

---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## TECHNICAL SCIENCES

УДК 621.3  
ББК 31.2  
К 31

### **Кашин Я.М.**

*Кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, e-mail: jlms@mail.ru*

### **Белов А.А.**

*Соискатель кафедры электротехники и электрических машин Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, e-mail: belov.anton.7@mail.ru*

### **Имитационное моделирование модулей фотоэлектрических элементов в программной среде Proteus ISIS**

*(Рецензирована)*

#### **Аннотация**

*Представлен порядок разработки модели модулей фотоэлектрических элементов в среде имитационного моделирования Proteus ISIS (Labcenter Electronics, Великобритания). Разработан принцип построения вольтамперных характеристик модулей фотоэлектрических элементов при заданных условиях номинальной мощности и номинального выходного напряжения. Описан принцип построения схемы и расчета примитивов модулей фотоэлектрических элементов на основе полученных вольтамперных характеристик.*

**Ключевые слова:** *модули фотоэлектрических элементов, среда имитационного моделирования Proteus ISIS, расчет параметров примитивов.*

### **Kashin Ya.M.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Electrical Engineering and Electrical Machinery, Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: jlms@mail.ru*

### **Belov A.A.**

*Applicant for Candidate's degree of Department of Electrical Engineering and Electrical Machinery, Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: belov.anton.7@mail.ru*

### **The imitation modeling of photovoltaic modules in the simulation system Proteus ISIS**

#### **Abstract**

*This paper shows how to develop a model of photovoltaic modules in the simulation system Proteus ISIS (Labcenter Electronics, UK). The principle of construction of the current-voltage characteristics of photovoltaic modules is developed under specified conditions of the nominal power and the nominal output voltage. The principle of the scheme construction and calculation of primitives of photovoltaic modules is considered on the basis of the current-voltage characteristics.*

**Keywords:** *photovoltaic modules, simulation system Proteus ISIS, calculation of primitive parameters.*

*Целью имитационного моделирования является разработка в программной имитационной среде моделей МФЭП\* в качестве первичных источников питания СМ-инвертора при заданных параметрах номинальной выходной мощности и номинального выходного напряжения.*

---

\* В статье приняты сокращения: ВАХ – вольтамперная характеристика, СИМ – (программная) среда имитационного моделирования, СМ – ступенчатая модуляция, СМ-инвертор – инвертор ступенчатой модуляции, ТММ – точка максимальной мощности, МФЭП – модуль фотоэлектрического преобразователя, ФЭП – фотоэлектрический преобразователь.

## 1. Выбор программной среды имитационного моделирования МФЭП

Программная среда имитационного моделирования Proteus ISIS разработана фирмой Labcenter Electronics (Великобритания) и представляет собой систему схемотехнического моделирования, базирующуюся на основе моделей электронных компонентов, принятых в PSpice (разработана на основе ядра PSpice3F5 университета Berkeley) [1, 2].

Данная СИМ выбрана по следующим причинам:

1) в отличие от существующих программных аналогов, основные из которых Electronics Workbench, Proteus ISIS, MatLAB Simulink, LTspice, Multisim, Microcap, позволяет моделировать работу контроллеров и элементов реально существующих электронных компонентов (имеет более 6000 аналоговых и цифровых моделей устройств (примитивов) [3]); удобство в моделировании и программировании контроллеров; в числе прочих моделей контроллеров имеются следующих типов: ATmega, 8051, ARM7, AVR, Motorola, PIC, MSP430, Basic Stamp;

2) данные МФЭП являются первичными источниками питания для модели СМ-инвертора; данная модель инвертора разрабатывается в среде Proteus ISIS;

3) программа имеет интуитивно понятный интерфейс;

4) имеется возможность моделировать монтажные платы, исходя из собранных схем; каждый примитив реально существующего элемента содержит данные об его габарито-размерах;

5) библиотека примитивов СИМ содержит справочные данные.

