

УДК 620.92+502.174.3

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ (В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK)

А.М. ТРЕЩ

Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости, 65, Минск, 220027, Беларусь

Поступила в редакцию 28 сентября 2012

Рассматривается реализация обобщенной модели солнечной батареи в среде программного обеспечения Matlab/Simulink, которая может быть использована для совершенствования проектирования модулей и массивов солнечных батарей (СБ). Проведен расчет модели СБ и проведено сравнение с экспериментальными данными, принимая во внимание влияние излучения солнечного света и температуры ячейки, выходного тока и энергетические характеристики. Экспериментальные данные, полученные автором, хорошо согласуются с результатами моделирования.

*Ключевые слова:* солнечные батареи, фотоэлементы.

### Введение

Возобновляемые источники энергии имеют огромное значение в решении будущих глобальных потребностей в энергии. Производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии приведет к значительному сокращению загрязнения окружающей среды по сравнению с производством за счет ископаемого топлива. Внимание к этому источнику энергии мотивируется достижениями в области технологий, экологическими проблемами и растущим спросом на энергию. Солнечная энергия является возобновляемым источником энергии, который имеет большой потенциал по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии, и в один прекрасный день заменит ископаемое топливо. Однако для того, чтобы это произошло, стоимость солнечной энергии на киловатт/час должна быть конкурентоспособной с ископаемыми источниками энергии топлива. В настоящее время солнечные панели не очень эффективны, так как лишь около 17 % солнечного света способно преобразовываться в электрическую энергию [1]. В целях обеспечения максимальной мощности солнечной панели необходимо выбрать оптимальное питание для ее работы. Чтобы извлечь максимальную мощность из массива  $PV$ , используя МРРТ-контроллер, выбирается максимальная точка питания. Фотоэлектрическая  $PV$ -система состоит из солнечных батарей, которые производят электричество путем прямого преобразования солнечной энергии в электричество. Фотоэлементы работают по принципу фотоэлектрического эффекта: солнечный свет состоит из фотонов, каждый из которых содержит разное количество энергии (в зависимости от длины волны). Когда фотон проходит через  $PV$ -элемент, его энергия передается электрону, который теперь имеет достаточно энергии, чтобы сойти со своей прежней орбиты. Это движение электронов порождает ток, таким образом преобразовывается солнечный свет в электрическую энергию. Когда освещенность или интенсивность света невелика, поток фотонов меньше, чем тогда, когда солнце яркое, таким образом, больший ток генерируется при увеличении интенсивности света. Хотя излучение является важным фактором в определении вольтамперной характеристики (ВАХ) солнечной панели, это не единственный фактор. Температура также играет важную роль в определении ВАХ, и влияние

обоих факторов необходимо учитывать при разработке фотоэлектрических систем, так как освещение влияет на величину выходного тока, а температура на предельное напряжение.

### Модель солнечной батареи

Фотоэлектрическая PV-модель генератора обычно основана на электрических характеристиках: текущем отношении напряжения ячейки при различных уровнях излучения и при различной температуре ячейки. Самая простая эквивалентная схема солнечной батареи – источник тока параллельно с диодом [2]. Вывод текущего источника прямо пропорционален к свету, падающему на фототок ячейки  $I_{ph}$ . В темноте солнечная батарея не активна: она работает как диод с  $p-n$ -переходом. Этот режим не производит ни тока, ни напряжения. Таким образом, математическая модель фотоэлектрического генератора основана на эквивалентной схеме одного диода, показанного на рис. 1.

