

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОЩНОСТЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Моргуненко К. Ю.

Донецкий национальный технический университет

Согласно экспертных оценок мировые запасы нефти, природного газа и каменного угля будут исчерпаны в течение ближайших соответственно 40, 65 и 250 лет. Этому содействует увеличение энергопотребления в связи с экономическим ростом многих стран, а также рост населения земного шара. Наряду с этим большинство развитых стран (особенно в Европе) в настоящее время стремятся ограничить количество выбросов углекислого газа в атмосферу, о чем подписан Киотский договор. Одним из вариантов эффективного решения проблемы является развитие атомной энергетики, а также нетрадиционных источников энергии. К последним относится солнечная энергия (солнечные батареи), преимуществами которых является их экологическая чистота (отсутствие каких-либо выбросов, бесшумность), отсутствие необходимости в каком-либо горючем веществе, а также удобство в применении в связи с их модульным строением [1]. Однако до сих пор еще не была создана методика их расчета и проектирования.

Целью данной работы является создание модели фотоэлектрического преобразователя, которая бы соответствовала характеристикам реального модуля солнечного элемента, расчет параметров модели, а также получение осциллограмм токов и напряжений модуля, его вольт-амперной характеристики в симуляционной программе SIMPLORER, которая позволяет получать результаты в наглядном виде, а также анализировать различные режимы.

В работе было рассмотрено влияние кратковременных колебаний солнечного излучения (в связи с наличием облачности) на колебания мощности фотоэлектрического преобразователя. В качестве исследуемого был выбран фотоэлектрический преобразователь SM 110 производства фирмы SIEMENS. Исходными данными являются паспортные данные модуля, а также значения излучения для данного модуля, измеренные автором 30 мая 2007 года в г. Магдебург.

Физически солнечный элемент имеет строение аналогичное строению диода. Освещенный фотоэлектрический преобразователь можно представить в виде источника тока, подключенного параллельно диоду. Источник тока производит фототок I_{ph} , который прямо пропорционально связан с интенсивностью солнечного излучения E .

$$I_{ph} = c_0 \cdot E$$

Для более точного описания режимов схему замещения необходимо расширить (Рис.1). В реальных фотоэлектрических преобразователях существует падение напряжения на пути носителей заряда от полупроводника к контактам. Это падение напряжения можно описать с помощью включения в схему замещения последовательного сопротивления R_s . Кроме того, наблюдаются токи утечки, которые можно описать посредством параллельного сопротивления R_p . Последовательное сопротивление в реальных фотоэлементах лежит в области нескольких миллиом, а параллельное сопротивление, как правило, гораздо больше 10 Ом. Таким образом, получаем следующую схему замещения фотоэлектрического преобразователя [2]:

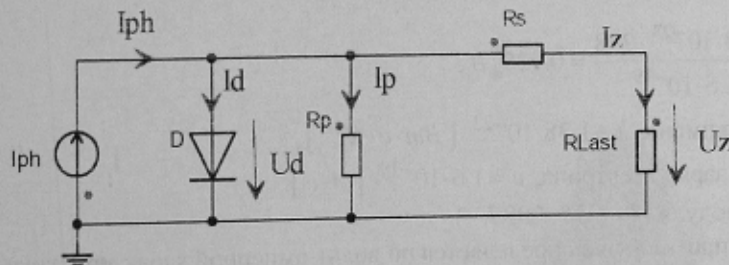


Рисунок 1 – Схема замещения фотоэлектрического преобразователя

Данная схема состоит из источника тока I_{ph} , включенного параллельно диоду D , а также последовательного R_s , параллельного R_p сопротивлений и сопротивления нагрузки R_{Last} .

Ток, протекающий через диод, описывается следующим выражением:

$$I_D = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{U_D}{m \cdot U_T}\right) - 1 \right),$$

где I_S - ток насыщения диода;

m - диодный фактор (для идеального диода равен 1);

U_D - напряжение на диоде;

U_T - температурное напряжение.

Тогда, уравнение, для расчета ВАХ для схемы замещения (Рис. 1), имеет вид:

$$0 = I_{ph} - I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{U_z + I_z \cdot R_S}{m \cdot U_T}\right) - 1 \right) - \frac{U_z + I_z \cdot R_S}{R_p} - I_z,$$

где U_z - напряжение на нагрузке;

I_z - ток через нагрузку;

R_S - последовательное сопротивление;

R_p - параллельное сопротивление.

