



**ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ**  
**„ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“**  
**ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ**  
**КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОНИКА,**  
**КОМУНИКАЦИИ**  
**И ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ“**



маг. инж. Снежа Венциславова Шотарова

**ИНТЕРАКТИВНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ОБРАБОТКА НА**  
**ИНФОРМАЦИЯ С ОТДАЛЕЧЕН ДОСТЪП**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертация за придобиване на образователната и научна степен  
**“ДОКТОР”**

**Област на висше образование:**

5. Технически науки

**Професионално направление:**

5.3. „Комуникационна и компютърна техника“

**Докторска програма:**

„Автоматизация на области от нематериалната сфера  
(медицина, просвета, наука, административна дейност и др.)“

**Научен ръководител:**

доц. д-р Силвия Велкова Стоянова - Петрова

Пловдив, 2026 г.

Дисертационният труд е с обем 187 страници , включително 73 фигури, 30 таблици, оформени в увод, 4 глави, общи изводи, научно- приложни и приложни приноси, списък с използваните обозначения и съкращения, списък с публикациите на автора. Списъкът на цитираната литература включва 143 заглавия.

Означенията на формулите, фигурите и таблиците в автореферата съвпадат с тези в дисертационния труд.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на катедрен съвет на катедра „Електроника, комуникации и информационни технологии“ при Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“ на 04.02.2026 г., протокол № 85/04.02.2026 г.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 15.04.2026 г. от 11:00 часа в сградата на Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“, ул. „Костаки Пеев“ № 21, ет. 4, на заседание на научното жури.

Материалите по защитата на докторанта са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Физико-технологичния факултет при Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“, ул. цар Асен 24, ет. 2, каб. 214.

Научно жури: проф. д-р инж. Димитър Михайлов Токмаков  
проф. д-р инж. Тодор Стоянов Джамийков  
доц. д-р инж. Борислав Христов Миленков  
доц. д-р инж. Николай Атанасов Шопов  
доц. д-р инж. Владимира Кръстева Ганчовска

Автор: маг. инж. Снежа Венциславова Шотарова  
Заглавие: **ИНТЕРАКТИВНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ОБРАБОТКА  
НА ИНФОРМАЦИЯ С ОТДАЛЕЧЕН ДОСТЪП**

Тираж: 30 бр.

## ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

### Актуалност на проблема

В съвременния свят технологичният напредък и дигитализацията се разширяват във всички аспекти на живота. В областта на образованието, научните изследвания и обработката на информация се наблюдава нарастваща потребност от интерактивни технологии, които позволяват достъп до специализирани инструменти и ресурси без физическо присъствие. Това води до необходимостта да се разработват интерактивни лаборатории за обработка на информация с отдалечен достъп, за прехвърляне на реални лабораторни експерименти към отдалечени и интерактивни платформи.

Ролята на интерактивните лаборатории в съвременното обучение е ключова. Те подпомагат разбирането на сложни концепции чрез визуализация и практическо взаимодействие, развиват умения за управление на системи и анализ на експериментални данни и осигуряват безопасна среда за експериментиране. Благодарение на възможността за дистанционен достъп интерактивните лаборатории разширяват обхвата на обучението и предоставят равни условия за студентите, независимо от тяхното местоположение или достъп до физически ресурси. Поради това те се превръщат в ключов инструмент в инженерното обучение и формират основа за развитието на практическите умения в условията на дигитализирана образователна среда.

Едно от основните предизвикателства пред съвременните образователни институции е осигуряването на висококачествена практическа подготовка при условия на ограничени ресурси, високи разходи за лабораторно оборудване и невъзможност за постоянно физическо присъствие. Тези ограничения често водят до намален достъп до реални експерименти и ограничават ефективността на учебния процес.

Контекстът и значимостта на изследването произтичат от необходимостта образованието да се адаптира към динамично развиващата се технологична среда.

Отчитайки актуалността и значимостта на проблема, темата на настоящия дисертационен труд е насочена към изследване и прилагане на технологични решения за разработване на интерактивна лаборатория с реално оборудване, за обработка на информация с отдалечен достъп за подпомагане на образователния процес и научноизследователската дейност.

## **Цел на дисертационния труд**

Целта на дисертационния труд е разработването на иновативна интерактивна лаборатория с отдалечен достъп, осигуряваща експериментална и симулационна среда за изследване, управление и анализ на фотоволтаични системи. Лабораторията е разработена да предостави надеждна, сигурна и достъпна платформа за провеждане на експерименти и обработка на данни в реално време, като обединява реално оборудване и виртуални симулационни модели.

## **Задачи за постигане на целта:**

1. Анализ на съществуващите решения за интерактивни лаборатории и обработка на информация;
2. Архитектурни и технологични решения за изграждане на интерактивна лаборатория с отдалечен достъп;
3. Проектиране и реализация на уеб-базирана интерактивна лаборатория за фотоволтаични системи;
4. Разработка и реализация на интерактивна лаборатория с отдалечен достъп за изследване на фотоволтаични системи, осигуряваща управление на лабораторните експерименти, интеграция със сензори и изчислителни ресурси, както и събиране и обработка на данни в реално време.

## **Използвани методи и средства на изследване:**

Изследването се базира на системен и сравнителен анализ на архитектури и технологии за интерактивни фотоволтаични лаборатории с отдалечен достъп. Използвани са методи за моделиране, симулация и експериментална верификация, реализирани чрез уеб-базиран софтуерни платформи, комуникационни протоколи и вградени хардуерни средства за управление и обработка на данни в реално време.

## **Внедряване и практическа приложимост**

Проектирана, реализирана и внедрена е интерактивна фотоволтаична лаборатория с отдалечен достъп, базирана на реална фотоволтаична система с възможност за дистанционно управление, мониторинг и анализ на електрическите параметри. Реализирана е уеб-базирана платформа за събиране, обработка, дългосрочно съхранение и визуализация на експериментални данни в реално време.

## **Публикации по темата**

Резултатите от дисертационния труд са публикувани в 4 научни публикации, от които 1 самостоятелна статия, публикувана в Научни трудове на СУБ – Смолян. 1 в сборника на XXXIV International Scientific Conference Electronics (ET) 2025, индексан в Scopus. 1 в сборника на международната научна конференция EDULEARN 2023 и 1 в сборника на националната научна конференция с международно участие „Образование, наука, общество“ (2022). Трите публикации са в съавторство с научния ръководител.

## **Обем и структура на дисертационния труд**

Дисертационният труд е с обем 187 страници , включително 73 фигури, 30 таблици, оформени в увод, 4 глави, общи изводи, научно- приложни и приложни приноси, списък с използваните обозначения и съкращения, списък с публикациите на автора и списък с използваната литература.

# СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ РЕШЕНИЯ ЗА ИНТЕРАКТИВНИ ЛАБОРАТОРИИ

В първа глава на дисертационния труд са изследвани и систематизирани съществуващите методи, технологии и средства за изграждане на интерактивни и отдалечени лаборатории, използвани в инженерното образование в областта на фотоволтаичните системи. Анализът обхваща архитектурните модели, класификация, технологични решения и образователни приложения на интерактивните лаборатории.

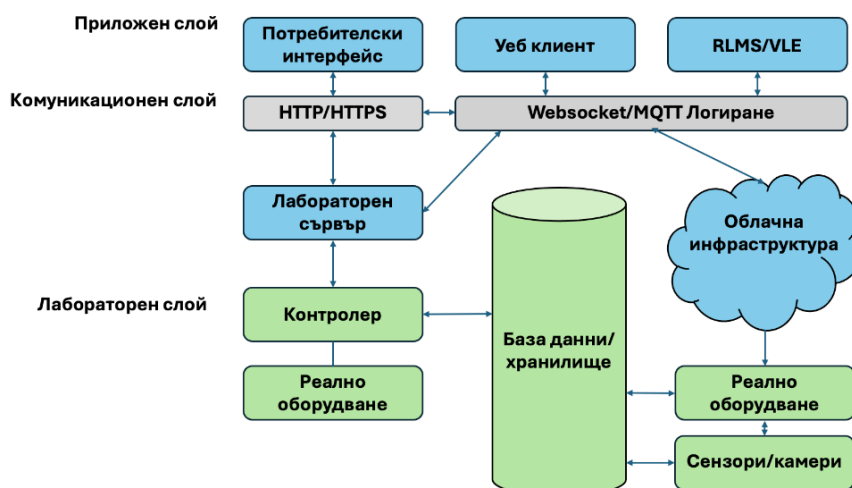
### 1.6. Архитектурни модели на интерактивните лаборатории

Интерактивните лаборатории се реализират чрез обобщена трислойна архитектура, включваща лабораторен, комуникационен и приложен слой, която осигурява дистанционен достъп, управление и наблюдение на лабораторни ресурси. Всеки слой изпълнява специфични функции и може да бъде реализиран чрез различни технологични подходи в зависимост от изискванията на конкретната лабораторна среда.

*Лабораторният слой* обхваща реалното експериментално оборудване, измервателни и управляващи устройства, обединени в лабораторен модул, който осигурява изпълнение и мониторинг на експерименти.

*Комуникационният слой* реализира надежден обмен на данни и управляващи команди между лабораторния модул и крайния потребител.

*Приложният слой* осигурява потребителски достъп чрез веб-базирани интерфейси, като предоставя визуализация и управление на експериментите в реално време.



Фиг. 1.1. Трислойна архитектурна модел на интерактивна лаборатория

### 1.7. Класификация на интерактивните лаборатории

В този параграф е извършена класификация на интерактивните лаборатории според основните критерии, използвани в научната литература и инженерната

практика. В зависимост от архитектурата, начина на реализация и целите на използване, те могат да бъдат класифицирани по няколко основни критерия.

### **1.7.1. Класификация според характера на експеримента**

Според характера на експерименталната среда интерактивните лаборатории се разделят на:

*лаборатории с реално оборудване* и отдалечен достъп, при които потребителят управлява физически устройства чрез интернет;

*симулационни лаборатории*, изградени върху математически модели и алгоритми за виртуално възпроизвеждане на реални процеси;

*хибридни лаборатории*, които интегрират реално оборудване със симулационни модели и осигуряват пълен цикъл от моделиране, експериментиране и верификация.

Тази класификация отразява степента на интеграция между физически и виртуални ресурси и е широко приета в съвременната научна литература.

### **1.7.2. Класификация според технологичната реализация**

От гледна точка на използваните технологии интерактивните лаборатории могат да бъдат:

*уеб-базирани*, достъпни чрез стандартен интернет браузър;

*лаборатории, базирани на симулатори*, използващи специализирани инженерни среди;

*облачно базирани лаборатории*, които използват виртуализирани изчислителни ресурси и централизирано управление;

*лаборатории със смесена реалност (AR/VR)*, предоставящи разширена визуализация и интерактивност.

Тези подходи позволяват мащабируемост, гъвкав достъп и интеграция с електронни обучителни платформи.

### **1.7.3. Класификация според функционалната цел**

Според предназначението си интерактивните лаборатории се подразделят на:

*образователни*, ориентирани към обучение и развитие на практически умения;

*изследователски*, използвани за анализ и разработка на нови технологии.

### **1.7.4. Класификация според начина на взаимодействие**

В зависимост от степента на интерактивност се разграничават: *статични симулационни среди*; *динамични симулации в реално време*; *интерактивни системи с двупосочна връзка*, позволяващи активно управление и адаптивна реакция на системата.

Представените класификации показват, че интерактивните лаборатории формират многоизмерна и гъвкава технологична среда, обединяваща реални, виртуални и хибридни решения, различни архитектурни подходи и широк спектър от образователни и изследователски приложения.