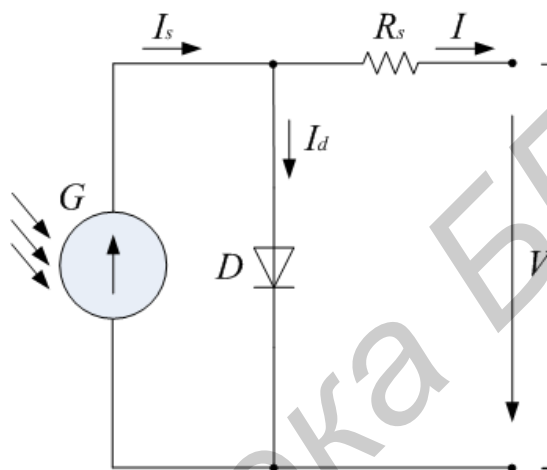


Рис. 1. Эквивалентная схема солнечной батареи

Возможности среды программирования Matlab/Simulink позволяют представить обобщенную модель солнечной батареи в виде, представленном на рис. 2.

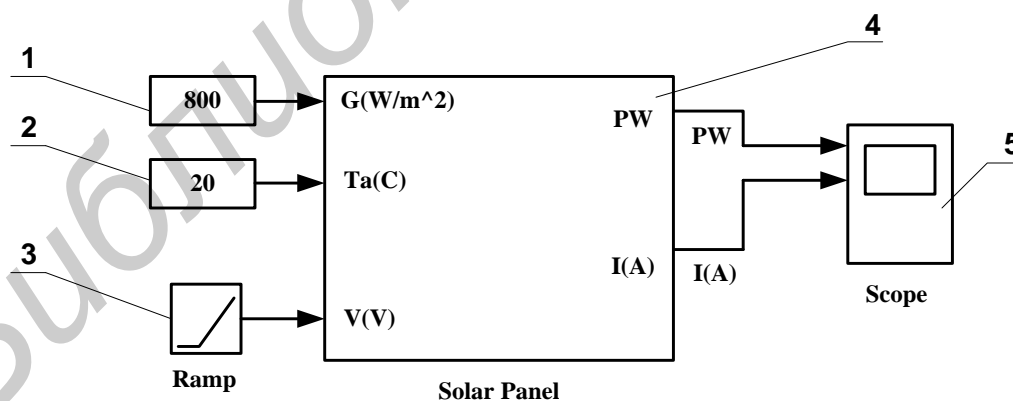


Рис. 2. Общий вид модели солнечной батареи:

1 – блок Constant задает значение интенсивности солнечного света; 2 – блок Constant задает значение температуры модуля; 3 – блок Ramp задает изменение напряжения с изменением температуры; 4 – блок Subsystem содержит в себе все составляющие батареи; 5 – блок Scope – осциллограф

Блок SolarPanel (Subsystem) имеет следующие настройки (см. рис. 3).

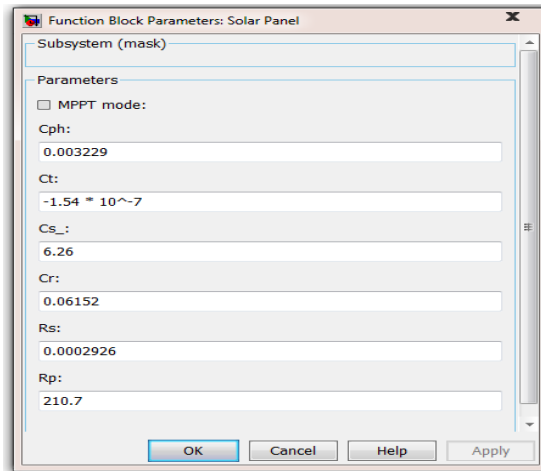


Рис. 3. Настройки блока SolarPanel

Численные значения СБ меняются исходя из составляющих ее элементов. В состав данного блока входит следующая система, по которой и рассчитывается мощность батареи:  $P = I \cdot U$ .

