

A NEW MODELING APPROACH TO SINGLE-DIODE MODEL OF SOLAR PANELS USING MULTISIM SOFTWARE

A.T. Simonyan

National Polytechnic University of Armenia

There are many variations of the solar panel model, but the one with one diode and two (parallel and series) resistors is the most exploited model for PV panel investigation. In this scheme, the diode represents a semiconductor material of the solar cell and the series resistance represents the energy dissipated in the form of heat in the electric circuit. The doping of the semiconductors is not perfect, and hence there are defects in the solar panel. These defects can cause alternative paths (shunt), so this effect is presented as a shunt resistance in the circuit model.

Calculations for the solar panel model with one diode and two resistors were mainly carried out with MATLAB or other similar mathematical programs. Thus, these works are based on complex mathematical calculations. The proposed new modeling approach in this work is simpler from the implementation point of view, and also provides an equivalent accuracy.

In this work, a simulation of a solar panel model with one diode and two resistors is performed in the MULTISIM environment, taking as a basis the data of the BP MSX 120 datasheet. As a result of simulations, we have obtained the volt-ampere characteristics of the solar module of the mentioned model for temperatures of 0°C, 25°C, 50°C, 75°C.

We have compared the results with the results of the mathematical modeling and showed the viability of the proposed new modeling approach for PV panel exploration. Furthermore, we have compared the simulation data with measurement results and showed the temperature dependance of root-mean-square deviations of these data.

Keywords: solar panel modelling, PV cell, testing system, solar energy, physical losses in solar panels.

Introduction. As an ideal model of a solar panel, a single-diode circuit is presented, where the diode is the result of the semiconductor material of the solar cell [1, 2]. The equivalent scheme of an ideal solar cell is shown in Fig. 1.

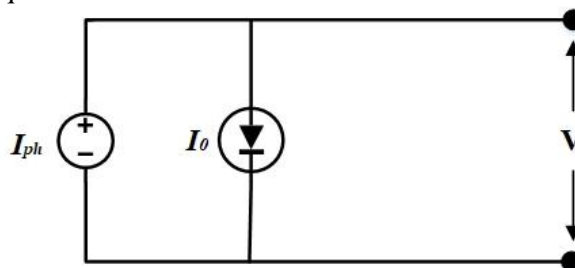


Fig. 1. The model of ideal solar panel

However, in the case of an ideal model, the possible physical losses are not taken into account, as a result of which it is not possible to determine the operation of the solar panel in real conditions and obtain the corresponding characteristics.

Another well-known model for characterizing the solar panel performance is the physical loss mechanism with one diode and two resistors [3-5].

In Fig.2, the series resistance R_s represents the energy dissipated in the form of heat in the electric circuit. As in any electrical circuit, in solar cells, the conversion of electricity is not perfect: some of the electrical energy is converted into heat, causing thermal losses. We can include these losses in our circuit model as a resistance in series with the load [2].

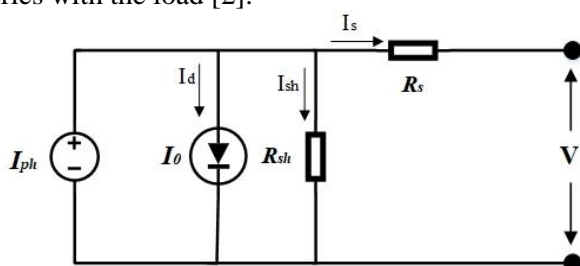


Fig. 2. The physical loss model of a solar panel with one diode and two resistors

The doping of semiconductors into p-type or n-type is never quite perfect, and inevitably there are defects in each solar cell. These defects can provide alternate paths that electrons can travel through instead of our desired load. When the current takes a shortcut to the end instead of going through the desired wire, this is called a short circuit. Another word for short-circuit is a shunt, so this effect is often presented as a shunt resistance R_{sh} in the circuit model [2].