В таблице 1 сведены основные технические данные фирмы-изготовителя для солнечного модуля SM 110. Все данные приводятся для стандартных тестовых условий ($E = 1000 \text{ Bm}/\text{M}^2$, $t = 25^\circ$).

Таблица 1 – заводские данные модуля SM 110

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
Номинальная мощность	P_{\max}	[Вт]	110
Конфигурация			24
MPP – ток	I_{MPP}	[А]	3,15
MPP – напряжение	U_{MPP}	[В]	35
Ток короткого замыкания	I_k	[А]	3,45
Напряжение холостого хода	U_l	[В]	43,5

Используя эти значения, можно определить параметры схемы замещения солнечного модуля. Источник тока фотоэлектрического преобразователя в программе SIMPLORER моделируется как функция излучения E от времени, умноженная на коэффициент пропорциональности между током и излучением C_0 . В приближенных расчетах фототок равен току короткого замыкания модуля:

$$I_k \approx I_{ph} = C_0 \cdot E,$$

Отсюда можно рассчитать коэффициент пропорциональности между фототоком и излучением (для стандартных тестовых условий для данного модуля $E = 1000 \text{ Bm}/\text{M}^2$):

$$C_0 = \frac{I_k}{E} = \frac{3.45}{1000} = 3.45 \frac{\text{mA}}{\text{Bm}/\text{M}^2}.$$

Диод задается током насыщения, равным 10^{-10} А, а также температурным напряжением U_T , которое находим как:

$$U_T = \frac{k \cdot T}{e} = \frac{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 298}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 0.0257 \text{ В},$$

где k - константа Больцмана, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} [\text{Bm} \cdot \text{c} \cdot \text{K}^{-1}]$,

e - элементарный заряд электрона, $e = 1.6 \cdot 10^{-19} [\text{A} \cdot \text{c}]$,

T - температура модуля ($t = 25^\circ = 298 \text{ K}$).

Параллельное сопротивление определяется по вольт-амперной характеристике модуля в области $U = 0$:

$$R_p \approx \frac{\partial U}{\partial I} \Big|_{U=0},$$

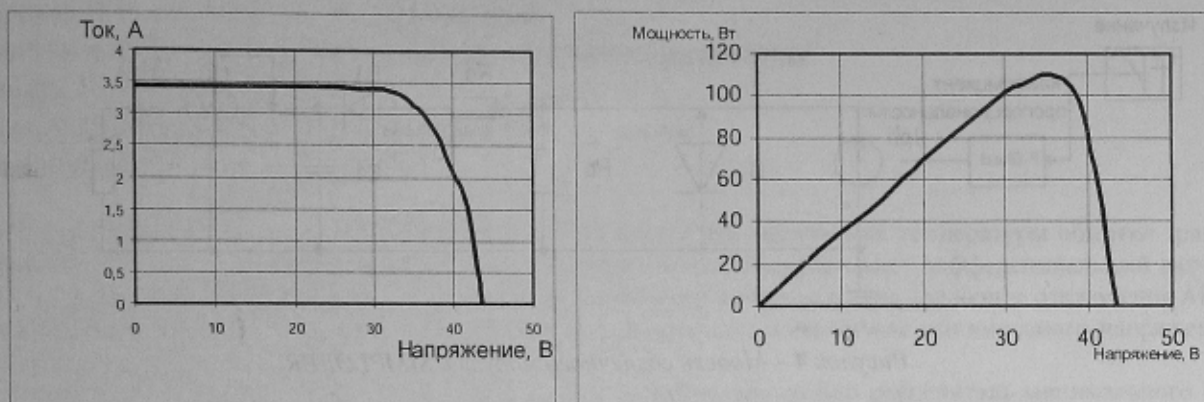
Последовательное сопротивление определяется по той же характеристике в области $I = 0$:

$$R_S \approx \frac{\partial U}{\partial I} \Big|_{I=0}.$$

В качестве переменной нагрузки в программе SIMPLORER использована пилообразная временная функция. Цель симуляции – получение вольт – амперной характеристики модели и сравнение ее с реальными данными модуля. Для фотоэлектрического преобразователя зависимость между током и напряжением имеет нелинейный характер (Рис. 2 а). На этой характеристике можно выделить две важные точки:

- точка холостого хода;
- точка короткого замыкания.

