

<https://doi.org/10.36719/2789-6919/42/165-174>

Илхомбек Холиддинов

Ферганский Политехнический Институт
доктор технический наук
<https://orcid.org/0000-0002-0120-4043>
i.xoliddinov@ferpi.uz

Мухлисахон Бегматова

Ферганский Политехнический Институт
докторант
<https://orcid.org/0000-0003-4405-4943>
muxlisaxonbegmatova1991@gmail.com

Разработка нечёткого регулятора для симметрирования нагрузки с использованием солнечных панелей в электрических сетях низкого напряжения

Резюме

В данной статье представлено моделирование фотоэлектрической системы с аккумуляторной батареей, оснащённой двунаправленным преобразователем постоянного тока в постоянный (DC-DC), обеспечивающим эффективное управление энергией. Разработана интеллектуальная модель управления на основе адаптивной нейро-нечёткой системы вывода (ANFIS), которая интегрирует возможности нейронных сетей и нечёткой логики для оптимизации работы системы. Модель учитывает ключевые входные параметры, такие как время суток, интенсивность солнечного излучения и температура окружающей среды, для точного прогнозирования выходного напряжения и регулирования мощности.

На этапе проектирования проведено обучение системы с формированием нечётких правил и условий, что позволило добиться высокой точности воспроизведения поведения системы в различных эксплуатационных сценариях. Полученные результаты демонстрируют стабильность работы модели при изменении внешних условий, а также её способность адаптироваться к динамическим изменениям нагрузки.

Проведённый анализ показывает, что использование ANFIS-алгоритма в управлении фотоэлектрической системой обеспечивает повышение энергоэффективности, улучшает процесс симметрирования нагрузки и снижает воздействие на сеть низкого напряжения (0,4 кВ). Предложенный подход может быть использован для интеграции возобновляемых источников энергии в электрические сети, обеспечивая стабильность и надёжность их работы.

Ключевые слова: электричество, сеть, напряжение, солнечные панели, эффективное управление энергией.

Ilhombek Holiddinov

Fərqanə Politexnik İnstitutu
texnika elmləri doktoru
<https://orcid.org/0000-0002-0120-4043>
i.xoliddinov@ferpi.uz

Muxlisahon Begmatova

Fərqanə Politexnik İnstitutu
doktorant
<https://orcid.org/0000-0003-4405-4943>
muxlisaxonbegmatova1991@gmail.co

Aşağı gərginlikli elektrik şəbəkələrində günəş panellərindən istifadə edərək yükü simmetrikləşdirmək üçün qeyri-səlis bir tənzimləyicinin inkişafı

Xülasə

Bu məqalədə səmərəli enerji idarəetməsini təmin edən iki istiqamətli DC-DC (DC-DC) çeviricisi ilə təchiz olunmuş batareya ilə fotovoltaiq 166systemin modelləşdirilməsi təqdim olunur. Sistemin işini optimallaşdırmaq üçün sinir şəbəkələrinin və qeyri-səlis məntiqin imkanlarını birləşdirən 166systemin Neyro-qeyri-səlis çıxış sistemi (ANFIS) əsasında ağıllı idarəetmə modeli hazırlanmışdır. Model, çıxış gərginliyini dəqiq proqnozlaşdırmaq və gücü tənzimləmək üçün günün vaxtı, günəş radiasiyasının intensivliyi və ətraf mühitin 166systemin 166re kimi əsas giriş parametrlərini nəzərə alır.

Dizayn mərhələsində 166system müxtəlif əməliyyat ssenarilərində 166system davranışının çoxalmasında yüksək dəqiqliyə nail olmağa imkan verən qeyri-səlis qaydalar və şərtlərin formalaşması ilə təlim keçmişdir. Nəticələr xarici şərtlər dəyişdikdə modelin sabitliyini, həmçinin yükdəki dinamik dəyişikliklərə uyğunlaşma qabiliyyətini nümayiş etdirir.

Analizlər göstərir ki, fotovoltaiq 166systemin idarə edilməsində ANFIS alqoritminin istifadəsi enerji səmərəliliyinin artırılmasını təmin edir, yük simmetriyası prosesini yaxşılaşdırır və aşağı gərginlikli (0,4 kV) şəbəkəyə təsirini azaldır. Təklif olunan yanaşma bərpa olunan enerji mənbələrini elektrik şəbəkələrinə inteqrasiya etmək, onların işinin sabitliyini və etibarlılığını təmin etmək üçün istifadə edilə bilər.