## 2. Обоснование необходимости разработки моделей

Методики, позволяющей моделировать МФЭП необходимого напряжения и мощности (т.е. произвольно заданных), имеющих такие же ВАХ, как у современных образцов, при рассмотрении источников найдено не было.

В СИМ Proteus ISIS модельного примитива МФЭП нет.

## 3. Составление системы уравнений ВАХ для имитационной модели МФЭП

Типовая ВАХ МФЭП показана на рисунке 1 [4-6]. При данном моделировании влияние освещенности МФЭП отсутствует, т.к. не входит в задачу моделирования СМ-инвертора.



Рис. 1. Вольтамперная характеристика МФЭП

Напряжение, при котором ток равен нулю, называется напряжением холостого хода ( $U_{хх}$ ) [7-9]. С другой стороны, ток, при котором напряжение равно нулю, называется током короткого замыкания ( $I_{кз}$ ). В этих крайних точках ВАХ мощность МФЭП равна нулю. Координата ВАХ, при которой выходные напряжение и ток равны номи-

нальным ( $U_{ном}$ ,  $I_{ном}$ ), называется точкой передачи максимальной мощности (ТММ). Именно для этой точки определяются номинальная мощность и КПД МФЭП [8, 9]. Названные параметры ( $U_{хх}$ ,  $I_{кз}$ ,  $U_{ном}$ ,  $I_{ном}$ , ТММ) в обязательном порядке указываются производителями на корпусах МФЭП.

Из ВАХ рисунка 1 видно, что при росте тока нагрузки МФЭП напряжение на его выходе медленно снижается до точки с  $I_{ном}$ . При токе, большем  $I_{ном}$ , напряжение на выходе начинает резко снижаться до нуля (в точке  $I_{кз}$ ) [4-6].

Следовательно, для упрощения моделирования кривая ВАХ (рис. 1) может быть эквивалентно заменена двумя прямыми вида  $f(x)=kx+b$ , пересекающимися в точке ( $I_{ном}$ ,  $U_{ном}$ ). Подобная замена показана на рисунке 2.

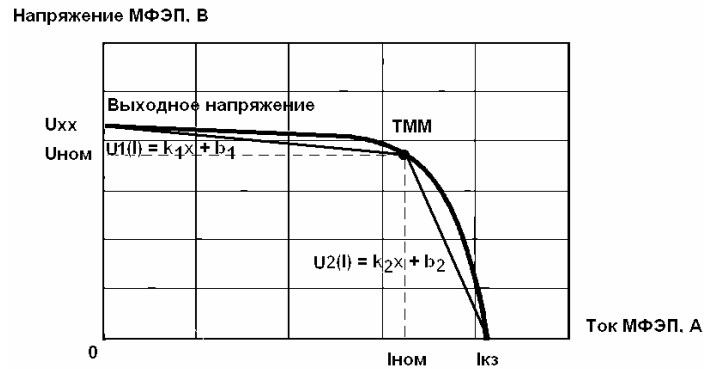


Рис. 2. Вольтамперная характеристика МФЭП и ее эквивалентная замена двумя прямыми вида  $f(x)=kx+b$

Таким образом, система уравнений для имитационной модели МФЭП будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} U(I) = k_1 \cdot I + b_1, & I \leq I_{ном}; \\ U(I) = k_2 \cdot I + b_2, & I > I_{ном}; \\ U(I) = 0, & I = I_{кз}. \end{cases} \quad (1)$$

где  $U$  – выходное напряжение МФЭП, В;  
 $I$  – выходной ток МФЭП, А.

