

## МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА PHOTOVOLTAIC (PV) ГЕНЕРАТОР В MATLAB/SIMULINK

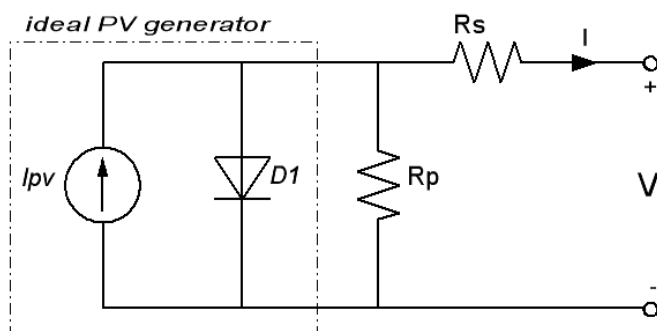
гл.ас.д-р Даниел Каров, инж. Димитър Кукуригов  
ТУ-София, ИПФ-Сливен

**Резюме:** В статията е съставен модел на PV генератор в среда MATLAB/SIMULINK. Изграждането на модела става единствено на базата на каталожните данни на PV панела. При съставянето на модела се взимат под внимание съпротивленията  $R_p$  и  $R_s$ , които присъстват в основното уравнение.

**Ключови думи:** моделиране, PV генератор, MATLAB/SIMULINK

### 1. Основни уравнения

В теорията и практиката широко разпространение е получил моделът показан на фиг.1. До фигурата е показано и уравнението, което описва процесите в модела.



фиг. 1 Заместваща схема на PV модула

$$(1) \quad I = I_{pv} - I_s \left( e^{\frac{V + IR_s}{a}} - 1 \right) - \frac{V + R_s}{R_p}$$

В уравнението присъстват следните величини:  $I$  – токът произведен от PV генератора,  $V$  – напрежението на PV генератора,  $R_s$  - последователно съпротивление,  $R_p$  - паралелно съпротивление,  $I_{pv}$  е токът генериран от слънчевата радиация,  $I_s$  е обратният ток през диода,  $a = AkT/q$ , където  $A$  е коефициент на неиделност,  $k$  - константа на Болцман ( $1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ),  $T$  е температурата в келвини, а  $q$  е заряда на електрона ( $1.60217646 \times 10^{-19} \text{ C}$ ).

След диференциране на уравнение (1) получаваме пълния диференциал:

$$(2) \quad \frac{dI}{dV} = - \frac{\frac{I_s}{a} \exp\left(\frac{V + IR_s}{a}\right) + \frac{1}{R_p}}{1 + \frac{I_s R_s}{a} e^{\left(\frac{V + IR_s}{a}\right) + \frac{R_s}{R_p}}$$

За точката  $(V_{mp}, I_{mp})$ , в която имаме максимална мощност са в сила следните зависимости:

$$dP = d(IV) = 0 \Rightarrow \frac{dI}{dV} = - \frac{I}{V}$$

По този начин получаваме следното уравнение:

$$(3) \quad \frac{I_{mp}}{V_{mp}} - \frac{I_s}{aN_s} e^{\frac{V+I_{mp}R_s}{aN_s}} \left(1 - R_s \frac{I_{mp}}{V_{mp}}\right) - \frac{1}{R_p} \left(1 - R_s \frac{I_{mp}}{V_{mp}}\right) = 0$$

Определяне на стойностите на резисторите  $R_p$ ,  $R_s$ .

За намиране на стойностите на резисторите се използва итеративен подход, при който  $R_s$  се увеличава от нула до своята максимална стойност  $R_{s\max}$ .

$$(4) \quad R_{s\max} = \frac{V_{ocn} - V_{mp}}{I_{mp}}$$

За намирането на  $R_p$  се използва зависимостта:

$$(5) \quad R_p = V_{mp} (V_{mp} + I_{mp} R_s) / \left\{ V_{mp} I_{pv} - V_{mp} I_s \exp \left[ \frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{N_s a} \right] + V_{mp} I_s - P_{\max} \right\}$$

Минималната стойност за  $R_p$  се определя от израза:

$$(6) \quad R_{p\min} = \frac{V_{mp}}{I_{scn} - I_{mp}} - R_{s\max}$$

$V_{ocn}$  е номиналното напрежение на празен ход,  $I_{scn}$  е номиналният ток на късо съединение,  $N_s$  е броят на последователно съединените клетки в PV панела.