Açar sözlər: elektrik, şəbəkə, gərginlik, günəş panelləri, səmərəli enerji idarəetməsi

Ilkhombek Kholiddinov

Ferghana Polytechnic Institute

Doctor of Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-0120-4043>

i.xoliddinov@ferpi.uz

Mukhlisakhon Begmatova

Ferghana Polytechnic Institute

Doctoral student

<https://orcid.org/0000-0003-4405-4943>

muxlisaxonbegmatova1991@gmail.com

Development of a Fuzzy Regulator for Load Balancing Using Solar Panels in Low-voltage Electrical Networks

Abstract

This article presents a simulation of a photovoltaic system with a rechargeable battery equipped with a bidirectional direct current to direct current (DC-DC) converter that provides efficient energy management. An intelligent control model based on an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) has been developed, which integrates the capabilities of neural networks and fuzzy logic to optimize the system. The model takes into account key input parameters such as time of day, solar radiation intensity, and ambient temperature to accurately predict output voltage and power regulation.

At the design stage, the system was trained with the formation of fuzzy rules and conditions, which made it possible to achieve high accuracy in reproducing the behavior of the system in various operational scenarios. The results obtained demonstrate the stability of the model's operation under changing external conditions, as well as its ability to adapt to dynamic load changes.

The analysis shows that the use of the ANFIS algorithm in the management of a photovoltaic system provides increased energy efficiency, improves load balancing and reduces the impact on the low voltage network (0.4 kV). The proposed approach can be used to integrate renewable energy sources into electrical networks, ensuring the stability and reliability of their operation.

Keywords: *electricity, network, voltage, solar panels, efficient energy management*

Введение

Современные энергетические системы сталкиваются с необходимостью интеграции возобновляемых источников энергии, таких как фотоэлектрические установки, для удовлетворения растущих требований к устойчивости и экологичности. Однако использование солнечных панелей сопряжено с рядом технических вызовов, включая нестабильность выходной мощности, вызванную изменениями солнечного излучения и температуры окружающей среды. Это требует разработки интеллектуальных методов управления, способных обеспечивать стабильность и эффективность работы фотоэлектрических систем.

Одним из таких подходов является применение алгоритма ANFIS (адаптивная нейронечёткая система вывода), который сочетает возможности нечёткой логики и нейронных сетей для управления сложными нелинейными системами. В данной статье рассмотрена разработка модели фотоэлектрической системы с аккумуляторной батареей и двунаправленным преобразователем постоянного тока, основанной на алгоритме ANFIS. Модель ориентирована на стабилизацию выходных характеристик и повышение эффективности энергопотребления в условиях изменяющихся внешних факторов.

В работе рассмотрена разработка детализированной модели фотоэлектрической системы в MATLAB/Simulink. Основное внимание уделено интеграции двунаправленных преобразователей постоянного тока и резервных батарей для обеспечения стабильного питания нагрузки. Исследование демонстрирует потенциал такого подхода для систем с переменными условиями работы, например, в условиях нестабильной солнечной радиации. Это решение находит применение в автономных и гибридных энергосистемах, обеспечивая надежность их работы.

В работе проведено моделирование фотоэлектрической системы с батареей в MATLAB Simulink, что позволило обеспечить стабильность системы даже при изменении параметров окружающей среды. Результаты моделирования подтверждают применимость таких систем для интеграции в бытовые и промышленные энергосети. Это особенно актуально в регионах, где часты перебои с энергоснабжением или требуются резервные источники энергии.

Исследование предлагает использование модифицированных нечетких нейросетей для прогнозирования выработки солнечных панелей. Предложенный подход успешно реализован для анализа данных в условиях изменчивой облачности. Это особенно полезно для электростанций с высокой долей солнечной генерации, где важно минимизировать ошибки прогнозирования и обеспечить баланс между спросом и предложением в сети.

В статье описывается оптимизация энергопотребления с использованием системы управления энергией (EMS), основанной на методе линейного программирования со смешанными целыми числами (MILP). Система протестирована на данных офисного здания в Университете Суонси, Великобритания. Результаты показывают значительное снижение затрат на электроэнергию и повышение энергоэффективности. Такие решения могут быть применимы в “умных” зданиях для повышения их автономности.