Учитывая свойства прямых  $f(x)=kx+b$  и произведя соответствующие преобразования, определим коэффициенты прямых:

$$\begin{cases} k_1 = \frac{U_{ном} - U_{хх}}{I_{кз}}, \\ k_2 = \frac{-U_{ном}}{I_{кз} - I_{ном}}, \\ b_1 = U_{хх}, \\ b_2 = -k_2 \cdot I_{кз}. \end{cases} \quad (2)$$

Примем номинальное значение выходной мощности каждого из МФЭП равным 3000 Вт и следующие номинальные выходные напряжения:

$$\begin{cases} U_{МФЭП1Н} = 44,29 \text{ В}, \\ U_{МФЭП2АН} = 88,58 \text{ В}, \\ U_{МФЭП3АН} = 177,16 \text{ В}, \\ U_{МФЭП4АН} = 31 \text{ В}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $U_{МФЭП1Н}$ ,  $U_{МФЭП2Н}$ ,  $U_{МФЭП3Н}$ ,  $U_{МФЭП4Н}$  – номинальные значения выходного напряжения для первого, второго, третьего и четвертого МФЭП соответственно.

Параметры современных МФЭП [10-12] и их эквивалентные ВАХ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры современных МФЭП

Номинальные параметры						Аналитические параметры					
Тип МФЭП	Номинальная мощность	Номинальное напряжение	Номинальный ток	Напряжение холостого хода	Ток короткого замыкания	Коэффициент прямой U1(I)	Коэффициент прямой U2(I)	b1	b2	$\frac{U_{xx}}{U_{ном}}$	$\frac{I_{кз}}{I_{ном}}$
-	Рном	Uном	Iном	Uxx	Iкз	k1	k2	-	-	-	-
	Вт	В	А	В	А	-	-				
M30	30	17	1,77	21	2	-2,00	-73,91	21	147,83	1,24	1,13
M100	100	17	5	21	7	-0,57	-8,50	21	59,50	1,24	1,40
NP120G	120	17,3	6,95	22	7,69	-0,61	-23,38	22	179,78	1,27	1,11
M150	150	34	4,4	42	5,3	-1,51	-37,78	42	200,22	1,24	1,20
TRC-113 160	160	34,4	4,65	43,2	4,9	-1,80	-137,60	43,2	674,24	1,26	1,05

При рассмотрении параметров современных МФЭП видно следующее: отношение  $U_{xx}/U_{ном}$  варьируется от 1,24 до 1,27, отношение  $I_{кз}/I_{ном}$  варьируется в пределах от 1,11 до 1,40.

Из этого следует, что недостающие параметры моделируемых МФЭП можно определить следующим образом:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{ном}}; \quad (4)$$

$$I_{кз} = I_{ном} \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{I_{кзи}}{I_{номi}}}{5}, \quad (5)$$

где  $\frac{\sum_{i=1}^5 \frac{I_{кзи}}{I_{номi}}}{5}$  – среднее значение отношения  $I_{кз}/I_{ном}$  (находится из таблицы 1).

$$U_{xx} = U_{ном} \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{U_{xxi}}{U_{номi}}}{5}, \quad (6)$$

где  $\frac{\sum_{i=1}^5 \frac{U_{xxi}}{U_{номi}}}{5}$  – среднее значение отношения  $U_{xx}/U_{ном}$  (находится из таблицы 1).

Из выражения (6) и таблицы 1 следует, что  $U_{xx}=U_{ном} \cdot 1,24$ . Учитывая зависимость напряжения холостого хода МФЭП от уровня освещенности [4-6], а также в соответствии с действующими нормами качества электроэнергии [13], примем для поставленной задачи моделирования МФЭП:

$$U_{xx} = U_{ном} \cdot 1,1. \quad (7)$$

Параметры ВАХ  $k_1, k_2, b_1, b_2$  находятся из выражения 2.

Для удобства расчета параметров МФЭП была разработана на языке высокого уровня Delphi 6.0 и зарегистрирована «Программа расчета параметров моделируемого модуля фотоэлектрических элементов» [14].

Рассчитанные значения указаны в таблице 2.

