

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

В. І. Кривда, О. О. Василенко, М. О. Федорова

Одеський національний політехнічний університет

Анотація. Виконано моделювання сонячної панелі в середовищі Matlab / Simulink. Доведено адекватність отриманої моделі шляхом порівняння отриманих результатів моделювання з заявленими технічними характеристиками заводу-виробника. Відхилення дослідних електричних характеристик не перевищує 1%. Проведено аналіз впливу перепадів температури, зміни навантаження і різного впливу сонячного випромінювання на досліджувану модель сонячної панелі потужністю 270 Вт.

Ключові слова: модель, моделювання, сонячна панель, сонячна батарея, освітленість, навантаження, характеристики.

Вступ

Згідно з енергетичною стратегією України, що діє до 2030 року [1], альтернативні джерела енергії займають важливе місце в економіці країни, скорочуючи при цьому забруднення навколишнього середовища, сприяють підвищенню енергоефективності та енергозбереженню. Сонячна енергія має невичерпні переваги, порівняно з іншими джерелами невідновлюваної енергії, і в перспективі здатна замінити викопне паливо. Конкурентоспроможна ціна на сонячну енергетику дозволить забезпечити масштабне застосування альтернативних джерел енергії в повсякденному житті людини та задовольняти різноманітні потреби суспільства. Це в свою чергу дозволить країні стати на шлях сталого розвитку енергетичної незалежності.

Крім того, збільшення ефективності сонячних батарей, за рахунок технологічного прогресу і розвитку сучасних технологій, дає можливість перетворювати значно більше сонячного світла в електричну енергію. Це дозволить збільшити ККД сонячних батарей і знизити собівартість панелей.

Найбільш ефективне використання фотоелектричних елементів можливо, якщо передана потужність при зміні умов навколишнього середовища буде максимальною. Математичне моделювання сонячних елементів і сонячних батарей дозволяє встановити характер цих змін і отримати їх характеристики.

Аналіз світових робіт підтверджує інтерес суспільства до проблеми енергозощадження, енергоефективності та пошуку науковими дослідниками шляхів вирішення питання підвищення ефективності сонячних батарей [2,3]. Значна кі-

лькість дослідників використовує програмне середовище Matlab / Simulink для побудови моделі сонячної панелі [2-6]. В даному дослідженні математичне моделювання сонячних модулів також здійснюється за допомогою цієї прикладної програми. Це дозволяє швидко отримати результати, проаналізувати отримані показники та графіки, зручно візуалізувати та експортувати дані для подальших досліджень.

1. Актуальність дослідження

Перетворення сонячної енергії в електрику є одним з найбільш перспективних напрямків відновлюваної енергетики і весь час активно розвивається. Сонячна енергія широко доступна, володіє практично безмежними ресурсами. Ціни на альтернативну енергію з роками знижуються, а на традиційну щороку зростають. І хоча альтернативним джерелам енергії притаманна мінливість, залежність від погодних умов і часу доби, але з іншого боку – низька собівартість виробництва енергії в осяжному майбутньому є безумовною перевагою і робить дослідження характеристик сонячних батарей сьогодні актуальними.

2. Мета та задачі дослідження

Мета – створення моделі сонячної електричної батареї для дослідження електричних характеристик і вивчення впливу сонячних потоків в регіоні.

Для побудови моделі необхідно було вирішити такі завдання:

- розробити оптимальний алгоритм моделювання сонячних батарей;
- побудувати модель сонячної батареї в середовищі Simulink / Matlab;
- провести математичне моделювання на основі реальних умов оточуючого середовища;

– передбачити можливість моделювання вольт-амперної характеристик (ВАХ) сонячних батарей;

– проаналізувати отримані дані та порівняти з реальними характеристиками сонячних панелей від заводу-виробника.

3. Об'єкт дослідження

Об'єктом досліджень вибрана модель сонячної батареї типу MAYSUN SOLAR 270 Вт [7], що складається з 60 кремнієвих елементів.