## 1.8. Образователни приложения и сравнителен анализ на традиционни и интерактивни лаборатории

Съвременното инженерно образование изисква интеграция на реални лабораторни експерименти и цифрови инструменти за анализ и моделиране. Традиционните лаборатории осигуряват практически опит, но са ограничени по време, ресурси и достъпност. Интерактивните лаборатории преодоляват тези ограничения чрез симулации и отдалечен достъп, като най-ефективен е интегрираният модел, съчетаващ симулационна подготовка и експериментална верификация в гъвкава и мащабируема обучителна среда.

Въз основа на тези ограничения са формулирани основните направления за усъвършенстване, определящи целите при разработването на съвременна интерактивна лаборатория за фотоволтаични системи.

Таблица 1.5. Ключови области за подобрене

Област за подобрене	Описание
Интеграция на хардуер и софтуер	Разработка на система, която интегрира хардуерни и софтуерни компоненти.
Намаляване на разходите	Използване на отворен код и ниско бюджетни хардуерни платформи.
Опростяване на интерфейса	Създаване на интуитивен и лесен за използване интерфейс.
Персонализация и гъвкавост	Предоставяне на възможности за персонализация и интеграция с други системи.
Поддръжка на реално време на данни	Възможност за мониторинг и анализ на данни в реално време.

## ГЛАВА II. АРХИТЕКТУРНИ И ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ИНТЕРАКТИВНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

В рамките на главата се разглеждат основните физични модели, формули и изчислителни зависимости, описващи работата на фотоволтаичните елементи, включително връзките между напрежение, ток, мощност, осветеност и температура. Това теоретично знание е фундаментално за правилната интерпретация на резултатите, получавани в интерактивната лабораторна среда.

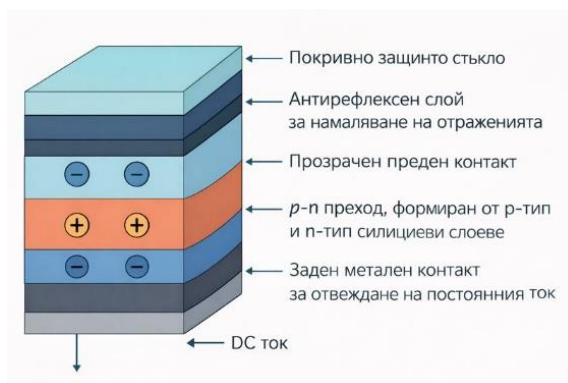
### 2.2. Архитектурни и функционални изисквания към интерактивна фотоволтаична лаборатория

Интерактивната фотоволтаична лаборатория следва да обединява реални експерименти, симулационни модели и дистанционен достъп в единна уеб-базирана среда, позволяваща въвеждане на параметри, наблюдение и анализ на електрическите характеристики на системата в реално или близко до реалното време. Системата трябва да осигурява сигурност и мащабируемост, както и образователна функционалност чрез визуализация на резултатите, съхранение на

данни и достъпни обучителни ресурси.

## 2.5.2. Структура на фотоволтаичната клетка

Фотоволтаичната клетка има многослойна структура, включваща защитно стъкло, антирефлексен слой, прозрачни контакти, р-п преход и заден метален контакт. Тази конструкция осигурява ефективно улавяне на слънчевата радиация, надеждно отвеждане на тока и висока експлоатационна ефективност.



Фиг. 2.2. Многослойна структура на фотоволтаична клетка

Тази структура осигурява надеждна работа, висока ефективност и дълъг експлоатационен живот на фотоволтаичните клетки.

## 2.5.3. Математичен модел на фотоволтаичната клетка

Работата на фотоволтаичната клетка е описана чрез еквивалентна електрическа схема с фототок, диод и паразитни съпротивления. Моделът служи като основа за симулации и анализ в интерактивната лаборатория.

Основно уравнение на PV клетка:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

Фотогенериран ток:

$$I_{ph} = [I_{sr,ref} + \alpha(T - T_{ref})] \frac{G}{G_{ref}} \quad (2.2)$$

Ефективност:

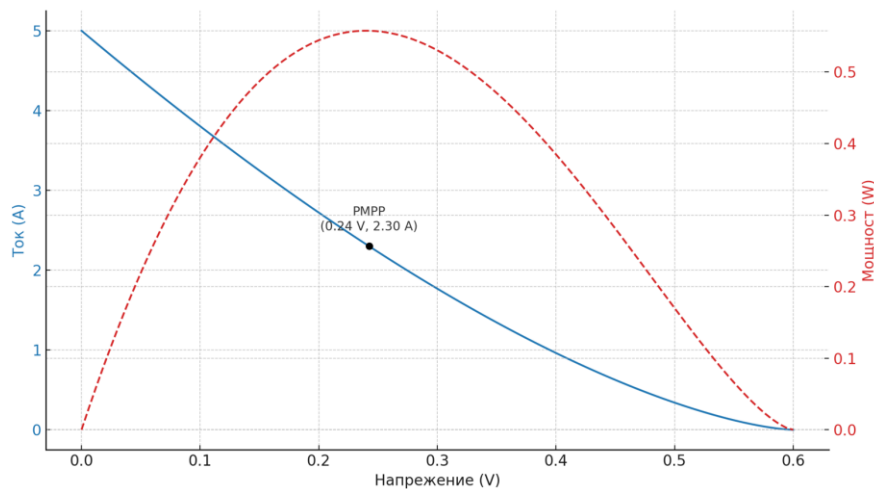
$$\eta = \frac{P_{max}}{G \cdot A} \quad (2.3)$$

## 2.6.1. Параметри на фотоволтаичните клетки

Работата на фотоволтаичните клетки се анализира чрез I-V и P-V характеристики, които определят ключовите параметри  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ , MPP,  $P_{max}$  и FF. Точката на максимална мощност е основна за управлението и оптимизацията на PV системите.

Коефициент на запълване:

$$FF = \frac{P_{MPP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.6)$$



**Фиг. 2.3.** I-V и P-V характеристики на фотоволтаична клетка при STC

I-V крива (ток–напрежение), показва връзката между тока (I) и напрежението (V), произведени от фотоволтаичната клетка при дадено ниво на осветеност и температура.

### 2.7.1. Конфигурация и електрически характеристики на фотоволтаичните клетки

Представени са основните технологии (моно-, поли- и тънкослойни клетки) и тяхното влияние върху ефективността. Конфигурацията на клетките (серийна и паралелна) определя изходните електрически параметри на PV модулите и стринговете.

Когато  $N$  клетки се свържат серийно:

$$V_{total} = N \cdot V_{cell} \quad (2.12)$$

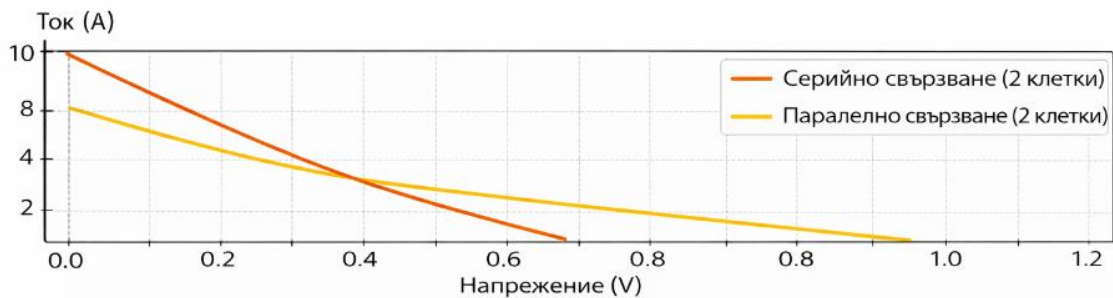
$$I_{total} = I_{cell} \quad (2.13)$$

$N$  – брой паралелно свързани клетки (с еднакво съпротивление RRR)

$$V_{total} = V_{cell} \quad (2.16)$$

$$I_{total} = N \cdot I_{cell} \quad (2.17)$$

Технологията и конфигурацията на фотоволтаичните клетки са ключови фактори, влияещи върху ефективността, надеждността и адаптивността на PV системите.



**Фиг. 2.8.** I–V характеристики при серийно и паралелно свързване на PV клетки

От представените I–V и P–V характеристики се вижда, че серийното свързване води до увеличаване на изходното напрежение при ток, определен от характеристиките на отделната клетка, докато паралелното свързване осигурява нарастване на изходния ток при запазване на приблизително постоянно напрежение.

### 2.9. Обобщена архитектура и основни конфигурации на фотоволтаичните системи

Фотоволтаичните системи представляват интегрирана съвкупност от електротехнически, електронни и управляващи компоненти, чиято основна функция е преобразуването на слънчевата енергия в електрическа, нейното управление, съхранение и ефективно използване. В зависимост от взаимодействието си с електрическата мрежа и предназначението си, те се класифицират в три основни конфигурации: автономни (off-grid), мрежово свързани (grid-connected) и хибридни.

По този начин се очертават основните архитектурни решения при изграждането на фотоволтаични системи, които служат като основа за последващия анализ на техните компоненти, управление и експлоатационни характеристики.

### 2.10. Основни хардуерни елементи и управляващи устройства във фотоволтаичните системи

Фотоволтаичната система включва PV панели, зарядни контролери, акумулатори, инвертор, сензори и защитни устройства, които осигуряват преобразуване и ефективно използване на електроенергията.

PV модулите, свързани в стрингове, са източникът на енергия, а байпас диодите намаляват ефекта от засенчване. Зареждането се управлява от PWM или MPPT контролери, като MPPT поддържа работа в точката на максимална мощност и увеличава добива. Акумулаторната система с BMS осигурява надеждна работа, а инверторът преобразува постоянния ток в променлив.

Мониторингът се реализира чрез сензори и дистанционно наблюдение, а предпазители, релета и SPD осигуряват безопасност. MPPT контролерите са по-ефективни от PWM решенията.

**Таблица 2.4.** Сравнителна таблица - PWM и MPPT контролер

Характеристика	PWM контролер	MPPT контролер
Принцип	Свързва директно PV с батерията, регулирайки напрежението чрез включване/изключване	Постоянно проследява точката на максимална мощност и преобразува напрежението/тока

Характеристика	PWM контролер	MPPT контролер
Ефективност	По-ниска (до ~75-80%)	По-висока (до ~98%)
Напрежение	PV напрежението $\approx$ напрежение на батерията	PV напрежението се поддържа на MPP
Загуби при температурни и осветителни промени	По-високи	Минимални

### 2.11.1. Измерване на иррадиацията

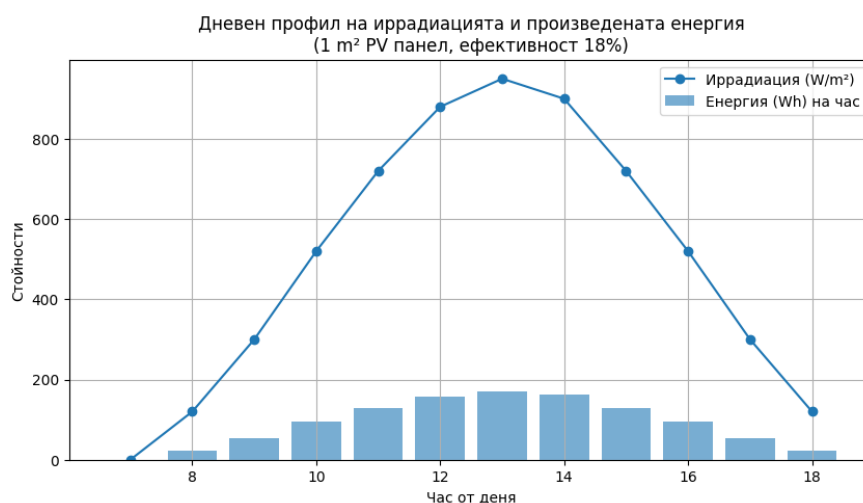
Измерването на слънчевата радиация и температурата е критично за оценка на ефективността и корекцията към стандартни условия (STC).