В точках холостого хода (напряжение максимальное, ток равен нулю) и короткого замыкания (ток максимальный, напряжение равно нулю) выходная мощность равна нулю, т. к. мощность, выдаваемая солнечным генератором, является произведением между величиной тока и напряжением в любой рабочей точке (Рис. 2б). На характеристике мощности можно также увидеть, что имеется точка, в которой мощность максимальна – точка Maximum Power Point (MPP ($U_{MPP} = 35V$, $I_{MPP} = 3.15A$)).



а) б)
Рисунок 2 – Симуляционные характеристики солнечного модуля
а) вольт – амперная характеристика; б) характеристика мощности

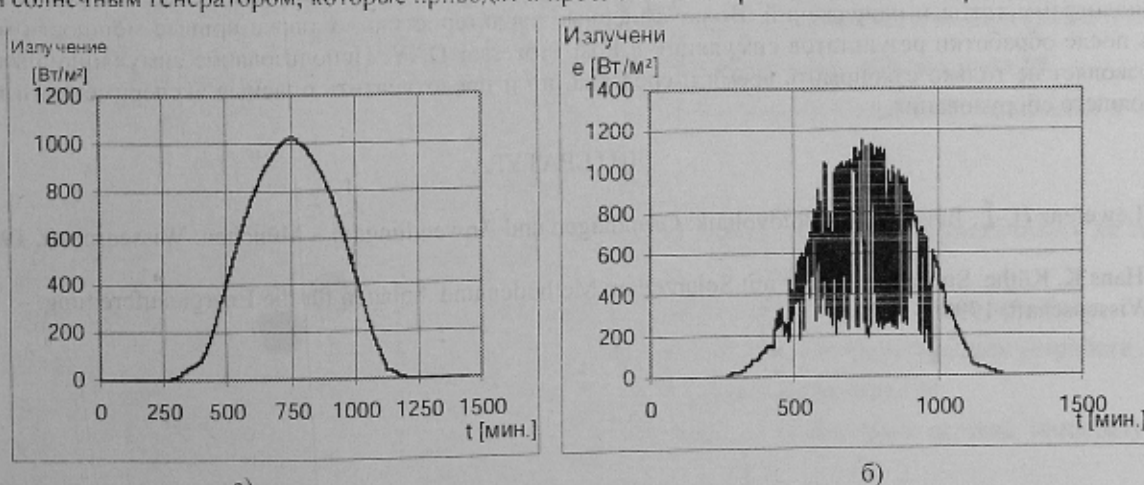
Можно увидеть, что данные характеристики, полученные симуляционно для модели солнечного генератора, соответствуют паспортным данным солнечного модуля. Это можно проверить в следующих точках: в точках холостого хода и короткого замыкания по вольт-амперной характеристике, а также в точке максимальной мощности по характеристике мощности. Соответствие симуляционных характеристик реальным свидетельствует о правильности построения модели, а также о правильности определения параметров схемы замещения.

По полученной вольт – амперной характеристике в точке максимальной мощности можно определить сопротивление. Для данного модуля это сопротивление составляет:

$$R_{MPP} = \frac{U_{MPP}}{I_{MPP}} = \frac{35}{3.15} = 11.11 \Omega$$

Таким образом, для дальнейших симуляций это сопротивление будет принято в качестве величины сопротивления нагрузки.

Основная проблема состоит в том, что солнечная энергия, поступающая на солнечный элемент, подвержена сильным стохастическим колебаниям, которые обусловлены в основном изменяющимися погодными условиями. Наибольшее влияние при этом оказывает наличие облачности: так, в безоблачный день кривая излучения является плавной (рис.3а), а в облачный – на кривой излучения наблюдаются резкие частые колебания, связанные с движением облаков (рис.3б). В результате, наблюдаются резкие колебания мощности, вырабатываемой солнечным генератором, которые приводят к проблемам с энергоснабжением потребителей.



