

АНАЛИЗ НА ЕФЕКТА НА ЗАСЕНЧВАНЕТО НА ФОТОВОЛТАИЧНИ ПАНЕЛИ С ПОКРИТИЕ ОТ ТЪНЪК СЛОЙ КАДМИЕВ ТЕЛУРИД ВЪРХУ ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ИМ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Емил Станев, Ивайло Стоянов
emostanev@gmail.com, ivo100v@gmail.com

*Катедра Електроснабдяване и Електрообзавеждане
Технически Университет – Габрово, България*

ANALYSIS OF THE SHADING EFFECT OF THIN LAYER CADMIUM TELLURIDE PHOTOVOLTAIC PANELS ON THEIR ELECTRICAL PERFORMANCE

Emil Stanev, Ivaylo Stoyanov
emostanev@gmail.com, ivo100v@gmail.com

*Department of Electric Power Distribution and Electrical Equipment
Technical University of Gabrovo, Bulgaria*

Abstract

The paper presents the effects of shading on thin-film cadmium telluride (CdTe)-based frameless solar panels. The influence of different degrees of shading of CdTe PV panels on their performance is analyzed after measuring their I-V and power characteristics. The results show that even small shading significantly affects the efficiency of the panels.

Keywords: photovoltaic panels, shading, photovoltaic efficiency, I-V curve measurement, thin layer cadmium telluride

ВЪВЕДЕНИЕ

Енергийната криза и замърсяването на околната среда са проблем, който не може да бъде пренебрегван, затова се търсят начини за развитие и използване на възобновяемите източници на енергия по възможно най-ефективния начин с развитието на съвременните технологии и средства. Слънцето е най-големият източник на енергия на Земята. Използването на слънчева енергия и преобразуването ѝ в електричество с помощта на фотоволтаични панели нараства бързо през последните години и според публикувана информация и направена оценка в световен мащаб инсталираният капацитет до края на 2022 г. ще достигне 1000 GW [1, 2].

Соларните фотоволтаични системи се състоят от слънчеви панели, свързани в ма-

сиви. В зависимост от необходимата електроенергия, всеки от тези панели е съставен от много фотоволтаични клетки, които са основните единици, участващи в улавянето на енергията от слънцето и превръщането ѝ в електричество. При падане на сянка дори само на една част от слънчевия панел в масива, изходът от цялата система може да бъде потенциално компрометиран, това се нарича засенчване на фотоволтаичните панели. Когато слънчевият панел е частично засенчен, токът генериран от изцяло осветените клетки не може да протече през засечените и се разсейва в тях под формата на топлинно излъчване, причинявайки ефекта на горещата точка. Това може да доведе до тяхното прегряване и стопяване и е една от най-разпространените причини за повреда

на слънчевия панел или опасност от пожар. В резултат на това е важно да се използват байпасни диоди при конструирането на фотоволтаични системи, за да се гарантира, че токът може да протича като се шунтират неефективно работещите клетки и по този начин въздействието се намалява при различните ситуации на засенчване (Фиг. 1, Фиг. 2, Фиг. 3, Фиг. 4) [3].



Фиг. 1. Локално засенчване от натрупана мръсотия



Фиг. 2. Засенчване от дървета



Фиг. 3. Засенчване от прах и сажди



Фиг. 4. Засенчване от сгради

В настоящия доклад се разглежда ефекта на засенчване на фотоволтаичен панел с покритие от тънък слой кадмиев телурид (CdTe) върху електрическите му характеристики. Изследвани са волт-амперните и мощностните характеристики на фотоволтаичния панел, при хоризонтално и вертикално засенчване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

При фотоволтаично производство на електроенергия дървета, паднали листа, сгради и облаци могат да блокират и засенчат слънчевата светлина върху фотоволтаичния панел, което води до понижаване стойностите на напрежението и тока на модулите, като това оказва негативно влияние върху изходната мощност [5, 6].

Несъответствието на напрежението, тока и намаляването на мощността зависи от различни фактори, например материалът на фотоволтаичната клетка, структурата и вътрешните свойства на материала, климатичните и метеорологични условия, както и местоположение на мястото за монтаж.