The experimental data presented in the solar panel documentation is not enough to build the actual characteristics of the panel, because the presented data corresponds to the standard test conditions (STC) [3]. The latter represents the characteristics of the solar panel under ideal testing conditions. Therefore, it is not advisable to accept these conditions as a basis for obtaining the actual characteristics of the device.

The system. In article [4], the single-diode model was implemented using the MATLAB package, based solely on the data from the BP MSX 120 datasheet. As an outcome of accurate approximations of the equations, the obtained results in the article are very close to the datasheet temperature dependence characterizing curves.

The general current-voltage characteristic of a PV panel based on the single exponential model is [6-9]:

$$i = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{v+iR_s}{n_s V_t}} - 1 \right) - \frac{v+iR_s}{R_{sh}}. \quad (1)$$

In the above equation, V_t is the junction thermal voltage:

$$V_t = \frac{AkT_{STC}}{q} \quad (2)$$

The formulas with temperature dependences, with which the values of the starting parameters for modeling are calculated, are given below:

$$V_{oc}(T) = V_{oc} + k_v(T - T_{STC}), \quad (3)$$

$$I_{sc}(T) = I_{sc} \left(1 + \frac{k_i}{100}(T - T_{STC}) \right), \quad (4)$$

where V_{oc} is the open-circuit voltage and I_{sc} is the short-circuit current.

The dark saturation current I_0 temperature dependence equation is:

$$I_0(T) = \left(I_{sc}(T) - \frac{V_{oc}(T) - I_{sc}(T)R_s}{R_{sh}} \right) e^{-\frac{V_{oc}(T)}{n_s V_t}} \quad (5)$$

The temperature dependence equation of the photocurrent is:

$$I_{ph}(T) = I_0(T) e^{\frac{V_{oc}(T)}{n_s V_t}} + \frac{V_{oc}(T)}{R_{sh}}, \quad (6)$$

where A is the diode quality (ideality) factor, k - the Boltzmann's constant, q - the charge of the electron, n_s - the number of cells in the panel connected in series, k_i - the temperature coefficient of I_{sc} , k_v - the temperature coefficient of V_{oc} .

In this work, we propose a method through which we obtain adequate data in a simpler way: using NI MULTISIM package.

The model and simulation. In the MULTISIM environment, we built a model circuit with a single diode. Using the data given in the article [4], we set the values of the resistances R_s and R_{sh} (Fig.3).

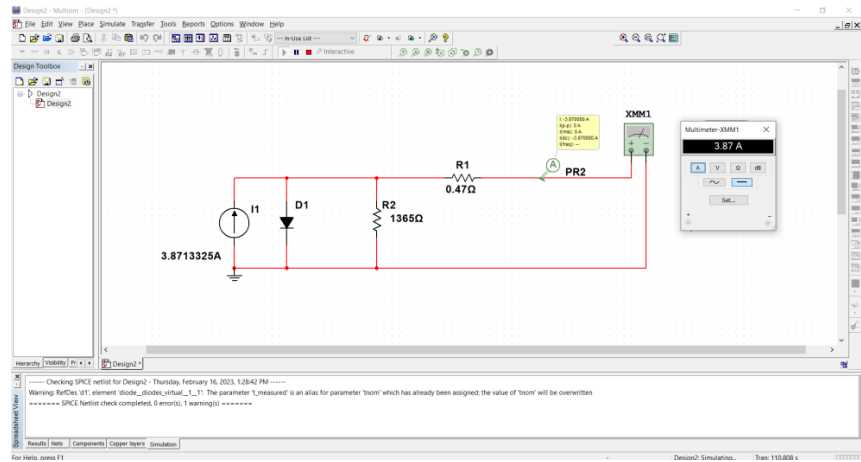


Fig. 3. The schematic representation of the one-diode model (in STC conditions) of PV cell in MULTISIM environment

From the components menu we selected DIODES_VIRTUAL -> DIODE. Then we adjusted the VIRTUAL DIODE parameters for the set temperature (Fig. 4).