Расчитанные параметры моделируемых МФЭП

Тип МФЭП	Номинальная мощность	Номинальное напряжение	Номинальный ток	Напряжение холостого хода	Ток короткого замыкания	Коэффициент прямой U1(I)	Коэффициент прямой U2(I)	b1	b2	$\frac{U_{хх}}{U_{ном}}$	$\frac{I_{кз}}{I_{ном}}$
	Рном Вт	Uном В	Iном А	Uхх В	Iкз А	k1 -	k2 -				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
МФЭП1	3000	44,29	67,74	48,72	79,93	-0,06	-3,63	48,72	290,35	1,10	1,18
МФЭП2	3000	88,58	33,87	97,44	39,96	-0,22	-14,53	97,44	580,69	1,10	1,18
МФЭП3	3000	177,16	16,93	194,88	19,98	-0,89	-58,12	194,88	1161,38	1,10	1,18
МФЭП4	3000	31	96,77	34,10	114,19	-0,03	-1,78	34,10	203,22	1,10	1,18

Следовательно, система уравнений, описывающая модели МФЭП, будет иметь вид:

$$\begin{cases} U_{\text{МФЭП1}}(I_1) = -0,06 \cdot I_1 + 48,72, & I_1 \leq 67,74 \text{ A}, \\ U_{\text{МФЭП1}}(I_1) = -3,63 \cdot I_1 + 290,35, & I_1 > 67,74 \text{ A}; \\ U_{\text{МФЭП2}}(I_2) = -0,22 \cdot I_2 + 97,44, & I_2 \leq 33,87 \text{ A}, \\ U_{\text{МФЭП2}}(I_2) = -14,53 \cdot I_2 + 580,69, & I_2 > 33,87 \text{ A}; \\ U_{\text{МФЭП3}}(I_3) = -0,89 \cdot I_3 + 194,88, & I_3 \leq 16,93 \text{ A}, \\ U_{\text{МФЭП3}}(I_3) = -58,12 \cdot I_3 + 1161,38, & I_3 > 16,93 \text{ A}, \\ U_{\text{МФЭП4}}(I_4) = -0,03 \cdot I_4 + 34,10, & I_4 \leq 96,77 \text{ A}, \\ U_{\text{МФЭП4}}(I_4) = -1,78 \cdot I_4 + 203,22, & I_4 > 96,77 \text{ A} \end{cases} \quad (8)$$

где  $I_1, I_2, I_3, I_4$  – выходные токи каждого из моделируемых модулей ФЭП соответственно.

#### 4. Разработка принципиальной схемы имитационной модели МФЭП

Выражение 1 имеет следующий физический смысл:

$$\begin{cases} U(I) = -R1 \cdot I + E1, & R1 = k1, & E1 = b1, & I \leq I_{ном}; \\ U(I) = -R2 \cdot I + E2, & R2 = k2, & E2 = b2, & I > I_{ном}; \\ U(I) = 0, & I = I_{кз}. \end{cases} \quad (9)$$

МФЭП может быть представлен двумя ветвями с источником ЭДС и резистором каждая. При этом переключение ветвей зависит от тока нагрузки (условие 8). Подобная схема показана на рисунке 3.

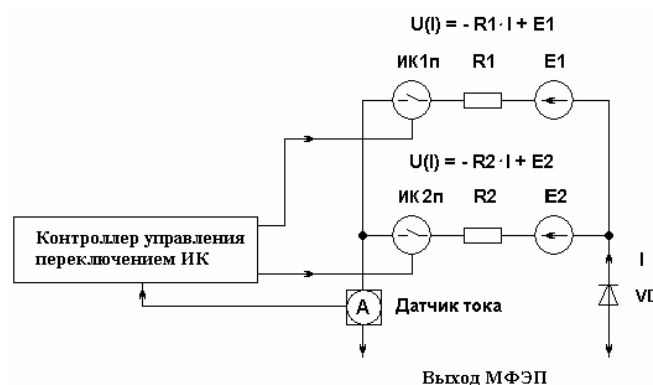


Рис. 3. Структурная схема МФЭП с использованием контроллера

Из рисунка 3 видно, что контроллер включает идеальные ключи ИК1п и ИК2п (один ключ замкнут, один разомкнут) в зависимости от выходного тока (поступает от датчика тока) согласно условиям 8 и 9. Диод VD препятствует движению тока в обратном направлении; необходимость его применения обусловлена полупроводниковым характером МФЭП.

