

Изследване ефективността на електропроизводството на фотоволтаични панели

Константин Коев, Красимир Мартев

An Investigation of the electric power efficiency of photovoltaic panels: A photovoltaic non-tracking installed system on the roof of a manufacture building, on an unpopulated place, is investigated. The total system power pick value is 117.24 kWp by 852 panels. The change of the average electric power efficiency values of photovoltaic panels at the short-changing values of solar irradiances is analysed for the August monthly per six years: 2009-2014. The electric power efficiency values which have been decreased variable with 0,37 % generally have been determined. A linear regression model of the trend of the electric power efficiency values is analysed.

Key words: photovoltaic modules, solar irradiance, electric power efficiency.

ВЪВЕДЕНИЕ

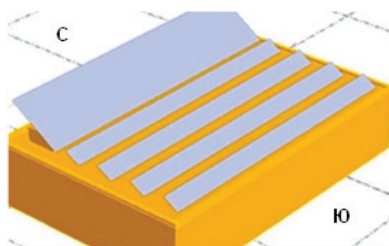
Директното фотоелектрично преобразуване на слънчевата радиация се осъществява чрез фотоволтаични панели. Този метод на генериране на електрическа енергия се характеризира с липса на вредни емисии, при наличието на практически неограничени количества безплатен енергоносител (слънчевата радиация). Поради тези причини фотоволтаичните панели намират широко приложение. Основният им недостатък е ниската стойност на коефициента на полезно действие (к.п.д.). Постигнат е к.п.д. от 20,4% при поликристалните панели, а за панелите с четири и повече р-п прехода и с концентратор к.п.д. е 44,7% [7]. Стойността на к.п.д. на поли- и монокристалните панели намалява в процеса на експлоатация [5,8].

Изследвани са, по месеци за периода (2009-2012) г., измененията на: к.п.д. поотделно на две групи панели - поли- и монокристални [3], на характеристикното отношение PR и на к.п.д. на свързаните към всеки инвертор групи панели [1,4]. Изследванията са проведени със средните месечни стойности на интензитета на слънчевата радиация и на произведената електрическа енергия. Тези стойности са получени от съответните средни стойности за всеки ден, като е отчетена продължителността на светлата част от денонощието.

Целта на изследването е, да се анализира изменението на ефективността на електропроизводството на фотоволтаични панели, чрез коефициента на полезно действие.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на изследването



Фиг.1. Разположение на модулите върху покривната конструкция: С – север; Ю – юг.

Изследваните фотоволтаични панели са 852 броя, от които 528 са поликристални, с максимална мощност 130 Wp всеки и са разположени в 4 реда. Останалите 324 броя панели са монокристални, всеки с пикова мощност 150 Wp. Те са разположени в северната част на покрива на сграда (фиг.1), в промишлен район, извън населено място. Всички панели са свързани в система (централя), чиято обща изходна максимална мощност е 117,24 kWp. Сградата е разположена на терен с надморска височина 76 м.

Фотоволтаичните модули са ориентирани в посока юг, стационарно монтирани под наклон от 30° спрямо земната повърхност. Произведената електрическа енергия се преобразува от общо 18 инвертори.

Методика и средства за изследването

Слънчевата радиация и температурата на модулите са основните фактори, които влияят върху производството (генерирането) на електрическа енергия [5,8]. Първият фактор е определящ, защото той влияе върху температурата на модулите.

Интензитетът на слънчевата радиация се измерва чрез вграден измервателен преобразувател в специализирана метеорологична станция Sunny Sensor Box, производство на SMA (Germany). Преобразувателят работи с точност $\pm 8\%$, при обхват на измерване $(0 \dots 1500) \text{ W/m}^2$ и разрешителна способност 1 W/m^2 [6].

Стойностите на интензитета на слънчевата радиация се измерват и записват на всеки 15 min. За същия интервал от време, на изхода на инверторите, системата автоматично измерва и записва произведените количества електрическа енергия.

Общият к.п.д., който характеризира производството на електрическа енергия от системата (фотоволтаични панели и инвертори), количествено се определя по формулата [8]

$$\eta = \frac{E}{\int_t G.A.dt} \quad , \quad (1)$$

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

G – интензитетът на слънчевата радиация, паднала върху панелите, W/m^2 ;

A – площта на фотоволтаичните панели, m^2 .

Изразът в знаменателя на формула (1) интегрира интензитета на падналата върху панелите слънчева радиация (solar irradiance) G за определен период от време t , т.е. това е енергията на слънчевата радиация (solar irradiation).

