

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

А.М.ТРЕЩ

*Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости, 65, Минск, 220013, Беларусь*

*Abstract-*This paper presents 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. Taking the effect of sunlight irradiance and cell temperature into consideration, the output current and power characteristics of PV model are simulated.

## I. 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. Вновь обратить внимание на этот источник энергии мотивируется достижениями в области технологий, экологические проблемы 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 скоро 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, лишь около 17% солнечного света способны преобразовывать в электрическую энергию. В целях обеспечения максимальной мощности солнечной панели необходимо выбрать оптимальное питание для ее работы. Чтобы извлечь максимальную мощность из массива PV, выбирается максимальная точка питания используя (MPPT) контроллер. 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 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 ВАХ солнечной панели, это не единственный фактор. Температура также играет важную роль в определении ВАХ, а также влияние обоих факторов необходимо учитывать при разработке фотоэлектрических систем, так как освещение влияет на величину выходного тока, а температура на предельное напряжение

### Моделирование Солнечной батареи

Фотоэлектрическая (PV) модель генератора обычно основана на электрических характеристиках, то есть, текущее отношение напряжения, ячейки под различными уровнями излучения и при различной температуре ячейки. Самая простая эквивалентная схема солнечной батареи - текущий источник параллельно с диодом. Вывод текущего источника прямо пропорционален к свету, падающему на фототок ячейки ( $I_{ph}$ ). Во время темноты солнечная батарея не активна; она работает как диод, то есть p-n переходом. Это не производит ни тока, ни напряжения. Таким образом математическая модель фотоэлектрического генератора основана на эквивалентной схеме одного диода, показанного на Рис.1

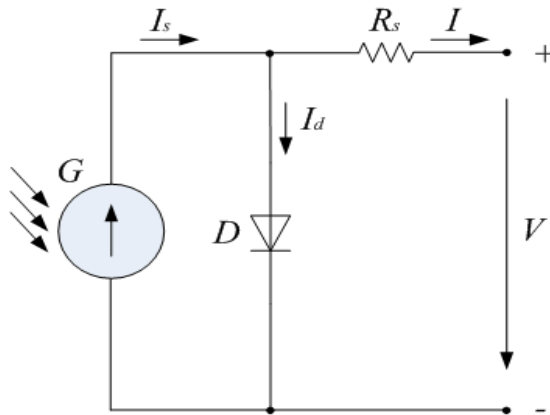


Рисунок 1 – эквивалентная схема солнечной батареи.

Модель солнечной батареи в среде Matlab/Simulink

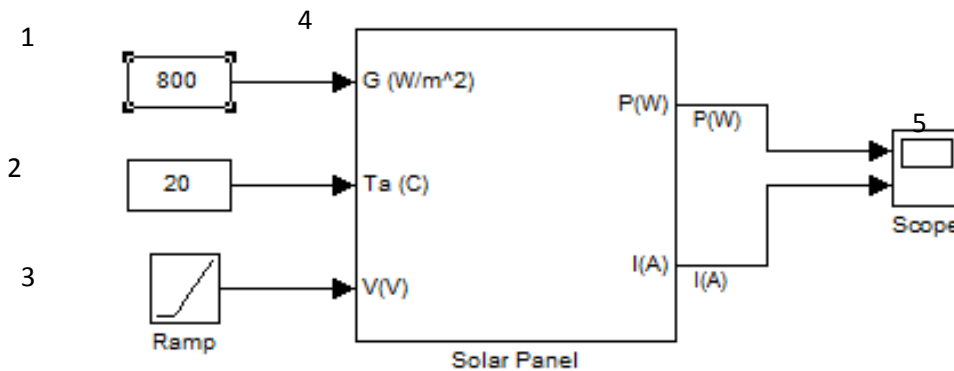


Рисунок 2. – Общий вид модели, где

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 Solar Panel(Subsystem) имеет следующие настройки:

