

Изследване производителността на свързани групи фотоволтаични модули

Константин Коев

An Investigation of the energy yield of connected groups of photovoltaic modules: A photovoltaic non-tracking installed system on the roof of a manufacture building, on an unpopulated place, is investigated. The total system pick power value is 117.24 kWp assumed by connected groups of poly- and monocrystalline modules. The general energy efficiency of every group modules is analyzed for 45 months and local climatic conditions. The values of the general energy efficiency of the most efficiency connected groups of polycrystalline modules are decreased the most among all the groups of same modules.

Key words: connected groups of photovoltaic modules, general energy efficiency.

ВЪВЕДЕНИЕ

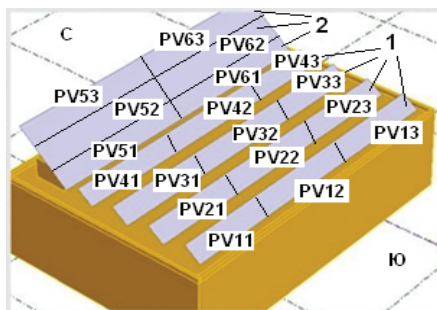
Един от недостатъците на фотоволтаичните модули е намаляването на производителността им (коефициент на полезно действие – к.п.д.) в процеса на експлоатация [1,6]. Технологиите на производство на модулите определят малки начални стойности на к.п.д. и скоростта, с която те се изменят по време на експлоатацията [2,7,8]. Промените в к.п.д. зависят от работните условия и от състоянието на фотоволтаичните модули [2,3,5].

Намаляването на к.п.д. на фотоволтаичните модули влияе върху продължителността и ефективността на експлоатацията им. Последните два параметъра характеризират стареенето и надеждността на модулите. По тази причина е важно да се анализира к.п.д. на модулите при различни условия [3].

Целта на изследването е да се анализира изменението на к.п.д. на свързани групи фотоволтаични модули, за определен период от време, при конкретни географски условия.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на изследването



Фиг.1. Разположение на модулите по секции и редове върху покривната конструкция: 1 – поликристални модули; 2 – монокристални модули; С – север; Ю – юг.

максимална мощност 130 Wp.

Монокристалните 324 броя модули, тип Solar Swiss SSM-150/24M, са разположени в масивна конструкция, в северната част на покрива (фиг.1). Всеки от модулите е с максимална мощност 150 Wp и са подредени в 6 секции, всяка с по 2

Изследваният обект е фотоволтаична система с обща изходна максимална мощност 117,24 kWp [2].

Всичките 528 броя поликристални модула са разположени в 4 реда, съставени от по 3 секции (фиг.1). Във всяка секция са монтирани 44 модула. Секциите са номерирани чрез буквите PV, последвани от две цифри – първата е номерът на реда (брои се от север на юг), а втората – номерът на секцията (брои се отляво надясно). Например означението PV13 определя третата (дясната крайна) секция на първия ред. В първите 4 реда на системата са разположени 484 броя фотоволтаични модули тип Kyocera KC130GH-2P. В секция PV22 са разположени 44 броя модули тип Kyocera KC130GHT-2. Двата типа модули са с

реда. По 54 броя модули са разположени във всяка секция, а номерацията на секциите е аналогична на тази за поликристалните модули.

Методика и средства за изследването

Изследването на производителността (к.п.д.) на фотоволтаичните модули е свързано с измерване на интензитета на падналата върху модулите слънчева радиация и произведената електрическа енергия. Подробно методиката на измерване е представена в [2].

Общият к.п.д., който характеризира производителността на системата (фотоволтаични модули и инвертори), количествено се определя по формулата [2,4]

$$\eta = \frac{W_i}{\int_i E.A.dt} \cdot 100, \% \quad (1)$$

където W_i е количеството произведена електрическа енергия за определен период от време t , kWh;

E – интензитетът на слънчевата радиация, паднала върху модулите, W/m^2 ;

A – площта на фотоволтаичните модули, m^2 .

Изразът в знаменателя на формула (1) представлява енергията на слънчевата радиация (solar irradiation), паднала върху модулите.

