

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ (ТММ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Эргашев Азизжон Абдурасул ўгли

магистрант,

к.т.н., А.Г.Салиев-Научный руководитель.

Ташкентский Государственный Технический Университет
имени Ислама Каримова

АННОТАЦИЯ

В статье анализируются современные методы нахождения точки максимальной мощности солнечного элемента с помощью искусственной нейронной сети.

Ключевые слова: Искусственная нейронная сеть (ИНС), фотоэлектрическая станция (ФЭС), точка максимальной мощности, солнечный модуль, солнечная батарея (СБ), фотоэлемент, МРРТ контроллеры, Matlab.

В связи с быстро растущими показателями потребления электрической энергии, энергетическое обеспечение выходит на первое место среди важнейших мировых проблем. Следовательно, вопросы энергосбережения, развития и внедрения систем возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становятся очень актуальными.

Солнечная энергетика стала одним из нескольких перспективных направлений альтернативной энергетики [1]. Снижение стоимости солнечных модулей за последние несколько лет и рост цен на нефтехимическое топливо, используемое для выработки электроэнергии, привели к более широкому использованию фотоэлектрических систем.

Энергетическая система, предназначенная для преобразования полезной солнечной энергии посредством ФЭС. Она может состоять из несколько компонентов, в том числе массива солнечных батарей (СБ), DC/DC и DC/AC полупроводникового преобразователя, аккумуляторной батареи (АБ), фильтра или трансформатора, системы управления (СУ).

Соединенная с сетью системы генерирования (рисунок.1) является самой простой из всех описанных систем генерирования.

Она состоит из солнечных батарей и специального инвертора, подключенного к сети. В такой системе нет аккумуляторов, поэтому они не

могут использоваться в качестве резервных систем. Когда сеть пропадает, то и выработка электроэнергии солнечными батареями также прекращается. Это может быть ограничением такой системы, но основное ее преимущество – высокая эффективность, низкая цена (за счет отсутствия аккумуляторов и менее дорогого сетевого инвертора) и высокая надежность.

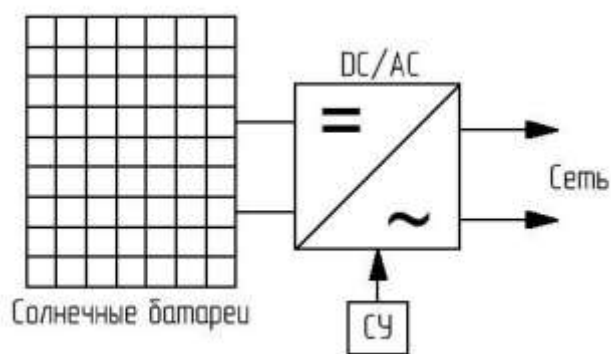


Рисунок 1- Соединенная с сетью фотоэлектрическая система генерирования

Такая конфигурация используется на крупных солнечных электростанциях. Система управления в таких инверторах, как правило, не содержит функции отслеживания точки максимальной мощности т.к. система управления инвертором более сложная для реализации. Стоит отметить, что соединенная с 16 сетью фотоэлектрическая система генерирования может иметь в составе не только инвертор, но и DC/DC преобразователь, что позволит упростить систему управления инвертором и использовать алгоритм отслеживания точки максимальной мощности.

Солнечный элемент – это полупроводниковый прибор, который служит для преобразования энергии света в электрическую энергию. В основе этого преобразования лежит явление фотоэффекта, а принцип работы базируется на полупроводниковом p-n-переходе.

Солнечный модуль является основным элементом любой фотоэлектрической системы генерирования. Он состоит из множества солнечных элементов, соединенных последовательно, параллельно или параллельно последовательно. Все элементы обладают нелинейными вольт-амперными и 17 мощностными характеристиками, которые зависят от уровня солнечной радиации, температуры окружающей среды и особенностей самой ячейки.

Основные параметры солнечного модуля определяют из вольт-амперной (ВАХ) и вольт-ваттной характеристик (ВВХ).(рисунок 2).