4. Модель сонячної панелі

На першому етапі моделювання були вибрані джерела сигналу, генератори імпульсів, задані параметри сонячного модулю та їх кількість. Врахована можливість корегування кількості елементів та їх потужності. Важливим елементом є візуалізація отриманих результатів, тому обов'язково передбачено модуль Scope, в якому відбувається побудова основним електричних характеристик – струму (I , А), потужності (P , Вт) та напруги (V , В). Математична модель сонячної панелі, розроблена в середовищі Simulink Matlab представлена на рис.1., а зовнішній вигляд підсистеми Subsystem моделі на рис.2.

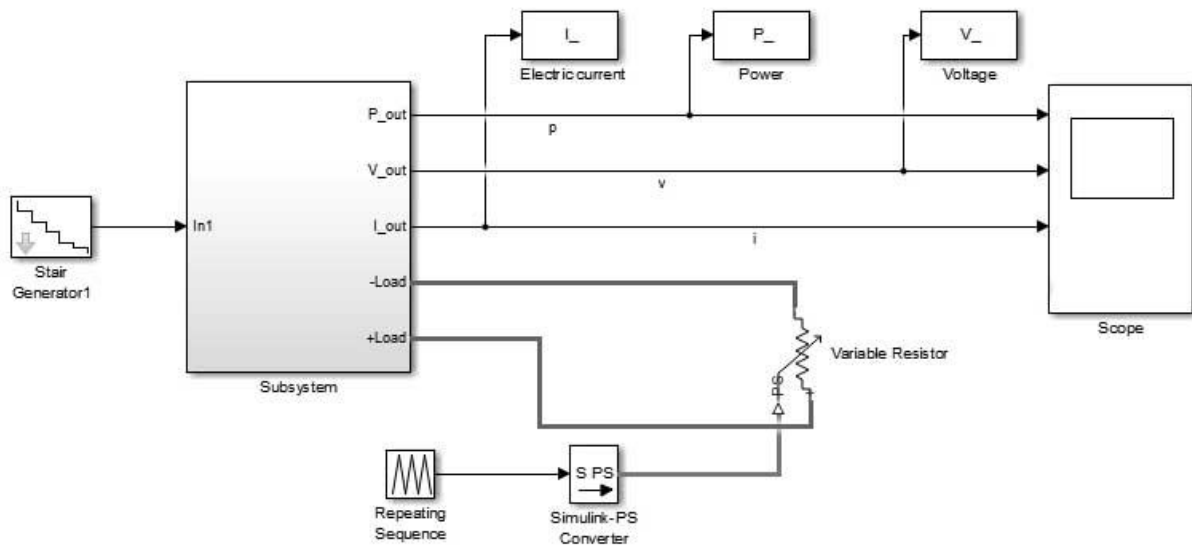


Рис. 1. Модель сонячної панелі в середовищі Simulink Matlab

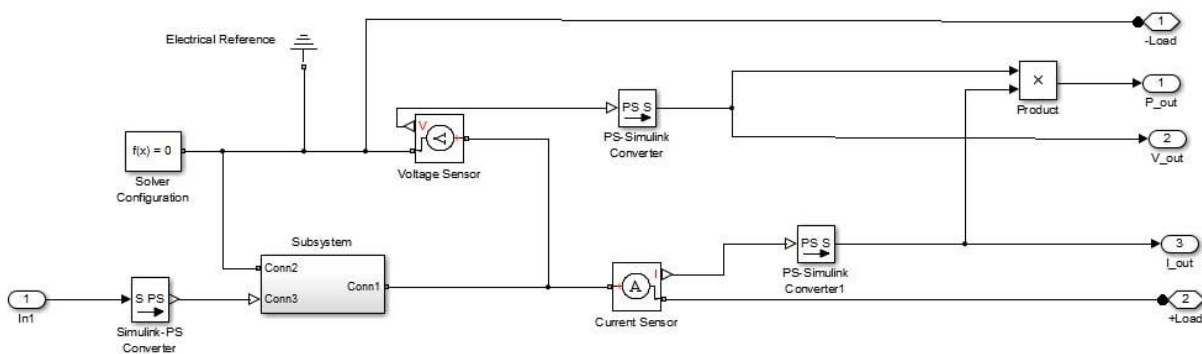


Рис. 2. Підсистема моделі сонячної панелі в середовищі Simulink Matlab

4.1. Визначення основних параметрів математичної моделі

Основним електричним параметром такої системи є вихідний струм сонячного елемента. Для визначення його величини в першу чергу