Иррадиация:

$$G = \frac{V_{out}}{S} \quad (2.18)$$

Температура на модула (NOCT):

$$T_{mool} = T_{air} + ((NOCT - 20) / 800) \times G \quad (2.19)$$



Фиг. 2.12. Дневен профил на иррадиацията и произведената енергия

### 2.11.2. Измерване на температурата и основни зависимости във фотоволтаични системи

Температурна корекция на електрически параметри:

$$V(T) = V + \alpha_V \times (T - 25) \quad (2.26)$$

$$I_s(T) = I_s + \alpha_I \times (T - 25) \quad (2.27)$$

### 2.12. Методи за характеризирание на ефективността на фотоволтаичните панели

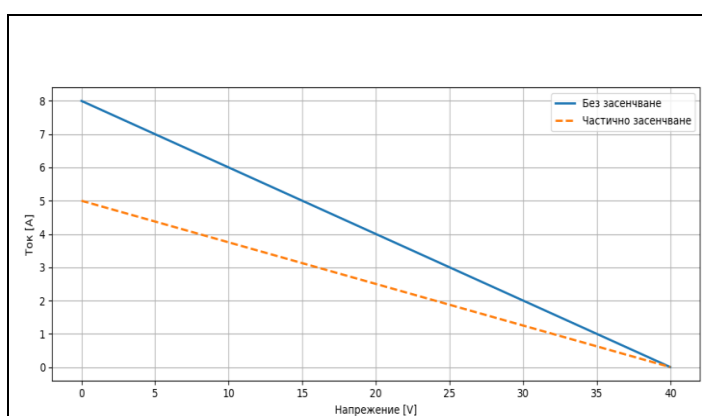
Ефективността на фотоволтаичните панели се оценява чрез анализ на волт-амперните (I–V) и мощност-напрежение (P–V) характеристики, от които се определят основните параметри: максимална мощност (P<sub>max</sub>), напрежение на отворена верига (V<sub>oc</sub>), ток на късо съединение (I<sub>sc</sub>), както и напрежение и ток при максимална мощност (V<sub>mp</sub>, I<sub>mp</sub>).

КПД на панела се изчислява като отношение между произведената електрическа мощност и падащата върху повърхността слънчева енергия, измерено при стандартни тестови условия (STC: 25°C, 1000 W/m<sup>2</sup>, AM1.5).

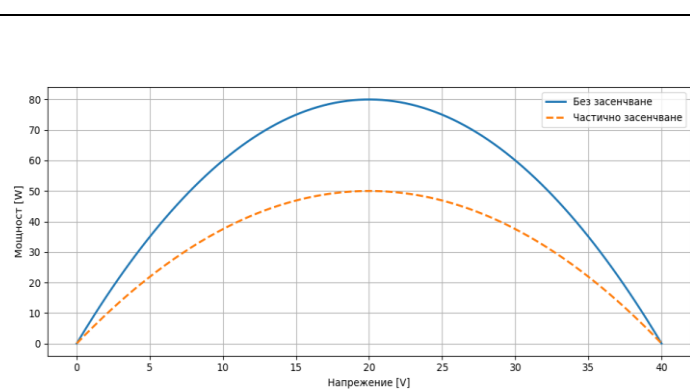
За реална експлоатационна оценка се използва коефициентът на производителност (PR), който отчита загуби от температура, замърсяване, засенчване и електрически несъвършенства, а температурният коефициент описва намаляването на мощността при повишаване на температурата над 25°C.

### 2.13. Режими на деградация на фотоволтаични панели

Разгледани са основните режими на деградация – горещи точки, засенчване, повредени диоди и PID, които водят до деформация на I–V и P–V кривите и загуба на мощност.



Фиг. 2.14. I-V крива при частично засенчване



Фиг. 2.15. P-V крива при частично засенчване

Представените физични принципи, математични модели, електрически характеристики и методи за измерване формират теоретичната и технологична основа за разработването на интерактивна лаборатория за фотоволтаични системи. Те осигуряват коректна интерпретация на експериментални и симулационни резултати и поддържат архитектурната реализация на лабораторията, представена в следващите глави.

### 2.14. Соларни тракери – видове, принцип на работа и компоненти

Соларните тракери са интелигентни механични системи, които повишават ефективността на фотоволтаичните инсталации чрез автоматично ориентиране на PV панелите спрямо положението на слънцето, като увеличават енергийния добив с приблизително 20–40% спрямо стационарни системи.

Едноосните тракери осигуряват въртене по една ос (обикновено изток–запад) и се използват широко в големи PV централи поради по-ниска цена и по-опростена конструкция. Двусосните тракери позволяват движение по две оси (изток–запад и север–юг), осигурявайки по-прецизно слънцеследене и по-висок добив, но изискват по-големи инвестиции и поддръжка.

# ГЛАВА III. ПРОЕКТИРАНЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА УЕБ-БАЗИРАНА ИНТЕРАКТИВНА ЛАБОРАТОРИЯ ЗА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

В трета глава е представено проектирането и реализацията на веб-базирана интерактивна лаборатория за фотоволтаични системи, включваща симулационни модули, визуални инструменти, административни функционалности и обучителни компоненти, реализирани в интегрирана платформа за инженерно обучение и анализ.

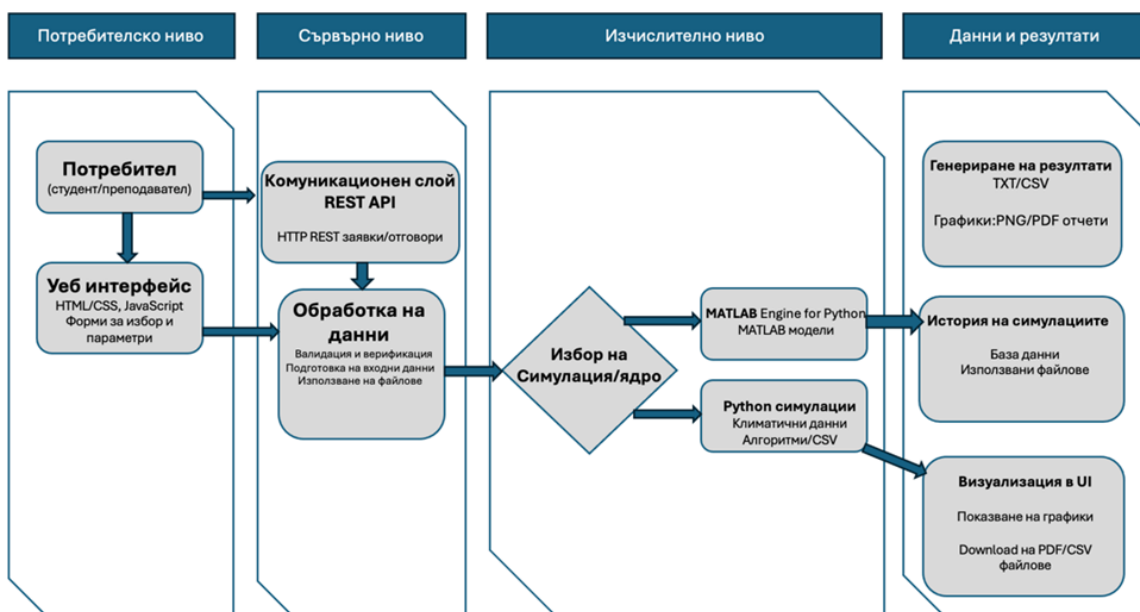
## 3.1 Функционални и нефункционални изисквания

Формулирани са функционалните и нефункционалните изисквания към веб-базираната лаборатория. Функционалните изисквания обхващат реализиране на интерактивни симулации на фотоволтаични модули и системи при различни експлоатационни условия, визуализация на ключови параметри като  $I-V$  и  $P-V$  характеристики, максимална мощност, ефективност и температурни зависимости, поддръжка на многопотребителски режим с профили, роли и история на симулациите, както и експорт на резултатите във формати CSV, PNG и PDF.

Нефункционалните изисквания включват веб-достъп чрез стандартен браузър без необходимост от локална инсталация, модулна и разширяема архитектура, осигуряване на сигурност и валидиране на входните данни, както и проследимост чрез архивиране и последващ анализ на резултатите.

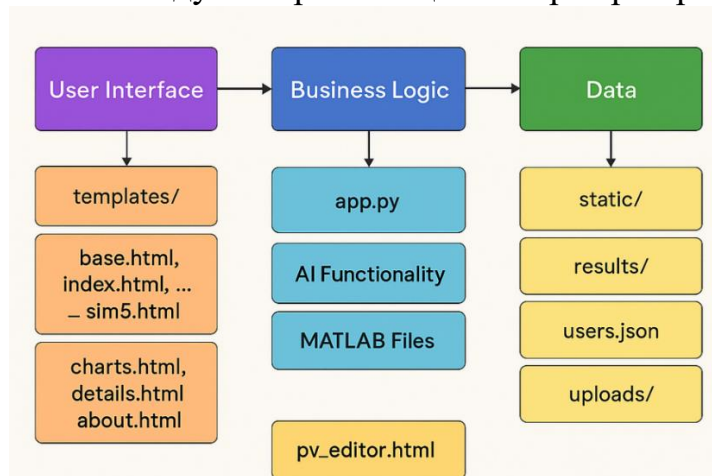
## 3.2. Архитектура и функционална структура

Веб-базираната лаборатория за фотоволтаични системи е реализирана върху многостепенна клиент-сървърна архитектура, която осигурява модулност, надеждност и висока производителност на платформата.



Фиг. 3.1. Обобщена блокова схема на софтуерната архитектура на веб-базираната симулационна платформа за фотоволтаични системи

Структурата на системата е организирана така, че да осигури ясно разделение между потребителския интерфейс, бизнес логиката и данните. Тя е базирана на уеб рамката Flask, което позволява модулна организация и бързо разгръщане.