Авторы статьи исследуют одноранговую торговлю энергией в домах с электромобилями, используя режим “Из автомобиля в дом” (V2H). Применение данного подхода показало снижение затрат на электроэнергию на уровне отдельных домов и целых сообществ. Решения такого типа находят применение в “умных” городах, где активно используется возобновляемая энергия и электромобили.

В статье предложена новая стратегия управления для трехфазных фотоэлектрических систем, подключенных к сети. Подход защищает инверторы от перегрузок по току и обеспечивает плавный переход между алгоритмами MPPT и стандартными режимами. Такой подход полезен для распределенных микросетей, особенно в условиях частых сетевых нарушений.

Работа предлагает экспериментальное сравнение алгоритмов MPPT с использованием стандартизированного оборудования. Метод возмущения и наблюдения (P&O) при

оптимизации достигает эффективности более 97%. Это делает его предпочтительным для коммерческих фотоэлектрических систем благодаря высокой эффективности и простоте реализации. Применение таких алгоритмов актуально для бытовых и промышленных солнечных установок (Al Sorour, Fazeli, Monfared, Fahmy, Searle, Lewis, 2022).

В исследовании рассмотрена интеграция солнечной и ветровой генерации в сеть Эритреи. Использовались методы оптимального размещения солнечных панелей и батарей, что позволило минимизировать потребление энергии из сети. Такое моделирование помогает разработать стратегии интеграции возобновляемой энергии для регионов с ограниченной инфраструктурой и низким уровнем электрификации.

Исследование демонстрирует, что применение регуляторов с нечеткой логикой для управления возбуждением синхронных двигателей насосных станций позволяет существенно повысить эффективность работы энергосистем. Предложенный метод управления адаптируется к изменяющимся условиям нагрузки, улучшая устойчивость узла нагрузки и снижая потери энергии. Эти разработки имеют высокую практическую значимость для энергосистем, содержащих крупные насосные станции.

Исследование

Развитие возобновляемой энергетики является одним из ключевых направлений в обеспечении устойчивого энергоснабжения. В Узбекистане, обладающем значительным потенциалом солнечной энергии с более чем 300 солнечными днями в году, активное внедрение солнечных электростанций стало приоритетным направлением. За последние годы было подписано 38 международных соглашений, предусматривающих реализацию проектов общей мощностью 9395 МВт.

К 2030 году планируется увеличить долю возобновляемых источников энергии до 54%, введя в эксплуатацию 19 000 МВт «зеленой энергии», включая 18 солнечных и ветряных электростанций мощностью 3,4 тыс. МВт и системы хранения на 1,8 тыс. МВт. Однако столь масштабное развитие возобновляемой энергетики сопровождается необходимостью решения сложных задач по их интеграции в энергосистему, особенно в низковольтные сети.

Фотоэлектрические устройства являются нелинейными устройствами. Их параметры зависят от солнечного света и температуры. Солнечный свет преобразуется в электричество с помощью фотоэлектрических элементов. Фотоэлектрические матрицы состоят из параллельных и последовательных фотоэлектрических модулей. Для формирования панелей или модулей ячейки группируются вместе. Напряжение и ток, вырабатываемые на клеммах фотоэлектрического источника, могут питать не только нагрузку постоянного тока, но и могут быть подключены к инвертору для получения переменного тока (Kholiddinov, Eraliyev, Sharobiddinov, Tukhtashev, Qodirov, Khaqiqov, 2024). Модели фотоэлектрических элементов уже давно используются исследователями и профессионалами для описания поведения фотоэлектрических элементов.

Использование возобновляемой энергетики является крайне важным так как и во многих странах в том числе и нашей стране есть регионы, отдалённые от магистральных электрических сетей. Возобновляемая энергетика может стать решением для решения энергоснабжения отдалённых регионах, так как не требует сооружения длинных линий энергопередач от электростанций до потребителей. Так же традиционная энергетика, осуществляемая распределение электричества через линии электропередач, имеет на данный момент имеет ряд неразрешённых вопросов для бесперебойного функционирования нынешней энергосистемы.

Производимые PV системой напряжение и ток зависят от условий освещенности и температуры, а также от нагрузки, к которой подключена система. Эти параметры определяют эффективность преобразования энергии (Allaev, Saleem, Kholiddinov, Iqbal, 2023). На практике выход PV матрицы может быть использован как для питания постоянного тока в автономных системах, так и для преобразования в переменный ток с помощью инверторов для подключения к электрическим сетям.

