

Рис. 1. ВАХ анодной пленки  $\text{TiO}_2$  (14 нм) в прямом и обратном включении в обычных (а) и в двойных логарифмических координатах (б). Температура образца: 298, 283, и 263 К, максимальное напряжение 0,5 В

Полученные данные для различных температур показали, что ВАХ анодной пленки  $\text{TiO}_2$  имеют сложное поведение. ВАХ в прямом (отрицательный потенциал на Ti электроде) и обратном (положительный потенциал на Ti электроде) включении пленочной структуры не являются симметричными, хотя наблюдаемая асимметрия проводимости является незначительной. Проведенный анализ механизмов проводимости показал, что анодный оксид  $\text{TiO}_2$  является полупроводником n-типа, в запрещенной зоне которого имеются как электронные ловушки, так и донорные центры, образованные анионными (кислородными) вакансиями.

#### Литература

1. Electronic Properties at the Junction Interfaces between Anodic Titanium Oxide Films and Conducting Polymers / T. Ogawa [et al.] // Faculty of Engineering, Chiba University. – 2004. – P. 1–33.
2. Tunable rapid electron transport in titanium oxide thin films / R. Li. [et al.] // Applied Physics Letters. – 2023. – Vol. 122. – P. 011601.

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА АВТОМОБИЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ESP32

Т. Н. Дворникова, В. А. Юревич

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Представлена система мониторинга автомобильной безопасности с цифровой обработкой сигналов на базе микроконтроллера ESP32-WROOM-32. Система обеспечивает детектирование дорожно-транспортных происшествий с высокой точностью и минимальной задержкой реакции, соответствующей требованиям международных стандартов. В ходе исследования были разработаны алгоритмы обработки данных с использованием адаптивного медианного фильтра и механизма перекрестной проверки сенсоров, что позволило достичь времени реакции не более 5 мс и снизить частоту ложных срабатываний до 0,8 раза в час. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанного решения для повышения уровня безопасности дорожного движения.

**Ключевые слова:** система мониторинга, автомобильная безопасность, цифровая обработка сигналов, ESP32, IMU, адаптивный фильтр, ложные срабатывания.

**SYSTEM OF AUTOMOBILE SAFETY MONITORING WITH DIGITAL SIGNAL PROCESSING BASED ON ESP32****T. N. Dvornikova, V. A. Yurevich***Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk*

*This report presents a system for monitoring automotive safety with digital signal processing based on the ESP32-WROOM-32 microcontroller. The system provides detection of road traffic accidents with high accuracy and minimal response time, meeting international safety standards. During the research, data processing algorithms using an adaptive median filter and a sensor cross-checking mechanism were developed, which allowed achieving a response time of no more than 5 ms and reducing the frequency of false alarms to 0.8 per hour. The obtained results confirm the effectiveness of the developed solution for improving road traffic safety.*

**Keywords:** monitoring system, automotive safety, digital signal processing, ESP32, IMU, adaptive filter, false alarms.

Современные системы мониторинга автомобильной безопасности сталкиваются с рядом проблем, среди которых выделяются высокое время реакции (от 100 до 500 мс), низкая точность распознавания ДТП, высокая частота ложных срабатываний (от 0,5 до 1,2 раза в час) и ограниченное время автономной работы (от 4 до 72 часов). Эти недостатки критически влияют на эффективность систем и снижают доверие пользователей к ним.

Целью работы является разработка системы мониторинга автомобильной безопасности с цифровой обработкой сигналов на базе ESP32, обеспечивающей детектирование дорожно-транспортных происшествий с высокой точностью и минимальной задержкой реакции, соответствующей требованиям международных стандартов.

Разработанная система мониторинга автомобильной безопасности построена на основе двухъядерного микроконтроллера ESP32-WROOM-32 (рис. 1), что позволяет распределить вычислительные задачи между ядрами: Core 0 отвечает за обработку данных сенсоров, а Core 1 управляет связью и энергоменеджментом. Сенсорная база включает 6-осевой IMU MPU-6050 (диапазон  $\pm 16g$ , разрешение 14 бит), цифровой микрофон INMP441 (диапазон 20Гц–20кГц) и GPS-модуль NEO-6M (точность 2,5 м).

Особенностью разработки является реализация адаптивного медианного фильтра и механизма перекрестной проверки сенсоров. Адаптивный медианный фильтр позволяет устранить шумы и аномалии в данных, полученных от IMU, при этом сохраняя высокую точность распознавания. Механизм перекрестной проверки сенсоров (ускорение + аудио + GPS) обеспечивает синхронизацию данных с точностью 1 мс, что критически важно для соответствия требованиям ISO 26262 ASIL-B.