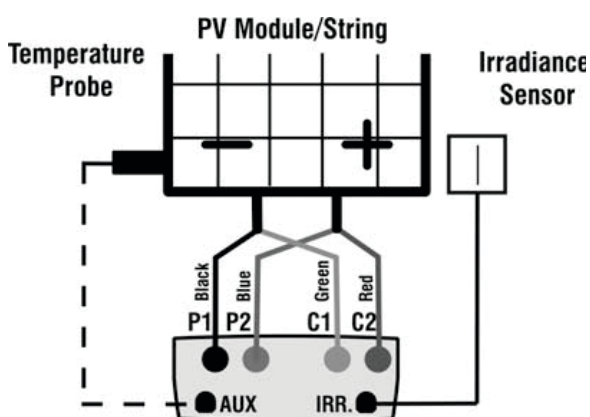
За изследване ефекта от засенчването, върху електрическите характеристики на фотоволтаични панели на базата на тънък слой CdTe е използван уредът I-V500W. С него може да се снеме волт-амперната крива и мощностната характеристика, както на един модул, така и на няколко модула свързани помежду си в PV инсталация до максимум 1500V и 10A или 1000V и 15A. За измерване на I-V кривата уредът I-V500W управлява вътрешна база данни на фотоволтаични модули, която може да бъде актуализирана по всяко време от потребителя.



Фиг. 5. Измервателен уред I-V500W

Сравнението на измерените данни с номиналните стойности позволява незабавна оценка дали групата от модули или единичния модул, които се тестват, отговарят на заявените параметри на ефективност от производителя.

Уредът извършва измерване на I-V кривата на свързания към него фотоволтаичен модул, след което измерва в реално време слънчевата радиация и температурата на модула – Фиг. 6.



Фиг. 6. Свързване на фотоволтаичен модул с уреда I-V500W

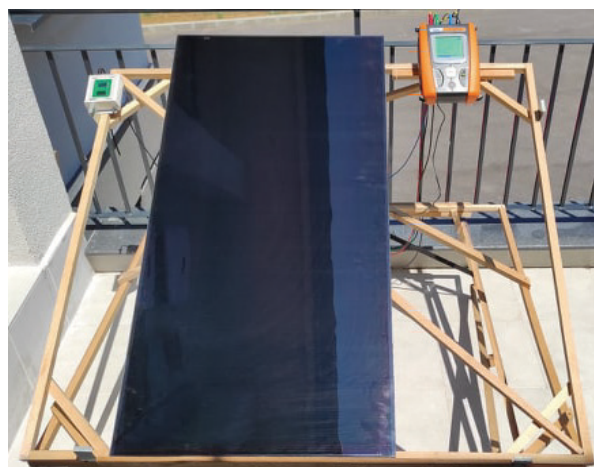
Резултатите от измерванията автоматично се привеждат към стандартните условия (STC) на излъчване при 1000 W/m^2 и температура 25°C . Таблица 1 представя техническа информация за обхватите и точността на измерванията, направени с помощта на инструмента за измерване на волт-амперни характеристики I-V500W [4].

Таблица 1. Технически характеристики на уреда I-V500W

| Измерван параметър | Обхват | Точност | Толеранс |
|------------------------------------|------------------|---------|-----------------------------------|
| DC Напрежение | 15.0 ÷ 99.9 V | 0.1 V | $\pm(0.5\%rdg + 2dgt)$ |
| DC Ток | 0.10 ÷ 15.00 A | 0.01 A | $\pm(1.0\%rdg + 2dgt)$ |
| DC Мощност | 50 ÷ 99999 W | 1 W | $\pm(1.0\%rdg + 6dgt)$ |
| Радиация (с референтна клетка) | 1.0 ÷ 100.0 mV | 0.1 mV | $\pm(1.0\%rdg + 5dgt)$ |
| Температура (с допълнителна сонда) | -20.0 ÷ 100.0 °C | 0.1 °C | $\pm(1.0\%rdg + 1^\circ\text{C})$ |