необхідно знати струм насичення, щільність випромінювання, робочу напругу та кількість діодів, що використовуються в конкретній електричній сонячній панелі.

Робоча напруга приймається за заданими параметрами вихідної системи.

Вихідний струм сонячного елемента визначається за формулою:

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{U+IR_s}{NVt}} - 1 \right) - I_s \left(e^{\frac{U+IR_s}{NVt}} - 1 \right) - \frac{U + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

де I_{ph} – фотострум, що залежить від щільності випромінювання, А;

I_s – струм насичення, А;

R_s – послідовний опір, Ом;

V_t – температурний коефіцієнт, % / К;

U – робоча напруга, В;

R_p – шунтуючий опір, Ом;

N – кількість діодів.

4.2. Результати моделювання

Тестування розробленої математичної моделі проводилося для MAYSUN SOLAR 270 Вт. Моделювання виконувалося при опорі $R_s = 3,57$ Ом. Результати перевірки моделі на достовірність при номінальних параметрах показано в табл. 1.

Таблиця 1

Відповідність результатів моделювання технічним характеристикам сонячної панелі потужністю 270 кВт

Параметри	Результат моделювання	Номінальне значення	Відхилення, %
I, А	8,73	8,7	0,34
U, В	31,2	31,08	0,39
P, Вт	272,3	270	0,88

Тобто, максимальне відхилення основних електричних характеристик знаходиться в нормативних межах і не перевищує 1%.

Після перевірки адекватності математичної моделі було проведено дослідження зміни характеристик сонячної панелі для таких випадків:

– зміна інтенсивності сонячного випромінювання при постійній робочій температурі 25°C;

– зміна робочої температури для заданих значеннях інтенсивності сонячного випромінювання;

– вплив зміни навантаження на електричні характеристики сонячної панелі.

Результатом дослідження зміни інтенсивності сонячного випромінювання при постійній робочій температурі 25°C стало сімейство ВАХ

сонячної панелі 270 Вт при рівнях освітлення γ – 100, 200, 400, 600, 800, Вт/м² відповідно (рис.2).

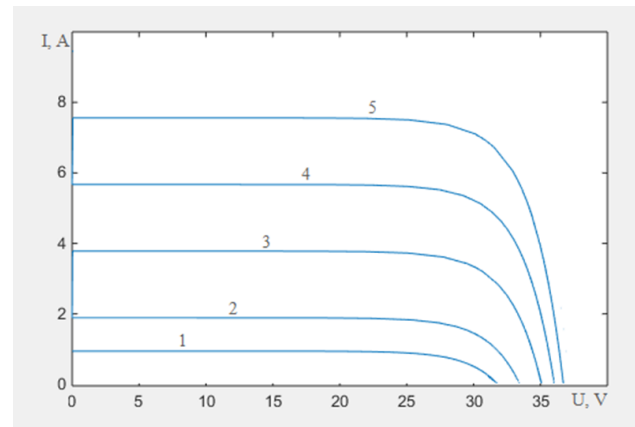


Рис. 2. Сімейство ВАХ сонячної панелі при освітленості: 1 – 100 Вт/м²; 2 – 200 Вт/м²; 3 – 400 Вт/м²; 4 – 600 Вт/м²; 5 – 800 Вт/м².

Отримане шляхом моделювання сімейство ВАХ відповідає типовим ВАХ для MAYSUN SOLAR 270 Вт [7].