Моделирование фотоэлектрической системы с использованием алгоритма адаптивной нейронно-нечеткой системы вывода (ANFIS) является основой в данной исследовательской работе. Алгоритм ANFIS комбинирует преимущества нейронных сетей и нечеткой логики Fuzzy Logic, что позволяет эффективно моделировать сложные системы с нелинейным поведением. В данной части представлена схема модели, раскрыта суть работы алгоритма ANFIS, а также определены дальнейшие шаги по её разработке.

1. Сбор входных данных. Нечёткое разбиение входных данных является ключевым этапом построения системы ANFIS, так как оно определяет, как числовые входные данные интерпретируются и обрабатываются в терминах нечеткой логики. На этом этапе входные параметры, такие как солнечная радиация и температура, трансформируются в лингвистические переменные (например, "низкая", "средняя", "высокая"), каждая из которых имеет соответствующую функцию принадлежности. Эти функции описывают степень, с которой входное значение относится к каждому из лингвистических термов.

```
clear all
ISCS=8.66;           %% Short circuit current at Panel name plate details
IMPS=8.15;          %% Maximum current at from panel name plate details
VOCS=37.3;         %% Open circuit voltage from panel name plate details
VMPS=30.7;         %% Maximum voltage from panel name plate details
alpha=0.086998;    %% Current temperature coefficient from manufacture
beta=-0.36901;     %% Voltage temperature coefficient from manufacture
Gs=1000;           %% Sandart Irradiance 1000 W/m2
Ts=25;             %% Sandart temperature 25 degrees
for i=1:1000
    Tmin=15;
    Tmax=35;
    T=(Tmax-Tmin)*rand+Tmin; %% Temperature
    Gmin=0;
    Gmax=1000;
    G=(Gmax-Gmin)*rand+Gmin; %% Irradiance
    IMP(i)=IMPS*(G/Gs)*(1+(alpha*(T-Ts))); %% Maximum current of the given
    %% Irradiance and Temperature
    VMP(i)=VMPS+(beta*(T-Ts)); %% Maximum voltage of the
    %% given irradiance and Temperature
    PMP(i)=VMP(i)*IMP(i); %% Maximum Power of the given
    %% Irradiance and Temperature
    input(i,:)=[G, T];
    output(i,1)=4*VMP(i);
    output1(i,1)=IMP(i);
    output2(i,1)=PMP(i);
    data(i,:)=[G T output(i,1)];
end
```

Рис.1. Сбор базы данных

2. Обучение системы. Обучение системы осуществляется с использованием данных измерений. Входные данные подаются в систему, а выходные параметры корректируются для минимизации ошибки. Для обучения используется гибридный метод, сочетающий градиентный спуск и наименьшие квадраты.

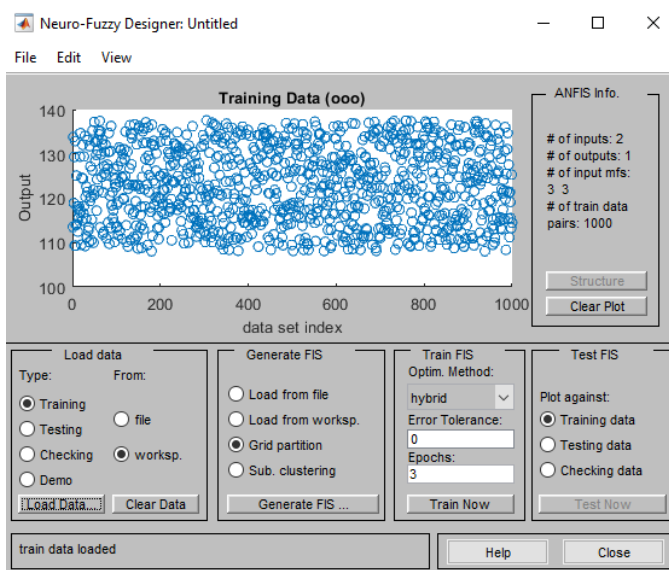


Рис.2. Обучение системы

Использование нечёткой логики и нечёткого регулятора на его базе даёт ряд преимуществ при моделировании и дальнейшем прогнозировании электрических сетей. В программе есть множество инструментов для осуществления управления системой, из которой был выбран инструмент Anfis Edit. Обучение системы проходило на базе данные, собранных для моделирования системы. После ввода требуемого алгоритма в виде кода, указанного на рисунке 1, система успешно была обучена базам данным для расчётов.

