

## DECISION MAKING FOR OPTIMAL USE OF SOLAR SYSTEMS

Dimitar Emanuilov Vasilev

**Abstract:** *In the report we analyze the algorithms for tracking the maximum power of a point (MPPT) so that it produces maximum efficiency of the renewable electric powered system. A comparative analysis was made for the most efficient applicability in different kinds of renewable electric powered systems.*

**Keywords:** *decision making, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Maximum Power Point (MPP), efficiency of algorithms.*

## ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ ЗА ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

гл.ас.инж. Димитър Емануилов Василев  
Технически университет – София, ИПФ – Сливен

**Резюме.** *В доклада се анализират алгоритмите за проследяване на точката на максималната мощност (MPP) за да се постигне максимална ефективност на възобновяемата електроенергийна система (BES). Направен е сравнителен анализ на най-ефективната им приложимост в различните видове възобновяеми електроенергийни системи.*

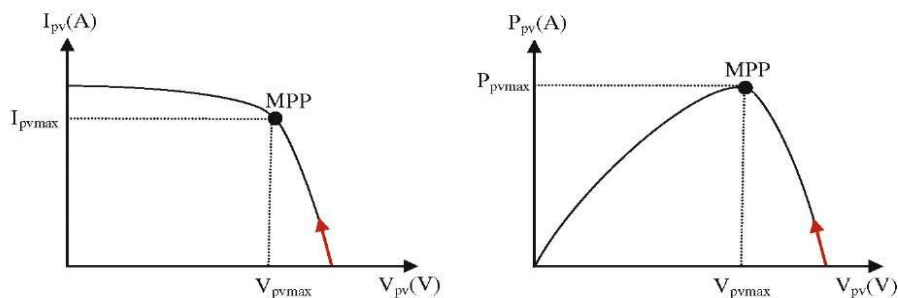
**Ключови думи:** *вземане на решение, точка на максималната мощност (MPP), алгоритми за проследяване на точката на максималната мощност (MPPT), ефективност на алгоритмите*

### Въведение

Първичният източник на енергия във фотоволтаичните (PV) системи е слънчевата енергия. Търговските PV модули достигат максимална ефективност на преобразуване от 20-21%, докато ефективност от 25% може да се постигне в лабораторни условия [1, 2]. Общата ефективност на един модул варира от 15 до 17% [1, 2]. При реални условия на работа, може да се наблюдава по-ниска от номиналната ефективност [1]. Фотоелектричните системи трябва да се инсталират, така че да са изложени на пряко слънчево лъчение. Това обикновено означава монтиране в район, чист от засенчване, в южна посока и под ъгъл, равен на географската ширина на мястото. Енергията, предоставяна от PV система, варира в зависимост от слънчевата радиация и температурата, тъй като тези параметри влияят на I-V /волт-амперните/ характеристиките на PV клетки. С цел оптимизиране на енергийния трансфер от PV модули към товара, е необходимо работната точка да се приведе в точката на максималната мощност (MPP) на I-V характеристиките [2]. Целта на изследването е да се разгледат няколко алгоритми за следене на MPP, което съответства на оптималното производство на електроенергия, като се препоръча най-подходящият за прилагане в експлоатационни условия.

### 1. Постановка на задачата за оптимално използване на фотоволтаични системи

Слънчевата енергия, като енергиен източник за преобразуване в електрическа енергия, по същество е неизчерпаем и широко достъпен енергиен ресурс. Изходната мощност, произведена във PV модули зависи от слънчевата радиация и температурата на слънчевите клетки. Следователно, за да се постигне максимална ефективност на възобновяемата енергийна система, е необходимо да се следи достигането на максималната мощност на PV модули - това е уникална работна точка, която може да предостави максимална мощност на товара. Тази точка се нарича точка на максималната мощност (MPP). Траекторията на тази точка има нелинейно отклонение от PV радиация и температурата на клетката. По този начин, за да работи PV система в точката си на максимална мощност, PV система трябва да съдържа контролер за проследяване на максимална мощност (MPPT) - фиг. 1.