Визначення характеристик сонячної батареї в діапазоні зміни температур від -20°C до 60°C, дало ряд залежностей. Значення деяких з цих вимірів наведено в таблиці 2. Зняті значення струму і напруги визначають максимальну потужність сонячної панелі при даній освітленості.

Таблиця 2

Характеристики сонячного модуля при зміні температури

При температурі 5°C						
γ , Вт/м ²	1000	800	600	400	200	100
I, А	8,6	6,5	4,9	3,2	1,4	0,5
U, В	34,8	35	34,8	34,7	34,1	33,2
P _{max} , Вт	299,3	267,8	170,5	111,04	47,74	16,6
При температурі -20°C						
γ , Вт/м ²	1000	800	600	400	200	100
I, А	8,7	6,8	5	3	1,4	0,5
U, В	37,5	37,5	37,4	37,6	37,1	37
P _{max} , Вт	326,3	255	187	112,2	51,94	18,5
При температурі 25°C						
γ , Вт/м ²	1000	800	600	400	200	100
I, А	8,5	6,7	4,9	3,2	1,3	0,5
U, В	31,7	31,3	31,2	30,9	30,7	30,5
P _{max} , Вт	269,4	209	152,88	97,9	39,9	15,3

При зменшенні температури на 20°C від номінального, струм практично не змінюється, а напруга і потужність зростають на 11%. У зоні негативних температур (при -20°C), струм збі-

льшується не більше ніж на 2%, напруга збільшується на 20%, а потужність на 22%.

Графічна інтерпретація залежності струму від освітленості при різних значеннях температури наведена на рис. 3.

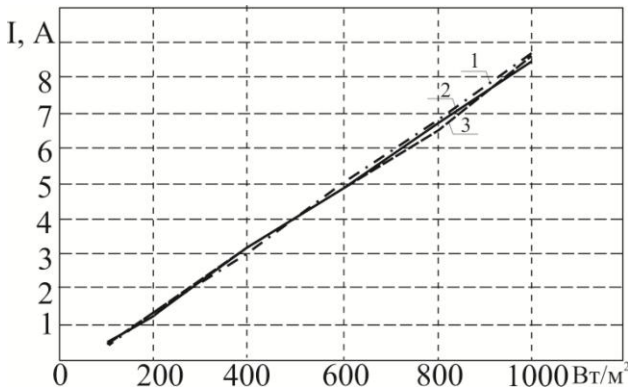


Рис.3. Залежність струму сонячної панелі потужністю 270 кВт від освітленості при таких значеннях температури: 1 – 5°C; 2 – 25°C; 3 – -20°C

Дана залежність виявила стабільність значень струму при різних рівнях освітленості та зміні температури оточуючого середовища. Відхилення значень не перевищують 5 % навіть при освітленості близько 1000 Вт/м².

Залежність напруги від освітленості при різних значеннях температури наведена на рис. 4.

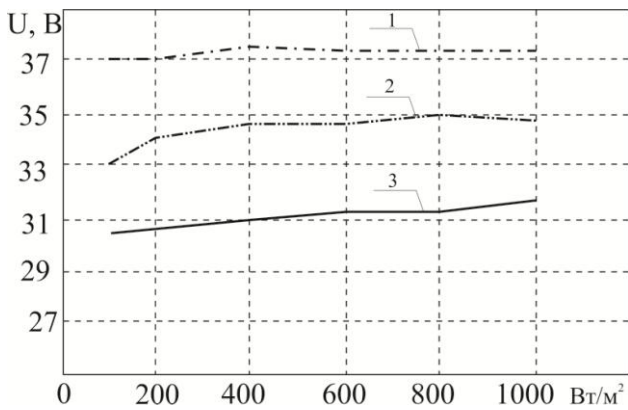


Рис.4. Залежність напруги сонячної панелі потужністю 270 кВт від освітленості при таких значеннях температури: 1 – -20°C; 2 – 5°C; 3 – 25°C

У перспективі подальших досліджень планується приділити окрему увагу вивченню характеристик в зоні високих температур.