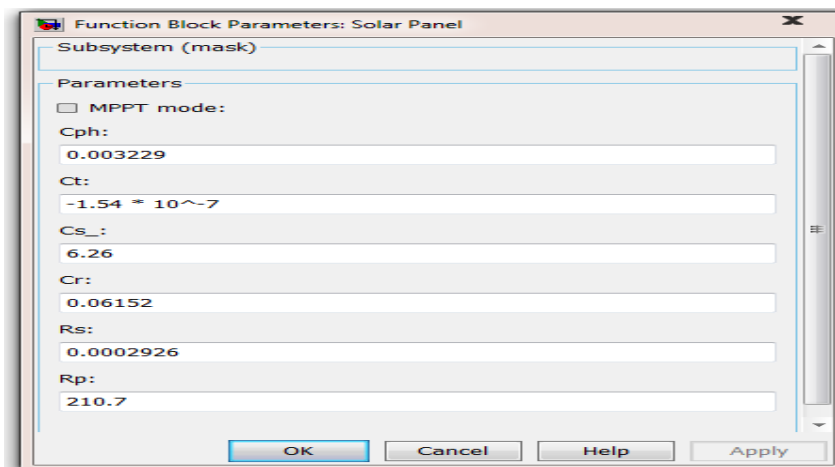


Рисунок 3 – Настройки блока Solar Panel

Данные параметры меняются исходя из свойств и составляющих элементов солнечной батареи

В состав данного блока входит следующая система, по которой и рассчитывается мощность батареи: ( $P=I \cdot V$ )

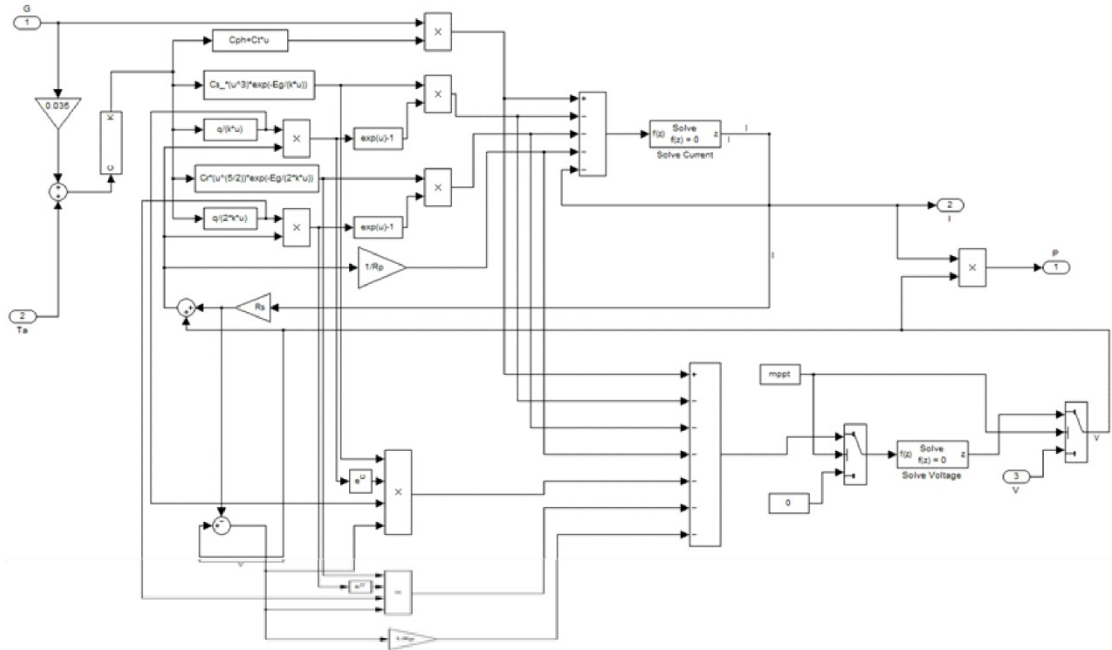


Рисунок 4 –Элементы блока Solar Panel(Subsystem)

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

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left[ e^{\frac{q(V+I R_s)}{nkT}} - 1 \right] \quad (1)$$

Где:

$I_{ph}$  – световой ток [A],

$I_{sat}$  – обратный ток насыщения диодов [A],

$R_s$  - последовательное сопротивление [Ом]

$V$  - рабочее напряжение [V],

$I$  - рабочий ток [A].

$q = (1.602 \cdot 10^{-19} C)$ , - заряд одного электрона

$n$  – диод, фактор идеализации,

$k = (1.38 \cdot 10^{-23} J/K)$  - постоянная Больцмана

$T$  - температура перехода в градусах Кельвина.

