

# ҚУЁШ ЭНЕРГЕТИКАСИ СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

---

---

## Моделирование нагрузочных вольтамперных характеристик солнечного модуля в среде “LabVIEW”

Атаниязов А.К. (ГУП «UNICON.UZ»)

*Мақолада қуёш модулининг юкламадаги вольтампер характеристикаси асосида уларнинг ишчи параметрларини ва фойдали иш коэффициентни аниқлаш кўрилган бўлиб, бу характеристикани аниқлашда LabVIEW программаси қўлланилган.*

*В статье предложен подход для определения рабочих параметров и коэффициента полезного действия солнечного модуля на основе их нагрузочных вольтамперных характеристик. Для определения этих параметров используется программный продукт LabVIEW.*

*The article proposes an approach for determining the operating parameters and the efficiency of solar modules on basis of their current-voltage characteristics of, for determine these parameters using the software LabVIEW.*

В настоящее время в мировой практике созрели предпосылки для становления “новой энергетики”, базирующейся на все более широком использовании энергии солнечного излучения. Причинами этого являются как проблемы, накопившиеся в традиционной энергетике, так и значительный прогресс в разработке полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и солнечных энергосистем на их основе.

Снижение стоимости „солнечной“ электроэнергии может быть достигнуто при использовании высокоэффективных наногетероструктурных ФЭП, работающих совместно с имеющими низкую себестоимость оптическими концентраторами солнечного излучения, например, круговыми линзами Френеля. Разработанные в последние годы ФЭП каскадного типа на основе материалов  $A^3B^5$  являются наиболее эффективными и имеют в наземных условиях КПД до 41% с перспективой увеличения до 50%. Площадь ФЭП, необходимая для выработки заданной электрической мощности,

уменьшается в соответствии с кратностью концентрирования излучения, достигающей значений 500 от исходного значением и более. На сегодняшний день освоенными на практике являются трехкаскадные ФЭП с гетероструктурой  $(Al)GaInP/Ga(In)As/Ge$ . Три фотоактивных  $p-n$  - перехода, расположенные в указанных материалах, соединены последовательно с помощью двух встроенных туннельных  $p^+-n^+$ - переходов. Хотя ключевым элементом солнечной энергосистемы является каскадный фотопреобразователь, тем не менее, разработка концентраторно - фотоэлектрического модуля требует взаимного согласования параметров всех составляющих элементов - оптического концентратора ФЭП, устройства отвода тепла и системы слежения за Солнцем [1-2].

В настоящей статье моделирована нагрузочная вольтамперная характеристика (ВАХ) солнечного модуля, определены рабочие параметры и КПД с помощью программного продукта LabVIEW.

В идеальном солнечном элементе (СЭ) ток равен разности возникающему из-за фотовольтаического эффекта  $I_L$  за вычетом тока диода  $I_D$ :

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0(\exp(qV/kT) - 1), \quad (1)$$

где  $I_0$  - ток насыщения диода,  $q$  - элементарный заряд равный  $1.6 \times 10^{-19}$  Кулон,  $k$  - постоянная Больцмана равная  $1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К,  $T$  - абсолютная температура, и  $V$  - напряжение фотовольтаической ЭДС.

Нагрузочная ВАХ освещенного СЭ имеет вид, показанный на рис.1. Напряжение при измерениях меняется от нуля до напряжения холостого хода  $V_{XX}$ , и многие параметры СЭ могут быть описаны как показано ниже.

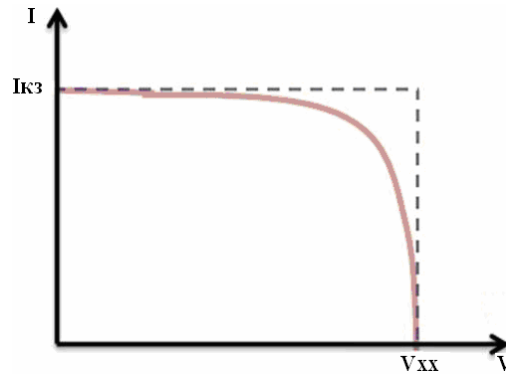


Рис.1. ВАХ СЭ при освещении

Ток короткого замыкания  $I_{кз}$  представляет собой максимальный ток, который протекает через СЭ при коротком замыкании его выводов:

$$I_{кз} = I_{MAX} \text{ при } V=0$$

При отсутствии тока через СЭ на нем действует максимально возможная величина ЭДС- напряжение холостого хода  $V_{XX}$ :