Всяка изчислена двойка  $R_p$  и  $R_s$  се замества в уравнение (3) и се прави оценка на точността.

## 2. Изграждане на модел в Simulink.

След намирането на стойностите за  $R_p$  и  $R_s$ , при които волтамперната характеристика на PV панела минава максимално близо до точката  $(V_m, I_m)$  преминаваме към изграждане на Simulink модела. Съставянето на модела става на базата на система уравнения, която се получава от основното уравнение (1).

За проверка на получените резултати ще използваме каталожните данни за следните слънчеви панели: MAX - 50 и KC200GT. Ще получим техните волтамперни характеристики при различни стойности на температурата и слънчевата радиация, на която е изложен панела.

<b>Imp</b>	<b>7.61A</b>
<b>Vmp</b>	<b>26.3V</b>
<b>Pmax</b>	<b>200.143W</b>
<b>Isc</b>	<b>8.21A</b>
<b>Voc</b>	<b>32.9V</b>
<b>Kv</b>	<b>-0.1230V/K</b>
<b>Ki</b>	<b>0.0032A/K</b>
<b>Ns</b>	<b>54</b>

**табл. 1** каталожни данни на панела KC200G при номинални условия

$$T_n = 25^\circ C \text{ и } G_n = 1000 W/m^2$$

<b>Imp</b>	<b>2.92A</b>
<b>Vmp</b>	<b>17.1V</b>
<b>Pmax</b>	<b>49.9320W</b>
<b>Isc</b>	<b>3.17A</b>
<b>Voc</b>	<b>21.1V</b>
<b>Kv</b>	<b>-0.080V/K</b>
<b>Ki</b>	<b>0.0032A/K</b>
<b>Ns</b>	<b>36</b>

**табл. 2** каталожни данни на панела MAX - 50 при номинални условия

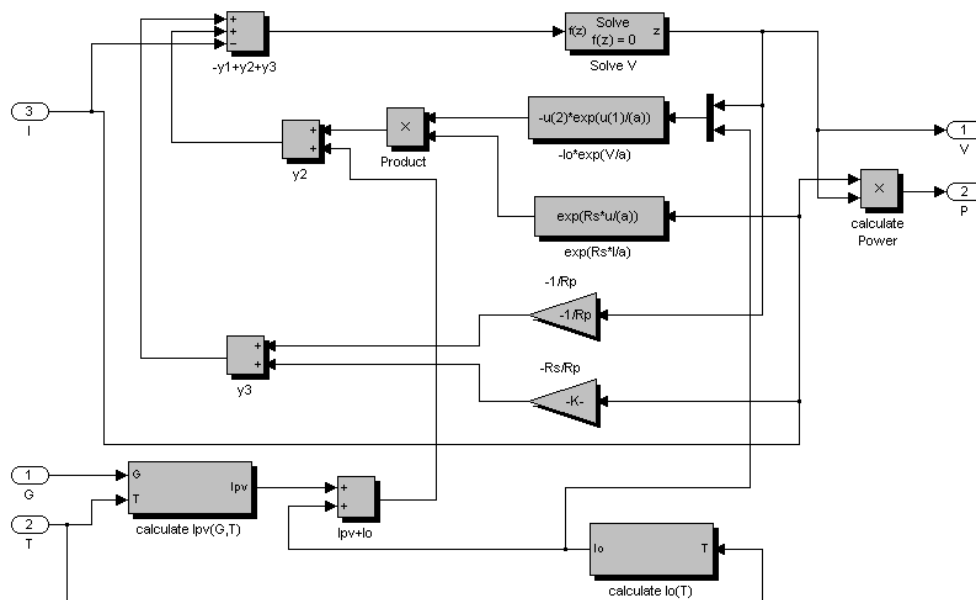
$$T_n = 25^\circ C \text{ и } G_n = 1000 W/m^2$$

$$(7) \quad I_s = \frac{I_{scn} + K_i(T - T_n)}{\exp\left(\frac{V_{ocn} + K_v(T - T_n)}{aN_s} - 1\right)}$$

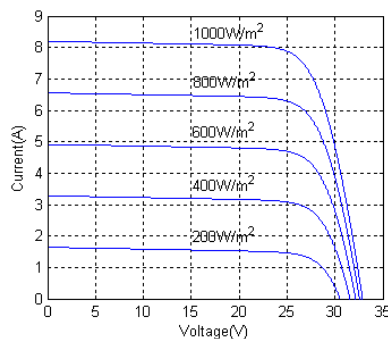
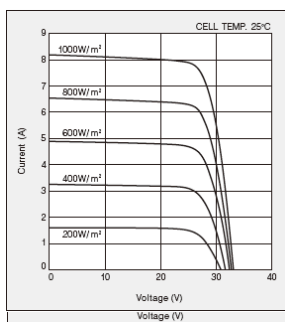
$$(8) \quad I_{pv} = (I_{pvn} + K_i(T - T_n)) \frac{G}{G_n}$$

Формули (7) и (8) отчитат зависимостта на токовете  $I_s$  и  $I_{pv}$  от температурата и слънчевата радиация.