а) б)
Рисунок 3 – суточные кривые излучения модуля SM110
а) безоблачный день; б) облачный день

Из анализа вышерассмотренных графиков можно сделать вывод, что непосредственная работа солнечного генератора на потребителя связано с большими трудностями. Как правило, в сочетании с фотоэлектрическим преобразователем, применяется какой-либо накопитель энергии (аккумулятор, батарея или конденсатор). Для сбережения энергии на короткое время применяются конденсаторы, которые во время сильного излучения заряжаются, а при недостатке – выдают энергию. Таким образом компенсируются резкие колебания мощности. Для предотвращения разряда конденсатор устанавливается дополнительный диод. Модель солнечного модуля в программе SIMPLORER имеет вид:

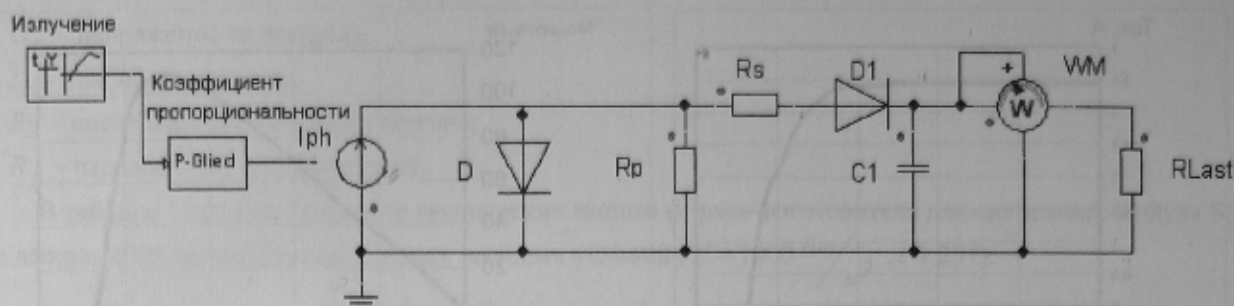


Рисунок 4 – Модель солнечного модуля в SIMPLORER

С применением конденсатора кривая мощности становится намного плавнее (Рис. 5).

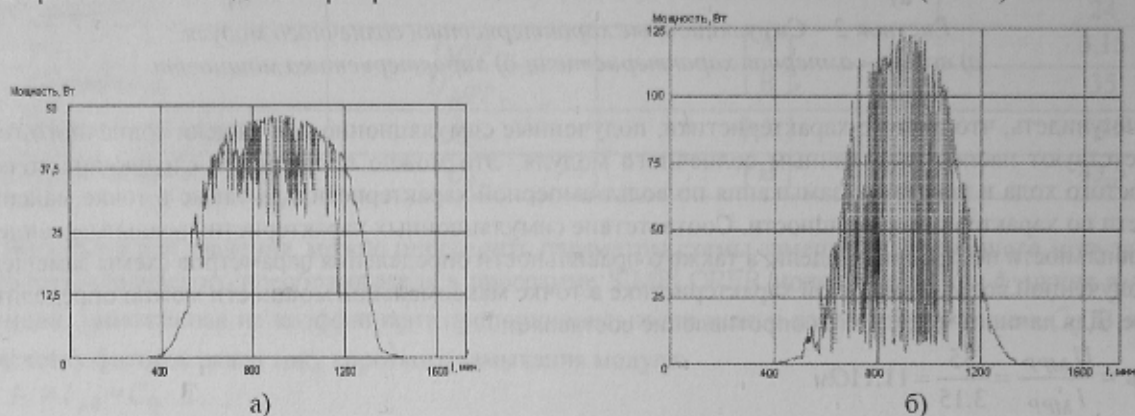


Рисунок 5 – кривые мощности солнечного модуля
а) с применением конденсатора; б) без применения конденсатора

Таким образом, можно сделать вывод, что применение симуляционных программ позволяет создать модель солнечного модуля, соответствующую его реальным параметрам. В данном случае, для исследования колебаний мощности в фотоэлектрических преобразователях, была использована симуляционная программа SIMPLORER, которая имеет готовую базу электрических элементов, позволяет изменять параметры схемы замещения, как до, так и во время симуляции, а также предоставляет возможность получать наглядные результаты в виде осциллограмм токов и напряжений. Вольт-амперные характеристики, а также кривые мощности можно получить после обработки результатов симуляции в Post Prozessor DAY. Использование симуляционных программ позволяет не только сэкономить время и средства, но и предотвратить опасные эксперименты и порчу дорогостоящего оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lewerenz H.-J., Jungblut H. Photovoltaik: Grundlagen und Anwendungen. – München: Wissenschaft, 1995. – 327s.
2. Hans K. Köthe. Stromversorgung mit Solarzellen: Methoden und Anlagen für die Energieaufbreitung. – Leipzig: Wissenschaft, 1999. – 293 s.