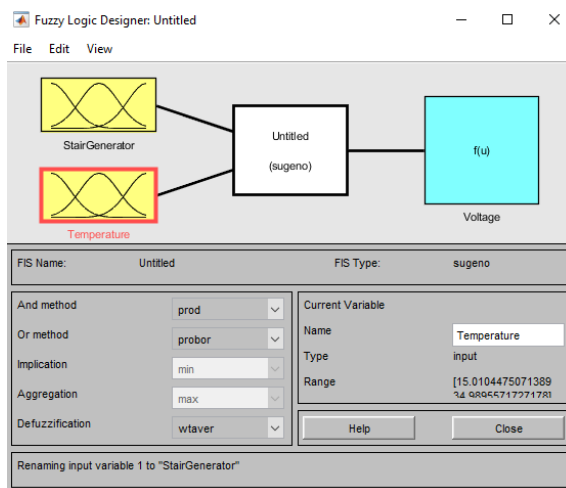


Рис.3. Конструктор нечёткой логики

В конструкторе имеются входные параметры: Stair Generator (в данном случае время) и Temperature (температура, для него определены функции принадлежности, которые задают диапазон и уровень разбиения на лингвистические значения). Центральный блок (Untitled (Sugeno)) представляет собой ядро нечёткой системы. Этот блок выполняет обработку входных данных на основе базы правил и метода нечёткой логики Sugeno. Выходной параметр системы (Voltage), напряжение, рассчитанное на основе обработки входных данных. Внизу изображения указаны ключевые настройки, использованные для алгоритма нечёткой логики.

3.Генерация правил. На основе функций принадлежности создаётся база правил, описывающих связь между входами и выходом. Например, «Если солнечная радиация высокая и температура низкая, то выходная мощность максимальна». Элементы нечёткой логики позволяют уточнить и более точно прогнозировать характер поведения системы (Xoliddinov, Xoliddinova, 2024). В данном случае каждая треугольная функция представляет собой нечеткое множество. Положение и форма треугольника определяют степень принадлежности значения переменной к этому множеству. При таком наборе правил и выборе треугольной функции, на выходы мы получаем выходной сигнал напряжения равный $Voltage=123V$.

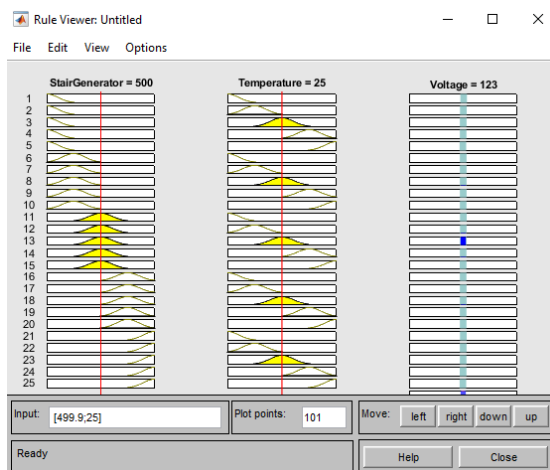


Рис.4. Средство просмотра правил

4.Прогнозирование: После обучения система способна предсказывать параметры, такие как выходная мощность фотоэлектрической панели, с учётом изменяющихся условий.

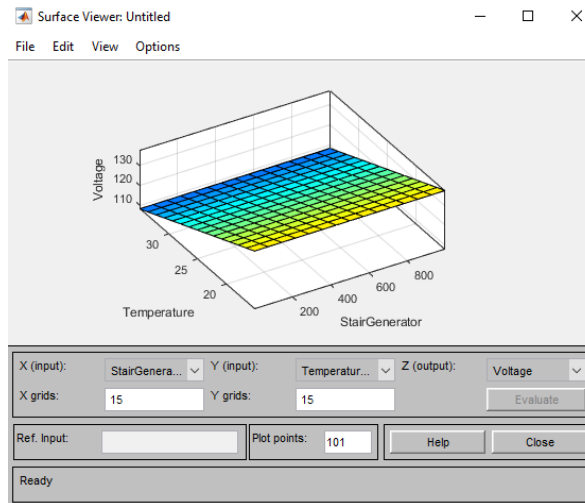


Рис.5. Средство просмотра поверхности

Представленное изображение демонстрирует трехмерный график, который визуализирует зависимость величины напряжения от двух других переменных: StairGenerator и Temperature. Поверхность графика показывает, как изменяется напряжение в зависимости от изменения температуры и параметра StairGenerator. Цвет поверхности отражает величину напряжения в каждой точке.