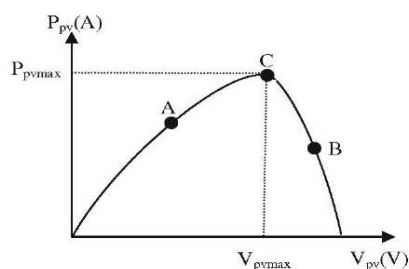
Фиг. 1. Характеристики „Ток – напрежение” и „Мощност- напрежение“ на PV

Максималната мощност (MPP) се получава, когато производната функция на слънчевата енергия от напрежението ( $dP_{pv}/dV_{pv}$ ) е нула. По принцип, за да се постигне максималната точка на работа, напрежението на генератора  $V_{pv}$ , се регулира така, че да се увеличава, когато производната  $dP_{pv} / dV_{pv}$  е положителна и да намалява, когато производната  $dP_{pv} / dV_{pv}$  е отрицателна. Контролът, който осигурява непрекъснато извличане на MPP е представен от:

$$(1) \quad V_{opt} = K_G \cdot \int \frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} dt \approx K_G \cdot \int \frac{\Delta P_{pv}}{\Delta V_{pv}} dt$$

където:  $V_{opt}$  е оптималното напрежение, което съответства на максималната мощност,  $K_G$  е коефициентът на пропорционалност,  $\Delta P_{pv}$  измененията на мощността между две работни точки и  $\Delta V_{pv}$  е вариация на напрежението между две работни точки.

Кривата на изменение на мощността в зависимост от напрежението на PV клетка е дадена на фиг 2.

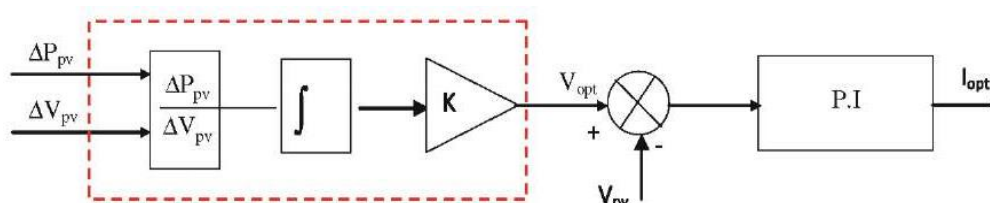


Фиг. 2. Характеристика „Мощност- напрежение“ на PV клетка

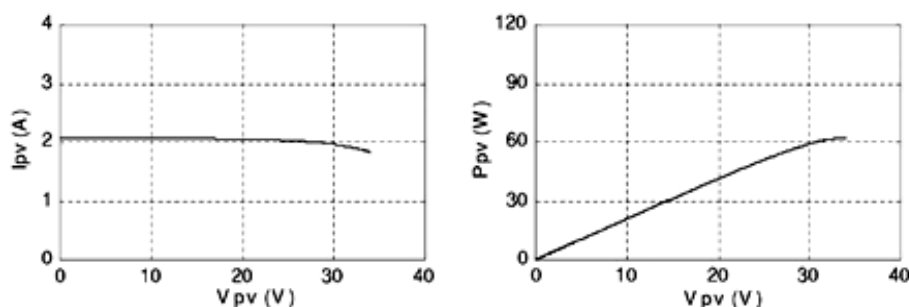
Имайки предвид системата, работеща в точки А, В и С на фиг. 2, в таблица 1 се показва контролния сигнал, който ще бъде резултат във всеки отделен случай. Диаграмата на контролния блок е показана на фиг. 3 и фиг.4.

Таблица 1.

