



**ЦЕЛЬ ОПЫТА**  
Исследование влияния частичного затенения на фотоэлектрические системы

**ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА**

- Измерить и проанализировать  $I-U$  характеристику и  $P-R$  характеристику последовательной цепи, содержащей два фотоэлектрических модуля.
- Измерить и проанализировать характеристики с частично затененными модулями с шунтирующими диодами и без них.
- Продемонстрировать напряжение обратного смещения для незащищенного модуля, находящегося в тени.
- Определить потери мощности в результате частичного затенения.

**КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ**

В фотоэлектрических установках обычно несколько солнечных модулей соединяются последовательно в длинную линию. Собственно модули состоят из множества солнечных элементов, соединенных последовательно. На практике, однако, часть таких систем может оказываться в тени. Тогда отдельные модули системы получают меньше света и, следовательно, генерируют меньший ток, который ограничивает ток во всей последовательной цепи. Это можно исключить посредством шунтирующих диодов. В этом опыте два модуля, каждый из которых состоит из 18 солнечных элементов, образуют простую фотоэлектрическую систему. Их можно соединять последовательно, с шунтирующими диодами или без них, а затем освещать светом галогенной лампы.

**ТРЕБУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Количество	Наименование	№ по каталогу
1	Набор для учебных опытов по солнечной энергии (230 В, 50/60 Гц) Набор для учебных опытов по солнечной энергии (115 В, 50/60 Гц)	U8498301-230 или U8498301-115

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ**

В фотоэлектрических установках обычно несколько солнечных модулей соединяются последовательно в длинную линию. Собственно модули состоят из множества солнечных элементов, соединенных последовательно.

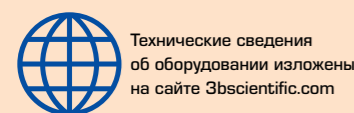
Расчет тока и напряжения для такой последовательной цепи выполняется на основании законов Кирхгофа с учетом вольт-амперной характеристики солнечных элементов. Тот же ток  $I$  течет через все модули в последовательной цепи, а напряжение определяется по формуле

$$(1) \quad U = \sum_{i=1}^n U_i$$

$n$ : количество модулей

Это сумма всех напряжений  $U_i$  между клеммами отдельных модулей.

Вольт-амперные характеристики солнечного элемента или модуля можно легко объяснить с помощью эквивалентной принципиальной схемы, в которой присутствует источник постоянного напряжения, подающий фотоэлектрическое напряжение, и «полупроводниковый диод», соединенный с ним параллельно, но в направлении обратного смещения. Возникающие потери на сопротивление представлены резистором, также подключенным в системе параллельно (см. опыт UE8020100 и рис. 1). Фотоэлектрический ток пропорционален интенсивности света. Когда интенсивность света одинакова для всех модулей, все они реагируют одинаково, и каждый из них дает одинаковое напряжение. Тогда уравнение 1 дает выражение:



$$(2) \quad U = n \cdot U_i$$

На практике, однако, часть таких систем может оказываться в тени. Тогда отдельные модули системы получают меньше света и, следовательно, генерируют меньший фотоэлектрический ток, который ограничивает ток во всей последовательной цепи. Это ограничение тока определяет разницу напряжения  $U_i$ , создаваемого отдельными модулями.

В крайнем случае напряжение на полностью освещенных модулях, даже в условиях короткого замыкания ( $U = 0$ ), может достигать значений вплоть до напряжения холостого хода, см. рис. 2. Сумма этих напряжений – в направлении обратного смещения на модулях в тени. Это может привести к выделению ненормального количества тепла и разрушению капсул, в которых находятся солнечные элементы, или даже к разрушению самих элементов. Для защиты от этого фотоэлектрические системы оснащаются шунтирующими диодами, которые позволяют току обходить находящиеся в тени элементы. В этом опыте два модуля, каждый из которых состоит из 18 солнечных элементов, образуют простую фотоэлектрическую систему. Их можно соединять последовательно, с шунтирующими диодами или без них, а затем освещать светом галогенной лампы. Вначале оба модуля одновременно освещаются светом одинаковой яркости, а затем один модуль помещается в тень так, что он вырабатывает только половинное количество тока. Во всех случаях  $I-U$  характеристики наносятся на график в диапазоне от короткого замыкания до разомкнутой цепи и сравниваются. Также рассчитываются значения мощности как функция сопротивления нагрузки, чтобы определить величину потерь мощности в результате затенения и определить влияние шунтирующих диодов. Для случая короткого замыкания напряжение затененного модуля также измеряется отдельно. Оно достигает  $-9$  В, если модуль не защищен шунтирующим диодом.

**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ**

Если модуль, например, выдает только половинное количество фотоэлектрического тока, он отвечает за определение тока короткого замыкания для всей последовательной цепи в отсутствие любых шунтирующих диодов.

В случае присутствия шунтирующих диодов полностью освещенный модуль может выдавать свой максимальный ток, пока он не начнет уменьшаться по достижении напряжения холостого хода отдельного модуля. Математическая модель для оценки результатов измерений на рис. 3 и 4 учитывает законы Кирхгофа и использует вольт-амперную характеристику отдельных модулей, полученную в опыте UE8020100 с параметрами  $I_s$ ,  $U_T$  и  $R_p$ . Для учета действия шунтирующих диодов используются их собственные характеристики.

