальная схема устройства представлена на рисунке 1.



1 – платформа Arduino Uno; 2 – радиомодуль nRF24L01; 3 – медный электрод ёмкостного сенсора; 4 – резистор 10 МОм; 5 – экранирующая оболочка с изоляцией от сенсора; 6 – экранированная линия связи; 7 – литий-ионный аккумулятор 18650, 3.7V; 8 – повышающий DC-DC преобразователь на микросхеме MT3608; 9 – керамический конденсатор (0.1 мкФ); 10 – электролитический конденсатор (100 мкФ); 11 – светодиод индикации; 12 – резистор 220 Ом; 13 – выключатель/выключатель панели; 14 – центральная точка заземления («звезда»)

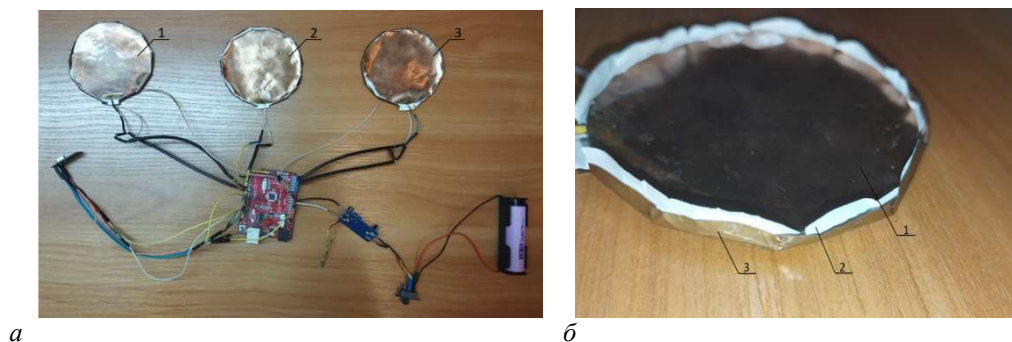
Рисунок 1. – Принципиальная электрическая схема  
ёмкостной сенсорной панели

Принцип работы каждого сенсора реализован на базе библиотеки CapacitiveSensor и заключается в методе ёмкостного заряда и разряда. Цифровой вывод Arduino Uno, Send Pin генерирует импульс, который через токоограничивающий резистор номиналом 10 МОм заряжает медный электрод. Второй цифровой вывод, Receive Pin, измеряет время, необходимое для разряда электрода до низкого логического уровня. Это время прямо пропорционально общей ёмкости системы. Ёмкость системы изменяется при приближении руки человека к поверхности сенсора, что срабатывает в системе как добавление параллельно подключённого конденсатора. Увеличение общей ёмкости системы приводит к заметному росту времени разряда, которое фиксируется микроконтроллером, чем и регистрируется факт приближения или касания.

В соответствии с алгоритмом работы с целью повышения стабильности сигнала и снижения уровня шума каждого сенсора осуществляется усреднение 10 последовательных измерений. Полученное усреднённое значение сравнивается с динамически определяемым порогом срабатывания. При его превышении генерируется цифровой сигнал, который передаётся по радиоканалу на приёмное устройство.

Стабильность работы микроконтроллера и радиомодуля nRF24L01+, обеспечивающих автономность и беспроводное взаимодействие компонентов системы, критически зависит от качества напряжения питания [5]. Для его обеспечения была реализована схема автономного питания на базе литий-ионного аккумулятора 18650 (3.7 В) и повышающего преобразователя на микросхеме MT3608. На вход и выход преобразователя установлены фильтрующие керамические и электролитические конденсаторы для эффективного подавления высокочастотных и низкочастотных пульсаций соответственно.

Конструктивное исполнение сенсорной панели представляет собой отладочный прототип, общий вид и компоновка которого представлены на рисунке 2.



а) общий вид панели: 1 – сенсор 1; 2 – сенсор 2; 3 – сенсор 3.  
б) многослойная структура сенсора:  
1 – медный электрод (покрыт лаком); 2 – бумага; 3 – экранирующий слой

Рисунок 2. – Компоновка сенсорной панели

Сенсоры были компактно размещены на общей плоскости (рисунок 2.а)). Экранирующие слои каждого сенсора и экранирующая оплётка соединительных кабелей объединены по схеме «звезда» и подключены к единой точке заземления на плате Arduino Uno, что позволяет минимизировать контурные токи и повышать помехоустойчивость устройства.