Проучени са необходимите каталожни данни на фотоволтаичните модули CdTe

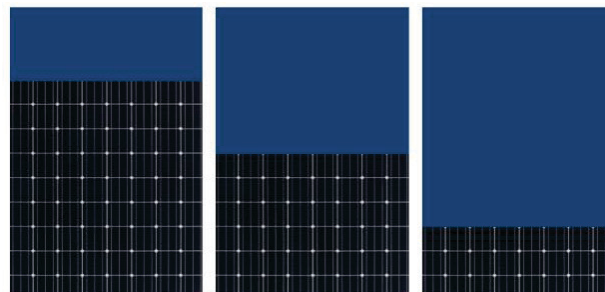
модел CdTe: CX4 10/3 100Wp на производителя Caluxo, Германия. Температурните коефициенти при STC са Alpha (I_{sc}) = $0.03\%/^\circ\text{C}$ и Beta (V_{oc}) = $-0.21\%/^\circ\text{C}$. Тези каталожни данни се задават в инструмента за измерване I-V500W преди започване на измерванията.



Фиг. 7. Опитна установка с фотоволтаичен панел с покритие от тънък слой кадмиев телурид

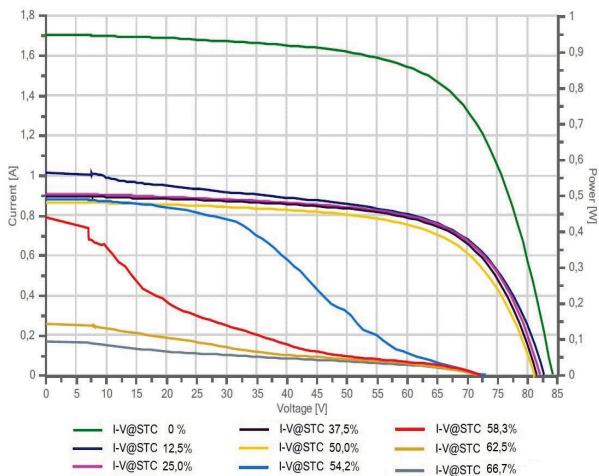
Извършени са измервания при различно хоризонтално и вертикално засенчване на фотоволтаичен панел, който е с размери $120 \times 60 \text{ cm}$. Измерванията са извършени съответно при следните стойности на засенчване от панела:

Хоризонтално засенчване (Фиг.8): 15cm (12,5%), 30 cm (25%), 45 cm (37,5%), 60 cm (50%), 65 cm (54,2%), 70 cm (58,3%), 75 cm (62,5%), 80 cm (66,7%). 105 cm - След тази стойност се достига токовата граница на възможност за отчитане – current Lim.

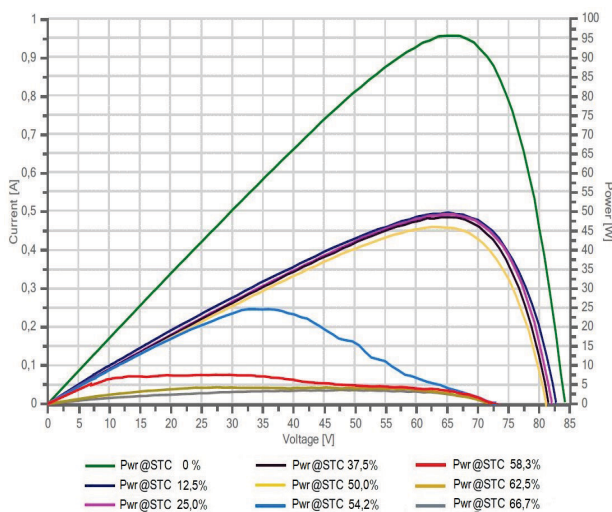


Фиг. 8. Хоризонтално засенчване

Получените I-V и мощностни характеристики на хоризонтално засенчвания панел от тънък слой CdTe са показани съответно на Фиг. 10 и Фиг. 11.