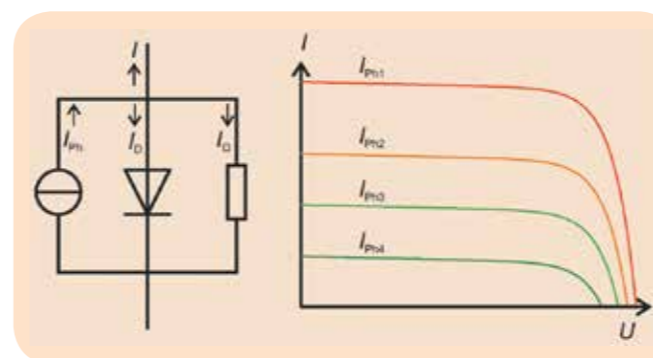


Рис. 1. Принципиальная схема эквивалентной цепи и характеристики солнечного элемента

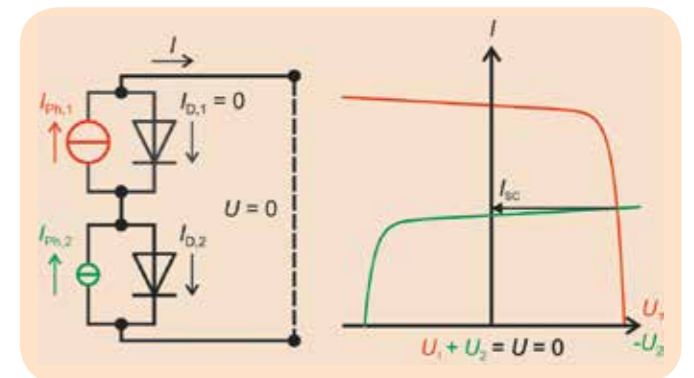


Рис. 2. Принципиальная схема частичного затенения двух модулей без шунтирующих диодов в условиях короткого замыкания ( $U = 0$ ). Характеристика затененной модели (зеленого цвета) показана обращенной. Здесь она представляет собой напряжение  $U_2$  в направлении обратного смещения.

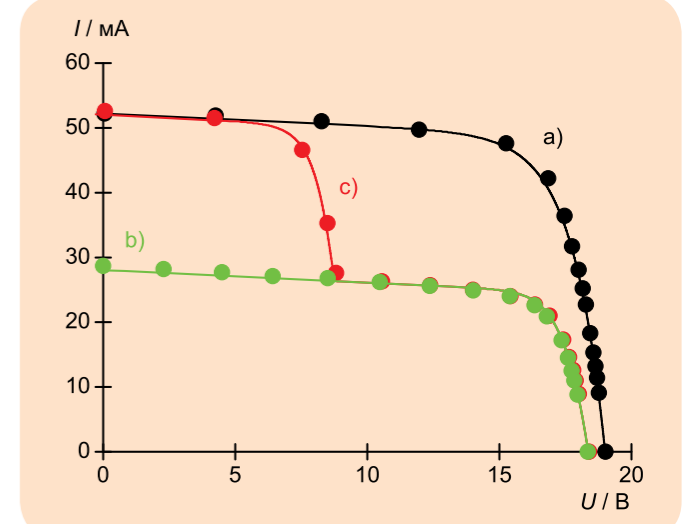


Рис. 3.  $I-U$  характеристики последовательной цепи, содержащей два солнечных модуля а) без затенения, б) с частичным затенением без шунтирующих диодов, в) с частичным затенением с шунтирующими диодами

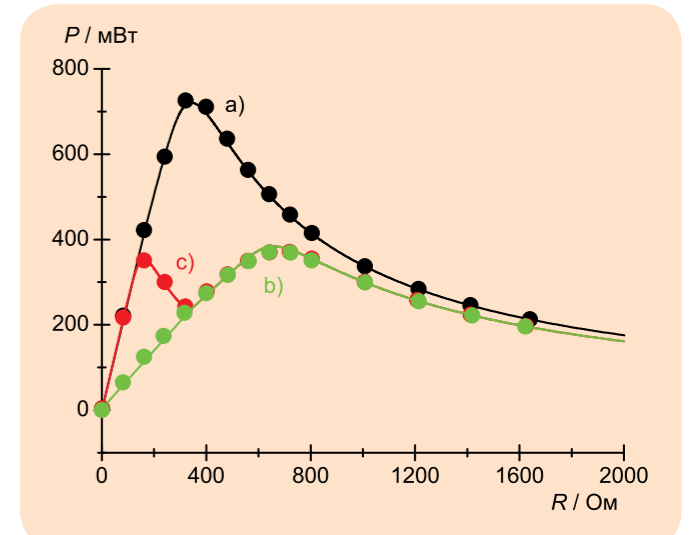


Рис. 4.  $P-R$  характеристики последовательной цепи, содержащей два солнечных модуля а) без затенения, б) с частичным затенением без шунтирующих диодов, в) с частичным затенением с шунтирующими диодами