Работна точка	$\Delta V_{pv}$	$\Delta P_{pv}$	$\Delta P_{pv} / \Delta V_{pv}$	Контролен сигнал
А	$> 0$	$> 0$	$> 0$	Увеличаване на $V_{pv}$
	$< 0$	$< 0$	$> 0$	Увеличаване на $V_{pv}$
В	$> 0$	$< 0$	$< 0$	Намаляване на $V_{pv}$
	$< 0$	$> 0$	$< 0$	Намаляване на $V_{pv}$
С	$> 0$		0	
	$< 0$	без промяна	0	без промяна



Фиг. 3. MPPT схема на управление и регулиране на  $V_{pv}$

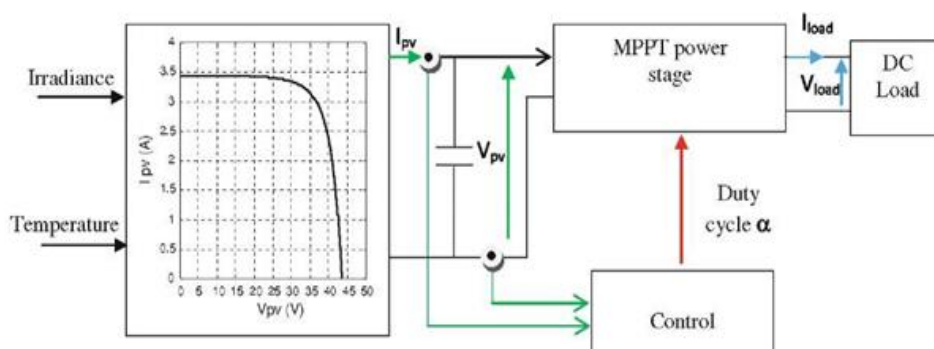


Фиг. 4. Волт-амперна и мощностна характеристика

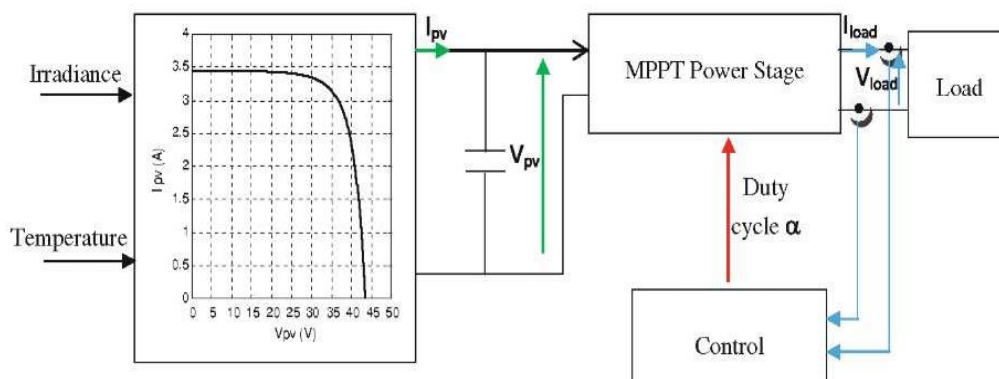
## 2. Алгоритми за проследяване на MPP

По дефиниция [3], контролер за проследяване на максимална мощност (MPPT) комбиниран с DC/DC конвертор позволява на PV генератор да произвежда максимална продължителна мощност, независимо от метеорологичните условия (слънчева радиация, температура).

Този контрол поставя системата в максималната работна точка ( $V_{opt}$ ,  $I_{opt}$ ). Първата система с MPPT е въведена през 1968 г. за космическа система [4]. През годините няколко MPPT алгоритъма /за проследяване на максимална мощност/ са разработени и широко адаптирани, за да се определи максималната точка на мощност [1, 5]. Техниката на контрол, която е най-използвана, се състои от действие върху работния цикъл така, че автоматично да пуска генератора на неговата оптимална стойност, независимо от колебанията на метеорологичните условия и внезапните промени в товарите, които могат да настъпят по всяко време. Основните компоненти на /тракера за максимална мощност/ MPPT са неговите степенни на мощност и контролер. Двете конфигурации на схемата MPPT са представени на фиг. 5 и фиг.6.