В данной схеме это уравнение реализовано следующим образом:

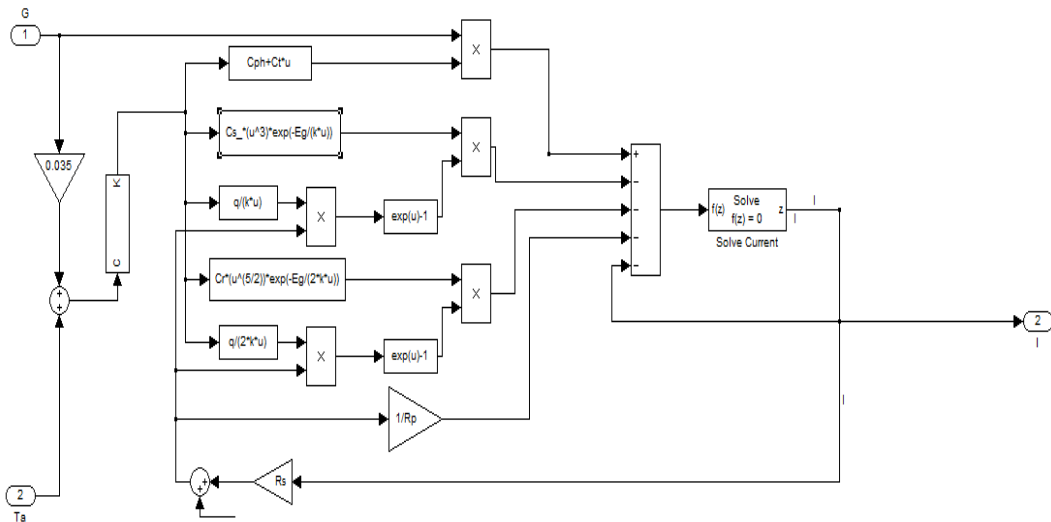


Рисунок 5 – Контур расчета тока

Мощность  $P$  вырабатываемая батареями равна:

$$P = I \cdot V = V \cdot I_{ph} - I_{sat} \left[ e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1 \right] \quad (2)$$

В среде Matlab/Simulink расчет мощности показан на рис.4.

Выходной ток прямо пропорционален энергии солнечного излучения. Существует небольшой температурный коэффициент, порядка нескольких миллиампер на один градус Цельсия для учета разницы температур.

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

Где:

$I_{scs}$  -ток короткого замыкания при нормальных условиях работы

$G_a$  - солнечное излучение (Вт/м3)

$G_{as}$  - солнечное излучение при нормальных условиях работы (1000 Вт/м3)

$\alpha_{scT}$  . Температурный коэффициент тока короткого замыкания

$T$  – температура батареи (° C)

$T_s$  – температура батареи при стандартных тестовых условиях (25°C)

В данной схеме это уравнение реализовано следующим образом:

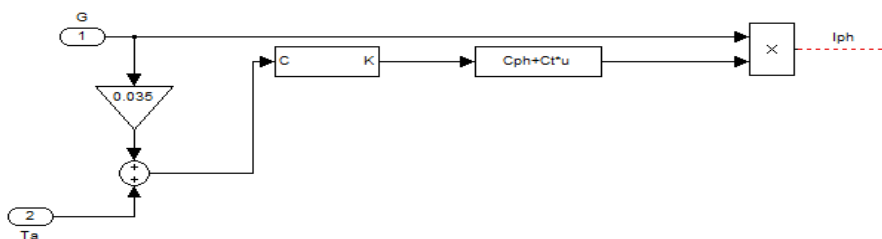


Рисунок 6 – контур получения  $I_{ph}$ .

Выходное напряжения для данных условий окружающей среды рассчитывается следующим образом:

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

Где:

$V_{ocs}$  — напряжение Разомкнутой цепи при стандартном тестовом условии.

$\beta_{ocT}$  - температурный коэффициент напряжения разомкнутой цепи.

$I_{mpp}$  - ток в MPP

Реализация данного уравнения в среде Matlab/Simulink показана на рис.7.