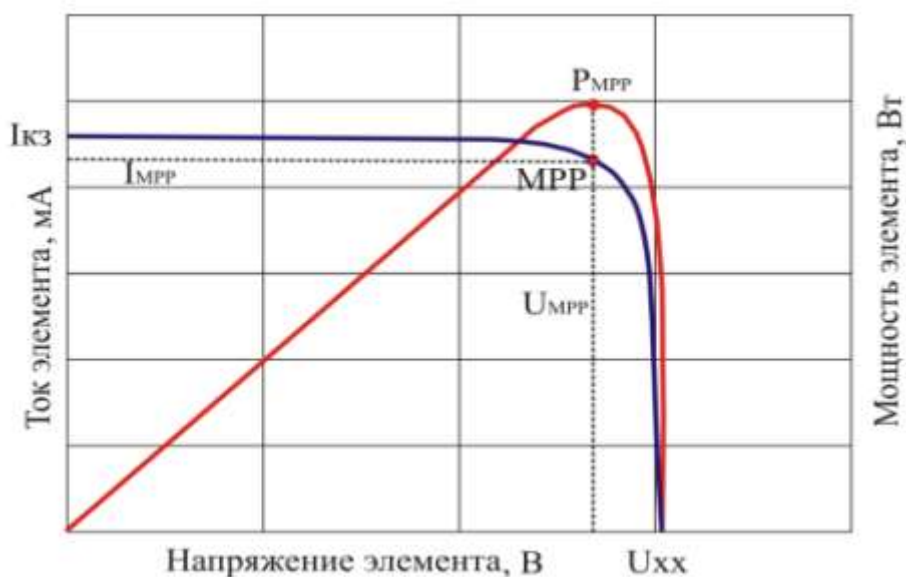


Рисунок 2 – ВАХ и ВВХ солнечной батареи при $E=380 \text{ Вт/м}^2$, $T=35 \text{ }^\circ\text{C}$

Основными параметрами солнечной батареи являются: ток короткого замыкания ($I_{кз}$), напряжение холостого хода ($U_{хх}$), максимальная мощность (P_{mpp}), рабочие ток и напряжение (I_{mpp} , U_{mpp}).

Для построения ВАХ фотоэлемента используют эквивалентную схему замещения, которая представлена на Рисунке 3.

Фотоэлемент состоит из источника тока, который моделирует возникающий при освещении фототок I_{ph} , и параллельного ему диода. Диод описывает ток, протекающий через неидеальный p-n-переход. Также в модель включены шунтирующее сопротивление R_{sh} , которое используется для представления тока утечки и последовательное сопротивление R_s , которое представляет собой падение напряжения на выходе [2].

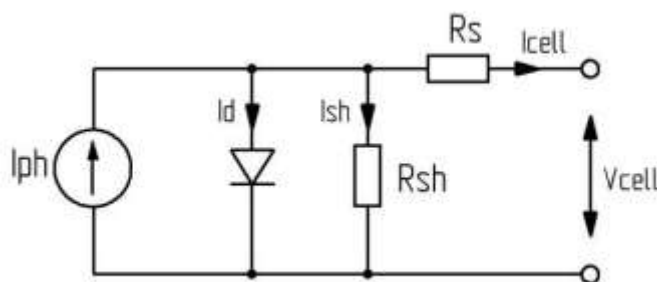


Рисунок 3 – Упрощенная схема замещения солнечного элемента

$$I = I_{ph} - I_d \left[\exp\left(\frac{q(U+R_s I)}{nkT}\right) - 1 \right] - \frac{U+IR_s}{R_s} \quad (1)$$

где I и U – выходной ток и напряжение солнечного элемента, I_{ph} фототок солнечного элемента, I_s – ток насыщения диода, n – коэффициент отклонения

диода, R_s последовательное сопротивление, представляющее собой падение напряжения на выходе; R_{sh} шунтирующее сопротивление, которое используется для представления тока утечки [3].

Основным элементом солнечных энергетических установок, как правило, является силовой каскад (DC/DC – преобразователь, инвертор). Преобразователи в таких системах генерирования должны иметь высокий КПД (не менее 90%), высокое качество выходного сигнала и обеспечивать работу энергоустановки с максимальным отбором мощности от солнечной батареи.