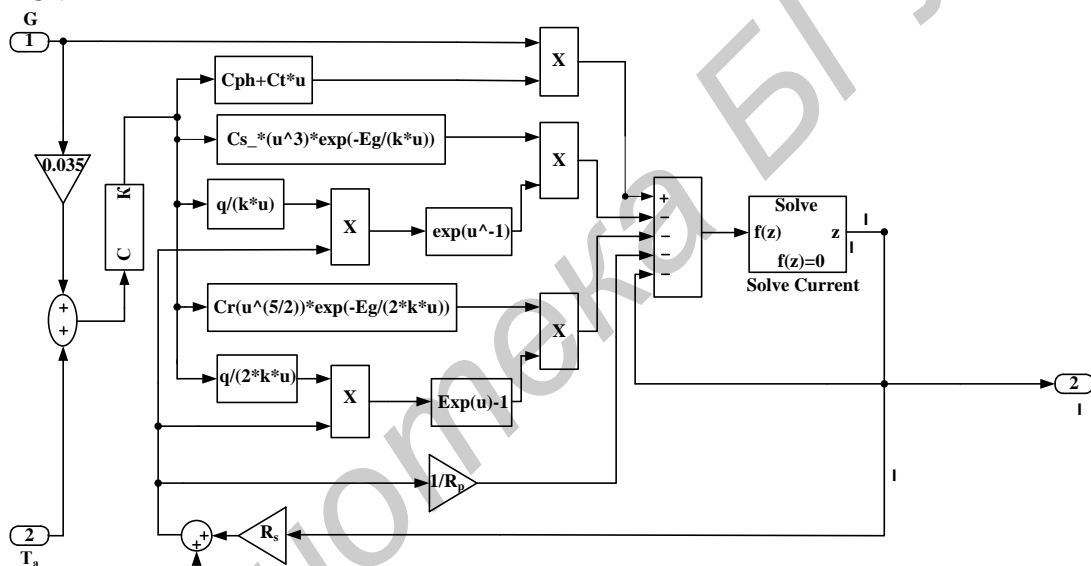


Рис. 4. Контур расчета тока

Отношения между током  $I$  и напряжением  $U$  эквивалентной схемы можно найти, приравняв текущее значение  $I_{ph}$  и ток диода  $I_p$ , тогда рабочий ток  $I$  будет следующим:

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left[ \exp \frac{q(U + IR_s)}{nkT} - 1 \right], \quad (1)$$

где  $I_{ph}$  – световой ток [А];  $I_{sat}$  – обратный ток насыщения диодов [А];  $R_s$  – последовательное сопротивление [Ом];  $U$  – рабочее напряжение [В];  $I$  – рабочий ток [А];  $q = (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})$  – заряд одного электрона [1];  $n$  – диод, фактор идеализации,  $k = (1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$  – постоянная Больцмана [1];  $T$  – температура перехода в градусах Кельвина.

В представленной модели это уравнение реализовано следующим образом.

Мощность  $P$ , вырабатываемая батареей, равна:

$$P = I \cdot U = U \cdot I_{ph} - I_{sat} \left[ \exp \frac{q(U + IR_s)}{nkT} - 1 \right], \quad (2)$$

В среде Matlab/Simulink расчет мощности показан на рис. 5.

Выходной ток прямо пропорционален энергии солнечного излучения. Однако существует небольшой температурный коэффициент, порядка нескольких миллиампер на один градус Цельсия, для учета разницы температур [2]:

$$I_{ph} = (G, T) = I_{scs} \cdot \frac{G_a}{G_{as}} + \alpha_{scT} (T - T_s), \quad (3)$$

где  $I_{scs}$  – ток короткого замыкания при нормальных условиях работы;  $G_a$  – солнечное излучение (Вт/м<sup>2</sup>);  $G_{as}$  – солнечное излучение при нормальных условиях работы (1000 Вт/м<sup>2</sup>),  $\alpha_{scT}$  – температурный коэффициент тока короткого замыкания;  $T$  – температура батареи (°C),  $T_s$  – температура батареи при стандартных тестовых условиях (25°C).