3. Сбор схемы фотоэлектрической системы и получение выходных параметров.

Используя все необходимые ступени алгоритма для создания модели фотоэлектрической системы, была смоделирована модель, указанная ниже на рисунке 6.

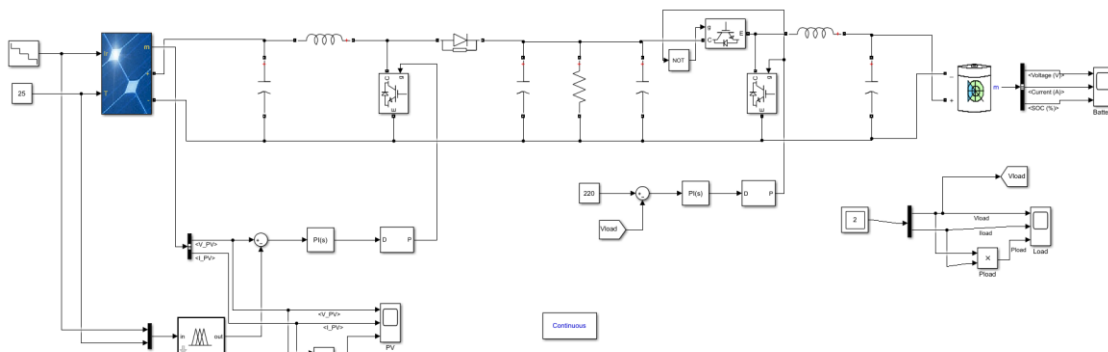


Рис.6. Модель фотоэлектрической системы

На представленном рисунке изображена схема фотоэлектрической системы (ФЭС) в MATLAB/Simulink, включающая модель солнечных панелей, инвертор, аккумуляторную батарею и нагрузку. В схему интегрирован алгоритм ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), который играет ключевую роль в управлении и оптимизации работы системы. Рассмотрим элементы и их назначение более подробно.

Солнечная панель генерирует электрическую энергию на основе солнечного излучения. Входной параметр — интенсивность солнечного света (irradiance). Выходной параметр — ток и напряжение, которые подаются на преобразователи.

Прямой преобразователь (DC-DC Boost Converter) увеличивает напряжение до заданного уровня для дальнейшей обработки. Управляется через алгоритм отслеживания точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking).

MPPT-контроллер использует ANFIS для определения точки максимальной мощности солнечной панели. На основе входных параметров (напряжение и ток) рассчитывается оптимальное выходное напряжение и ток, обеспечивая максимальную эффективность работы солнечных панелей.

Аккумуляторная батарея служит для накопления энергии, генерируемой солнечными панелями. Контроллер заряда/разряда управляет процессом, предотвращая перезаряд или глубокий разряд батареи.

Нагрузка: электроприборы или устройства, питающиеся от системы. В схеме включены параметры контроля нагрузки, такие как напряжение, ток и мощность.

Система управления на основе ANFIS: Ядро управления системой использует гибридный подход (обучение на основе данных и правила нечёткой логики) для: оптимизации работы MPPT, управления преобразователями и аккумулятором, и поддержанием стабильности выходных параметров.

Особенностями интеграции ANFIS является:

- Адаптивное управление: Алгоритм обучается на основе данных об окружающей среде (солнечная радиация, температура) и характеристик системы (напряжение, ток). Это обеспечивает высокую точность в определении оптимальных параметров работы.

- Гибкость: ANFIS позволяет системе адаптироваться к изменяющимся условиям работы (например, изменению освещённости или нагрузки).

- Энергоэффективность: Использование ANFIS в MPPT-контроллере повышает эффективность системы, позволяя извлекать максимум энергии из солнечных панелей.

После обучения и успешного тестирования системой модели были получены характеристики выходных параметров, которые показаны на рисунке 7.