Характеристики солнечных батарей существенно зависят от погодных условий, таких как освещенность и температура. В течение дня температура и мощность облучения солнечного генератора, постоянно меняются. Эти изменения приводят к сдвигу точки максимальной мощности и к частичной потере мощности установки. Для того чтобы обеспечить получение максимально возможной мощности от солнечной батареи, необходимо использовать соответствующий алгоритм отслеживания точки максимальной мощности (MPPT).

Для MPPT применяются специализированные контроллеры, которые используют один из алгоритмов для оптимизации рабочей точки фотомодулей. Наиболее часто используемые методы: возмущение и наблюдение, метод возрастающей проводимости, метод постоянного напряжения [4-5]. Используемый метод отслеживания точки максимальной мощности будет во многом определять эффективность фотоэлектрической системы генерирования.

Максимальный отбор мощности от солнечных батарей возможен только при осуществлении непрерывного регулирования напряжения батареи в оптимальной рабочей точке.

Таким образом, при проектировании и создании современных эффективных фотоэлектрических систем генерирования должны решаться задачи не только улучшения технологии солнечных элементов с повышенным КПД, но и ряд вопросов проектирования фотоэлектрических преобразователей и их системы управления с целью существенного повышения их энергетической эффективности.

Как отмечалось ранее, характеристики солнечной батареи могут меняться довольно быстро и для эффективного преобразования солнечной энергии в электрическую необходимо постоянно обеспечивать работу в точке максимальной СБ.

Следовательно, необходимо применять специализированные MPPT контроллеры, которые посредством изменения рабочего цикла преобразователя

способны сдвигать рабочую точку в точку максимальной мощности (ТММ). На Рисунке 4 представлена упрощенная демонстрация работы контроллера.

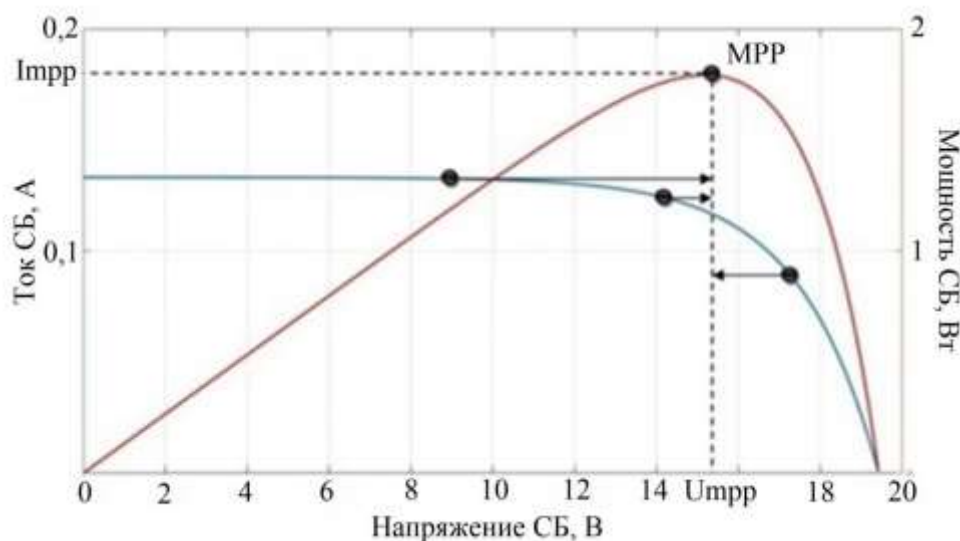


Рисунок 4 – ВАХ и ВВХ солнечной батареи при $E=380 \text{ Вт/м}^2$, $T=35 \text{ }^\circ\text{C}$

Для отслеживания точки максимальной мощности применяются контроллеры, которые используют один из алгоритмов для оптимизации рабочей точки фотомодулей. На данный момент разработано множество различных алгоритмов для отслеживания точки максимальной мощности. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки.

Некоторые из них довольно простые, например, основанные на обратной связи по напряжению и току. И более сложные, такие как: «Возмущение и наблюдение», «Возрастающей проводимости» и их модификации. Данные алгоритмы используются довольно давно, следовательно, их можно классифицировать как классические.

Учитывая проблемы классических методов и их модификаций, исследователи сосредоточили свое внимание на интеллектуальных методах, таких как нечеткая логика [7], [8] и искусственные нейронные сети (ИНС) [6], [9], [10]. Также были предложены гибридные методы включающие в себя как классический, так и интеллектуальный методы [11, 12].