**Фиг. 3.2.** Логическа структура на уеб-базираната лаборатория и организация на директориите

### 3.3. Използвани технологии и интеграция

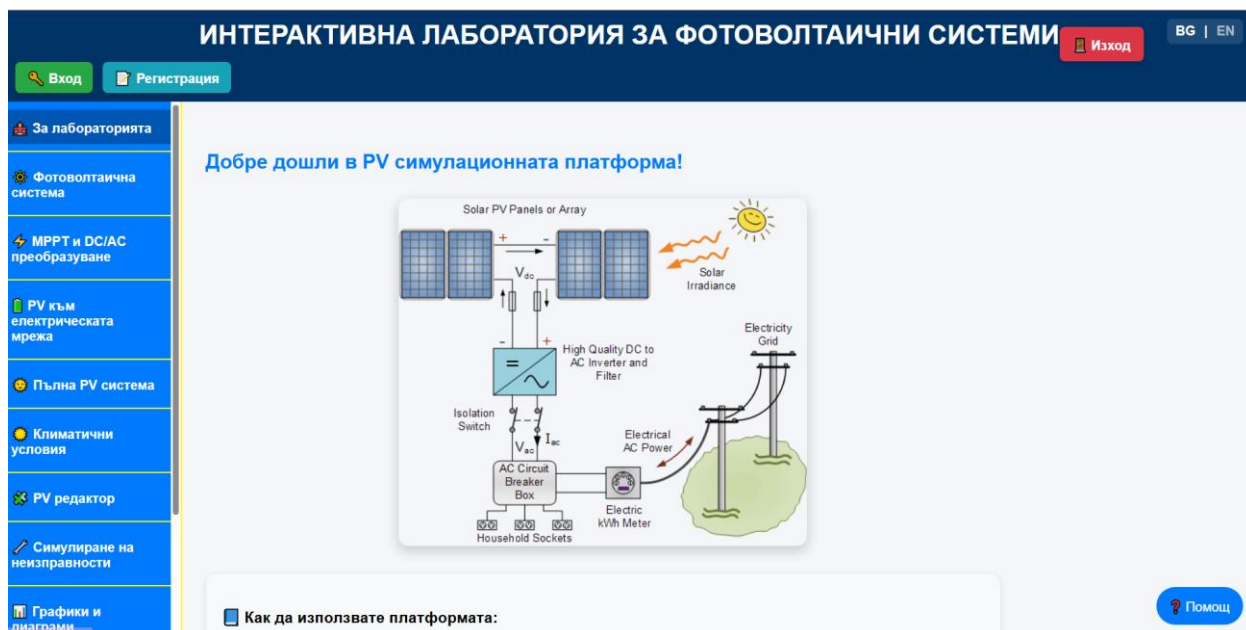
Системата е реализирана чрез интеграция на съвременни софтуерни технологии, като Python 3 и Flask се използват за реализиране на сървърната логика, управление на сесии, потребителски роли и маршрути. MATLAB, чрез API и Python интерфейс, се прилага за изпълнение на симулационни модели и скриптове. Числената обработка на данни, работата с CSV файлове и генерирането на графики се осъществяват с помощта на библиотеките NumPy, Pandas и Matplotlib, а създаването на PDF отчети – чрез ReportLab. Потребителският интерфейс и визуализациите са реализирани с HTML5, CSS3 и JavaScript, като за графичното представяне и визуалния редактор се използват Chart.js и Canvas/SVG технологии.

### 3.4. Функционални модули и потребителски интерфейс

Функционалните модули на платформата следват унифициран работен поток, включващ въвеждане на входни параметри, изпълнение на симулационен модел (MATLAB/Python), визуализация на резултатите чрез графики и автоматичен AI анализ, последващо съхранение в модул „История“ и експорт на резултатите във формати CSV, PNG и PDF.

Началният екран на уеб-базираната платформа, осигурява централизирана точка за достъп до всички основни функционалности чрез странично навигационно меню.

Интерфейсът служи като практическа реализация на описаната архитектура и функционални модули, като осигурява ефективна връзка между потребителя и симулационната логика на системата.

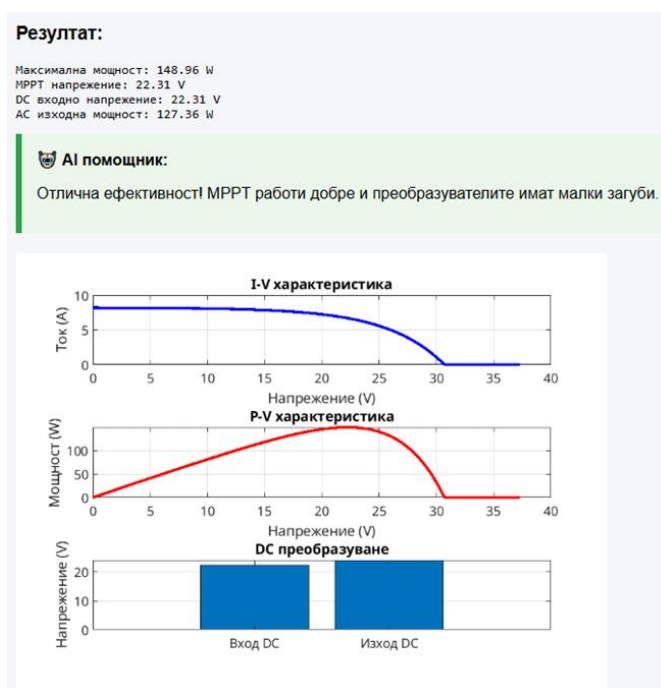


Фиг. 3.3. Начален екран на веб-базираната платформа за фотоволтаични системи

### 3.4.1. Основни симулации

Симулация 1:  $I-V$  и  $P-V$  характеристики на PV модул

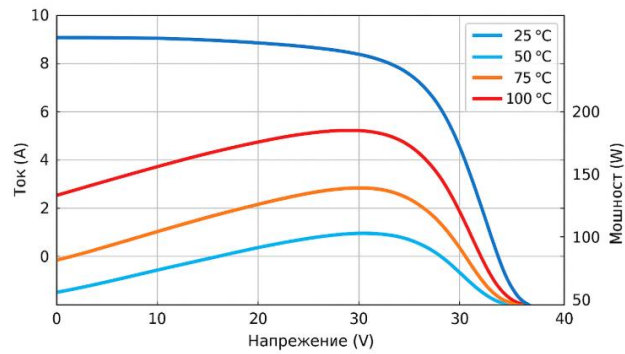
- изчисляване на  $I-V/P-V$  криви,  $P_{max}$ , ефективност, MPP; включен AI анализ



Фиг. 3.6. Реален резултат от Симулация 1 с  $I-V/P-V$  графики и AI анализ

Симулация 2: Температурна зависимост

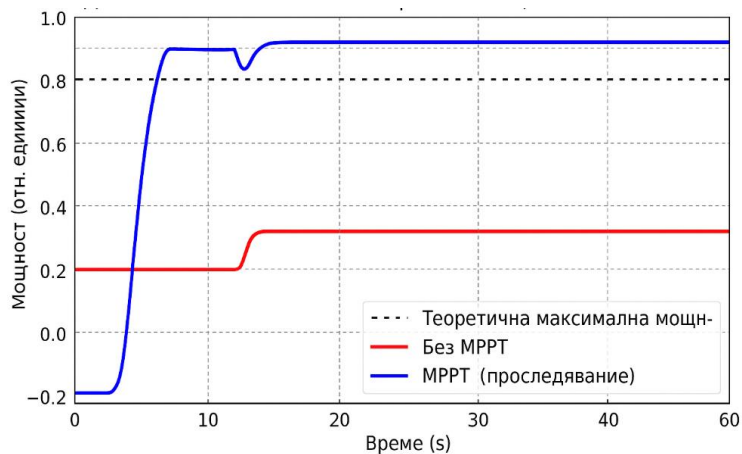
Изследване влиянието на  $T$  върху напрежение/мощност.



**Фиг. 3.7.** Температурна зависимост на напрежение и мощност при различни стойности на температурата на PV клетката

*Симулация 3: MPPT динамика*

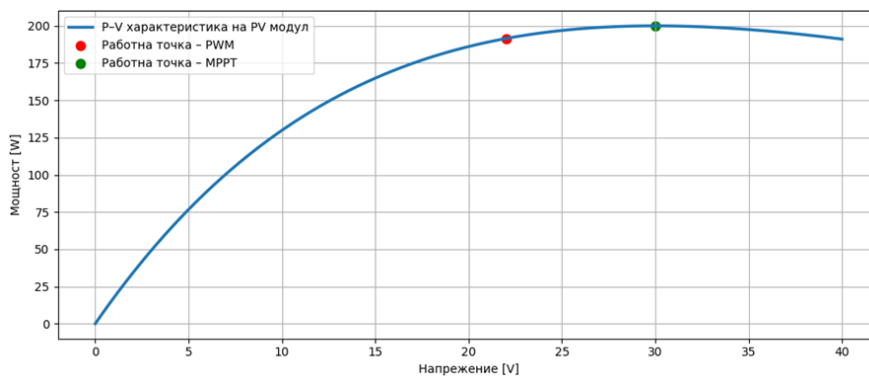
Динамика при промяна на условия; сравнение с фиксирана работа/PWM.



**Фиг. 3.8.** Динамика на MPPT алгоритъм – стабилизиране на мощността около MPPT

*Симулация 4: Сравнение MPPT и PWM*

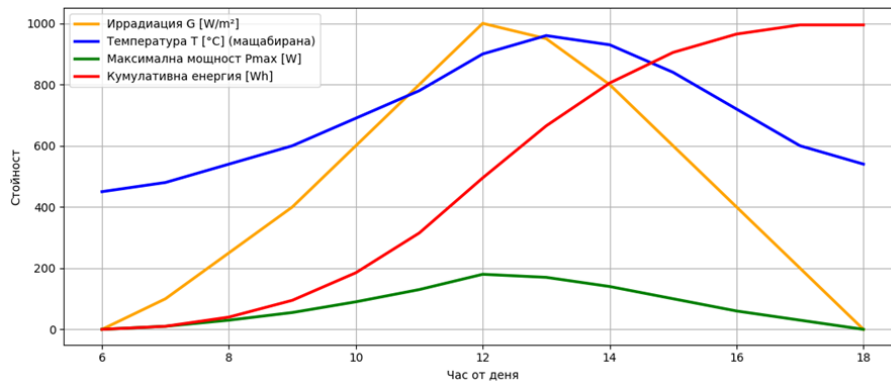
Позициониране на работни точки върху P-V; оценка на печалба.



**Фиг. 3.9.** Сравнение на PWM и MPPT върху P-V характеристика на PV модул

*Симулация 5: Реални климатични данни (CSV)*

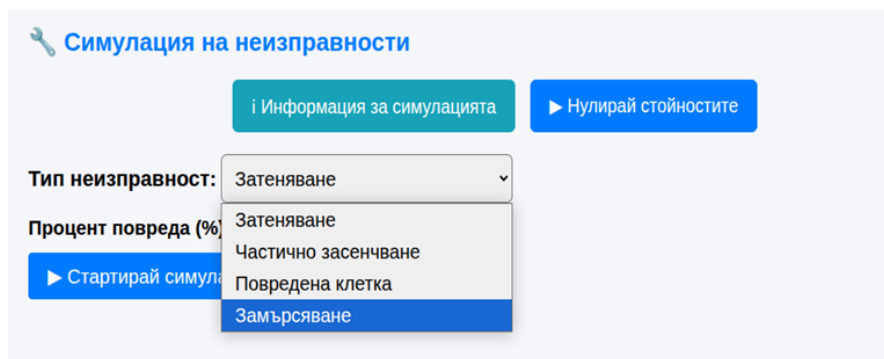
Часови профили на G, T и Pmax; таблица с резултати.



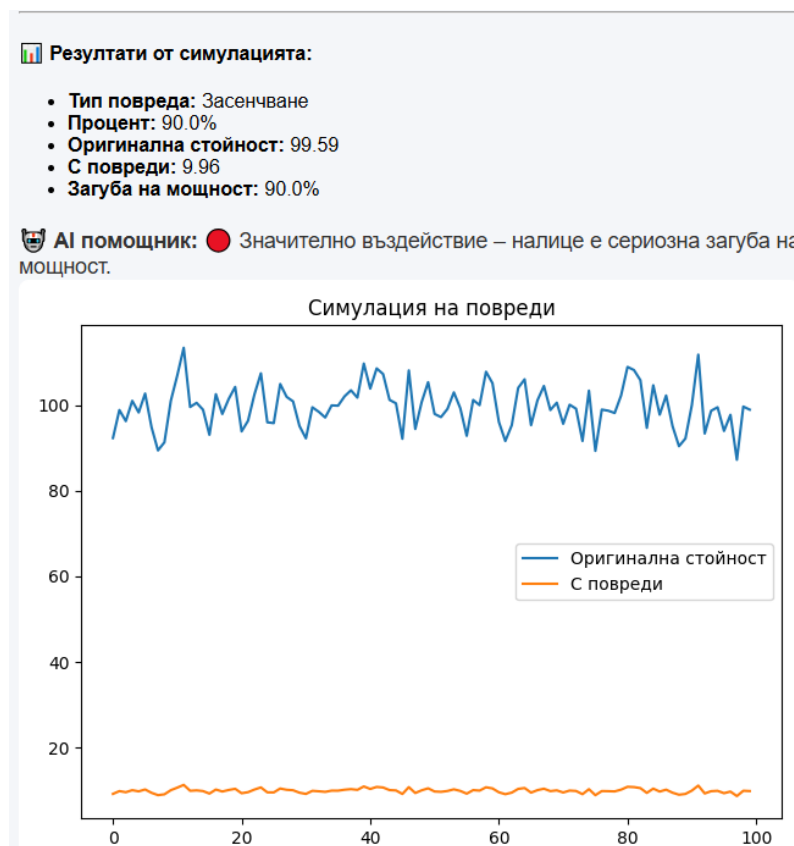
**Фиг. 3.10.** Реални климатични данни и резултати от Симулация 5

*Симулация б: Анализ на неизправности*

Моделиране на засенчване/повредени клетки/замърсяване и влияние върху криви.