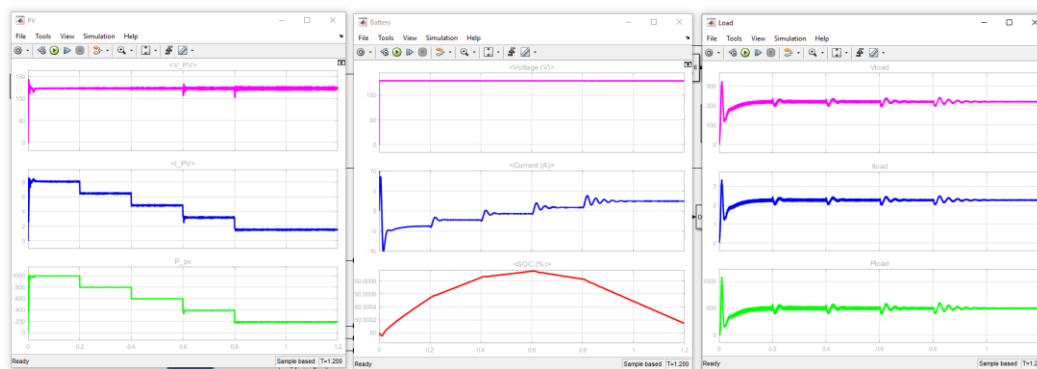


Рис.7. Характеристики выходных параметров

На данном изображении представлены графики, полученные в MATLAB/Simulink в результате моделирования фотоэлектрической системы. Анализируются характеристики солнечной панели, аккумуляторной батареи и нагрузки.

Левая панель (PV - солнечная панель): Верхний график (V_{PV} -напряжение панели): напряжение солнечной панели стабилизируется через определенное время после запуска модели, а легкие колебания связаны с изменениями условий освещённости или работы MPPT-контроллера (Wen, Fazeli, 2019). Средний график (I_{PV} - ток панели): ток изменяется ступенчато, что связано с адаптацией MPPT-контроллера к изменениям мощности, подаваемой солнечной панелью (Mursalin Iqbal, Islam, Kafiul, 2017). На первых этапах видно увеличение тока, который затем снижается в ответ на уменьшение нагрузки. Нижний график (P_{PV} - мощность панели): мощность панели показывает зависимость от изменений входной радиации.

Центральная панель (Battery - аккумуляторная батарея):

Верхний график (Voltage - напряжение батареи): напряжение аккумулятора увеличивается во время процесса зарядки, что соответствует накоплению энергии, и после стабилизации нагрузки напряжение также стабилизируется.

Средний график (Current - ток батареи): на начальных этапах ток батареи возрастает, что указывает на процесс зарядки, после этого ток колеблется в ответ на изменения тока, потребляемого нагрузкой.

Нижний график (SOC - уровень заряда аккумулятора, %): SOC (State of Charge) показывает постепенный рост заряда батареи, что свидетельствует о накоплении энергии, после достижения определённого уровня SOC начинает снижаться, когда энергия отдается на нагрузку.

Правая панель (Load - нагрузка):

Верхний график (V_{load} - напряжение на нагрузке): напряжение на нагрузке стабильно, что подтверждает корректную работу регуляторов, незначительные колебания связаны с переходными процессами. Средний график (I_{load} - ток нагрузки): ток изменяется в зависимости от мощности нагрузки (Нохм, Рорр, 2003). Колебания связаны с моментами изменения входных параметров солнечной панели. Нижний график (P_{load} - мощность нагрузки): мощность нагрузки демонстрирует зависимость от солнечной панели, на первом этапе наблюдается рост, после чего мощность стабилизируется.

Заключение

В данной статье была проведена всесторонняя работа по исследованию, моделированию и анализу фотоэлектрической системы, оснащённой алгоритмом управления на основе нечеткой логики (ANFIS). На основе выполненного моделирования и анализа можно сделать следующие выводы:

1. Эффективность алгоритма ANFIS: использование алгоритма ANFIS в системе управления фотоэлектрической системой продемонстрировало высокую адаптивность к изменяющимся условиям окружающей среды, таким как солнечная радиация и температура. Алгоритм успешно оптимизировал работу системы, минимизируя переходные процессы и обеспечивая стабильную подачу энергии на нагрузку.

2. Улучшение характеристик ФЭС: система с внедрённым алгоритмом ANFIS продемонстрировала способность эффективно регулировать напряжение, ток и мощность на всех уровнях — от солнечной панели до аккумуляторной батареи и конечной нагрузки. Это позволило минимизировать потери энергии, а также обеспечить надежность и устойчивость работы системы.