Искусственная нейронная сеть — это интеллектуальная вычислительная система, принцип которой основан на поведении биологических нейронов, присутствующих в мозге человека. В последнее время ИНС получили высокое распространение и с успехом применяются в области отслеживания точки максимальной мощности.

В работе представлен двухступенчатый контроллер отслеживания максимальной мощности, использующий искусственную нейронную сеть. На

первом этапе алгоритм ИНС определяет максимальную точку мощности, связанную с солнечным облучением и температурой модуля. Затем простой контроллер на втором этапе, изменяя коэффициент заполнения DC/DC преобразователя, отслеживает MPP.

На Рисунке 5 показана схема всей системы. На первом этапе разрабатывается искусственная нейронная сеть. Входы ИНС представляют собой освещенность и температуру, а выходы - оптимальное напряжение V_{pm} и оптимальный ток I_{pm} . Эти значения затем используются в качестве опорных значений для МРРТ на втором этапе работы контроллера.

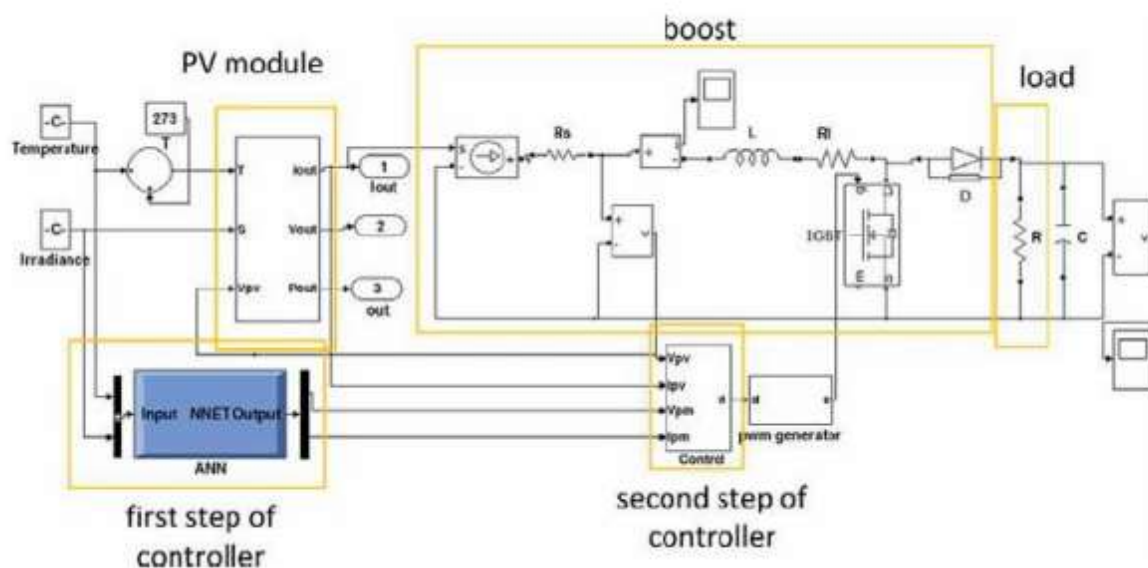


Рисунок 5 – Модель системы в программном обеспечении Matlab [9]

На Рисунке 6 показаны экспериментальные результаты напряжения, тока и мощности солнечной батареи при постоянной освещенности 930 Вт/м² и 38 температуре 42 оС. Результаты подтверждают высокую скорость этого метода при отслеживании MPP и низкие колебания вокруг MPP в стационарном состоянии.