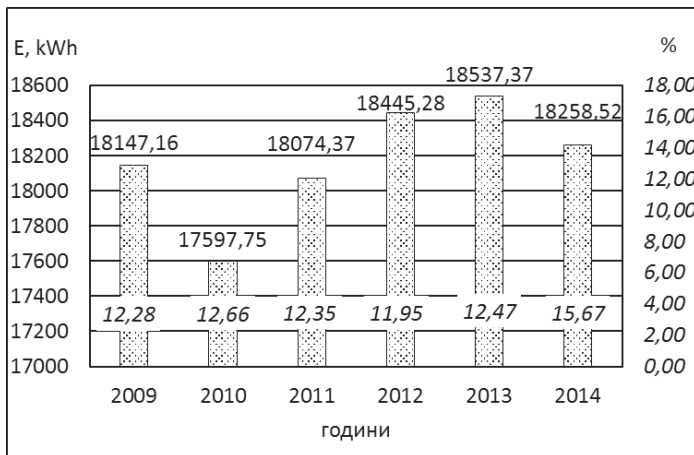
Резултати от изследването

С цел осигуряване на идентични условия за работа на фотоволтаичните панели - продължителност на светлата част от денонощията и количеството слънчева радиация, анализът е проведен на основа на данните за един и същ месец за шест последователни години.

Анализирани са данните от експлоатацията на фотоволтаичните панели за месец август за периода от 2009 г. до 2014 г. Избраният месец се характеризира с типични за лятото големи стойности на интензитета на слънчевата радиация и едни от най-големите сумарни месечни количества произведена електрическа енергия. Тези количества са най-големите за 2010 г. и 2014 г.

Количествата електрическа енергия E , kWh, произведени през месец август на всяка от шестте години в периода 2009-2014 г., са представени графично на фиг.2. Показан е и делът на същите количества от съответното годишно електропроизводство на фотоволтаичните панели. Месец август, 2013 г., се характеризира с най-голяма стойност на генерираната електрическа енергия – 18 537,37 kWh. Най- малка е стойността за месец август 2010 г. - 17 597,75 kWh. Разликата е от 939,62 kWh . За периода от 2009г. до 2013г. делът на произведената електрическа енергия през месец август 2010 г. по отношение на годишната производство е най-голям – 12,66 %. Причината за това е, че почти през целия месец януари на 2010 г., фотоволтаичната система не работи, поради лоши метеорологични условия и прекъсване за свързване към електроразпределителната мрежа. За разглеждания

период от 2009 до 2014 г. най-голям е делът на произведената електрическа енергия през месец август, 2014 г. – 15,67 %. Това се дължи на факта, че няма данни за пос-



Фиг.2. Произведена електрическа енергия Е през месец август на всяка година от периода (2009 – 2014) г., в абсолютни (kWh) и в относителни (%) единици.

ледните три месеца на годината. Направените изчисления показват, че ако не се вземат предвид данните за месец август на 2014 г., стойностите на относителните месечни производства на електрическа енергия се различават с не повече от 0,71 %.

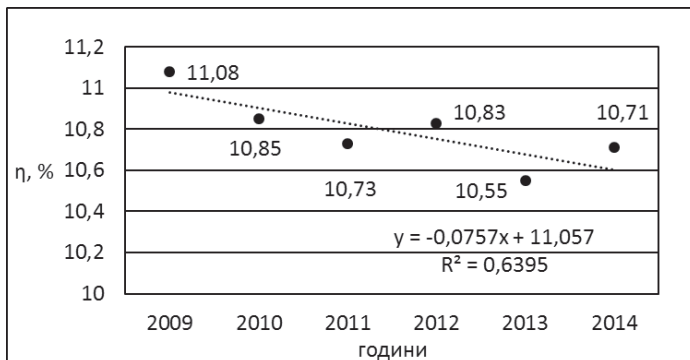
Произведените количества електрическа енергия (kWh) за месец август, за последните три години (2012-2014 г.), са по-големи, в сравнение с тези от първите три години (2009-2011 г.). Това може да се обясни с по-благоприятни климатични условия, които не се запазват еднакви през годините. Тези промени са причината, например, поради която произведената електроенергия през август, 2014 г. е най-малката за периода (2012-2014) г.

Абсолютните количества произведена енергия през месец август на различните години, сравнени с най-голямата стойност (получена за месец август, 2013 г., приета за 100 % - за базова), са: за 2009 г. – 97,9 %; за 2010 г. – 94,9%; за 2011 г. – 97,5 %; за 2012 г. – 99,5 % и за 2014 г. – 98,5%. Анализът на тези данни показва, че разликите с базовата стойност не са по-големи от 5,1 %.

Ефективността на електропроизводството на фотоволтаичните панели не може да се анализира само чрез абсолютните месечни количества електрическа енергия и техният дял в общото годишно производство, както се изясни при разглеждането на фиг.2. Ефективността на панелите по-добре може да се анализира чрез изменението на к.п.д. η . Той се изчислява за всеки месец по формула (1), за всяка стойност на интензитета на слънчевата радиация G и произведената електроенергия E , отчетени през 15 min. Тези резултати се използват за определяне на средноаритметичната стойност на к.п.д. за всеки месец, представени графично на фиг.3.

Стойностите на к.п.д. са представени с черни точки, а правата, която показва тенденцията в изменението на стойностите – с пунктирана линия. Най-голямата стойност на к.п.д., за разглежданите шест години, е изчислена за 2009 г. – 11,08 %. През следващите две години – 2010 и 2011, коефициентът на полезно действие намалява, в сравнение със стойността през 2009 г., съответно с 2,08 % и с 3,16 %.