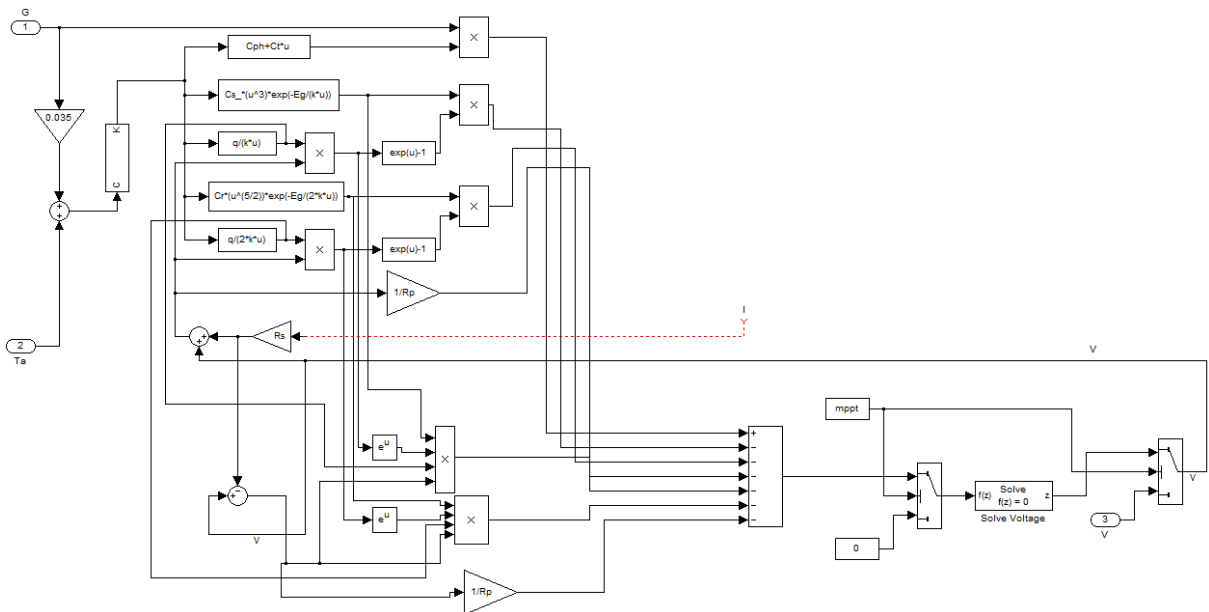


Рисунок 7 – Реализация выходного напряжения в Matlab/Simulink

При условии  $I_{ph}(G, T) = I_D$

$$\text{Но } I_{ph}(G, T) = I_{sat}(G, T) \cdot \left[ e^{\frac{V_{oc}}{V_t}} - 1 \right]$$

Поэтому

$$I_{sat}(G, T) = \frac{I_{ph}(G, T)}{\left[ e^{\left( \frac{V_{oc} T}{V_t T} \right)} - 1 \right]} \quad (5)$$

Где  $V_t(T) = \frac{AkT}{q}$

Реализация данного уравнения в среде Matlab/Simulink представлена ниже на рис:

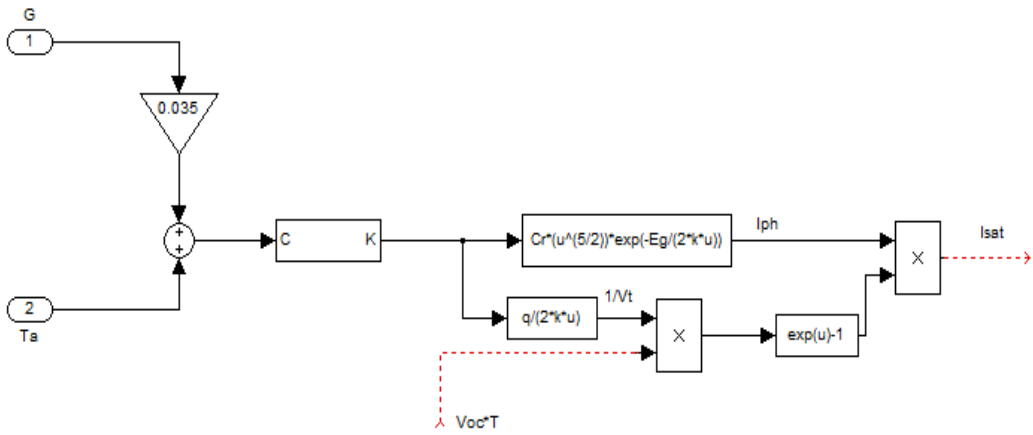
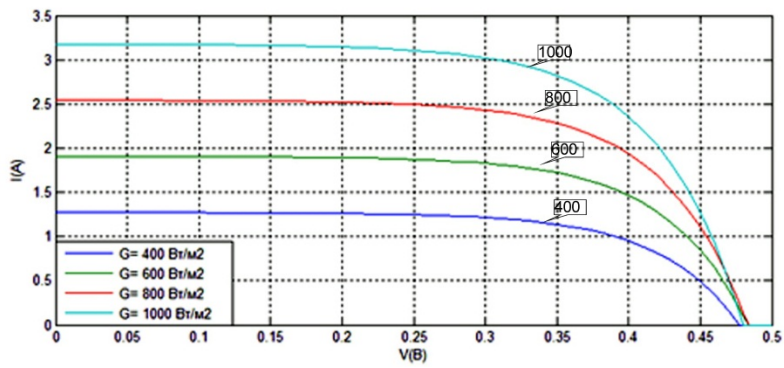
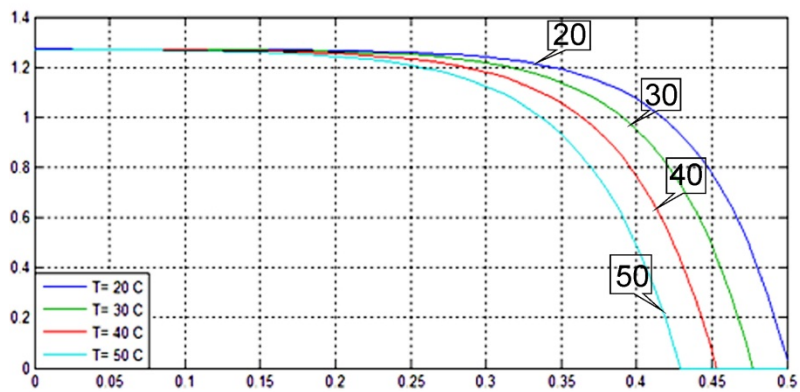