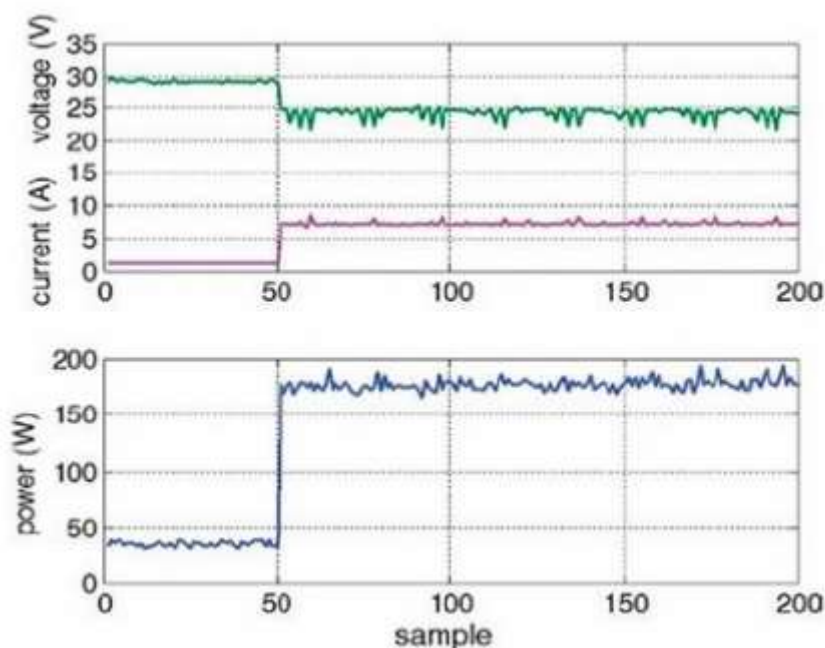


Рисунок 6 – Экспериментальные результаты [9]

Результаты моделирования показывают небольшое время отклика и малое колебание мощности в стационарном состоянии, т.е. когда параметры окружающей среды остаются неизменными. Кроме того, динамический отклик подтверждает, что этот метод способен быстро и точно отслеживать точку максимальной мощности и имеет малые колебания мощности при изменяющейся освещенности. Сложность и скорость этого метода МРРТ зависят от правильности данных, используемых для обучения ИНС и типа управляющего контроллера.

В работе представлена новая методология для отслеживания максимальной мощности фотоэлектрической системы мощностью 20 кВт с использованием нейро-нечеткой сети. Предложенный метод предсказывает опорное напряжение фотоэлектрической системы генерирования. Нейро-нечеткая сеть состоит из классификатора, основанного на нечеткой логике и трех многослойных нейронных сетей. Входы сети - облучение и температура, в то время как выходом является опорное напряжение. Основным преимуществом предлагаемой методологии, по сравнению с методом, основанным на основе нейронной сети, является четкая способность обобщения нелинейного и динамического поведения солнечной батареи.

Нейро-нечеткая сеть состоит из двух этапов. Первый является классификатором на основе нечеткой логики, а второй состоит из трех искусственных нейронных сетей (Рисунок 7). Три ИНС имеют сходную архитектуру, состоящую из трех слоев: входной, скрытый и выходной.

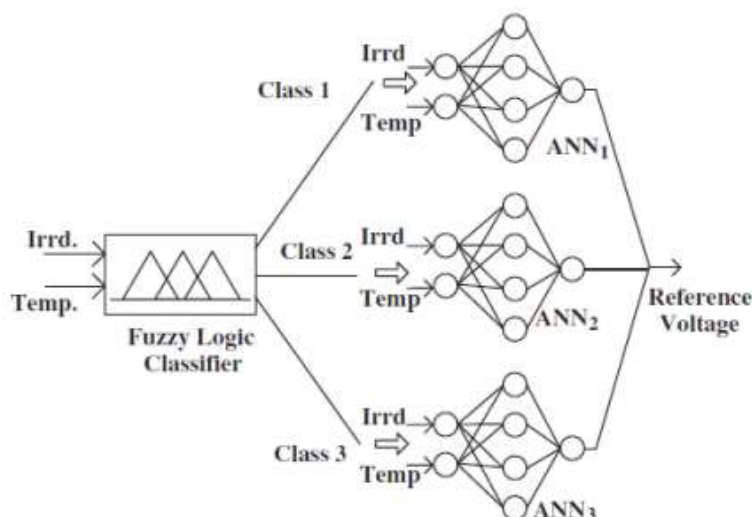


Рисунок 7 – Архитектура Нейро-нечеткой сети [13]

Нейро-нечеткий алгоритм предсказал нелинейное поведение солнечной батареи в широких климатических условиях. Авторы утверждают, что многомодульный аспект предлагаемого метода дает ему отличную обобщающую способность по сравнению с обычным контроллером на основе ИНС. Несмотря на полученные авторами результаты, можно сделать вывод, что использование нечеткой логики для данной задачи усложняет реализацию алгоритма отслеживания максимальной мощности.