През последните три години се запазва тенденцията за намаляване на к.п.д. Наблюдават се колебания в получените стойности по отношение на правата, описваща процеса. Стойността на к.п.д. нараства през 2012 г. с 0,10 %, в сравнение с 2011 г., като почти достига стойността от 2010 г., но остава по-малка от нея само с 0,02 %. Петата година от наблюденията – 2013, е забележителна с това, че за целия



Фиг.3. Изменение на коефициента на полезно действие η , %, при производството на електрическа енергия от фотоволтаични панели.

период стойността на к.п.д. е най-ниската – 10,55 %, а абсолютното количество произведена електрическа енергия – най-голямо (фиг.2). Стойността на к.п.д. през август, 2013 г. намалява в сравнение със стойността през същия месец на 2009 г. с 4,78 %. През 2013 г. к.п.д. е по-малко с 0,18 % от 2012 г, което е относително намаляване с 2,59 %. Тази стойност, ако се сравни с относителните изменения през 2010 г. (2,08 %) и 2011 г. (3,16 %), заема междинно положение.

Стойността на к.п.д. през 2014 г. е 10,71 %, която относително нараства, в сравнение с предходната година, с 1,52 %. Това изменение не променя тенденцията на намаляване стойността на к.п.д. – относителната промяна, в сравнение с 2009 г., е 3,34 %.

Изменението на стойностите на к.п.д., особено през последните три години, може да се обясни основно с някои краткотрайни прекъсвания в работата на измервателните преобразуватели. Интензитетът на слънчевата радиация, през някои дни, се изменя значително, поради променлива облачност. В тези случаи интервалът на измерване на интензитета (15 min) е достатъчно голям и са отчетени малки и големи стойности, което влияе върху средномесечната стойност на к.п.д.

На фиг.3 е представен линеен математичен модел, с който се описва тенденцията на изменението на к.п.д. Аргументът x представлява поредният номер на годината - 2009 г. е с номер 1, 2010 г. е с номер 2 и т.н. Стойността на коефициента R^2 показва, че в 64 % от случаите моделът може да опише получените стойности на к.п.д. Предложеният линеен модел, от статистическа гледна точка, недостатъчно точно описва стойностите на к.п.д. и не може да се използва за коректно прогнозиране [2].

Ако се предположи, че тенденцията за изменение на к.п.д. на централата през изследваните години (според линейния модел, к.п.д. намалява с около 0,4%) се запази за бъдещи периоди, след още 2 години експлоатация на панелите стойността на к.п.д. ще бъде 10,45 %, а след 5 години - 10,2 %. По-точен анализ на тези

тенденции може да се проведе, като се анализира изменението на к.п.д. за всички месеци на експлоатация, за няколко централи, изградени с еднотипни модули.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на проведените изследвания на ефективността на електропроизводството на фотоволтаични панели, свързани в система, за месец август на шест поредни години, могат да се направят следните изводи:

1. Най-голямо абсолютно количество електрическа енергия е произведено през август, 2013 г., като в сравнение с него, количествата през същия месец на останалите години са по-малки, но не се различават с повече от 5,1%. Делът на тези количества в общите годишни суми, не се различава с повече от 0,71 %.
2. Средномесечната стойност на коефициента на полезно действие, общо за целия период, намалява неравномерно с 0,37 %, като от 11,08 % през 2009 г. достига до 10,71 % през 2014 г.
3. Стойността на коефициента на полезно действие, след още 2 години експлоатация може да се очаква, че ще спадне до 10,45 %, ако тенденцията на намаляване се изменя по линеен модел.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коев К. „Изследване производителността на свързани групи фотоволтаични модули“, В: Научни трудове на Русенски университет „Ангел Кънчев“, Русе, том 51, серия 3.1, 2012, стр. 40-45.
- [2] Митков А. Теория на експеримента, Печатна база на Русенски университет „Ангел Кънчев“, Русе, 2010, 227 с.
- [3] Недев Н., Коев К. „Изследване производителността на фотоволтаични модули“, В: Научни трудове на Русенски университет „Ангел Кънчев“, Русе, том 51, серия 3.1, 2012, стр.35-39.
- [4] Коев К. Research on the Changes of Some Characteristics of Grid Connected Photovoltaic Modules.// Екология и бъдеще, 2013, No 1, pp. 3-10.
- [5] Köhl, M. 2011. *From Climate Data to Accelerated Test Conditions*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany, presented at the PVMRW, Golden (Colorado, USA), WEB: http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/pvmrw_2011_05_plen_kohl.pdf.
- [6] SMA Solar Technology AG, www.sma.de.
- [7] The National Center for Photovoltaics (NCPV), <http://www.nrel.gov/ncpv/>
- [8] Tiwari, G. N., S. Dubey. *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications*, RSC Publisher, London, 2010, 402 pp.

За контакти:

Доц. д-р инж. Константин Коев, Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 201, 661, e-mail: kkoev@uni-ruse.bg

Доц. д-р инж. Красимир Мартев, Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 281,301,749, e-mail: kmartev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.