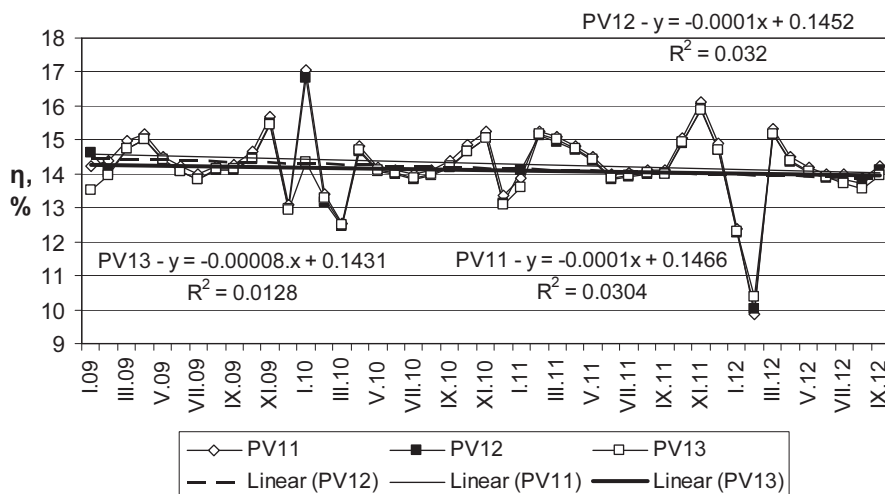
Резултати от изследването

Интензитетът на слънчевата радиация и произведената електрическа енергия са представени със средните си месечни стойности. Те се получават от средните стойности за всеки ден от разглежданите 3 години и 9 месеца (от месец януари, 2009 г. до месец септември, 2012 г., включително), като се отчита продължителността на светлата част от денонощието.

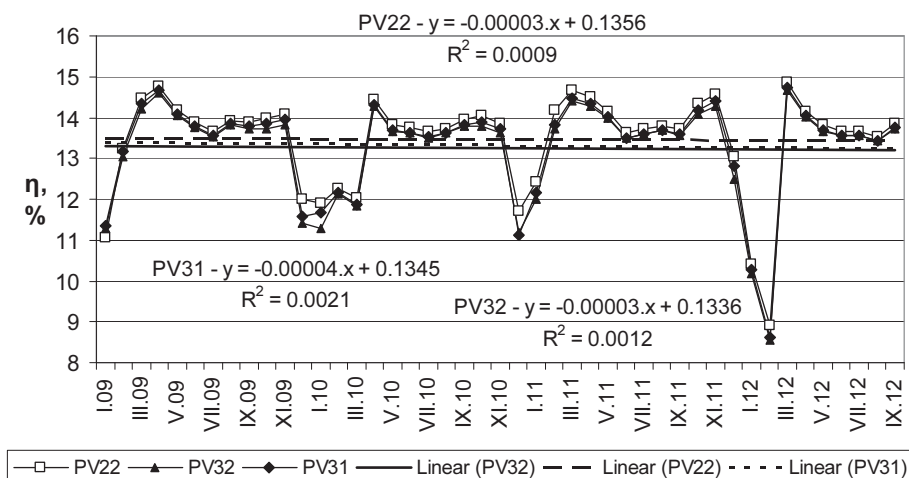
Записите на стойностите за слънчевата радиация и произведената електрическа енергия са непълни – липсват данни за части от месеците декември 2009 г. и януари 2010 г. (общо 29 дена) [2]. Тогава фотоволтаичната система се присъединява към регионалната електроразпределителна мрежа (20 kV). Наличните данни за двата месеца (декември, 2009 г. и януари, 2010 г.), въпреки, че са непълни, могат да се използват, за да бъде по-коректен анализът на к.п.д. За целта се отчитат само дните, в които е работила системата.

Измененията в техническите характеристики на отделните групи (секции) фотоволтаични модули могат да се установят чрез изследване коефициента на полезното им действие. Общата му стойност се определя по формула (1). Получените резултати се използват за построяване на графиките на изменението на к.п.д. по месеци за секциите модули (фиг.2,3). Графиките са групирани според характера на изменението си, като са включени резултатите за частично засенчваните 54 монокристални модула [2] в секция PV63.