$$V_{XX} = V_{MAX} \text{ при } I=0$$

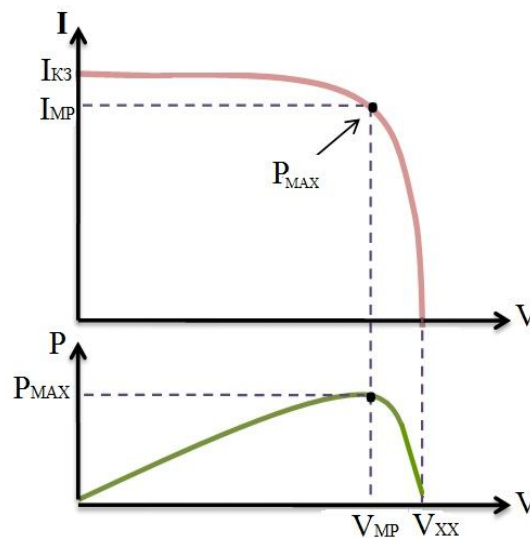


Рис.2. Максимальная мощность СЭ

Электрическая мощность СЭ может быть легко рассчитана по равенству  $P=IV$ . При достижении максимальных значений тока и напряжения ( $I$  и  $V$ ) мощность нулевая. Максимальное значение мощности достигается между этими двумя точками. Напряжение и ток при максимальной мощности обозначены  $V_{MP}$  и  $I_{MP}$  (рис.2).

Фактор заполнения нагрузочной характеристики СЭ (Fill Factor-FF) особая мера качества СЭ. Он вычисляется сравнением максимальной мощности с теоретической мощностью ( $P_T$ ), которая могла бы быть выходной при протекании тока короткого замыкания и действии напряжения холостого хода. Фактор заполнения может быть интерпретирован графически как степень прямоугольности ВАХ (рис.3).

$$FF = \frac{P_{MAX}}{P_T} = \frac{I_{MP} \cdot V_{MP}}{I_{KЗ} \cdot V_{ХХ}}, \quad (2)$$

Значения фактора заполнения должно лежать в диапазоне 0.5-0.82. Эффективность КПД ( $\eta$ ) равен отношению выходной электрической мощности  $P_{out}$ , к мощности солнечной радиации  $P_{in}$ , падающий на СЭ,  $P_{out}$  может быть доведена до  $P_{MAX}$ . При этом СЭ будет развивать максимальную мощность и иметь максимальную эффективность:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta_{MAX} = \frac{P_{MAXt}}{P_{in}} \quad (3)$$

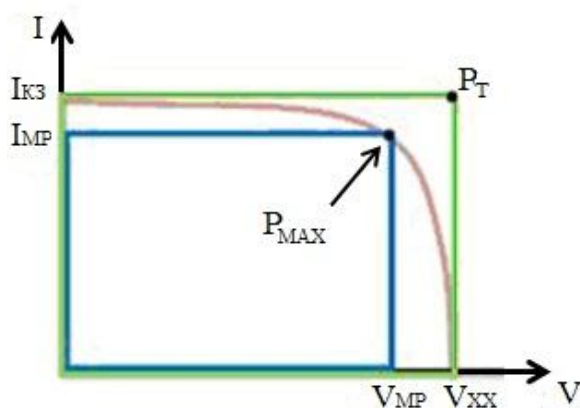


Рис. 3. Вычисление фактора заполнения по ВАХ СЭ

$P_{in}$  берется в Вт/м<sup>2</sup> или в солнцах (100Вт/м<sup>2</sup>), отнесенных к площади СЭ [м<sup>2</sup>]. Максимальная эффективность зависит также от окружающих условий, таких как температура, интенсивность и спектральный состав освещения. Поэтому рекомендуется тестировать и сравнивать СЭ при сходных условиях освещения и одинаковой температуре.

При работе эффективность СЭ снижается из-за рассеяния электрической мощности на внутреннем сопротивлении. Это паразитное рассеяние мощности можно смоделировать, используя параллельное шунтирующее ( $R_{SH}$ ) и последовательное сопротивления ( $R_S$ ), что показано на рис.4.

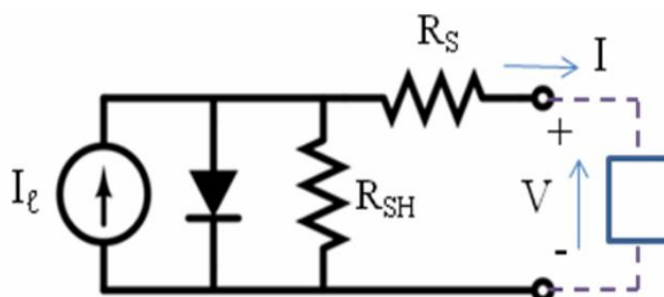


Рис. 4. Простейшая эквивалентная схема СЭ

Для анализа нагрузочной ВАХ солнечного модуля применена программа расчета LabVIEW. При помощи LabVIEW можно получить главные параметры характеризующие СЭ. В программе LabVIEW можно добавить набор виртуальных инструментов (Solar Toolkit) для анализа, тестирования СЭ или модуля и построить их нагрузочные ВАХ. Набор инструментов (Solar Toolkit) позволяет упростить измерения ВАХ СЭ или солнечного модуля и вычисления их основных параметров. На рис.5 приведена модель нагрузочного ВАХ солнечного модуля, полученным расчетным путем.