Для оптимизации вычислений был использован подход с fixed-point арифметикой (Q15), что позволило снизить нагрузку на CPU на 40 % и ускорить обработку сигналов. Дополнительно разработана система коррекции температурного дрейфа ( $\Delta offset = k(T - T_0)^3$ ,  $k = 0,002 \text{ мг/С}^3$ ), которая снижает погрешность на 65 % в диапазоне температур от  $-40$  до  $+85$  °С.

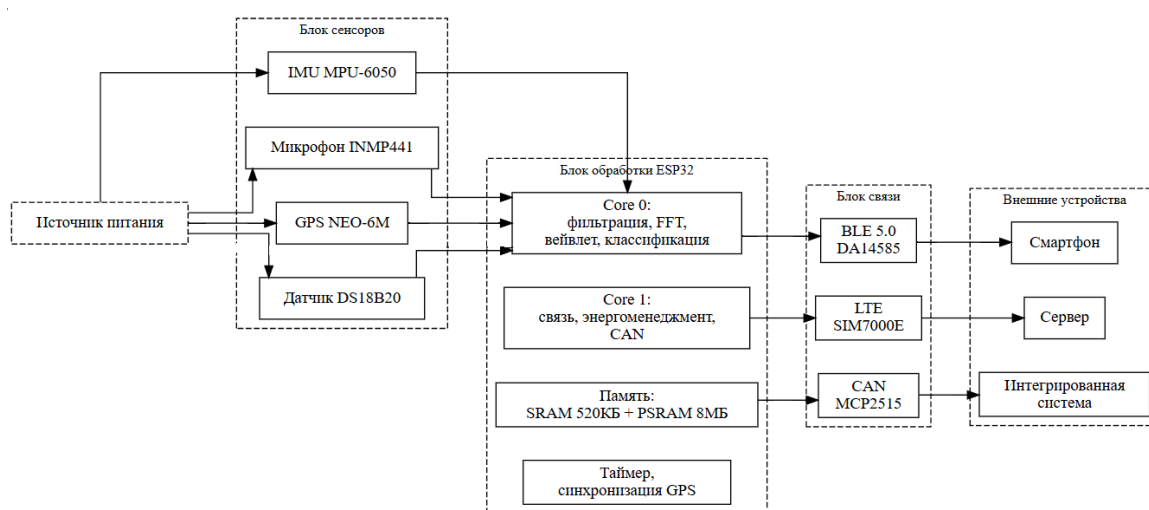


Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга автомобильной безопасности

Результаты исследований, подтверждены через симуляционные испытания в среде Vector CANoe, показали, что разработанная система обеспечивает:

- время реакции не более 5 мс;
- точность распознавания ДТП 91,8 %;
- частоту ложных срабатываний 0,8 раза в час;
- время автономной работы до 72 часов;
- энергопотребление в режиме ожидания 5 мкА.

Симуляционные испытания в среде Vector CANoe подтвердили достижение точности синхронизации 0,5 мс при частоте сэмпирования 2 кГц. Это позволяет коррелировать данные об ударе с параметрами торможения и другими параметрами движения, что критически важно для точного определения типа ДТП и предотвращения ложных срабатываний. Например, при лобовом столкновении система фиксирует ускорение 10g в момент  $T$ , а соответствующее CAN-сообщение о скорости 0 км/ч приходит синхронно, что позволяет правильно классифицировать событие как ДТП, а не как шум от неровной дороги.

Разработанная система мониторинга автомобильной безопасности с цифровой обработкой сигналов на базе ESP32-WROOM-32 демонстрирует превосходные технические характеристики, соответствующие требованиям международных стандартов. Система обеспечивает время реакции не более 5 мс, точность распознавания ДТП 91,8 %, частоту ложных срабатываний 0,8 раза в час и время автономной работы до 72 часов. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанного решения для повышения уровня безопасности дорожного движения и соответствия требованиям санкционных ограничений.

#### Литература

1. ETSI EN 303 347-3. Emergency communications; Advanced Driver Assistance Systems (ADAS); System requirements, testing and specifications ; Part 3: Safety-related messages. European Telecommunications Standards Institute, 2022. – 45 p.
2. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Efficient Sensor Data Processing for Automotive Safety Applications. Vol. 71, iss. 5, May 2022. – P. 4567–4579.
3. ISO 26262-6:2018. Road vehicles – Functional safety – Part 6: Product development at the software level. International Organization for Standardization, 2018. – 156 p.