Каждый сенсорный элемент конструкции представляет собой трёхслойную структуру (рисунок 2 б)). Покрытие медных электродов тонким слоем акрилового лака предохраняет медь от окисления и коррозии при длительной эксплуатации, а также обеспечивает дополнительную электрическую изоляцию от внешних воздействий.

*Система беспроводной связи и питания.* Аппаратными компонентами системы, обеспечивающими её автономность и беспроводное взаимодействие являются радиомодуль nRF24L01+ и система на базе аккумулятора и повышающего преобразователя [3,5].

Трансивер nRF24L01+, работающий на частоте 2.4 ГГц, был выбран по причине его малого энергопотребления, достаточной дальности связи и простоты интерфейса подключения к микроконтроллеру. Модуль подключается к микроконтроллеру через интерфейс SPI и два цифровых вывода для управления [3-5].

Поскольку радиомодуль nRF24L01+ работает в высокочастотном диапазоне 2.4 ГГц, а ёмкостные сенсоры опрашиваются на низких частотах (единицы-сотни кГц), определяемых временем заряда-разряда RC-цепи, то что высокочастотные помехи от радиоприёмника практически не влияют на работу аналоговой части ёмкостных сенсоров. Это является ключевым фактором, обеспечивающим стабильную и помехоустойчивую работу всей системы в целом, и избавляет от необходимости применения дополнительных сложных схем фильтрации.

С целью обеспечения мобильности и автономности разработанного устройства была реализована система автономного питания на основе литий-ионного аккумулятора формата 18650 с номинальным напряжением 3.7 В и ёмкостью 2500 мА\*ч. Для получения стабильного напряжения +5 В, необходимого для питания платы Arduino Uno, применялся повышающий импульсный преобразователь на микросхеме MT3608. Для подавления импульсных помех преобразователя на его вход и выход были установлены двухзвенные RC-фильтры, состоящие из электролитических (100 мкФ) и керамических (0.1 мкФ) конденсаторов. Цепь питания включает механический тумблер для полного отключения системы и светодиод индикации наличия напряжения на выходе преобразователя.

**Экранирование и помехоустойчивость.** Для обеспечения надёжной помехоустойчивости ёмкостных сенсоров была применена комплексная система экранирования.

Во-первых, подключение сенсоров к плате Arduino Uno в устройстве осуществлено экранированным кабелем, центральная жила которого используется для передачи сигнала, а экранирующая оплётка выполняет функцию защиты от электромагнитных помех.

Конструкционная система экранирования включают два уровня защиты: локальное экранирование каждого сенсора, заключающееся в том, что медный электрод отделён от общего экрана слоем диэлектрика, что формирует направленную диаграмму чувствительности, и глобальное экранирование системы, при котором все экранирующие элементы объединены в единственную точку («звезда»), которая подключена к земляной шине (GND) Arduino [4]. Выбранная схема заземления позволяет избежать возникновения контурных токов и значительно снижает влияние внешних электромагнитных помех и взаимное влияние между соседними сенсорами.

**Выводы.** В результате выполнения работы разработан прототип сенсорной панели с тремя ёмкостными зонами, в которой реализована индивидуальная калибровка каждого канала, оснащённая системой автономного питания и системой помехоустойчивости. Конструкция прототипа обеспечивает высокую повторяемость измерений и защиту от внешних электромагнитных помех. Прототип полностью готов к интеграции в корпус для конечного применения как в реальных технических устройствах, так и для внедрения инновационных методов и технологий в образовательный процесс для демонстрации принципов ёмкостного взаимодействия и проектирования человеко-машинных интерфейсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ёмкостные датчики: принцип работы, виды, применение - полезная статья от компании ОвенКомплектАвтоматика. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.owenkomplekt.ru/o-kompanii/stati/emkostnye-datchiki-printsip-raboty-vidy-primenenie/> – Дата доступа: 16.09.2025.
2. Mordor Intelligence. Глобальный рынок ёмкостных датчиков приближения. – Электрон. дан. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-capacitive-proximity-sensors-market-industry> – Дата доступа: 16.09.2025.
3. Интерфейс передачи данных - SPI [Электронный ресурс] / 3DiY. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/interfeys-peredachi-dannykh-spi/> – Дата доступа: 16.09.2025.
4. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino/ В.А.Петин. - 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2021. — 560 с.
5. Подключение к Arduino радиочастотного модуля nRF24L01: схема и программа. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/kak-rabotaet-modul-nrf24l01-i-kak-ego-podklyuchit-k-arduino/> – Дата доступа: 16.09.2025.