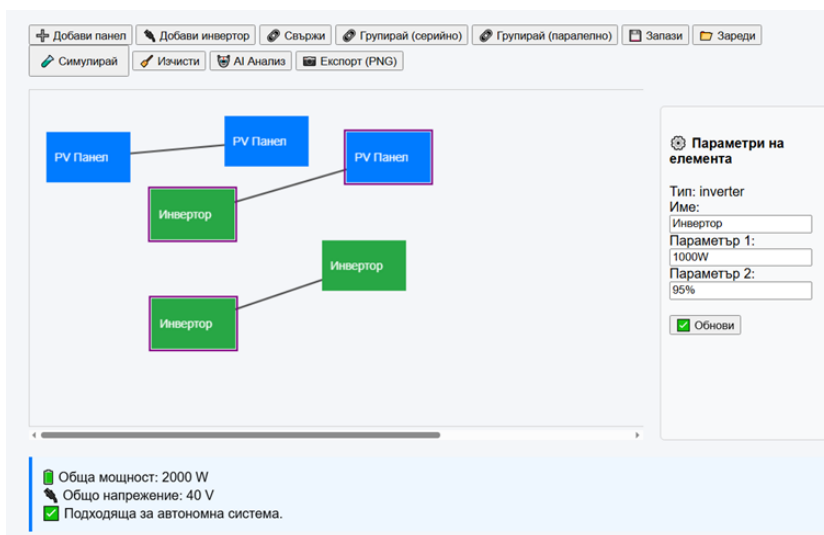
**Фиг. 3.11.** Интерфейс на модула за симулация на неизправности във фотоволтаична система



**Фиг. 3.12.** Резултат от симулация на неизправност

### 3.4.2. Визуален редактор на PV конфигурации

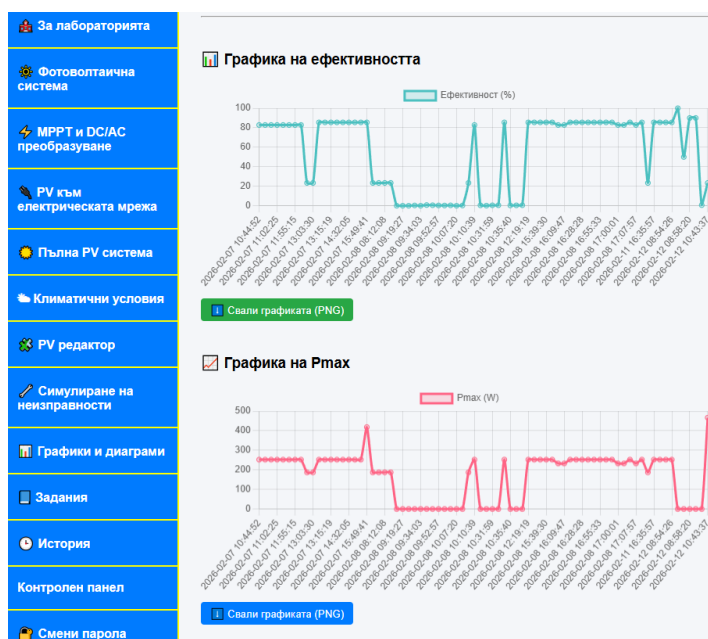
Визуалният редактор на PV конфигурации позволява интерактивно проектиране чрез drag-and-drop, графично свързване на елементите в Canvas/SVG среда, както и автоматично изчисляване на общата мощност и генериране на AI-базирани препоръки.



Фиг. 3.13. Визуален редактор на PV система – примерна конфигурация

### 3.4.3. Модул „История и анализ“

Модулът „История и анализ“ осигурява съхранение на резултатите по потребители, визуализация на показатели като максимална мощност и ефективност във времето, както и възможност за експорт на данните във формати CSV и PDF.



Фиг. 3.14. Интерфейс за преглед и анализ на историята на симулациите

**3.4.4. Контролен панел и ролеви достъп** - роли: администратор / преподавател студент; управление на потребители и активност; експорт на списъци.

**3.4.5. Меню с обучения и упражнения** - задания, сценарии и упражнения, свързани със симулациите; подпомага самостоятелна работа и структурирано обучение.

**Фиг. 3.15.** Интерфейс на страницата за учебни задания по фотоволтаични системи

### 3.5. Административни функционалности, защита и валидиране

Реализирани са административни функционалности за сигурност и валидиране, включващи удостоверяване с потребителско име и хеширани пароли, ролеви контрол на достъпа, client-side и server-side валидация на входните данни, както и защита на сесиите и контрол на потребителските заявки.

### 3.6. Графични визуализации и образователна роля

Графичните визуализации са ключов елемент на разработената веб-базирана симулационна лаборатория, тъй като осигуряват интуитивно представяне на електрическите и енергийните зависимости. В платформата са реализирани I–V и P–V характеристики, температурни профили, динамични графики на мощността и интерактивни визуални компоненти във визуалния редактор на PV системи.

**Таблица 3.2.** Технологии за визуализация, използвани в платформата

Технология	Използване
matplotlib (Python)	Изчертаване на P-V графики при симулация 5
Chart.js (JS библиотека)	Графики в историята на симулациите
HTML5 canvas + JS	Визуален редактор за свързване на компоненти
SVG линии	Графично изобразяване на кабели между елементи

### **3.7. Учебни задания и обратна връзка**

В платформата са реализирани учебни задания по теми, свързани с Pmax, климатични данни, PV конфигурации и анализ на исторически резултати, допълнени с автоматичен AI анализ и възможност за експорт на получените резултати.

Главата обобщава реализираната уеб платформа като модулна трислойна система със симулации, визуализации, история и администриране, предназначена за инженерно обучение и като основа за разширяване към реално оборудване.

## **ГЛАВА IV. РАЗРАБОТВАНЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА ИНТЕРАКТИВНА ЛАБОРАТОРИЯ С ОТДАЛЕЧЕН ДОСТЪП ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ**

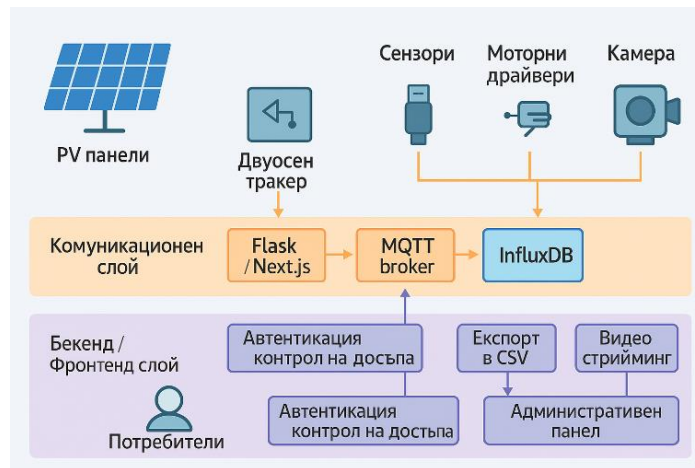
В четвърта глава е представена реализацията на интерактивна лаборатория с отдалечен достъп, предназначена за провеждане на реални експерименти с фотоволтаични системи. Главата обхваща архитектурния модел, хардуерната и софтуерната реализация, IoT комуникационния слой, уеб визуализацията в реално време и експерименталните резултати.

### **4.1. Концепция и етапи на проектиране на интерактивната лаборатория с отдалечен достъп**

Разработването на интерактивната лаборатория е реализирано поетапно, като обхваща дефиниране на функционални и нефункционални изисквания, проектиране на архитектура за отдалечен достъп, избор и интеграция на реално лабораторно оборудване, изграждане на комуникационен и софтуерен слой, както и експериментална валидация на цялостната система.

#### **4.2.1. Общ архитектурен модел**

Архитектурният модел на интерактивната лаборатория е изграден като интеграция на четири основни подсистеми, обединени в единен поток за данни и управление. Физическата лабораторна среда включва фотоволтаичен панел, соларен тракер и измервателни сензори за напрежение, ток, температура, радиация и позиция. IoT комуникационната подсистема, базирана на ESP32, осигурява събиране, предварителна обработка и двупосочен обмен на данни чрез Wi-Fi или LoRa. Облачната и сървърната среда реализира API слой, съхранение на данни в InfluxDB, анализ и управление на командите към хардуера. Уеб-базираната информационна подсистема предоставя визуализация в реално време и исторически анализ, дистанционно управление на тракера и защитен достъп с ролеви модел за потребителите.



**Фиг. 4.2.** Архитектурен модел на интерактивната лаборатория за фотоволтаични системи с отдалечен достъп

Архитектурата осигурява двупосочна комуникация, модулност и възможност за мащабиране.

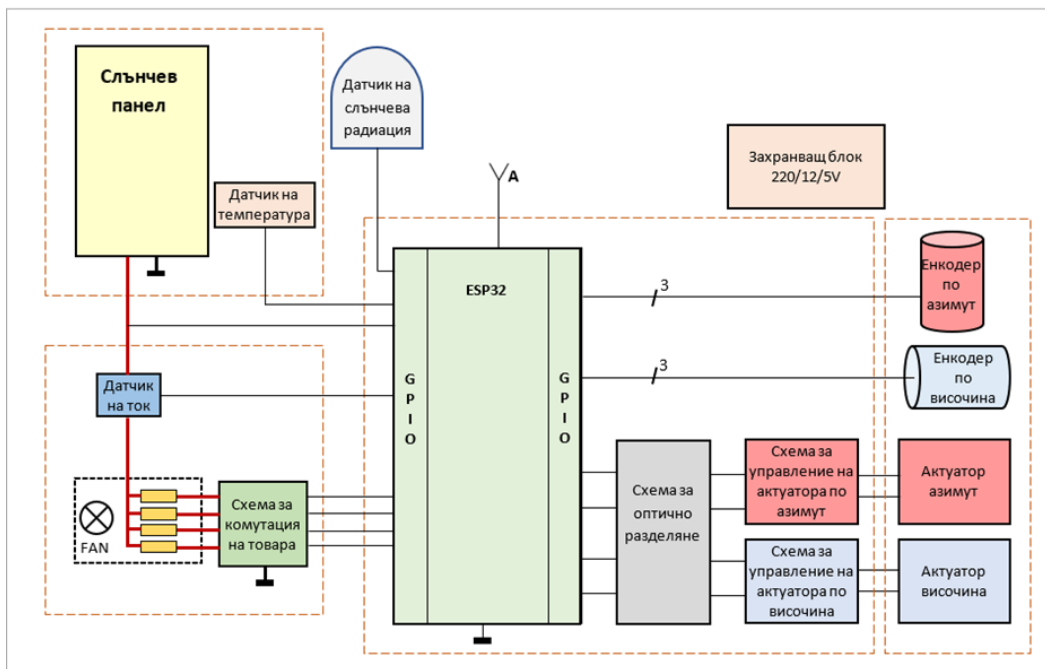
#### 4.2.2. Софтуерна и мрежова архитектура

Системата използва MQTT протокол за предаване на телеметрични данни с ниска латентност и минимално мрежово натоварване, докато WebSocket каналът осигурява двупосочен контрол и синхронизация в реално време с честота на обновяване около 1 Hz. REST API интерфейсът се прилага за транзакционни операции като управление на контрола, логове, експорт на данни и достъп до последни измервания. Данните от измерванията се съхраняват във времеворедицовата база InfluxDB и се визуализират аналитично чрез Grafana. Сигурността на комуникацията се гарантира чрез TLS/SSL криптиране, защитена Wi-Fi мрежа, firewall механизми и ролево базирана автентикация.