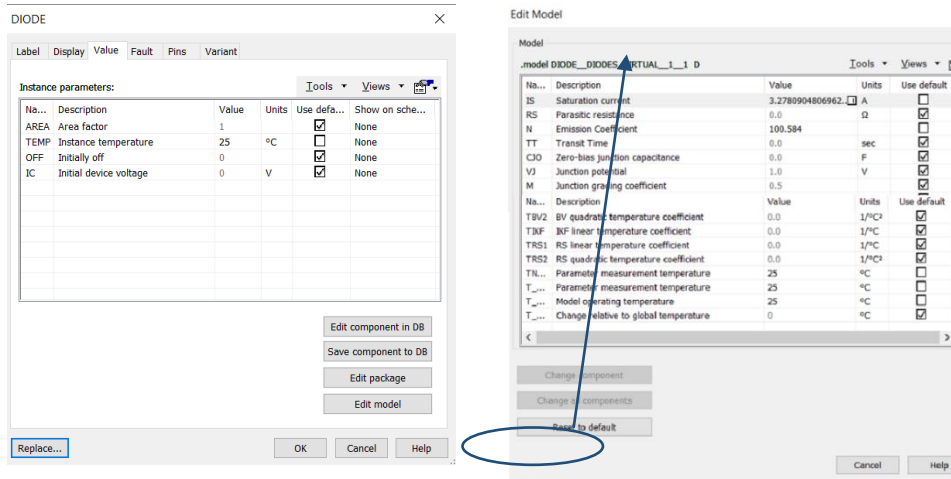


Fig. 4. Virtual Diode settings menu in MULTISIM environment for 25⁰C condition

Instance temperature, TNOM-Parameter measurement temperature, T_MEASURED-Parameter measurement temperature, T_ABS-Model measurement temperature parameters are set to 25⁰C condition, IS -Saturation current, the value of the saturation current according to the corresponding temperature are set. The value of the N- Emission Coefficient parameter was determined by extraction from Eq. (1) and Eq. (2) the product of the number of cells in the panel connected in series n_s and the diode quality factor A:

$$N = A \cdot n_s . \quad (7)$$

We have carried out “Parameter sweep” simulation and obtained I-V characteristic curves for different temperatures (0⁰C, 25⁰C, 50⁰C, 75⁰C) (Fig. 5).

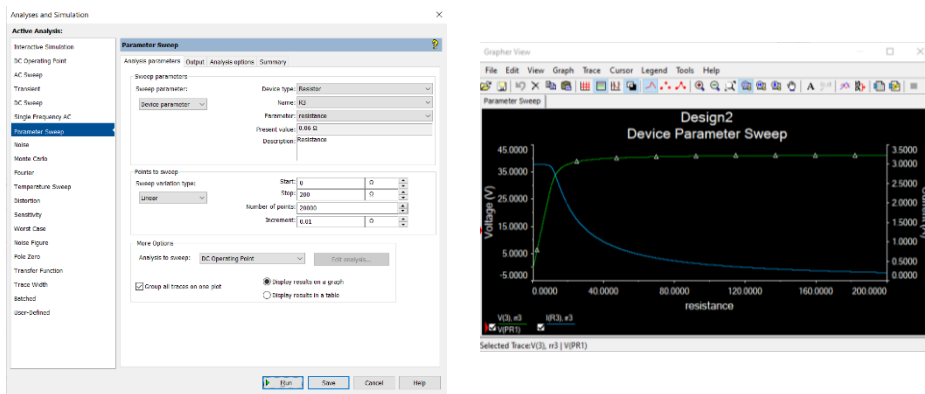


Fig. 5. Simulation settings menu and simulation results in MULTISIM environment

The results. Using the Eq. (1)-(7), we have calculated the model parameters for different values of temperature. Using the obtained results, we have performed modeling in the MULTISIM environment, and then, using the DIADEM software, we compared the graphical data from the datasheet with the graphs that we received. The results of the comparison are shown below, temperature dependences of R_s and R_{sh} are not taken into account (Table 1, 2).