Графічне представлення залежності максимальної потужності від рівня освітленості при різних значеннях температури наведена на рис. 5.

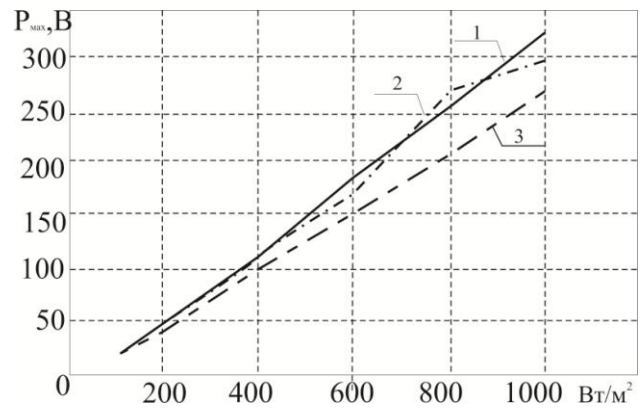


Рис.5. Залежність максимальної потужності сонячної панелі потужністю 270 кВт від освітленості при таких значеннях температури: 1 – -20°C; 2 – 5°C; 3 – 25°C

Вплив навантаження на електричні параметри сонячного модуля знайшло відображення в таблиці 3. Дослідження проводилися при робочій температурі 25°C.

Таблиця 3

Електричні параметри при зміні навантаження

При R=1500 Ом					
γ , Вт/м ²	800	600	400	200	100
I, А	6,8	4,9	3,1	1,2	0,4
U, В	32	31,8	31,6	31,2	31
P_{max} , Вт	217,6	155,8	97,9	37,4	12,4
При R=100 Ом					
γ , Вт/м ²	800	600	400	200	100
I, А	6,9	5	3,2	1,4	0,6
U, В	31,8	31,3	31,5	31,2	30,3
P_{max} , Вт	219,4	156,5	100,8	43,7	18,2

Аналіз отриманих результатів показав, що при зміні навантаження, а саме при збільшенні опору, струм зменшується не більше ніж на 10%, напруга, при цьому, незначно зростає (не більше ніж на 5%). На рис. 6 видно перехідні процеси в пікових точках зміни навантаження. У початковий момент часу потужність, струм і напруга близькі до номінальних значень (270 кВт; 9,45 А; 38 В відповідно).

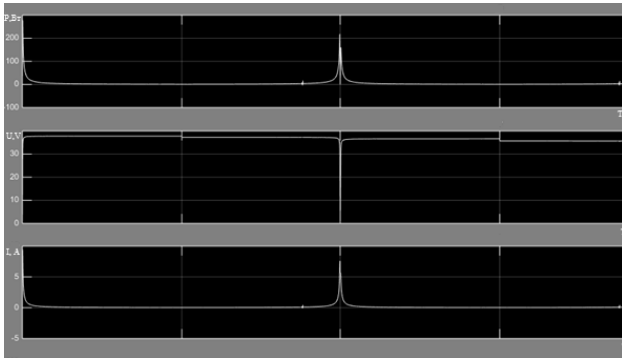


Рис. 6. Результат блоку Scope при моделюванні сонячної панелі

Висновки

В ході створення і тестування моделі сонячної батареї був проведений аналіз результатів моделювання, який показав, що характеристики сонячної батареї відповідають наявним теоретичним даними [7] і результатами інших дослідників [8-11]. Для наявних експериментальних значень була проведена оцінка точності моделі сонячної панелі. Очікувана точність моделі з урахуванням похибки вимірювання вхідних даних моделювання не перевищує 10%.

У роботі показана корисність і доцільність моделювання сонячних батарей для підвищення ефективності їх застосування.

Подальший розвиток моделі сонячної батареї, полягає у створенні бази даних інших типів сонячних батарей, а також включенні опису кількості сонячного випромінювання, що припадає на ту чи іншу територію в залежності від сезону і часу доби, що дозволить швидко аналізувати ефективність застосування конкретних видів сонячних моделей, будувати ВАХ та знаходити оптимальний варіант для вирішення поставленої задачі. Крім того, передбачається розгляд можливих перехідних процесів при зміні навантаження і зняття навантажувальних характеристик.