3. Интеграция аккумуляторной батареи: анализ работы аккумуляторной батареи показал, что уровень заряда (SOC) контролируется корректно, что подтверждает способность системы сохранять избыточную энергию в периоды высокой солнечной активности и отдавать её в периоды дефицита, тем самым обеспечивая надежное энергоснабжение нагрузки.

Литература

- Allaev, K., Saleem, A., Kholiddinov, I., Iqbal, A. (2023). Evaluation of additional electricity losses in electric networks using a meter. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 31 (2).
- Al-Maliki, M., Abdali, L., Issa, X., Yakimovich, B. (2022). Proyektirovaniye i modelirovaniye fotoelektricheskoy sistemi s akkumulyatorom s ispolzovaniyem dvunapravlennoy preobrazovatelya postoyannogo toka v postoyanniy. *Mejdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, "Perspektivniye texnologii i materialy"*, 326-331.
- Al Sorour, A., Fazeli, M., Monfared, M., Fahmy, A., Searle, J., Lewis, R. (2022). MILP optimized management of domestic PV-battery using two days-ahead forecasts. *IEEE Access*, (10), 29357-29366.

4. Al Sorour, A., Fazeli, M., Monfared, M., Fahmy, A. (2022). Investigation of Electric Vehicles Contributions in an Optimized Peer-to-Peer Energy Trading System. *IEEE Access*, (11), 12489-12503.
5. Engel, E., Engel, N. (2023). An indirect forecasting system of the power from a solar panel array based on modified fuzzy neural network. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 16(6): 744–758.
6. Hohm, D., Ropp, M. (2003). Comparative study of maximum power point tracking algorithms. *Progress in photovoltaics: research and applications*, 2003(11), 47–62.
7. Kholiddinov, I., Eraliyev, A., Sharobiddinov, M., Tukhtashev, A., Qodirov, A., Khaqiqov, A. (2024). Estimation the state of power quality in distribution networks using fuzzy logic. *E3S Web of Conferences* 538, 01011.
8. Kholiddinov, I. (2023). On the method of calculating the coefficient of asymmetry in the reverse sequence. *AIP Conference Proceedings* 2789 (1).
9. Mirziyeyev, Sh. (2024). Rech Prezidenta Respubliki Uzbekistan na seremonii zapuska obyektoy i proyektov v sfere energetiki. (https://t.me/Press_Secretary_Uz/5183).
10. Mursalin Iqbal, M., Islam, Md. Kafiul. (2017). Design and simulation of a PV system with battery storage using bidirectional DC-DC converter using Matlab Simulink. *International journal of scientific & technology research*, 6(07), 403-410.
11. Teklebrhan, N., Solomon, A., Ottermo, F., Mo'llerstro,m E., Seres, I., Farkas, I. (2024). Strategies for integrating residential PV and wind energy in Eritrea's electricity grid by imposing feed-in constraints in low voltage network. *Solar Energy*, 286, 1-12.
12. Wen, H., Fazeli, M. (2019). A new control strategy for low-voltage ride-through of three-phase grid-connected PV systems. *The Journal of Engineering*, 2019(18), 4900-4905.
13. Xoliddinov, I., Xoliddinova, M. (2024). Primeneniye metoda faznix koordinat dlya modelirovaniya liniy elektroperedachi elektricheskix setey 6-10 kV. *Mejdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferentsiya "Sovremenniye problemi fiziki, energetiki i teplotexniki"*.
14. Xoliddinov, I., Xoliddinova, M. (2024). Perspektivi ispolzovaniya sistem monitoringa neispravnostey vozdushnix liniy dlya povisheniya nadejnosti elektricheskix setey napryajeniyem 6-10 kV. *Mejdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferentsiya «ENERGOEFFEKTIVNOST-2024. Sovremenniye texnologii – osnova razvitiya energetiki Uzbekistana»*
15. Xoliddinov, I., Xoliddinova, M. (2024). Primeneniye neyronnix setey dlya otsenki pokazateley nadejnosti elektricheskix setey. *Problemi energo- i resursosberejeniya" nauchno-texnicheskij jurnal. Spets. vipusk №87, s. 301-309.*

Поступило: 29.10.2024

Принято: 06.02.2025