Для разработки имитационной модели по схеме рисунка 3 в СИМ Proteus ISIS имеются все необходимые средства. Вместе с тем, существует возможность моделирования МФЭП без использования контроллеров, что позволяет уменьшить время обработки расчетов СИМ Proteus ISIS (уменьшает количество контроллеров на четыре штуки – по одному на каждый МФЭП). Это возможно сделать, применяя примитивы управляемых резисторов (меняют свое сопротивление в зависимости от величины тока (управляются током) или напряжения (управляются напряжением)) и управляемых ЭДС (управляются также от тока или напряжения).

Разработанная принципиальная схема в среде СИМ Proteus ISIS для МФЭП1 показана на рисунке 4. Схемы для МФЭП2-МФЭП4 различаются только параметрами примитивов относительно схемы МФЭП1.

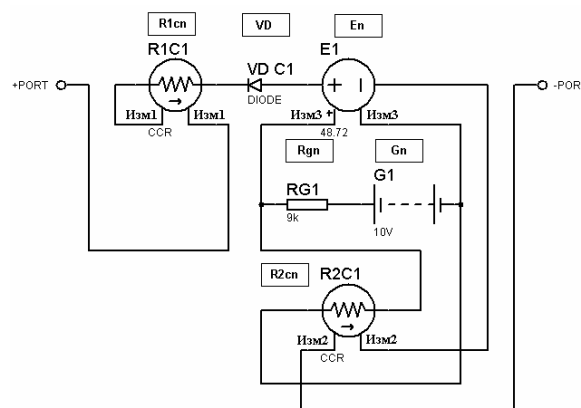


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема МФЭП в СИМ Proteus ISIS с использованием управляемых резисторов и управляемой ЭДС (показана схема МФЭП1)

В схеме управляемые током резисторы R1cn, R2cn (где n – номер МФЭП) меняют свое сопротивление в зависимости от тока на выходе МФЭП при его прохождении по измерительным частям Изм1 и Изм2 соответственно. Отметим также, что измерительные части имеют нулевое сопротивление. Управляемый напряжением источник En меняет значение величины ЭДС в зависимости от напряжения на измерительной части Изм3. Измерительная часть Изм3 соединена параллельно с цепью управления Rgn-Gn-R2Cn. Отметим, что измерительная цепь Изм3 имеет бесконечное сопротивление. Изменение напряжения на выходе цепи управления происходит из-за изменения сопротивления R2cn. Применение батареи G необходимо, т.к. выбран источник ЭДС, управляемый напряжением.

При этом использованы следующие примитивы: 1) R1cn, R2cn – Current control resistor model (CCR), из библиотеки Modeling primitives; 2) En – Voltage controlled voltage source model (VCVS) – из библиотеки Modeling primitives; 3) Egn – DC voltage source (DCVS) – из библиотеки Simulator primitives; 4) Rgn – Generic resistor symbol (GR) – из библиотеки Resistors; 5) VD – Generic diode (GD) – из библиотеки Diodes; 6) PORT(+), PORT(-) – выходы МФЭП (инструмент Terminals mode).

Таким образом, схема полностью удовлетворяет условиям 8 и 9.

Определим параметры примитивов МФЭП СИМ Proteus ISIS.

Величина ЭДС УЭДС зависит от напряжения на измерительной части Изм3 (рис. 4) следующим соотношением:

$$E_n = U_{\text{Изм3}} \cdot \text{GAIN}, \quad (10)$$

где  $U_{\text{Изм3}}$  – напряжение на измерительной цепи Изм3 УЭДС, В;

$\text{GAIN}$  – коэффициент усиления напряжения УЭДС (параметр примитива УЭДС в СИМ Proteus ISIS).