Список використаної літератури

1. Законодавство України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>
2. Seifi, M., Che Soh, A.Bt., Izzrib, Abd. Wahab N., Khair, B. Hassan M.. A Comparative Study of PV Models in Matlab/Simulink [Electrical resours] // International Scholarly and Scientific Research & Innovation. № 7(2). 2013. – pp. 97-102.
3. Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., Masmoundi A.. MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell [Electrical resours]// International Journal of Renewable energy research. № 2.2012.– pp. 213-218.

4. Трещ, А. М. Моделирование солнечных батарей в среде MATLAB/SIMULINK // «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» [Электронный ресурс] : Международная научно-техническая интернет-конференция, Минск, 16-17 ноября 2013 г. / Белорусский национальный технический университет, Международный институт дистанционного образования. – Минск, 2013. – Режим доступа : <http://www.bntu.by/news/39-conference/951-mntk-mido-16-17.html>.

5. Patil Sahebrao, N., R. C. Prasad. Design and simulation of MPPT algorithm for solar energy system using Simulink model [Electrical resours]// International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences, Vol. 02, Issue 01, Jan 2014 – pp.37-40.

6. Мигунов, Я. Н. Моделирование солнечного элемента в графической среде Simulink. [Электронный ресурс]:Электронный журнал Молодежный научно-технический вестник. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/791154.html>.

7. Энергетическая альтернатива [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alt-energy.in.ua/wp-content/uploads/2017/06/Maysun-Solarполи.pdf>

8. Шевчук, В. І. Перспективи використання сонячних елементів для комбінованих фотоелектричних модулів / Відновлювана енергетика, м. Київ. 2016. № 4, с 47-55

9. Frolkova, N. O., Frolkov, O. A. Modeling different types of PV modules // 13th International Conference on Elektromechanics, Elektrotechnology, Electromaterials and Components. ICEEE–2010. P.152

10.Andreas, Fell, Jonas, Schön, Martin, C.Schuberta Stefan W.Glunz The concept of skins for silicon solar cell modeling [Electrical resours] // Solar Energy Materials and Solar Cells - Volume 173, December 2017, Pages 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.012>

11.Dietmar, Knippab, Vladislav, Jovanova, Asman, Tamanga, Veit, Wagnera, Alberto Salleob Towards 3D organic solar cells [Electrical resours] // Nano Energy - Volume 31, January 2017, Pages 582-589 <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.11.059>

References

1. Legislation of Ukraine [Zakonodavstvo Ukraini]. available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>
2. Seifi, M., Che Soh, A.Bt., Izzrib, Abd, Wahab N., Khair B. Hassan M. A (2013) Comparative Study of PV Models in Matlab/Simulink, Interna-

tional Scholarly and Scientific Research & Innovation, issue 7, vol. 2, pp. 97-102.

3. Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., Masmoundi A. (2012) MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell, International Journal of Renewable energy research, issue 2, pp. 213-218.

4. Treshh, A. M. (2013) Simulation of solar cells in the MATLAB/SIMULINK environment [Modelirovanie solnechnyh batarej v srede MATLAB/SIMULINK] in «Informacionnye tehnologii v obrazovanii, nauke i proizvodstve» [«Information technologies in education, science and production»] Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja internet-konferencija, Minsk, available at: <http://www.bntu.by/news/39-conference/951-mntk-mido-16-17.html>.

5. Patil, Sahebrao N., R. C. Prasad (2014) Design and simulation of MPPT algorithm for solar energy system using Simulink model, International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences, Vol. 02, Issue 01, Jan, pp.37-40.