As a result of simulation in the MULTISIM environment, we obtained data shown in (Fig. 6) (cross markers), which completely correspond to the results obtained with the MATLAB simulation in the article [4] (Fig. 6) (solid lines). However, both results have some deviation from the datasheet values obtained by performing real measurements (Fig. 7).

Table 1

Datasheet data				
Temp.	25 ⁰ /STC	0 ⁰	50 ⁰	75 ⁰
Parameter				
I_{sc} [A]	3.789702	3.716982	3.8718455	3.948218
V_{oc} [V]	41.7	45.47	38.1	34.1943352429887

Table 2

Modeling results				
Temp.	25 ⁰ /STC	0 ⁰	50 ⁰	75 ⁰
Parameter				
I_{sc} [A]	3.87	3.8071125	3.9328875	3.995775
V_{oc} [V]	42.1	46.1	38.1	34.1

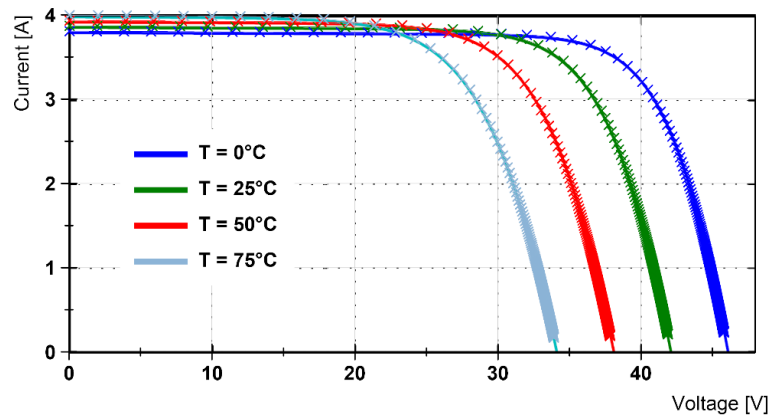


Fig. 6. Simulation results (cross markers) compared to the results in [4] (solid lines)

To evaluate the deviation between simulation and measurement results, we calculated the root-mean-square deviation (RMSD) Eq.(8) for I-V curves at each temperature:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{N}}, \quad (8)$$

where i is the summation index, N - the number of data points, x_i is actual observation series (measurement data), \hat{x}_i - the estimated series (simulation data).

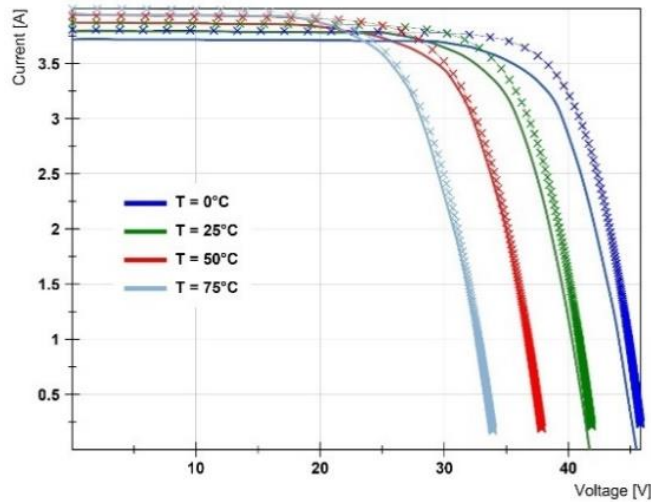


Fig. 7. Simulation results (cross markers) compared to the measurement results from datasheet (solid lines)

The calculation results of RMSD for different temperatures are shown below (Table 3).

Table 3
The calculated RMSD values of I-V curves obtained by measurement and simulation

T, °C	RMSD
0°C	0.206287
25°C	0.273145
50°C	0.0377
75°C	0.0462355

Conclusion. In this work, we have proposed a new method of solar panel modeling with one diode and two resistors. The method involves usage of the SPICE based MULTISIM simulation software instead of the traditionally used mathematical modeling softwares, which simplifies the modelling process significantly.