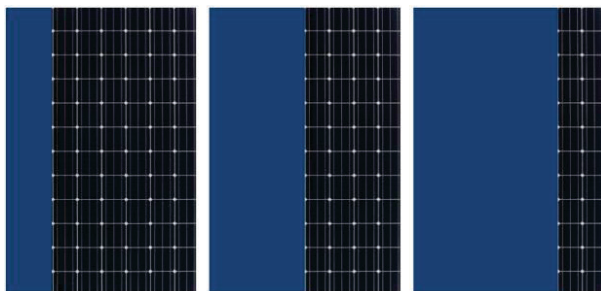


Фиг. 10. I-V характеристика на хоризонтално засенчен панел от тънък слой CdTe



Фиг. 11. Мощностна характеристика на хоризонтално засенчен панел от тънък слой CdTe

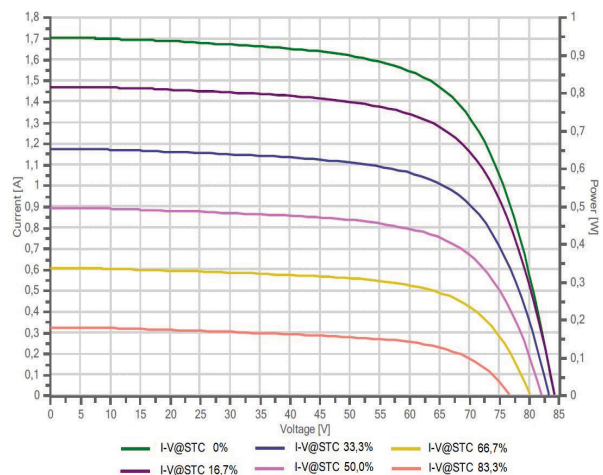
Вертикално засенчване (Фиг. 9): 10 см (16,7%), 20 см (33,3%), 30 см (50%), 40 см (66,7%), 50 см (83,3%), 60 см – пълно засенчване.



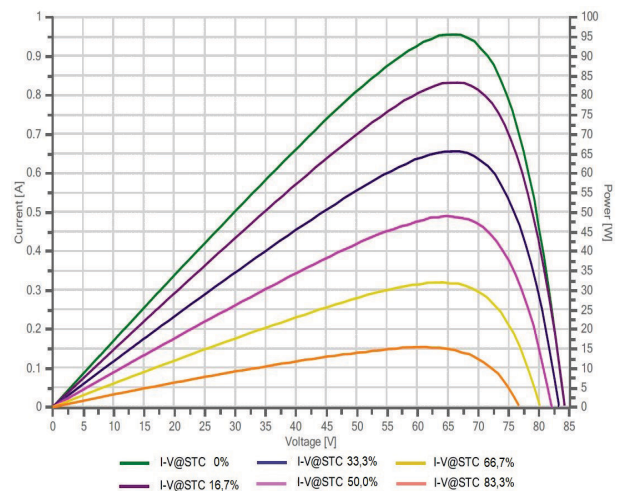
Фиг. 9. Вертикално засенчване

Получените I-V и мощностни характеристики на вертикално засенчения панел от

тънък слой CdTe са показани съответно на Фиг. 12 и Фиг. 13.



Фиг. 12. I-V характеристика на вертикално засенчен панел от тънък слой CdTe



Фиг. 13. Мощностна характеристика на вертикално засенчен панел от тънък слой CdTe

Резултатите от измерванията за тествания панел с тънък слой CdTe са показани в Таблица 2 и Таблица 3, където:

- Толеранс - толеранса на P_{max} спрямо предоставения от производителя на модула;
- P_{max} - максимална номинална мощност на модула;
- V_{oc} - напрежение на отворена верига;
- V_{mpp} - напрежение на точката на максимална мощност;
- I_{mpp} - ток на точката на максимална мощност;
- I_{sc} - ток на късо съединение;
- FF - коефициент на запълване.