Фиг. 5. MPPT управление по входни параметри [5]



Фиг. 6. MPPT управление по изходни параметри [5]

На фиг. 5 степента на мощност за входящото напрежение  $V_{pv}$  и настоящото  $I_{pv}$  се използват от контролера за целите на отдаване на максимална мощност MPP. В този случай, параметър  $a$  за контрол на степента на мощност е непрекъснато включен, докато слънчевата батерия се зареди до нейната MPP.

Много методи са разработени за определяне на MPP. За проследяване на MPP са съставени справочни компютърни таблици [5]. Те се основават на използването на база данни, която включва параметри и данни, като например типични криви на PV генератор за различни радиации и температури. Нелинейната характеристика на PV генератор се моделира с помощта на математически уравнения или цифрови приближения [2,5]. Тези два алгоритъма имат недостатък, че те изискват голям обем на паметта за изчисляване на математическите формули и за съхранение на данните.

Съществуват итеративни алгоритми за непрекъснато следене на MPP чрез измерване на тока и напрежението на PV модул и отчитане на смущенията и наблюденията (P&O). Повечето схеми за контрол използват P&O техниката, защото тя е лесна за изпълнение, но проблемът с отклоненията е неизбежен. Диференциалният метод изисква сложна верига за управление. В последните две стратегии има някои недостатъци, като например високи разходи, трудности, сложност и нестабилност.

В практиката са разработени и интелигентно базирани MPPT схеми на контрол (размита логика, невронни мрежи). Размитите логически контролери (FLC) се използват с голям успех, в осъществяването на търсене на MPP. Размитият контролер дава стабилна производителност при вариране на параметрите и натоварването. Входните данни на MPPT размития логически контролер обикновено са грешка  $E$  и вариация на грешка  $dE$ . Този модел позволява да се контролира напрежението на PV генератор независимо от изменението на метеорологичните условия, за да се получи максималната мощност.

### 3. Сравнение между ефективността на алгоритмите за следене на MPP

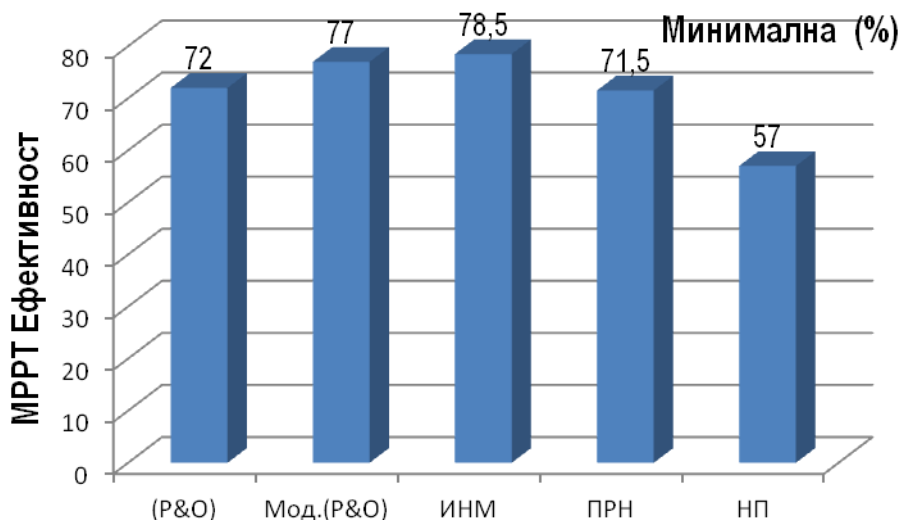
Критерият за оценка на алгоритмите е тяхната ефективност, като показателите за ефективност са структурирани в таблица 2.

Прилагането на алгоритмите, които са приложими за PV масиви изградени в България и оценка на тяхната ефективност е показана в таблица 2 и на фиг. 7 и фиг. 8.