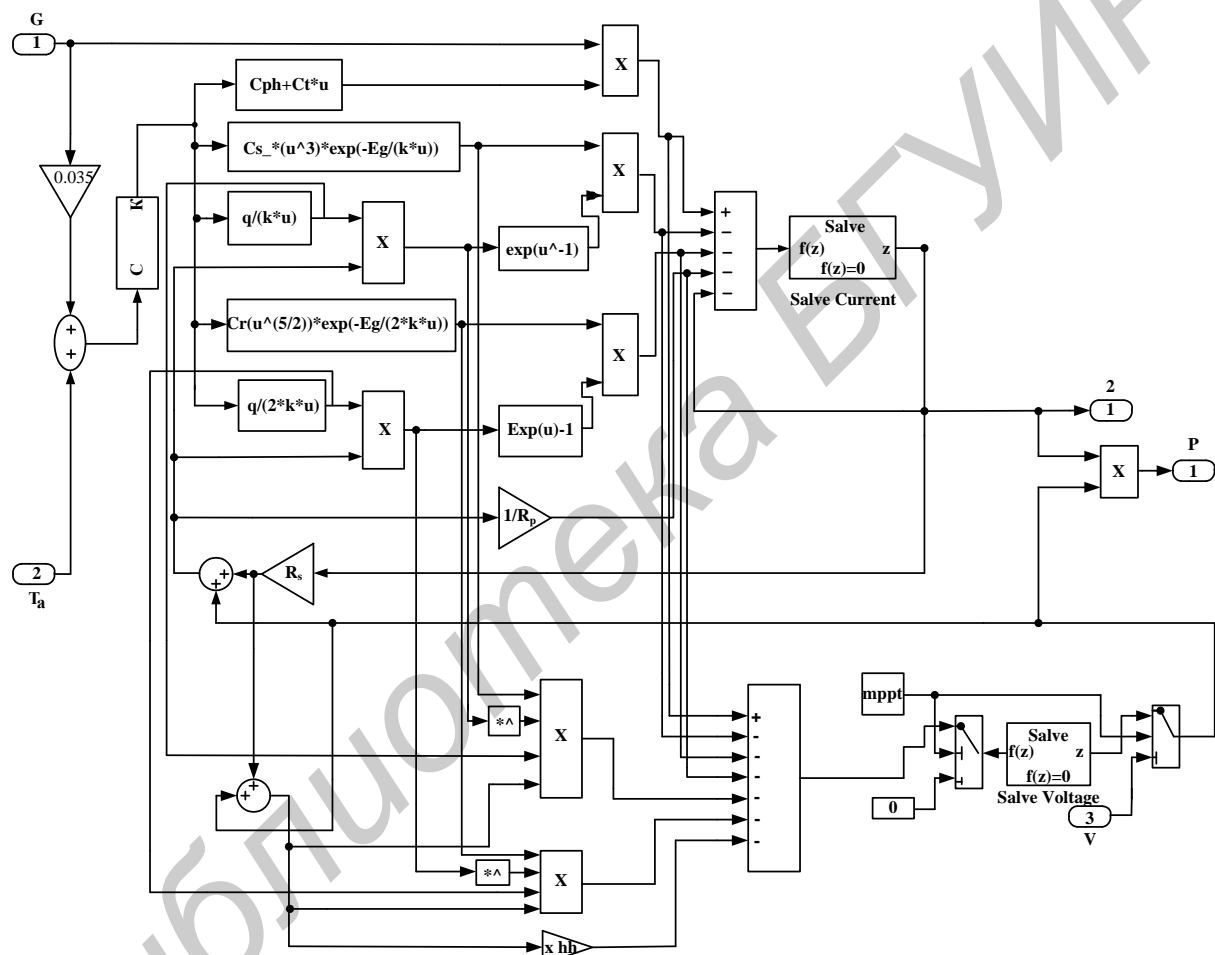


Рис. 5. Расчет мощности СБ

Выходное напряжение для реальных условий окружающей среды рассчитывается следующим образом:

$$U_{oc} (G, T) = U_{ocs} + \beta_{ocT} (T - T_s) + \frac{kT}{q} \ln(I_{mpp} / I_{scs}), \quad (4)$$

где  $U_{ocs}$  – напряжение разомкнутой цепи при стандартном тестовом условии;  $\beta_{ocT}$  – температурный коэффициент напряжения разомкнутой цепи,  $I_{mpp}$  – ток в МРР контроллере.