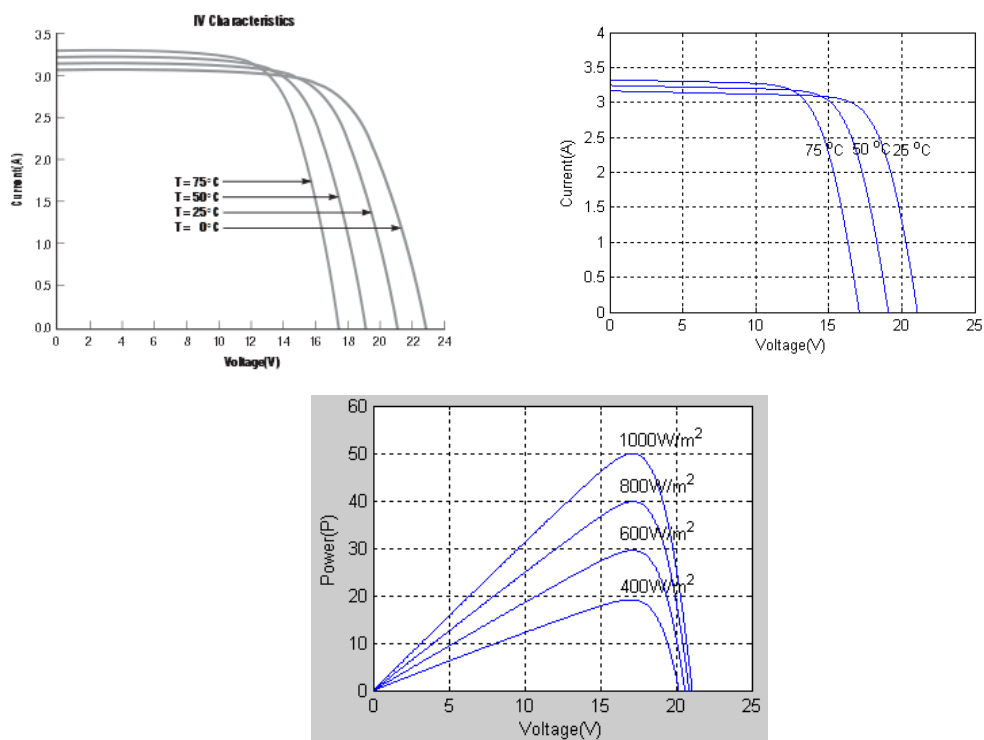
За съпротивленията получаваме следните стойности:  $R_p = 176.0725$ ,  $= 0.3322$  за KC200GT;  $= 219.9316$ ,  $= 0.4365$  за MAX – 50.



фиг.3 Модела на PV панел в Simulink



фиг. 4 Каталогни характеристики и характеристики получени при симулациите за различни стойности на слънчевата осветеност и температурата за панела KC200GT



фиг. 5 Каталогни характеристики и характеристики получени при симулациите за различни стойности на температурата и слънчевата осветеност за панела MAX - 50

**Заклучение:**

В статията е изграден модела на PV генератор в среда Matlab/Simulink при отчитане на съпротивленията  $R_p$  и  $R_s$  в основното уравнение. Определянето на стойностите на съпротивленията става единствено на базата на каталожните данни. Полученият модел се характеризира със добра точност и простота, освен това лесно може да бъде модифициран до модел със два диода.

**Литература:**

1. “Photovoltaic model and converter topology considerations for MPPT purposes” 2012, Thomas Bennett , Ali Zilouchian, Roger Messenger.
2. “Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays” 2009, Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho.
3. “Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications” 2012, Prabodh Bajpai, Vaishalee Dash.
4. “MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell” 2012, Tarak Salmi, Mounir Bouzguenda, Adel Gastli, Ahmed Masmoudi .
5. “Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell/Module/Array with Two-Diode Model” 2012, Basim Alsayid.