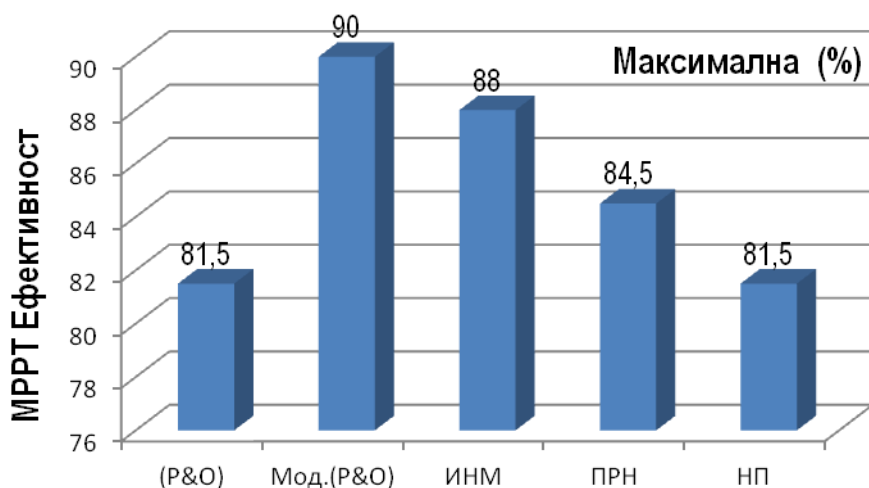
Таблица 2

MPPT Ефективност	Минимална (%)	Максимална (%)
Смущение и наблюдение	72	81,5
Модифициран „Смущение и наблюдение” (P&O)	77	90
Изкуствени невронни мрежи	78,5	88
Постоянно референтно напрежение	71,5	84,5
Нарастващата проводимост	57	81,5

В резултат на проведените изчисления и симулации се получава, че най-ефективният алгоритъм е модифициран метод P&O. при малки и средни PV масиви.



фиг. 7. Минимална MPPT Ефективност



фиг. 8. Максимална MPPT Ефективност

**Заклучение:**

1. Вземането на решения за оптимизиране работата на PV масиви се основава на проследяване на точката на максималната мощност MPP за да се постигне максимална ефективност на възобновяемата електроенергийна система. Методите за това са различни и използването им също е обект на вземане на решения съобразно технико - икономическите показатели на PV електроенергийни обекти.

2. От направеният анализ на методите за следене на точката за максимална мощност най-подходящ за условията на България е модифициран метод на смущение и наблюдение (P&O). Той е приложим за малки и средни PV електроенергийни обекти.

3. При големи PV електроенергийни обекти (над 20 kW) е препоръчително използването на интелигентни техники като размит контролер, невронни мрежи, невро-размити и генетичните алгоритми е високата цена на изпълнението им със сложни алгоритми, които обикновено се нуждаят от DSP (процесор за цифрова обработка на сигнали), което изисква сериозна финансова инвестиция.

**Литература**

1. Krauter SCW (2006) Solar electric power generation-photovoltaic energy systems. Springer, New York 74.  
 Al-Atrash H, Batarseh I, Rustom K (2005) Statistical modelling of DSP-based hill-climbing MPPT algorithms in noisy environments, Applied Power Electronics Conf Exposition, APEC'05 IEEE, vol 3  
 2. Salameh Z, Taylor D (1990) Set-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays. Solar Energy 44(1)

3. Chaouachi A., Kamel RM, Nagasaka K (2010) MPPT operation for PV grid-connected system using RBFNN and fuzzy classification, vol 65, World Academy of Science, Engineering and Technology
4. Yazdani A (2009) A control methodology and characterization of dynamics for a photovoltaic (PV) system interfaced with a distribution network. IEEE Trans Power Deliv 24(3)
5. Salas V, Olias E, Barrado A, Lazaro A (2006) Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. Solar Energy Mat Solar Cells 90(11)