ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработка физического учебного стенда «Солнечная фотоэлектрическая система» с цифровым двойником

Заказчик: ТОО «Sifro» · 8 771 010 10 55 · info@sifro.kz

1. Назначение и цель

Требуется разработать и изготовить опытный образец настольного учебного стенда по солнечной энергетике для вузов и колледжей. Стенд измеряет параметры реальной солнечной панели и в реальном времени передаёт их в виртуальный стенд Sifro Virtual Lab (цифровой двойник), где студент сравнивает измерения с расчётной моделью.

Цель — серийно воспроизводимый, безопасный и недорогой стенд на доступных компонентах, который дополняет готовый виртуальный стенд Sifro.

2. Лабораторные работы, которые должен обеспечить стенд

№	Работа
1	Вольт-амперная и мощностная характеристики панели, точка максимальной мощности
2	Влияние освещённости на ток короткого замыкания и мощность
3	Влияние угла наклона панели на выработку
4	Влияние температуры панели на напряжение холостого хода
5	Частичное затенение, последовательное и параллельное соединение панелей, роль bypass-диодов
6	Заряд аккумулятора через контроллер и энергобаланс «панель — АКБ — нагрузка»

3. Состав стенда

Узел	Требования
Солнечные панели	2 монокристаллические панели 10 Вт, 12 В; переключение последовательно / параллельно; шторка для затенения
Механика	Рама с изменением угла наклона 0–90°, фиксация, датчик угла; настольное исполнение
Источник света	Имитатор солнца для работы в аудитории (галогенный прожектор 300–500 Вт с регулировкой яркости) с защитой от перегрева и ожогов
Измерения	Напряжение и ток панели и нагрузки (INA226 или аналог), освещённость (BH1750), температура панели (DS18B20), угол (MPU6050)
Электронная нагрузка	Управляемая нагрузка для автоматического снятия ВАХ (ЦАП MCP4725, ОУ, MOSFET на радиаторе)
Накопление	Контроллер заряда ШИМ 10 А, аккумулятор 12 В 7 А·ч AGM, нагрузка 12 В (светодиодные лампы)
Индикация	Панельные вольтамперметры для работы без компьютера; дисплей OLED с текущими показаниями
Контроллер	ESP32 (DevKitC, WROOM-32E); питание от АКБ через понижающий преобразователь или от USB
Защита	Предохранители, разъёмы MC4 и клеммы, защита от переполюсовки; напряжение не выше 50 В DC; корпус без открытых токоведущих частей

4. Цифровой двойник и обмен данными

- Передача измерений по Wi-Fi (WebSocket, формат JSON) в виртуальный стенд Sifro Virtual Lab; резервный канал — USB (последовательный порт).
- Частота передачи не ниже 10 раз в секунду; метки времени.
- Команды от виртуального стенда: запуск снятия ВАХ, установка тока нагрузки, сброс.
- Описание протокола обмена (документ) для интеграции; локальная работа без интернета.

5. Требования к точности и характеристикам

Параметр	Значение
Погрешность измерения напряжения	не более ±1 %
Погрешность измерения тока	не более ±2 %

Параметр	Значение
Снятие ВАХ	не менее 50 точек, не дольше 5 с
Диапазон тока	0–3 А
Температура панели	0–80 °C, ±1 °C
Угол наклона	0–90°, ±2°

6. Результаты работ (передаются заказчику)

- Опытный образец стенда, прошедший испытания.
- Электрические схемы, печатная плата (файлы для производства), перечень компонентов (BOM) с ценами и поставщиками.
- Исходный код прошивки ESP32 с правом использования и доработки заказчиком.
- Описание протокола обмена с виртуальным стендом.
- Сборочная документация и инструкция по безопасной эксплуатации.
- Расчёт себестоимости серийного изготовления (партии 5 и 20 шт.).

7. Этапы

№	Этап	Результат
1	Схемотехника и выбор компонентов	Схема, BOM, согласование
2	Макет на макетной плате и прошивка	Работающие измерения и обмен с виртуальным стендом
3	Печатная плата, механика и корпус	Опытный образец
4	Испытания и калибровка	Протокол испытаний, проверка точности
5	Документация и передача	Комплект документации, исходники

8. Приёмка

- Стенд выполняет все 6 лабораторных работ раздела 2.
- Показатели точности раздела 5 подтверждены сравнением с поверенным мультиметром.
- Данные стабильно передаются в виртуальный стенд Sifro Virtual Lab в течение 2 часов работы.
- Стенд безопасен для студентов: нет открытых токоведущих частей, предохранители срабатывают при коротком замыкании.