Рисунок 8 – Обратный ток насыщения

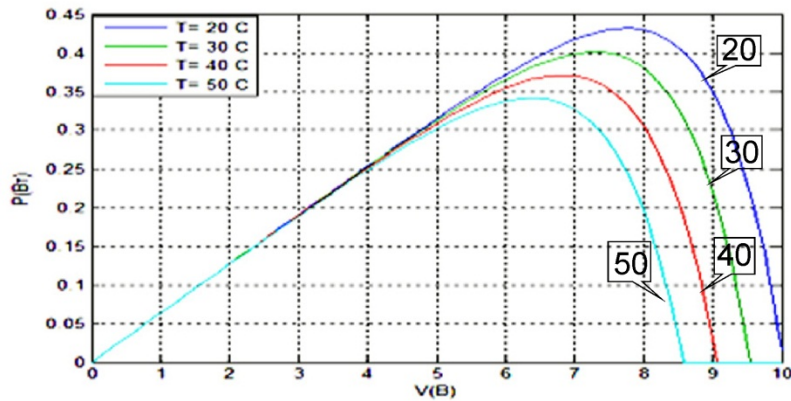
Результаты моделирования



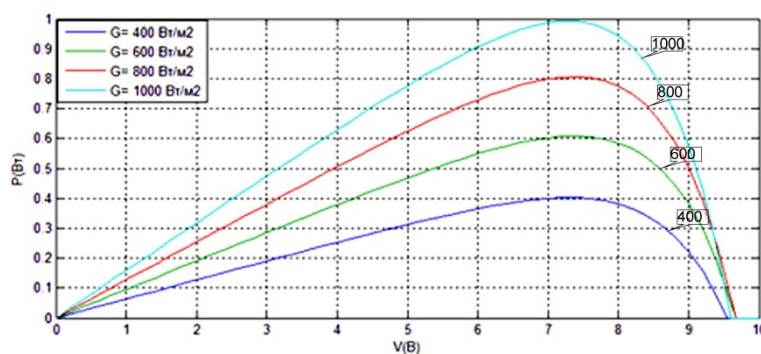
ВАХ при T=const



ВАХ при G=const



ВВХ при  $G=\text{const}$



ВВХ при  $T=\text{const}$

### Литература

1. E.M.G. Rodrigues, R. Melício, V.M.F. Mendes and J.P.S. Catalão «Simulation of a Solar Cell considering Single-Diode Equivalent Circuit Model»
2. К. Х. Хусейн, И. Мута, Т. Хосино, М. Осакада, «Максимальная мощность фотоэлектрических систем: алгоритм быстро меняющихся атмосферных условиях», Proc. IEE—Generation, Transmission, Distribution, издание. 142, стр. 59-64, январь 1995 года.
3. Chimento, G., и др., "Влияние Интенсивности Солнечного Потока и Других Факторов на Температурные Коэффициенты фотоэлектрических систем," отчет специалистов на Фотогальванической Конференции, 1:608-613, октября 1991.
4. Courts, T.J., Fitzgerald, M.C., «Thermophotovoltaics», Научный американский Журнал, pp.90-95, Сентябрь 1998
5. G. Walker, «Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model», журнал электричества и электроники Австралии, вып.21, № 1,2001, pp.49-56.
6. J. A. Gow, C. D. Manning «Development of a photovoltaic array model for use in power electronics simulation studies», Труды по электрической мощности приложения, вып. 146, №. 2, стр. 193-200, март 1999г.