#### 4.3. Хардуерна реализация и подсистеми на интерактивната лаборатория

Описана е хардуерната конфигурация на лабораторията, включваща: фотоволтаични панели; DC–DC преобразуватели; измервателни сензори за напрежение, ток, температура и ирадиация; управляващ микроконтролер.

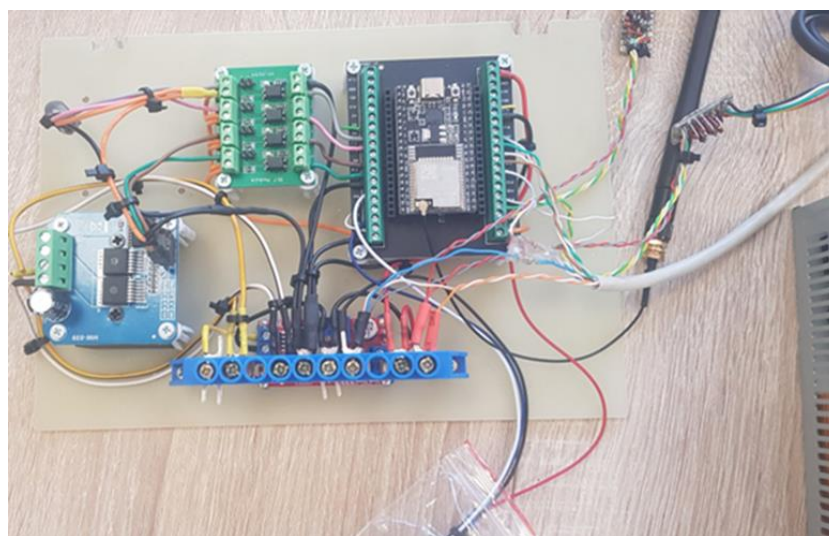
Управлението на задвижващите механизми по азимут и височина се реализира чрез отделни драйверни схеми, електрически изолирани посредством оптронни модули. Захранващият блок осигурява необходимите напрежения за логическата и силовата част, а комуникационните линии позволяват интеграция със софтуерната и IoT инфраструктура.



**Фиг. 4.4.** Функционална принципна схема на хардуерната архитектура на фотоволтаичната лаборатория

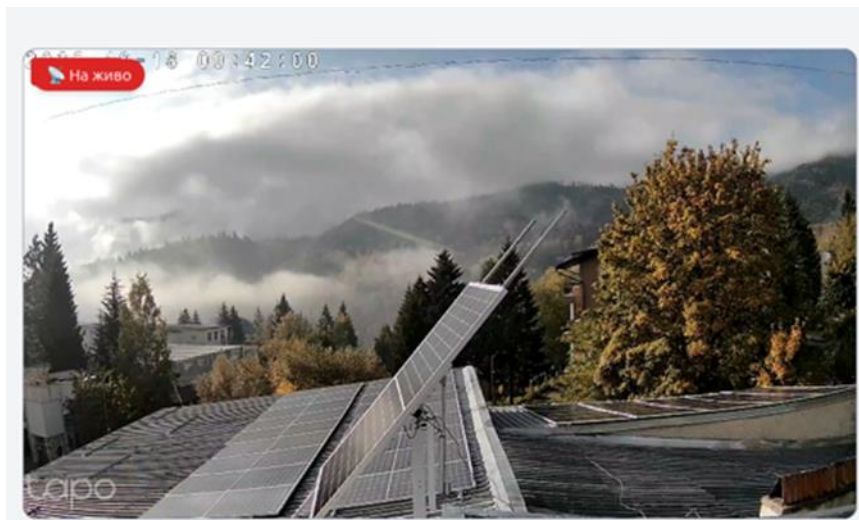
### 4.3.1 Централен управляващ модул

Ядрото на лабораторната установка представлява микроконтролерен модул, базиран на ESP32.



**Фиг. 4.6.** Главна управляваща платка с ESP32 и периферни модули

Основните функции на управляващия модул включват: събиране на измервателни данни от датчиците; управление на моторните драйвери; управление на товарния блок; изпращане на телеметрична информация към сървъра; приемане на управляващи команди. Процесите на управление на панела, на товара и получаване на данни от датчиците се управлява от микропроцесорен модул с ESP32. Положението на панела се определя чрез индустриални ABZ енкодери с висока резолюция.

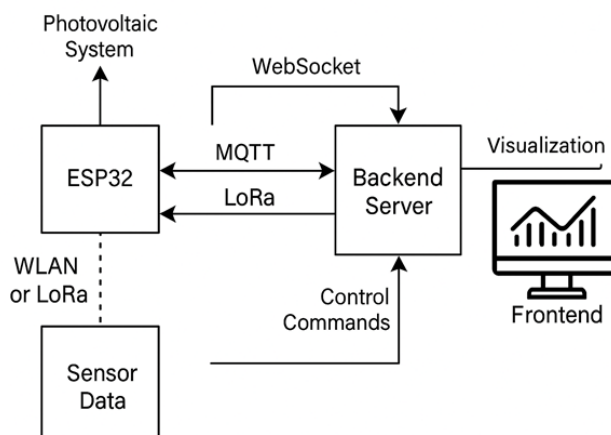


**Фиг. 4.10.** Монтиран двуосен соларен тракер

Ъгълът на завъртане и посоката на движение се определят чрез обработка на импулсите от каналите А и В, а индексният канал Z се използва за референтна позиция.

#### 4.4. Комуникационна архитектура и IoT слой

Комуникационната архитектура на интерактивната лаборатория е реализирана като многослоен IoT модел, базиран на MQTT, WebSocket и REST API. MQTT се използва за надеждно предаване на телеметрични данни от ESP32 устройствата, WebSocket осигурява двупосочна комуникация в реално време за визуализация и управление, а REST API реализира транзакционни операции, достъп до исторически данни и експорт на резултати.



**Фиг. 4.16.** Блокова схема на комуникационната архитектура

Уеб интерфейсът получава данните в реално време чрез WebSocket канал, което осигурява синхронна визуализация, графики и контрол върху системата.

##### 4.4.1. MQTT теми и формати на телеметрията

В лабораторната система е използван протоколът MQTT като основен механизъм за предаване на телеметрични данни от микроконтролера ESP32 към сървърната инфраструктура, където информацията се обработва и съхранява в

InfluxDB. Реализирана е йерархична структура от теми, която осигурява както централизирано събиране на пълни измервания (напрежение, ток, мощност, температура, радиация и позиция на тракера), така и оптимизирана телеметрия по устройства с намален мрежов трафик и работа в реално време.

Системата позволява едновременно визуализация на данните в уеб интерфейс и дистанционно управление на PV тракера чрез управляващи MQTT теми, което осигурява нисколатентна и мащабируема IoT комуникационна архитектура за интерактивна дистанционна лаборатория.

#### **4.4.2. WebSocket комуникация в реално време**

WebSocket комуникацията е реализирана като основен механизъм за двупосочно управление в интерактивната лаборатория, осигуряващ постоянна връзка между уеб интерфейса и ESP32 без периодични HTTP заявки. Чрез нея управляващите команди от потребителя се преобразуват в MQTT downlink съобщения към контролера, а актуалните параметри се синхронизират и визуализират в реално време ( $\approx 1$  Hz) с латентност под 200–300 ms.

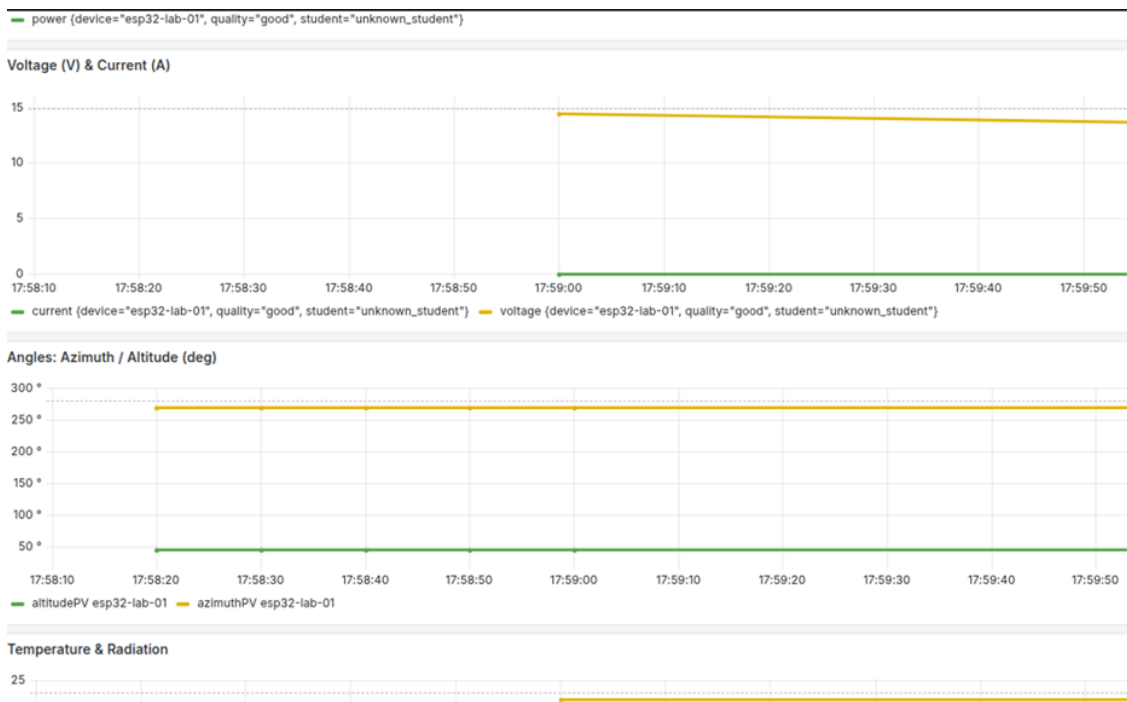
#### **4.4.3. REST API – контрол, управление и достъп до данни**

REST API интерфейсът осигурява структуриран достъп до транзакционните и административните функции на системата, като управление на потребителски сесии, заявяване и освобождаване на контрол върху соларния тракер, извличане на архивни данни и експорт на измервания от InfluxDB. Чрез защитен Bearer Token механизъм се реализират автентикация, авторизация и регистриране на потребителските действия.

По този начин REST API допълва MQTT и WebSocket, като поема заявките, които не изискват реално времева комуникация, и служи като посредник между уеб интерфейса, базата данни и управляващите модули на системата.

#### **4.4.4. InfluxDB слой и управление на времеви серии**

За съхранение и обработка на измервателните данни е използвана времеворедицовата база данни InfluxDB, конфигурирана с организация *grafika\_org* и работен контейнер (*bucket*) *solar\_tracker*. Данните се структурират в измервания (*measurements*) като *solar\_data* и *temps*, с използване на тагове *device*, *student* и *sensor* за ефективна идентификация и филтриране. Чрез Flux заявки се реализира извличане на последни стойности, усредняване и агрегиране на данни във времеви прозорци, което осигурява подготовка на времевите серии за визуализация, анализ и експорт.