Определим параметры  $R1_{cn}$ :

$$\begin{cases} R1_{cn} = k1n, & I \leq I_{\text{OFF1}}, \\ R1_{cn} = k2n, & I > I_{\text{ON1}}, \\ I_{\text{ON1}} = I_{\text{OFF1}} + 0,01, \end{cases} \quad (11)$$

где  $n$  – номер МФЭП;

$k1, k2$  – коэффициенты согласно условиям таблицы 2;

$I_{\text{OFF1}}$  – ток, до которого  $R1_{cn}$  имеет сопротивление  $R_{\text{OFF}}$ ;

$I_{\text{ON1}}$  – ток, при котором (и более)  $R1_{cn}$  имеет сопротивление  $R_{\text{ON}}$ .

Определим параметры  $R2_{cn}$ .

Исходя из схемы рисунка 4:

$$E_{gn} = U_{R_{gn}} + U_{R2_{cn}}, \quad (12)$$

где  $E_{gn}$  – ЭДС батареи  $G_n$ , В;

$U_{R_{gn}}, U_{R2_{cn}}$  – напряжения на резисторах соответственно  $R_{gn}$  и  $R2_{cn}$ , В.

Т.к.  $U_{R_{gn}} = R_{gn} \cdot I_{gn}$ ,  $U_{R2_{cn}} = R2_{cn} \cdot I_{gn}$ , то

$$R2_{cn} = \frac{E_{gn}}{I_{gn}} - R_{gn}, \quad (13)$$

где  $I_{gn}$  – ток, протекающий через  $R_{gn}, R2_{cn}, G_n, A$ .

После преобразований, учитывая  $I_{gn} = U_{\text{Изм3}} / R2_{cn}$  и выражение 10, получим:

$$R2_{cn} = \frac{R_{gn} \cdot \frac{E_n}{\text{GAIN}}}{E_{gn} - \frac{E_n}{\text{GAIN}}}. \quad (14)$$

Примем значения  $\text{GAIN}$  равными напряжениям холостого хода МФЭП (из табл. 2).

Для удобства расчета параметров примитивов моделирования МФЭП в СИМ Proteus ISIS была разработана на языке высокого уровня Delphi 6.0 и зарегистрирована «Программа расчета параметров примитивов СИМ Proteus ISIS, используемых для моделирования МФЭП» [15].

Рассчитанные параметры примитивов приведены в таблице 3.

### Основные выводы

1. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать следующие параметры МФЭП при заданных номинальной мощности и номинальном выходном напряжении: напряжение холостого хода, номинальный ток, ток короткого замыкания.

2. Разработана принципиальная схема МФЭП в СИМ Proteus ISIS, а также методика расчета параметров примитивов данной схемы, позволяющая моделировать МФЭП с заданными параметрами ВАХ.

3. Разработанная модель МФЭП и принципы ее расчета могут быть использованы в различных средах имитационного моделирования электрических схем, где нет примитива ФЭП и есть примитивы управляемых резисторов и ЭДС.

Таблица 3

Параметры примитивов СИМ Proteus ISIS, используемых для имитационного моделирования МФЭП

