

Таблица 5.9. Константа пропорциональности k для вычисления температуры модуля при различных вариантах установки [DGS08]

Вид установки	k в °C
Полностью свободная установка на стойках	22
На крыше с большим интервалом	28
На крыше или встроены в крышу, хороший обдув с тыльной стороны	29
На крыше или встроены в крышу, плохой обдув с тыльной стороны	32
На фасаде или интегрированы в фасад, хороший обдув с тыльной стороны	35
На фасаде или интегрированы в фасад, плохой обдув с тыльной стороны	39
Встроен в крышу, без обдува с тыльной стороны	43
Встроен в фасад, без обдува с тыльной стороны	55

5.4.7. Определение параметров

Для симуляции специальных солнечных элементов, например, с помощью упрощенной эквивалентной схемы, параметры элемента (здесь I_{ph} и I_s), как правило, определяются по измерительным величинам характеристики, так как теоретическое определение чрезвычайно сложное. Упрощенно фототок I_{ph} можно принять равным току короткого замыкания I_{sc} . Для идеального диода диодный коэффициент m равен единице. Тем самым уже известны два параметра ($I_{ph} = I_{sc}$ и $m = 1$). Соответствующий упрощенной эквивалентной схеме ток насыщения диода I_s можно вычислить благодаря подстановке напряжения холостого хода U_0 и раскрытию скобок после I_s :

$$I_s = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{U_0}{U_T}\right) - 1} = I_{sc} \cdot \exp\left(-\frac{U_0}{U_T}\right) \quad (5.55)$$

Таким образом, определены все параметры для упрощенной эквивалентной схемы с идеальным диодом ($m = 1$). Однако эта модель может обеспечить только неудовлетворительное соответствие вычисленной характеристики и измеренных величин. В случае неидеального диода используется другой диодный коэффициент ($m > 1$). Оба зависящих друг от друга параметра m и I_s сравнительно легко определяются по характеристике солнечного элемента в зоне генерации при привлечении в помощь математических программ, таких как ТМматематика.

С помощью упрощенной эквивалентной схемы и параметров реального диода можно уже получить очень высокое совпадение результатов измерения и величин симуляции. Более сложным, нежели определение параметров m и I_s , является определение дополнительных параметров R_s и R_p в случае расширенной эквивалентной схемы однодиодной модели. При увеличенном количестве свободных параметров даже усовершенствованные математические программы быстро подходят к пределу своих возможностей. Для хорошей конвергенции при определении параметров стартовые параметры должны выбираться приближенными по величине конечным параметрам. При этом выбор стартовых величин R_s и R_p оказывается сравнительно простым.

Параллельное сопротивление R_p вследствие подъема характеристики IU «ток – напряжение» может приближаться к нулю. **Последовательное сопротивление R_s** приблизительно-

ным образом можно получить благодаря подъему характеристики с другой стороны кривой напряжения холостого хода.

$$R_p = \left. \frac{\partial U}{\partial I} \right|_{U=0} \quad (5.56)$$

$$R_s = \left. \frac{\partial U}{\partial I} \right|_{U=U_0} \quad (5.57)$$

Параметры U_0 , b и n для отрицательного пробоя диода определяются аналогично другим параметрам на основании измеренных при определении параметров величин для зоны отрицательного пробоя.

5.5. Электрическое описание солнечных модулей

5.5.1. Последовательное включение солнечных элементов

По причине малого напряжения солнечные элементы по отдельности не используются, а соединяются последовательно в модуле. Несколько таких модулей затем вновь соединяются параллельно, последовательно или в параллельно-последовательной комбинации.

Поскольку многочисленные модули компонуются для работы со свинцово-кислотными аккумуляторами с напряжением 12 В, то оптимальное число солнечных элементов обычно составляет от 32 до 40. Но существуют такие модули, в которых в зависимости от цели применения последовательно соединяется меньшее или даже большее количество элементов.

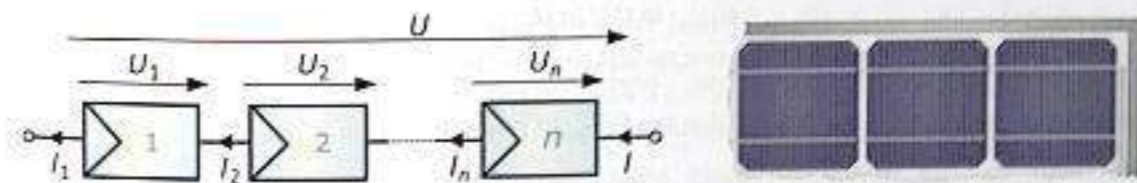


Рис. 5.26. Схема последовательно соединенных солнечных элементов.

Слева: электротехнические символы, токи и напряжения;

справа: вид сверху на элемент модуля с кристаллическими элементами – ячейками

При последовательном соединении n ячеек согласно рис. 5.26 ток I через все элементы I одинаков, напряжения элементов U_i суммируются, общее напряжение модуля U .

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (5.58) \quad U = \sum_{i=1}^n U_i \quad (5.59)$$

Если все элементы идентичны и у всех элементов одинаковые условия (интенсивность излучения и температура), то для общего напряжения действительно выражение:

$$U = n \cdot U_i \quad (5.60)$$

В этом случае характеристика I-U последовательного соединения создается без больших издержек по характеристике одной ячейки.

Часто в сопроводительных паспортах изготовителя приводятся только некоторые параметры, такие как напряжение холостого хода U_{LO} , ток короткого замыкания I_{KO} , напряжение U_{TMM} и ток I_{TMM} в точке максимальной мощности при интенсивности излучения $E_{1000} = 1000 \text{ Вт/м}^2$ и температуре $\vartheta_{25} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, а также приводятся температурные коэффициенты α_U и α_I для тока и напряжения.