Таблица 2. Хоризонтално засенчване

| Засенчване % | Толеранс [%] | Pmax [W] | Voc [V] | Vmpp [V] | Impp [A] | Isc [A] | FF [%] |
|---------------------|--------------|----------|---------|----------|----------|---------|--------|
| CdTe - 0 % | - 4.65% | 95.35 | 84.23 | 64.77 | 1.47 | 1.70 | 67.00 |
| CdTe - 12.5 | -50.66% | 49.34 | 82.81 | 65.18 | 0.76 | 1.01 | 59.00 |
| CdTe - 25.0 | -51.04% | 48.96 | 82.15 | 64.67 | 0.76 | 0.90 | 66.00 |
| CdTe - 37.5 | -51.04% | 48.31 | 81.59 | 64.16 | 0.75 | 0.89 | 66.00 |
| CdTe - 50.0 | -54.11% | 45.89 | 81.18 | 62.52 | 0.73 | 0.86 | 66.00 |
| CdTe - 54.2 | -75.49% | 24.51 | 72.97 | 33.76 | 0.73 | 0.88 | 38.00 |
| CdTe - 58.3 | -92.50% | 7.50 | 72.20 | 29.63 | 0.25 | 0.74 | 31.00 |
| CdTe - 62.5 | -95.75% | 4.25 | 71.63 | 27.60 | 0.15 | 0.25 | 24.00 |
| CdTe - 66.7 | -96.42% | 3.58 | 72.20 | 47.75 | 0.08 | 0.16 | 14.00 |
| Номинални стойности | ±10% | 100.00 | 92.10 | 72.60 | 1.38 | 1.53 | 71.00 |

Таблица 3. Вертикално засенчване

| Засенчване % | Толеранс [%] | Pmax [W] | Voc [V] | Vmpp [V] | Impp [A] | Isc [A] | FF [%] |
|---------------------|--------------|----------|---------|----------|----------|---------|--------|
| CdTe - 0 % | - 4.65% | 95.35 | 84.23 | 64.77 | 1.47 | 1.70 | 67.00 |
| CdTe -16.7% | -16.94% | 83.06 | 84.22 | 67.74 | 1.23 | 1.46 | 67.00 |
| CdTe -33.3% | -34.57% | 65.43 | 83.33 | 65.76 | 1.00 | 1.17 | 67.00 |
| CdTe -50.0% | -51.27% | 48.73 | 82.05 | 64.71 | 0.75 | 0.89 | 67.00 |
| CdTe -66.7% | -68.15% | 31.85 | 80.17 | 64.21 | 0.50 | 0.60 | 66.00 |
| CdTe -83.3% | -84.73% | 15.27 | 76.72 | 61.33 | 0.25 | 0.32 | 62.00 |
| Номинални стойности | ±10% | 100.00 | 92.10 | 72.60 | 1.38 | 1.53 | 71.00 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фиг. 10 показва, че дори при минимално хоризонтално засенчване в диапазона от 12,5% - 50%, I-V характеристиката се изменя значително и максималната мощност - Pmax спада наполовина. При по-нататъшно увеличаване на засенчването над 50%, се наблюдава рязко нарушаване на формата на графиката и възможността за производство на електрическа енергия от фотоволтаичния панел. В мощностните характеристики

на Фиг. 11 се вижда изменението в положението на точката на максимална мощност при увеличаване на хоризонталното засенчване над 50%. Ефектът при вертикално засенчване на фотоволтаичен модул с тънък слой CdTe може да се види на Фиг. 12, Фиг. 13 и Таблица 3. Анализът показва, че вертикалното засенчване оказва по-малко негативно влияние върху ефективността на фотоволтаичния панел спрямо хоризонталното. При вертикалното засенчване се наблюдава равномерно изменение в I-V и P-V характеристиките. Разликата в получените резултати при хоризонтално и вертикално засенчване се дължи на структурата при свързване на отделните фотоволтаични клетки в изследвания панел с тънък слой от кадмиев телурид.

REFERENCE

- [1] <https://www.infolink-group.com/en/solar/analysis-trends/Global-PV-demand-set-to-hit-143-7-G>
- [2] <https://greentech.bg/archives/80783>
- [3] <https://bg.dsisolar.com/info/shading-effect-on-output-of-solar-pv-system-50730909.html>
- [4] <https://www.ht-instruments.com/en/products/photovoltaic-testers/i-v-curve-tracers/i-v500w>
- [5] Aramesh, M.; Kasaeian, A.; Pourfayaz, F. A detailed investigation of the walls shading effect on the performance of solar ponds. Environ. Prog. Sustain. Energy 2018, 38, e13014. [CrossRef]
- [6] Teo, J.; Tan, R.; Mok, V.; Ramachandaramurthy, V.K.; Tan, C. Impact of partial shading on the PV characteristics and the maximum power of a photovoltaic string. Energies 2018, 11, 1860. [CrossRef]