Параметр примитива	Назначение параметра	Ед. изм.	n=1 (МФЭП1)	n=2 (МФЭП2)	n=3 (МФЭП3)	n=4 (МФЭП4)	Примечание
Управляемая ЭДС (En)							
GAIN	Коэффициент умножения напряжения	-	48,72	97,44	194,88	34,10	Параметры присвоены равными U <sub>хх</sub>
IC	Начальное состояние управляемой ЭДС	В	0	0	0	0	-
Управляемый резистор R1cn							
ION	Ток, при котором управляемый резистор меняет сопротивление на RON	А	67,74	33,87	16,93	96,77	Параметры присвоены согласно 8
RON	Сопротивление при токе ION	Ом	3,63	14,53	58,12	1,78	Параметры присвоены согласно 8
IOFF	Ток, ниже которого управляемый резистор принимает значение ROFF	А	67,73	33,86	16,92	96,76	Параметры присвоены согласно 8
ROFF	Сопротивление при токе ниже IOFF	Ом	0,06	0,22	0,89	0,03	Параметры присвоены согласно 8
Model type	Тип примитива: аналоговый (А) или цифровой (Ц)	-	А	А	А	А	-



Продолжение таблицы 3

Параметр примитива	Назначение параметра	Ед. изм.	n=1 (МФЭП1)	n=2 (МФЭП2)	n=3 (МФЭП3)	n=4 (МФЭП4)	Примечание
Управляемый резистор R2cp							
ION	Ток, при котором управляемый резистор меняет сопротивление на RON	А	67,74	33,87	16,93	96,77	Параметры присвоены согласно 14
RON	Сопротивление при токе ION	Ом	13274,83	13274,26	13274,26	13274,64	Параметры присвоены согласно 14
IOFF	Ток, ниже которого управляемый резистор принимает значение ROFF	А	67,73	33,86	16,92	96,76	Параметры присвоены согласно 14
ROFF	Сопротивление при токе ниже IOFF	Ом	1000	1000	1000	1000	Параметры присвоены согласно 14
Model type	Тип примитива: аналоговый (А) или цифровой (Ц)	-	А	А	А	А	-
Идеальный резистор Rgn							
Resistance	Значение сопротивления	Ом	9000	9000	9000	9000	-
Model type	Тип примитива: аналоговый (А) или цифровой (Ц)	-	А	А	А	А	-
Батарея (источник напряжения) Gn							
Voltage	Напряжение	В	10	10	10	10	-
Internal resistance	Внутреннее сопротивление	Ом	0	0	0	0	-
Идеальный диод VD							
Model type	Тип примитива: аналоговый (А) или цифровой (Ц)	-	А	А	А	А	-

---

### Примечания:

1. Proteus ISIS User Manual. Labcenter Electronics, 2002. 135 pp.
2. Краткий учебный курс Proteus ISIS // PROTEUS ISIS русское руководство для начинающих. 2011. Май. URL: <http://Proteus ISIS123.narod.ru/>
3. Руководство по интерактивному моделированию Proteus ISIS // RADIOPROG. 2011. Май. URL: <http://www.radioprogram.ru/?page=20>
4. Ильяина Н.А., Тугай Д.В., Сабалаев А.Н. Четырехтактный повышающий широтно-импульсный преобразователь постоянного напряжения в постоянное в системе электроснабжения с солнечной батареей // Світлотехніка та електроенергетика. 2009. № 1. С. 42-51.
5. Андреев В.М., Гриликес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989. 310 с.
6. Колтун М.М. Солнечные элементы. М.: Наука, 1987. 192 с.
7. Development of Low-cost Thermophotovoltaic Cells Using Germanium Substrates / J. Heide, N. Posthuma, G. Flamand, J. Poortmans // AIP Conf. Proceed. (7<sup>th</sup> Conf. TPVGE). 2007. Vol. 890. P. 129-138.
8. ГОСТ 17772-88 «Приемники излучения. Полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик». М.: Изд-во стандартов, 1988. 65 с.
9. Sala G., Anton I., Dominguez C. Qualification Testing of TPV Systems and Components: First Steps // AIP Conf. Proceed. (7<sup>th</sup> Conf. TPVGE). 2007. Vol. 890. P. 251-261.
10. Солнечные батареи с аморфно-кремниевой технологией изготовления TRS-113 // Каталог продукции ООО «Элпро-М» / ООО «Элпро-М». 2011. Апрель. URL: [http://www.elprom-rit.kharkov.com/energy\\_saving/sun\\_batar/](http://www.elprom-rit.kharkov.com/energy_saving/sun_batar/)
11. Кремниевые монокристаллические модули под стеклом в алюминиевой рамке // Каталог продукции ООО «МикроАрт» / ООО «МикроАрт». 2011. Апрель. URL: <http://www.invertor.ru/solbat.htm>
12. Солнечные фотоэлектрические модули серии TCM // Каталог продукции ЗАО «Ваш солнечный дом» / ЗАО «Ваш солнечный дом». 2011. Апрель. URL: <http://solarhome.ru/ru/pv/tcm.htm>