**Фиг. 4.19.** Dashboard в Grafana за визуализация на телеметричните данни от фотоволтаичната система, съхранени в InfluxDB

Многослойната визуализационна архитектура осигурява ефективна интерпретация на данните от фотоволтаичната система, като съчетава мониторинг в реално време, исторически анализ и възможност за външна обработка.

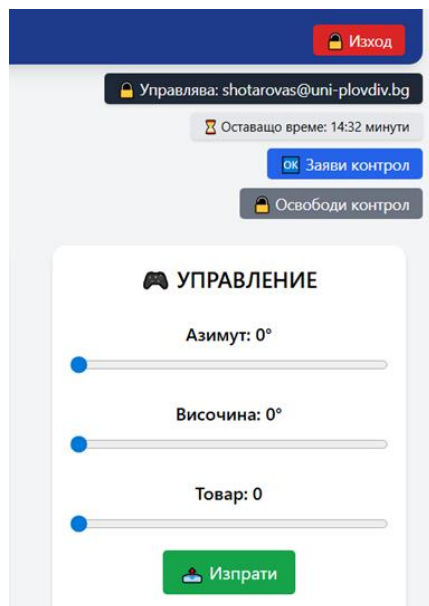
#### 4.4.5. Механизми за сигурност в комуникационния слой

В комуникационния слой на разработената интерактивна лаборатория са реализирани многослойни механизми за сигурност. MQTT комуникацията е защитена чрез забрана на анонимен достъп, удостоверяване с потребител и парола, ACL политики и ограничения по IP адреси. Backend слойът използва Beager-базирана автентикация, CORS защита и ограничаване на честотата на заявките. WebSocket каналът включва валидиране на JSON съобщенията, механизъм за ограничено време на контрол (15 минути) и защита срещу злоупотреби. Достъпът до Grafana и InfluxDB е реализиран чрез ролеви модели, а на хардуерно ниво са въведени филтриране на дефектни измервания и автоматичен рестарт на критични услуги.

##### 4.5.1. Панел за текущи измервания (Live Telemetry Panel)

Панелът за текущи измервания предоставя визуализация на основните параметри в реално време, включително напрежение, ток и мощност, както и стойности за слънчева радиация, температура, ъгли на тракера и системен статус. Данните се обновяват с честота около 1 Hz чрез WebSocket комуникация, което осигурява плавно и интерактивно наблюдение на процесите.

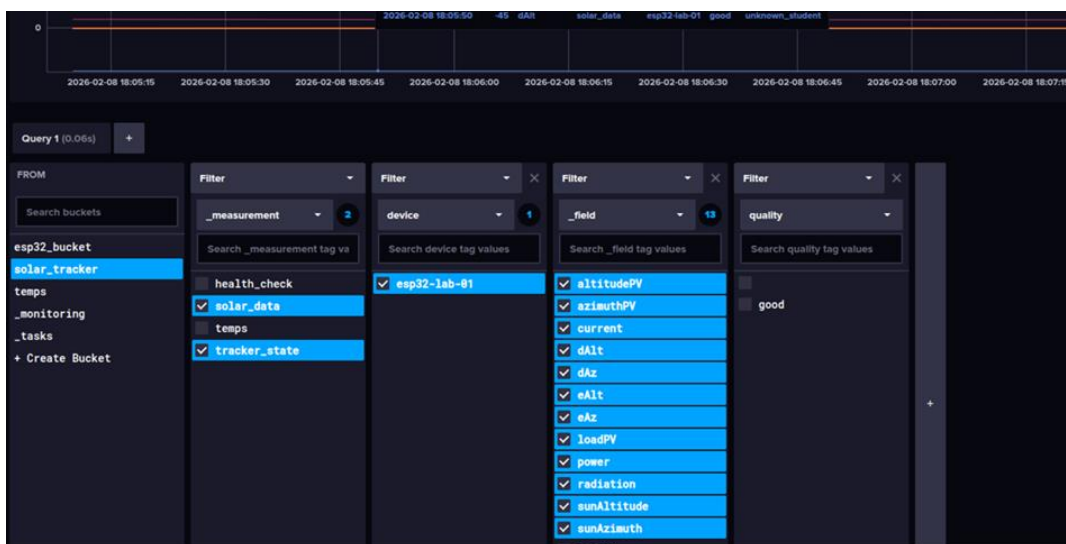
Модулът за управление на соларния тракер осигурява пълен дистанционен контрол върху позиционирането и натоварването на лабораторната установка. Чрез веб интерфейса потребителите могат да управляват движението по азимуталната ос ( $X\pm$ ) и по оста на наклона ( $Y\pm$ ), да задават конкретни ъглови стойности посредством плъзгачи, както и да променят електрическото натоварване на системата.



**Фиг. 4.20.** Интерфейс за управление на достъпа в многопотребителска среда

Представената визуализация демонстрира реалната среда, в която студентите взаимодействат със системата.

Чрез инструмента Data Explorer на InfluxDB се осъществява достъп до съхранените телеметрични данни от контролера ESP32.

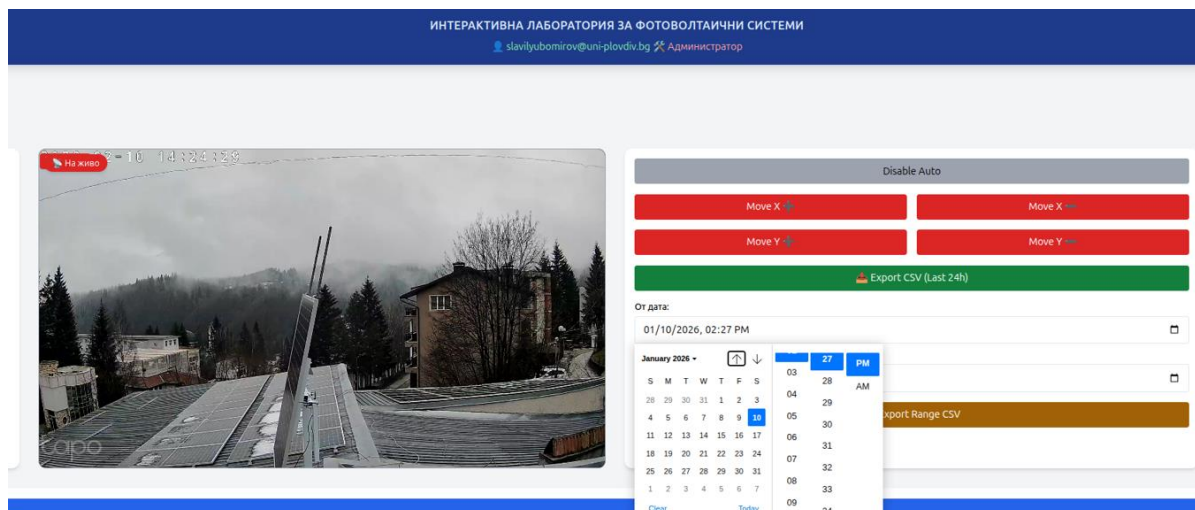


**Фиг. 4.21.** Създаване на Flux заявка в InfluxDB за достъп до историческите измервания от PV системата

Посредством Flux заявки се извършва филтриране по устройство, тип измерване и качество на данните, което позволява анализ на историческите параметри на фотоволтаичната система и тяхната последваща визуализация в Grafana.

#### 4.5.2. Контрол на достъпа и управление на потребители

Контролът на достъпа и управлението на потребители се реализират чрез ролеви модел, който разграничава права за студенти, преподаватели и администратори. За предотвратяване на конфликтни действия е въведен механизъм за „активен контролер“, при който само един потребител управлява системата в даден момент, а останалите имат наблюдателен достъп.



**Фиг.4.22.** Уеб интерфейс на Solar-Dashboard за управление

Всички действия се регистрират в логове, което осигурява проследимост и възможност за анализ на потребителската активност.

### 4.5.3. Технологична реализация на интерфейса

Технологичната реализация на интерфейса е изградена с използване на съвременни уеб технологии, включително React/Next.js за клиентската логика, WebSocket API за обмен на данни в реално време и Chart.js за визуализация на измерванията. Видео наблюдението се реализира чрез HLS.js, а достъпът до архивни данни и административни функции, чрез REST API интерфейс. Сигурният достъп е осигурен посредством token-based автентикация, като клиентската логика и стиловете са реализирани във файловете dashboard.html, dashboard.js и dashboard.css.

## 4.6. Обработка на данни и Flux заявки в InfluxDB

За съхранение и обработка на телеметричните данни в лабораторната система е използвана времеворедицова база данни InfluxDB, оптимизирана за IoT приложения и работа с висока честота на измерванията. Данните, получени от ESP32 чрез MQTT, се валидират от backend сървър и се записват в базата, като включват основните параметри на PV системата – напрежение, ток, мощност, температура, радиация и позиция на тракера.

### 4.6.2. Flux заявки за обработка и анализ

За анализ на измерванията, съхранявани в InfluxDB, е използван езикът Flux, който позволява филтриране на данните по време, параметри и устройства, както и изчисляване на статистически показатели (средни, минимални и максимални стойности). Чрез него се реализират групиране по времеви интервали, изглаждане на измерванията и сравнение на различни експериментални режими.

### 4.6.3. Обработка на данни

Съхранените в InfluxDB времеви серии позволяват реализиране на аналитични и обучителни задачи, включително изчисляване на енергиен добив, ефективност и показатели като Performance Ratio, както и сравнение между реални измервания и симулации (MATLAB, PVsyst, PVGIS). Данните могат да се използват и за

откриване на аномалии, прогнозиране на генерираната мощност и машинно-обучителни анализи.

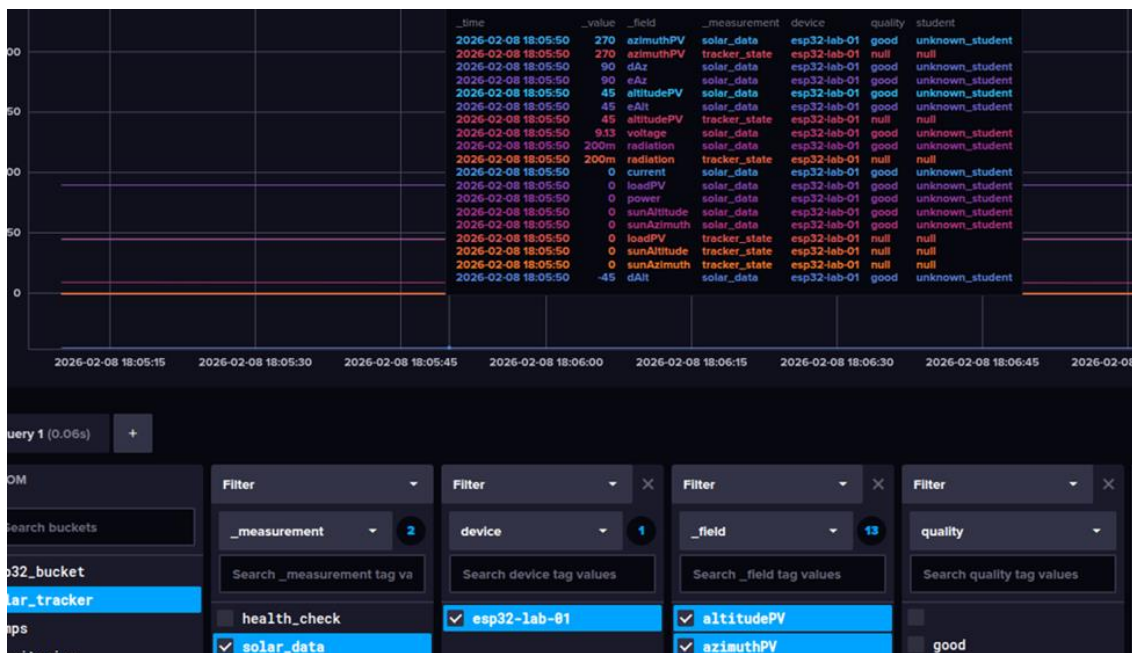
Реализираната IoT архитектура обхваща пълния цикъл – събиране на телеметрия от ESP32, съхранение в InfluxDB, обработка чрез Flux и визуализация в Solar-Dashboard и Grafana, с възможност за експорт (CSV, JSON, PDF) за научна и учебна обработка.