ВЫВОДЫ

Из-за простоты реализации очень долгое время наиболее предпочтительными считались классические методы отслеживания точки максимальной мощности. Они не требуют большого количества датчиков, но им необходима дополнительная память для хранения результатов, полученных на предыдущем шаге. Хотя некоторые из модифицированных алгоритмов работают и без дополнительного хранения информации. Но, несмотря на их очевидную простоту при динамическом изменении условий окружающей среды классические алгоритмы с трудом справляются с отслеживанием. Эти проблемы открыли возможности для применения интеллектуальных методов, таких как нечеткая логика и искусственные нейронные сети.

Применение интеллектуальных методов, колебания в точке максимальной мощности практически устраняются, а эффективность системы повышается. Но метод нечеткой логики и ИНС является более сложным в реализации, и требуются дополнительные знания для разработки и такого алгоритма т.к. могут потребоваться дополнительные датчики. Также требуется более мощная вычислительная система для работы интеллектуального алгоритма.

Следовательно, несмотря на очевидные преимущества в точности и корректной работе при быстро меняющихся условиях, из-за сложности реализации данные алгоритмы находят свое применение и развиваются медленнее, но, несмотря на это, имеют большие перспективы развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: (REFERENCES)

1. E. Kabir, P.Kumar, A.A. Adelodun, and K.-H. Kim, "Solar energy: Potential and future prospects," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol.82, pp. 894-900, 2018.
2. Колтун М.М., Солнечные элементы/ М.М.Колтун.-Москва: Наука, 1987.-191 с.
3. J.A.Gow and C.D.Manning, "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies," *IEE Proc. – Electr.Power Appl.*, vol.146, no.2, 193-200, Mar.199.
4. R.Faranda and S.Leva, "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems," *J Electromagn Anal Appl*, vol.3, Jan.2008.
5. T. Esmar and P.L.Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," *Energy Convers. IEEE Trans. On*, vol.22, pp. 439-449, Jul.2007.
6. F.Sedaghati, A.Nahavandi, M.A.Badamchizadeh, S.Ghaemi, and M.Abedinpour Fallah, "PV Maximum Power-Point Tracking by Using Artificial Neural Network", *Mathematical Problem in Engineering*, 2012/
7. R. Rajesh and M.C.Mabel, "Efficiency analysis of a multi-fuzzy logic controller for the determination of operating points in a PV system," *Sol. Energy*, vol.99, pp.77-87, 2014.
8. A. E. Khateb, N.A. Rahim, J.Selvaraj, and M.N.Uddin, "Fuzzy-Logic-Controller-Based SEPIC Converter for Maximum Power Point Tracking," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol.50, no 4, pp. 2349-2358, Jul.2014.
9. R.Khanaki.M.A.Mohd Radzi, and M.H.Marhaban, "Artificial Neural Network Based Maximum Power Point Tracking Controller for Photovoltaic Standalone System," *Int. J.Green Energy*, vol.13,p. 140516111758009, May 2014.
10. I.A.Belova, M.V.Martinovich, and V. A. Skolota, "Application of photovoltaic cells with in intelligent control system for railways transport," in 2016 13th International Scientific – Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), Oct. 2016, vol.03, pp. 64-68.
11. K.Putinha, D.Devaraj, and S.Sakthivel, "Artificial neural network based modified incremental conductance algorithm for maximum power point tracking in photovoltaic

system under partial shading conditions,” *Energy*, vol.62, no. Supplement C, pp. 330-340, Dec.2013.

12. M.A.A.M.Zainuri, M.A.Radzi, A.C.Soh, and N.A.Rahim, “Development of adaptive perturb and observe-fuzzy control maximum power point tracking for photovoltaic boost dc-dc converter,” *IET Renew. Power Gener.*, vol.8, no. 2, pp. 183-194, Mart.

13. A.Chaouachi, R.M.Kamel, and K.Nagasaka, “A novel multi-model neuro-fuzzy-based MPPT for three-phase grid-connected photovoltaic system,” *Sol. Energy*, vol.84, no.12, pp. 2219-2229, Dec 2010.