### References:

1. Proteus ISIS User Manual. Labcenter Electronics, 2002. 135 pp.
2. A short course of Proteus ISIS // PROTEUS ISIS. A Russian manual for beginners. 2011. May. URL: <http://Proteus ISIS123.narod.ru/>
3. Guide to interactive simulation of Proteus ISIS // RADIOPROG. 2011. May. URL: <http://www.radioprogram.ru/?page=20>
4. Ilyina N.A., Tugay D.V., Sabalaev A.N. Four-cycle step-up pulse-width direct-voltage transducer in the power supply system with a solar battery // Light engineering and electric-power industry. 2009. No. 1. P. 42-51.
5. Andreev V.M., Grilikhes V.A., Rumyantsev V.D. The photoelectric transformation of concentrated solar radiation. L.: Nauka, 1989. 310 pp.
6. Koltun M.M. The solar elements. M.: Nauka, 1987. 192 pp.
7. Development of Low-cost Thermophotovoltaic Cells Using Germanium Substrates / J. Heide, N. Posthuma, G. Flamand, J. Poortmans // AIP Conf. Proceed. (7<sup>th</sup> Conf. TPVGE). 2007. Vol. 890. P. 129-138.
8. GOST 17772-88 «The radiation detectors. The semiconductor photoelectric and photo-receiving detectors. Methods of measurement of photoelectric parameters and characterization». M.: Publishing house of standards, 1988. 65 pp.
9. Sala G., Anton I., Dominguez C. Qualification Testing of TPV Systems and Components: First Steps // AIP Conf. Proceed. (7<sup>th</sup> Conf. TPVGE). 2007. Vol. 890. P. 251-261.
10. Solar batteries with amorphous-silicon technology of TRS-113 production // The catalogue of products of ООО «Elprom-M» / ООО «Elprom-M». 2011. April. URL: [http://www.elprom-rit.kharkov.com/energy\\_saving/sun\\_batar/](http://www.elprom-rit.kharkov.com/energy_saving/sun_batar/)
11. Silicon monocrystalline modules under glass in an aluminum frame // The catalogue of products of ООО «MikroArt» / ООО «MikroArt». 2011. April. URL: <http://www.invertor.ru/solbat.htm>
12. Solar photoelectric modules of the TSM series // The catalogue of products of ЗАО «Your Solar Home» / ЗАО «Your Solar Home». 2011. April. URL: <http://solarhome.ru/ru/pv/tcm.htm>

- 
13. ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». М.: Стандартинформ, 2006. 32 с.
  14. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2012615148 от 08.06.2012 г. «Программа расчета параметров моделируемого модуля фотоэлектрических элементов».
  15. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2012615144 от 08.07.2012 г. «Программа расчета параметров примитивов СИМ Proteus ISIS, используемых для моделирования МФЭП».
13. GOST 13109-97 «The standards of the quality of the electric energy in power-supply systems of general purpose». M.: Standartinform, 2006. 32 pp.
  14. The certificate of official registration of computer program No. 2012615148 of 08.06.2012. «The program for calculating the parameters of the simulated module of photoelectric elements».
  15. The certificate of official registration of computer program No. 2012615144 of 08.07.2012. «The program for calculating the parameters of primitives of SIM Proteus ISIS, used for MFEP modelling».