#### 4.7. Експериментални резултати и визуализация

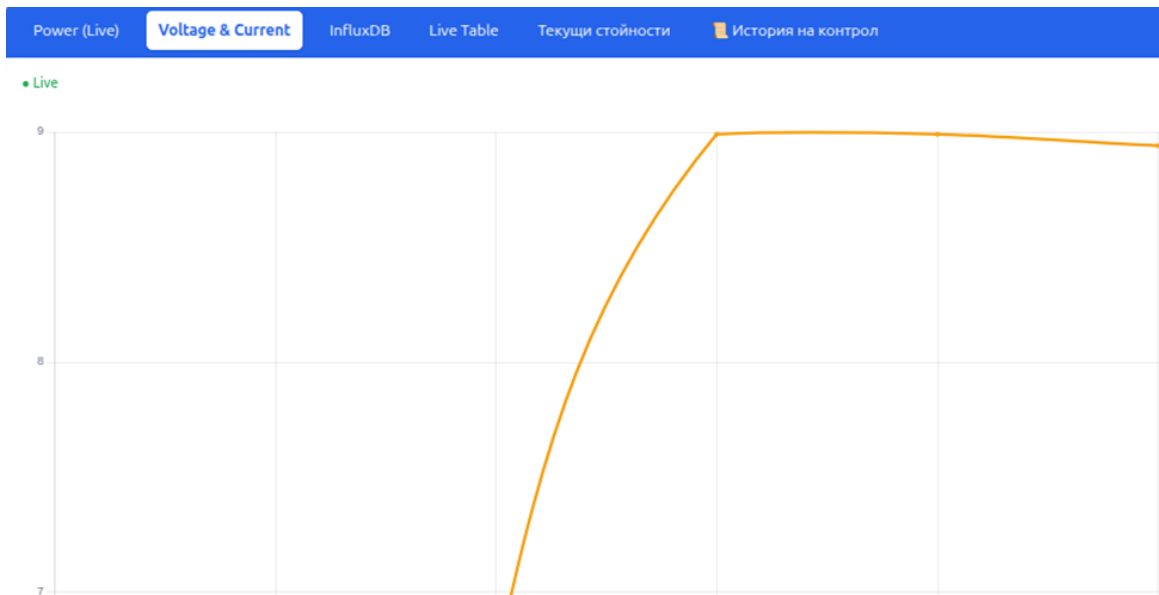
Експерименталните резултати са получени при реална работа на фотоволтаичната система и включват моментни измервания, времеви серии на основните електрически параметри и анализ на динамиката на процесите. Данните са визуализирани чрез уеб интерфейса и платформата Grafana, което позволява както наблюдение в реално време, така и дългосрочен аналитичен анализ.

##### 4.7.2. Времеви серии и динамика на PV процесите

Работата на фотоволтаичната система се анализира чрез времеви серии, записвани с честота приблизително 1 Hz, което позволява детайлно проследяване на динамиката на електрическите параметри. Чрез визуализация на мощността, напрежението и тока във времето се изследва връзката между моментните PV характеристики, външните условия и позицията на двусония соларен тракер. Представените графики и таблични данни осигуряват основа за анализ на преходни процеси, стабилност на измерванията и ефективност на ориентацията на панела.



Фиг. 4.26. Интерфейс на InfluxDB за мониторинг и визуализация на измерванията от фотоволтаичната система



**Фиг. 4.27.** Графика на напрежение с live обновяване

### 4.7.3. Усреднени стойности и анализ на тенденции

Усреднените стойности на напрежение, ток и мощност позволяват анализ на дългосрочните тенденции и оценка на влиянието на слънчевата радиация, температурата и ориентацията на тракера върху работата на фотоволтаичната система.

### 4.7.4. Визуализация в Solar-Dashboard и Grafana

Визуализацията на данните е реализирана чрез два допълващи се слоя – Solar-Dashboard и Grafana. Solar-Dashboard осигурява оперативен мониторинг в реално време на основните параметри на фотоволтаичната система, докато Grafana предоставя аналитични панели за дългосрочен анализ, сравнение на експерименти, heatmap визуализации и експорт на резултати.

## 4.8. Методика за валидация и тестове

Разработена е методика за валидация и тестване на системата, която включва проверка на коректността на измерванията, оценка на стабилността на комуникацията, тестове на отдалеченото управление, както и анализ на надеждността и безопасността. Получените резултати потвърждават функционалността и практическата приложимост на разработената интерактивна лаборатория.

### 4.8.1. Резултати от валидацията и натоварващи тестове

Получените резултати показват, че системата работи стабилно при различни условия на натоварване и в присъствието на комуникационни прекъсвания. Функциите за автоматично възстановяване на връзката (reconnect), валидиране на телеметрични стойности, таймаут механизми и авторизационни механизми за контрол на достъпа гарантират надеждна и безопасна работа в многопотребителска среда. Системата преминава успешно всички критични тестове, свързани с реакция на командите, визуализацията в реално време, контрол на достъпа и запис в InfluxDB.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата дисертационна работа представя цялостна концепция и практическа реализация на интерактивна лаборатория с отдалечен достъп за обучение и изследване на фотоволтаични системи. Разработената лаборатория обединява в единна платформа симулационни инструменти, реална IoT-базирана измервателна система и уеб интерфейс за наблюдение, управление и анализ в реално време.

В **първа глава** е извършен литературен обзор на интерактивните лаборатории, техните архитектурни модели, технологични принципи, предимства и ограничения. Анализът подчертава необходимостта от лабораторни платформи, които да съчетават симулационни среди и реална апаратура и да осигуряват безопасен отдалечен достъп, което обосновава избраната насока на изследването.

В **втора глава** е формулирана концепцията за интерактивна лаборатория, комбинираща симулационни модули, IoT комуникация и реални измервания. Анализирани са принципите на работа на фотоволтаичните системи и факторите, влияещи върху тяхната ефективност – осветеност, температура, ориентация и натоварване. Представен е модулен и гъвкав архитектурен подход, включващ симулационен модул, уеб интерфейс, IoT инфраструктура и база данни за времеви серии, който осигурява връзка между теорията, симулациите и реалните експериментални данни.

**Трета глава** представя разработената уеб-базирана симулационна лаборатория като цифрова среда за моделиране, анализ и визуализация на фотоволтаични системи. Реализиран е софтуерен модул, базиран на MATLAB и Python (Flask), който позволява симулации на I–V и P–V характеристики, анализ при реални климатични условия и автоматично генериране на резултати. Внедрени са административен контролен панел, механизми за съхранение и анализ на историята на симулациите, както и визуален редактор за PV конфигурации с възможности за drag-and-drop, параметризация, AI анализ и експорт, който подготвя обучаемите за работа с реалната лаборатория.

В **четвърта глава** е описана реализацията на напълно функционираща интерактивна лаборатория с отдалечен достъп, интегрираща реално фотоволтаично оборудване, уеб технологии и облачна инфраструктура. Изградена е хардуерна архитектура, базирана на ESP32, измервателни сензори за електрически и климатични параметри, управляващи модули и интелигентен PV тракер, който позволява експериментално изследване на влиянието на ориентацията и наклона върху ефективността на системата.

Реализирана е двупосочна IoT комуникация чрез MQTT, HTTP и WebSocket, осигуряваща надежден обмен на данни и визуализация в реално време. Данните се съхраняват и анализират в InfluxDB, което позволява обработка на времеви серии и сравнение между симулирани и реални измервания. Разработената платформа предоставя интерактивна визуализация, дистанционно управление, многопотребителски достъп и механизми за сигурност, което я прави подходяща за обучение, лабораторни упражнения и изследователска дейност.

## ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

### Научно-приложни приноси:

1. Разработен е интегриран архитектурен модел за дистанционно управление и мониторинг на фотоволтаични системи, базиран на IoT технологии, който обединява хардуерно ниво, комуникационна инфраструктура и веб-базирана платформа в единна функционална среда.
2. Предложен е модел за двупосочна реалновремева комуникация между веб интерфейс и физическа фотоволтаична система, реализиран чрез WebSocket технология, осигуряващ ниска латентност и надеждно управление на експерименталните режими.
3. Разработена е методика за валидиране и експериментална оценка на фотоволтаичната система при различни режими на управление и натоварване, позволяваща анализ на поведението и ефективността ѝ в реални експлоатационни условия.
4. Разработен е подход за интеграция на симулационни модели и реални измервателни данни в веб-базирана лабораторна среда, който позволява сравнение между теоретични и експериментални резултати при обучение и изследвания.

### Приложни приноси:

1. Изградена е функционираща лабораторна платформа с отдалечен достъп, предназначена за обучение и практически изследвания в областта на възобновяемите енергийни източници, приложима за студенти и инженери.
2. Разработен е веб-базиран интерфейс за управление и визуализация, който обединява образователни, изследователски и инженерни функционалности в единна и достъпна среда, която се характеризира с адаптивност и мащабируемост, което я прави подходяща за реална интеграция в университетски лаборатории и изследователски центрове.
3. Създаден е приложен инструмент за провеждане на симулации и реални експерименти чрез отдалечен достъп без необходимост от физическо присъствие в лабораторията.
4. Реализирана е система за наблюдение, анализ и дългосрочно съхранение на експериментални данни, включваща веб визуализация, експорт на резултати във формат CSV и база данни InfluxDB.

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Снежа Шотарова**, Силвия Стоянова – Петрова, Аспекти на инженерното обучение, чрез използване на интерактивна лаборатория. (2022) Участие в национална научна конференция с международно участие “Образование, наука, общество“, 3 – 4 ноември 2022 година , , ISBN 978-619-7663-43-3, стр. 962-974.
2. **S. Shotarova**, S. Stoyanova-Petrova, S. Lyubomirov, ENHANCING ENGINEERING LEARNING THROUGH THE USE OF AN INTERACTIVE LABORATORY, EDULEARN23, (2023) 15th Annual International Conference on Education and new Learning Technologies Palma de Mallorca (Spain). 3rd - 5th of July, 2023, ISBN: 978-84-09-52151-7, ISSN: 2340-1117, pp.1716-1724,doi:[10.21125/edulearn.2023.0523](https://doi.org/10.21125/edulearn.2023.0523).
3. **Снежа Шотарова**, ИЗПОЛЗВАНЕ НА LABVIEW И MULTISIM ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ВИРТУАЛНА ЛАБОРАТОРИЯ, Съюз на учените в България – Смолян, Научни трудове, Том 4, 2024, ISSN 1314-9490 (online), стр.183.
4. **S. Shotarova**, S. Stoyanova-Petrova, S. Asenov, S. Lyubomirov, S. Staicov, DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL WEB-BASED PLATFORM FORPHOTOVOLTAIC SYSTEMS, 2025 XXXIV International Scientific Conference Electronics (ET), September 2025:1-4., doi: 10.1109/ET66806.2025.11204051, <https://ieeexplore.ieee.org/document/11204051> (Scopus)