## Photovoltaic Cell Characterization

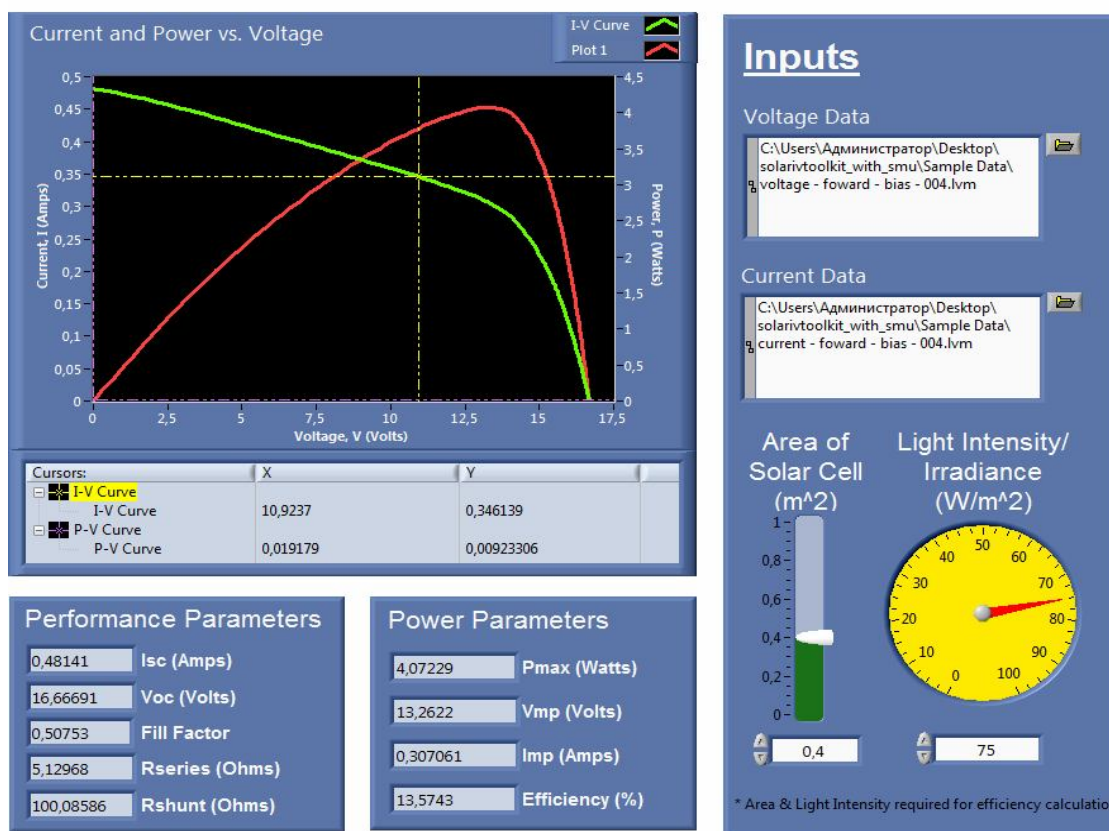


Рис. 5. Нагрузочная ВАХ солнечного модуля, полученная при помощи программной среде LabVIEW

В данной модели в качестве солнечного излучения использован виртуальный прибор, который выполняет функцию имитатора солнечного излучения, при этом можно определить входную мощность, построить нагрузочную ВАХ солнечного модуля и получить следующие параметры:

- Open Circuit Voltage ( $V_{OC}$ ) - напряжение холостого хода;
- Short Circuit Current ( $I_{SC}$ ) - ток короткого замыкания;
- Maximum Power ( $P_{MAX}$ ), Current at  $P_{MAX}$  ( $I_{MP}$ ), Voltage at  $P_{MAX}$  ( $V_{MP}$ );  $P_{MAX}$  - максимальная мощность,  $I_{MP}$  - ток при  $P_{MAX}$ ,  $V_{MP}$  - напряжение при  $P_{MAX}$ ;
- Fill Factor (FF) - коэффициент заполнения;
- Shunt Resistance ( $R_{SH}$ ) - параллельное шунтирующее сопротивление;
- Series Resistance ( $R_S$ ) - последовательное сопротивление;
- Maximum Efficiency ( $\eta_{MAX}$ ) - КПД.

Следует отметить, что многие параметры СЭ, в том числе максимальная эффективность солнечного модуля зависят от условий окружающей среды, таких как температура, интенсивность и спектральный состав света. В мо-

дели отсутствует влияние окружающей среды, таких как температура и спектральный состав света. Определение КПД фотовольтаических элементов состоит в изучении их нагрузочных вольтамперных характеристик. В программной среде LabVIEW, являющейся средой визуального программирования для прикладных систем такой анализ осуществим наиболее эффективным, гибким и масштабируемым образом. Моделирование СЭ с помощью программных продуктов и измерения аппаратными средствами (NI PXI Measurement and Control platform производства компании National Instruments) позволяет анализировать и изучить способы увеличения КПД не только традиционных, но и высокоэффективных наноструктурных ФЭП.

#### Литература

1. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989.
2. Алферов Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. журнал "Физика и техника полупроводников". 2004. Т. 38. Вып. 8. С. 937–948.