We have executed a simulation of a solar panel model in the MULTISIM environment, taking as a basis the data of the BP MSX 120 datasheet. As a result, we have obtained the I-V characteristics of the solar module of the mentioned model for temperatures of 0°C, 25°C, 50°C, 75°C. We have compared the results with the results of the mathematical modeling and showed the viability of the proposed new modeling approach for PV panel investigation.

Next, we have compared the simulation data with measurement results of the solar panel [10]. Although, the simulation and measurement results are in general close, there is a significant deviation between them. The calculated root-mean-square deviations of these data show temperature dependence. So, we assume, that this deviation can be further reduced by introduction of new temperature dependences of model parameters, which will be introduced in our future works.

References

1. **Singh P., Ravindra N.M.** Temperature dependence of solar cell performance—an analysis // Solar Energy Materials & Solar Cells / Department of Physics.- New Jersey Institute of Technology, doi:10.1016/j.solmat.2012.02.019.- Newark, NJ 07901, USA, Elsevier B.V., 2012.- P. 36-45. -1
2. **Чигак А.С., Шерьязов С.К.** Исследование энергетических характеристик солнечных элементов // Сб. тр. Южно-Уральского государственного аграрного университета.- Челябинск, Россия, 2020.- С.406-411.
3. Internet source: G2V Optics Inc, Photovoltaic solar cells// <https://g2voptics.com/photovoltaics-solar-cells/how-solar-cells-work/>. - P. 33-35.
4. **Kadeval H.N., Patel V.K.** Mathematical modelling for solar cell, panel and array for photovoltaic system// Journal of Applied and Natural Science.- 2021.- 13(3).- P. 937 – 943, DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v13i3.2529>.
5. **Nadia M., Lassad H., Abderrahmen Z. and Abdelkader C.** Influence of temperature and irradiance on the different solar PV panel technologies // International Journal of Energy Sector Management.- 2021.- Vol. 15, No. 2.- P. 421-430, DOI: <https://doi.org/10.1108/IJESM-06-2020-0002>.
6. **Sera D., Teodorescu R., Rodriguez P.** PV panel model based on datasheet values// Aalborg University, Institute of Energy Technology, DK-9220.- Aalborg, Denmark, IEEE, 1-4244-0755-9/07/ 2007. - P. 2392-2396.
7. **Wang M.H, Chen M.J.** Two-Stage Fault Diagnosis Method Based on the Extension Theory for PV Power Systems// Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Photoenergy, Article ID 892690, doi:10.1155/2012/892690.- 2012.- P. 1-10.
8. **Jiang Y., Abu Qahouq J.A., Batarseh I.** Improved Solar PV Cell Matlab Simulation Model and Comparison // The University of Alabama Department of Electrical and Computer Engineering Tuscaloosa.- Alabama 35487, USA, University of Central Florida School of Electrical Eng. and Computer Science Orlando, Florida 32816, USA, 978-1-4244-5309-2/10/ ©2010 IEEE. - P. 2770-2773.

9. Коваль О.С., Тиванов М.С. Определение параметров солнечного элемента из его световой вольт-амперной характеристики // Вестник БГУ. Сер. 1. - 2012. -2. - С. 39-44.
10. Belsky A.A., Glukhanich D.Y., Carrizosa M.J., Analysis of specifications of solar photovoltaic panels// Renewable and Sustainable Energy Reviews.- 2022.- Vol. 159.- P.112-239, ISSN 1364-0321.

Received on 02.03.2023.

Accepted for publication on 19.06.2023.

ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՎԱՀԱՆԱԿՆԵՐԻ ՄԵԿ ԴԻՌԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՆՈՐ ՄՈՏԵՑՈՒՄ MULTISIM ԾՐԱԳՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

Ա.Տ. Միմոնյան

Արևային վահանակի մոդելի բազում տարբերակներ կան, սակայն վահանակի բնութագրերը լավագույնս արտահայտում է մեկ դիոդով և երկու (զուգահեռ և հաջորդական) դիմադրություններով տարբերակը: Այս սխեմայում դիոդը ներկայացնում է արևային վահանակի կիսահաղորդչային նյութը, իսկ հաջորդական դիմադրությունը՝ էլեկտրական շղթայում ջերմության տեսքով ցրված էներգիան: Կիսահաղորդիչների դոպինգը կատարյալ չէ, և հետևաբար՝ արևային վահանակում կան արատներ: Այդ արատները կարող են առաջացնել այլընտրանքային ուղիներ (շունտ), ուստի շղթայի մոդելում այս էֆեկտը ներկայացվում է որպես շունտային դիմադրություն:

Մեկ դիոդով և երկու դիմադրություններով արևային վահանակի մոդելի համար հաշվարկները հիմնականում իրականացվել են MATLAB կամ նմանատիպ մաթեմատիկական ծրագրերով, քանի որ այդ աշխատանքները հիմնվում են բարդ մաթեմատիկական հաշվարկների վրա: Այս աշխատանքում առաջարկվող տարբերակն առավել պարզ է իրականացման տեսանկյունից, բացի այդ, ապահովում է համարժեք ճշտություն:

Աշխատանքում կատարվել է մեկ դիոդով և երկու դիմադրություններով արևային վահանակի մոդելի MULTISIM միջավայրում մոդելավորում՝ որպես հիմք ընդունելով BP MSX 120 արևային վահանակի անձնագրային տվյալները: Աշխատանքի արդյունքում ստացվել են նշված մոդելի արևային վահանակի վոլտ-ամպերային բնութագծերը 0°C, 25°C, 50°C, 75°C ջերմաստիճանների դեպքում:

Համեմատվել են ստացված արդյունքները մաթեմատիկական մոդելավորման արդյունքների հետ, և ցույց է տրվել ֆոտովոլտային վահանակների հետազոտման համար առաջարկվող նոր մոտեցմամբ մոդելավորման կենսունակությունը: Համեմատվել են նաև մոդելավորման տվյալները չափման արդյունքների հետ, և ցույց է տրվել այդ տվյալների միջին քառակուսային շեղումների ջերմաստիճանային կախվածությունը:

Առանցքային բառեր: արևային վահանակների մոդելավորում, ֆոտովոլտային բջիջ, թեստավորման համակարգ, արևային էներգիա, ֆիզիկական կորուստներ արևային վահանակներում:

НОВЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ОДНОДИОДНОЙ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ MULTISIM

А.Т. Симонян

Существует множество вариантов модели солнечной панели, но наиболее используемой при исследовании фотоэлектрических панелей является модель с одним диодом и двумя (параллельными и последовательными) резисторами. В этой схеме диод представляет собой полупроводниковый материал солнечного элемента, а последовательное сопротивление - энергию, рассеиваемую в виде тепла в электрической цепи. Легирование полупроводников не идеально, и поэтому в солнечной панели имеются дефекты, которые могут вызвать альтернативные пути (шунтирование). Поэтому этот эффект представлен в модели схемы как шунтирующее сопротивление.

Расчеты для модели солнечной панели с одним диодом и двумя резисторами в основном проводились с помощью программы MATLAB или других аналогичных математических программ. Поэтому эти работы основаны на сложных математических расчетах.

В данной работе выполнено моделирование модели солнечной панели с одним диодом и двумя резисторами в среде MULTISIM. За основу были взяты данные технического паспорта солнечного модуля BP MSX 120. В результате моделирования получены вольт-амперные характеристики солнечного модуля указанной модели для температур 0°C; 25°C; 50°C; 75°C.

Сравнение полученных результатов с результатами математического моделирования показало жизнеспособность предложенного нового подхода к моделированию фотоэлектрических панелей, а сравнение данных моделирования с результатами измерений - температурную зависимость среднеквадратичных отклонений этих данных.

Ключевые слова: моделирование солнечных панелей, фотоэлектрические элементы, тестируемая система, солнечная энергия, физические потери в солнечных панелях.