Измененията на к.п.д. на всички отделни секции с поликристални модули, с изключение на тези от първия ред – PV11, PV12, PV13 (фиг.2а), са аналогични на тези на общия к.п.д. на всички поликристални модули [2]. Графиките на фиг.2а,б също се характеризират с период на изменение 1 г., като на фиг.2б се наблюдават локални и абсолютни екстремуми за същия период. Абсолютните минимума са през месеците Декември и Януари, а локалните минимума – през лятото (месеци Юни, Юли). Абсолютните максимуми са през месеците Март и Април, а локалните – през есента (месеци Октомври и Ноември).



а



б

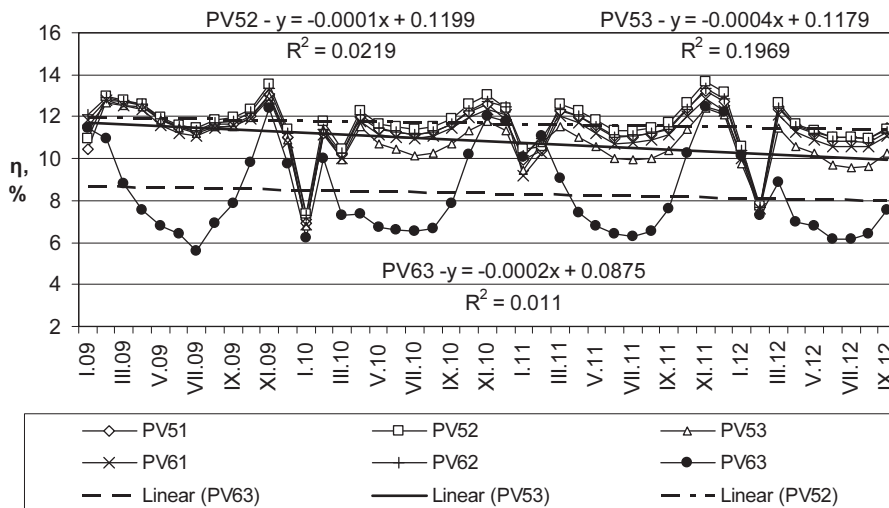
Фиг.2. Изменение на общия к.п.д. по месеци за поликристалните модули: а - в секции PV11, PV12; б - в секции PV22, PV 31, PV32.

Графиките на изменение на общия к.п.д. на секции PV21, PV23, PV33, PV41 (не са показани) са аналогични по характер, а стойностите са близки до тези за секции PV22, PV31, PV32. Единствената разлика е в това, че стойностите на к.п.д. на секции PV23, PV33, PV41, за месец Януари, 2010г., са по-малки от 11 %. Стойността на к.п.д. за същия месец, за PV23 е 10,2 %; за PV33 – 10,9 %; за PV41 – 9,2 %.

Характерът на изменение на общия к.п.д. на секции PV13 и PV42 (не е показано) е еднакъв, но стойностите на к.п.д. за секция PV13 са по-големи. Графиката на изменение на к.п.д. на секция PV43, наподобява тази за PV42, но с някои разлики. Едната е, че изменението на к.п.д. за двете секции е противоположно за периода декември, 2009 г. - януари, 2010 г., като за PV42 стойността на к.п.д.

нараства, а за PV43 – намалява. Друга разлика е, че стойността на к.п.д. на секция PV43 – 14,9 %, за месец януари, 2011 г., е по-голяма от тази за PV42 и предствлява максималната за PV43, за целия наблюдаван период.

Стойностите на к.п.д. на секциите, за наблюдавания период: Януари, 2009 г. – Септември, 2012 г., следват тенденция на намаляване. Този факт по-точно може да се установи от коефициентите пред аргумента X (пореден номер на месеца в разглеждания период) в уравненията на правите на средните стойности, около които варират стойностите на к.п.д. Най-голямо намаляване на к.п.д. се наблюдава за секциите с поликристални модули PV11 и PV12 – коефициентите пред X са еднакви (1.10^{-4}), а най-малко – за секции PV22 и PV32 – коефициентът е 3.10^{-5} (фиг.2а,б). Намаляването на к.п.д. за целия период (45 месеца), отнесено към стойността на к.п.д. за Януари, 2009 г., е еднакво за PV11 и PV12 – 3,1 %, а за PV22 и PV32 – относителното намаляване е само 1 %.