Реализация данного уравнения в среде Matlab/Simulink осуществлена включением соответствующих блоков в схему на рис. 5.

Важнейшими эксплуатационными характеристиками СБ являются вольтамперные характеристики, которые, как результат моделирования, приведены на рис. 6, 7.

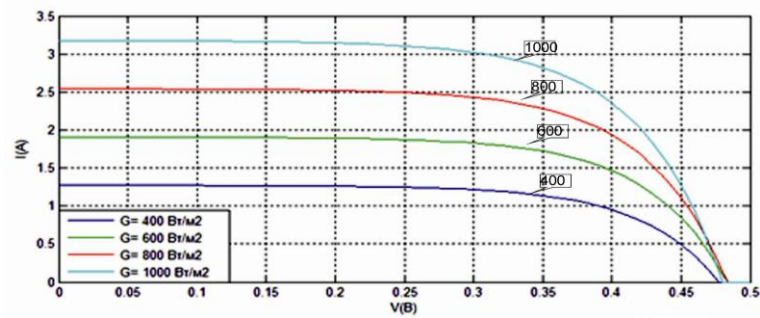


Рис. 6. Вольтамперная характеристика СБ при различных значениях интенсивности солнечного излучения и  $T = const$

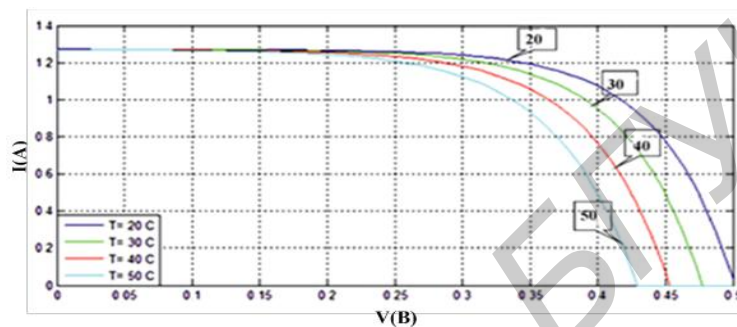


Рис. 7. Вольтамперная характеристика СБ при различных значениях температуры окружающей среды и  $G = const$

### Заключение

Характеристики, полученные на математической модели, хорошо согласуются с результатами, полученными экспериментальным путем [3–5], что говорит об адекватности разработанной модели.

## SIMULATION OF SOLAR PANEL PERFORMANCE

A.M. TRESH

### Abstract

The implementation of a generalized photovoltaic model using Matlab/Simulink software package, which can be representative of *PV* cell, module, and array for easy use on simulation platform is presented. Taking the effect of sunlight irradiance and cell temperature into consideration, the output current and power characteristics of *PV* model are simulated. The experimental results, provided by the author validate the accuracy of the computational simulation results.

### Список литературы

1. Courts T.J., Fitzgerald M.C. // Научный американский журнал. 1998. P. 90–95.
2. Gow J.A., Manning C.D. // IEEE Transactions on IA. 1999. Vol.146, №.2. P.193–200.
3. Трещ А.М. // Мат. респ. науч.-прак. конф. «Современные информационные технологии в системе научного и учебного эксперимента: опыт, проблемы, перспективы». Гродно, 4–5 апреля 2011. С. 45–47.
4. Трещ А.М. // Тезисы докл. XIX межд. науч.-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». Харьков, 1–3 июня 2011 г. С. 82.
5. Трещ А.М. // Наука – образованию, производству, экономике: сб. науч. ст. м-лов девятой межд. науч.-тех. конф. Минск, 2011. С. 241–242.