Рис. 5.27. Вид характеристики модуля с 36 элементами, состоящей из характеристик элементов

Уравнения

$$U_L = U_{LO} \cdot \ln(E)/\ln(E_{1000}) \cdot (1 + \alpha_U (\vartheta - \vartheta_{25})) \quad (5.61)$$

$$U_{TMM} = U_{TMM0} \cdot \ln(E)/\ln(E_{1000}) \cdot (1 + \alpha_U (\vartheta - \vartheta_{25})) \quad (5.62)$$

$$I_{TMM} = I_{TMM0} \cdot E/E_{1000} \cdot (1 + \alpha_I (\vartheta - \vartheta_{25})) \quad (5.63)$$

$$I_K = I_{KO} \cdot E/E_{1000} \cdot (1 + \alpha_I (\vartheta - \vartheta_{25})) \quad (5.64)$$

позволяют быстро приблизительно определить параметры модуля при различных температурах ϑ и интенсивности излучения E . С помощью параметров

$$c_1 = I_K \cdot \exp(-c_2 \cdot U_L) \quad (5.65) \quad \text{и} \quad c_2 = \ln(1 - I_{TMM}) / (U_{TMM} - U_L) \quad (5.66)$$

можно также приблизительно определить зависимость тока модуля I и напряжения модуля U :

$$I = I_K - c_1 \cdot \exp(c_2 \cdot U) \quad (5.67)$$

Прочие соображения по формулам приближения находятся в [Wag06].

5.5.2. Последовательное включение при неодинаковых условиях

При практической эксплуатации не для всех ячеек должным образом условия одинаковы. Вследствие наличия таких загрязнений, как листья и экскременты птиц, влияния погодных

условий, например, снега, или влияния среды, может возникнуть экранирование (затенение) отдельных ячеек. Эти явления оказывают сильное влияние на характеристику модуля. Если не все характеристики I-U отдельных ячеек идентичны, то общую характеристику определить трудно. В случае модуля с 36 элементами, соединенными последовательно, может иметь случай, когда 35 ячеек будут излучаться одинаково, а один элемент будет излучаться на 75% меньше. Но и в этом случае ток через все элементы будет одинаковым. Общую характеристику можно получить таким образом: начиная с нуля, соответственно предварительно задавать ток через элементы и измерять напряжения на различных полностью излучаемых ячейках U_0 и на ячейке с затенением U_0 и суммировать их:

$$U = U_0(I) + 35 \cdot U_0(I) \quad (5.68)$$

Таким образом, сравнительно просто составляется общая характеристика для тона короткого замыкания ячейки с частичным затенением. Однако эта характеристика охватывает только незначительный диапазон напряжений вблизи значения напряжения холостого хода модуля. Дальнейший ход характеристики можно получить только, если при частично затененной ячейке возникнут токи, большие по величине, нежели ток короткого замыкания элемента. Это может произойти только в области отрицательных напряжений элемента. Затененный элемент работает как потребитель-нагрузка, что может быть описано с помощью эквивалентной схемы на рис. 5.22.

На рис. 5.28 показано определение положения одной точки (1) на характеристике модуля. Для определенного тока напряжение вычисляется путем суммирования напряжения частично экранированного элемента (1a) и напряжения излучаемого элемента (1b), одинакового для 35 элементов. Если характеристика строится по точкам значений различных токов, то получается характеристика модуля для случая затенения, которая также показана на рисунке.

Можно видеть, что мощность модуля вследствие затенения ячейки в примере очень сильно уменьшилась. Хотя в целом только примерно 2% поверхности модуля было закрыто, максимальная мощность модуля упала примерно на 70% с $P_1 = 20,3 \text{ Вт}$ до $P_2 = 6,3 \text{ Вт}$. Частично затененный элемент (ячейка) работает как потребитель. Максимальная мощность электрических потерь на этом элементе составляет в данном примере 12,7 Вт и проявляется это событие как в случае короткого замыкания модуля. Если элемент затенен в иной степени, то построение характеристики осуществляется аналогично.

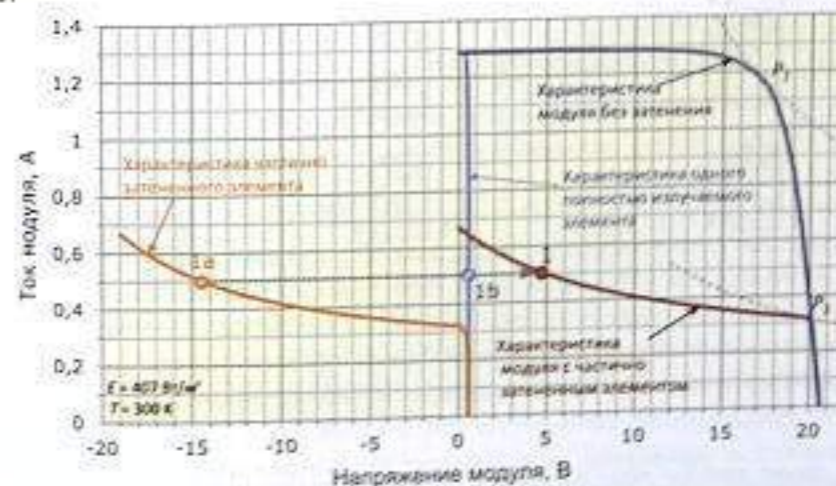


Рис. 5.28. Построение характеристики модуля с ячейкой, затененной на 75%