Фиг.3. Изменение на общия к.п.д. η по месеци за монокристалните модули по секции.

Измененията на к.п.д. на монокристалните модули по секции са представени на фиг.3. Може да се забележи, че стойностите на к.п.д. на шестте секции монокристални модули се изменят по аналогичен начин. Модулите в секция PV63 се характеризират с по-нисък к.п.д., в сравнение с останалите модули, през по-голяма част от годината (поради частични засенчвания [2]). Само за месеците от Ноември до Февруари, включително, през четирите години, стойностите на к.п.д. на секция PV63 се доближават или изравняват до тези на останалите секции.

Измененията на к.п.д. на секциите от монокристални модули са аналогични помежду си и на тези за цялата група монокристални модули [2]. Графиките на фиг.3 също се характеризират с период на изменение 1 г., с локални и абсолютни екстремуми за същия период. Абсолютните и локалните мнимуми са през същите месеци, както за поликристалните модули (фиг.2а,б). Абсолютните и локалните максимуми са през същите месеци, както за секциите фотоволтаични модули от първия ред на системата – PV11, PV12, PV13 (фиг.2а).

Характерното за изменението на к.п.д. на PV53 е, че през цялата 2009 г., неговите стойности почти не се различават от тези за другите секции (с изключение

на PV63). През останалите три години, стойностите на к.п.д. на PV53 през летния период, са по-ниски от тези на другите секции (с изключение на PV63).

Правите на средните стойности, около които варират стойностите на к.п.д. за секциите PV52, PV53 и PV63, са с различен наклон (фиг.3). Правата с най-голям наклон (за секция PV53) се характеризира с най-голяма абсолютна стойност на коефициента пред аргумента X в уравнението ($4 \cdot 10^{-4}$). Правата с най-малък наклон е тази за секция PV52, чиито стойности на к.п.д. са най-големи от всички останали секции с монокристални модули.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеното изследване за измененията на производителността на свързани групи фотоволтаични модули дава основание да се направят следните изводи:

1. Общите к.п.д. на отделните секции с поликристални фотоволтаични модули, без PV11, PV12, PV13, и с монокристални модули, включително PV11, PV12, PV13, се изменят аналогично съответно на общия к.п.д. на всички поликристални модули, с известни разлики за месец Януари на 2010 и на 2011 години, и на общия к.п.д. на всички монокристални модули.
2. Секциите PV11 с поликристални и PV52 с монокристални модули са с най-големите стойности на общия к.п.д., в сравнение съответно с всички секции на фотоволтаичната система и със секциите с монокристални модули.
3. Най-голямо намаляване на общия к.п.д. на секциите с поликристални модули се наблюдава за секции PV11 и PV12. Относителното намаляване на к.п.д. за PV11 и PV12, за целия наблюдаван период, е еднакво – 3,1 %. Секция PV53 се характеризира с най-голямото относително намаляване на общия к.п.д. не само за секциите с монокристални модули, но и за всички останали – 15 %.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Младенчева, Р. Фотоволтаични генератори. Ековат Технологии, С., 2007.
- [2] Недев, Н., К. Коев. Изследване производителността на фотоволтаични модули. В: Научни трудове на Русенския университет, том 51, серия 3.1, Русе, 2012.
- [3] Dirk C. Jordan, Sarah R. Kurtz. Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review. Journal Article NREL/JA-5200-51664, June 2012, p. 30.
- [4] Jahn U., et al. International energy agency pvps task 2: analysis of the operational performance of the iea database pv systems. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, May 2000, p. 5.
- [5] Tom Markvart, Luis Castañer. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Elsevier Ltd., 2003, p. 984.
- [6] Şen, Z. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. London: Springer, 2008.
- [7] www.kyocerasolar.de
- [8] www.solar-swiss.ch

За контакти:

Гл. ас. д-р инж. Константин Коев, Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 661, e-mail: kkoev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.