6. Migunov, Ja. N. (2015) Modeling a solar cell in a Simulink graphical environment [Modelirovanie solnechnogo jelementa v graficheskoy srede Simulink], - Molodezhnyj nauchno-tehnicheskij vestnik, available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/791154.html>

7. Energy alternative [Jenergeticheskaja al'ternativa] available at: <https://alt-energy.in.ua/wp-content/uploads/2017/06/Maysun-Solarполи.pdf>

8. Shevchuk, V.I. (2016) Prospects for the use of solar cells for combined photovoltaic modules [Perspektivi vikoristannja sonjachnih ele-mentiv dlja kombinovanih fotoelektrichnih moduliv] / Renewable energy, Kiev. № 4, pp. 47-55

9. Frolkova, N.O., Frolkov, O.A. (2010) Modeling different types of PV modules, 13th International Conference on Elektromechanics, Elektrotechnology, Electromaterials and Components. ICEEE, P.152

10. Andreas, Fell, Jonas, Schön, Martin, C.Schuberta Stefan W.Glunz (2017) The concept of skins for silicon solar cell modeling , Solar Energy Materials and Solar Cells - Volume 173, December, Pages 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.012>

11. Dietmar, Knippab, Vladislav, Jovanova, Asman, Tamanga, Veit, Wagnera, Alberto, Salleob (2017) Towards 3D organic solar cells, Nano Energy - Volume 31, January 2017, Pages 582-589 <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.11.059>

MODELLING OF ELECTRIC CHARACTERISTICS OF THE SOLAR PANEL

V. I. Kryvda, O. O. Vasylenko, M. O. Fedorova

Odessa National Polytechnic University

Abstract. *The most effective use of photovoltaic cells will be if the transmit power at the change in ambient conditions will be maximal. Mathematical modeling of solar banks allows us to determine the nature of these changes and to obtain such characteristics. Solar panel simulation in Matlab / Simulink environment was performed. The adequacy of the developed model is proved. This is done by comparing the results of modeling with the declared technical characteristics of the plant manufacturer. The deviation of the calculated electrical characteristics does not exceed 1%. The characteristics of the solar battery correspond to the available real data. The possibility of constructing the volt-ampere characteristics of solar cells is provided. An analysis of the influence of temperature changes, changes in the load and the various influence of solar radiation on the model of the solar panel with a power of 270 kW is carried out. When the resistance is increased, the current decreases by no more than 10%, and the voltage increases with no more than 5%. The stability of the current dependence on the illumination when changing the illumination at different temperatures is revealed. The temperature range studied was -20 ° C to 25 ° C. The accuracy of the model, taking into account the error of measuring the input data modeling does not exceed 10%.*

Keywords: *Model, Modeling, Solar Panel, Solar Battery, Lighting, Load, Characteristics.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

В. И. Крывда, О. О. Василенко, М. А. Фёдорова

Одесский национальный политехнический университет

Аннотація. *Выполнено моделирование солнечной панели в среде Matlab / Simulink. Доказана адекватность разработанной модели путем сравнения полученных результатов моделирования с заявленными техническими характеристиками завода-производителя. Отклонение исследовательских электрических характеристик не превышает 1%. Проведен анализ влияния изменения температуры, изменения нагрузки и различного влияния солнечного излучения на исследуемую модель солнечной панели мощностью 270 кВт.*

Ключевые слова: *модель, моделирование, солнечная панель, солнечная батарея, освещенность, нагрузка, характеристика.*

Отримано 11.12.2017



Кривда Вікторія Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: kryvda_v_i@ua.fm, тел. +38-048-705-85-48

Kryvda Victoria, PhD. of Science, Assistant Professor, Assistant professor of the Department of electrical and energy management, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-6647-1049



Василенко Оксана Олегівна, студентка кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: oksi.sana2016@yandex.ru, тел. +38-048-705-85-48

Vasilenko Oksana, student of the Department of electrical and energy management, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-2918-976X



Федорова Марина Олександрівна, студентка кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: fedorovama28@gmail.com, тел. +38-048-705-85-48

Fedorova Maryna, student of the Department of electrical and energy management, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-1071-2549