

УДК 621.31

Э.А.Бекиров, докт.техн.наук (Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Симферополь)

Анализ параметров и электроэнергетических процессов фотоэлектрических систем с различными нагрузками

В статье рассматриваются режимы работы фотоэлектрических систем на солнечных батареях при подключении фотоэлектрических систем на различные режимы работы: генерация электроэнергии в сеть; заряд аккумуляторных батарей; электроснабжение жилого дома.

Ключевые слова: фотоэлемент, четырехполюсник, солнечная батарея, электропотребление, генерация.

У статті розглядаються режими роботи фотоелектричних систем на сонячних батареях при підключенні фотоелектричних систем на різні режими роботи: генерація електроенергії в мережу; заряд акумуляторних батарей; електропостачання житлового будинку.

Ключові слова: фотоелемент, чотириполюсник, сонячна батарея, електропостачання, генерація.

Введение. В настоящее время широкое применение находят солнечные батареи на фотоэлементах, преобразующих энергию солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока. Эта энергия постоянного тока через коммутирующее устройство может использоваться для заряда аккумуляторных батарей, а также для питания гальванических ванн при электроосаждении различных металлов. Энергия постоянного тока может быть преобразована посредством различных преобразовательных устройств в электрическую энергию однофазного синусоидального тока для электропитания жилого дома или других однофазных нагрузок, а также в трехфазное напряжение для генерации электрической энергии в общую энергосистему.

Для анализа энергетических процессов, определения параметров электрических систем с фотопреобразователями целесообразно рассматривать фотоэлектрические системы с различными нагрузками в виде эквивалентных схем замещения различных преобразовательных устройств, представляя их четырехполюсниками, сопротивления которых эквивалентны сопротивлениям преобразовательных устройств: коммутирующего устройства, импульсного стабилизатора напряжения, инвертора. Представляя все эти преобразовательные устройства в виде четырехпо-

люсника (рис. 1), можно рассматривать четырехполюсник с входными и выходными сопротивлениями, токами, напряжениями согласно классической теории четырехполюсников [1, 2].

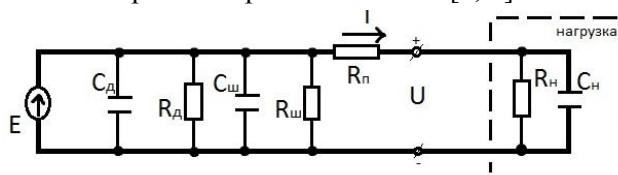


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения фотоэлемента.

Постановка задачи. При работе солнечных батарей изменение интенсивности солнечной радиации приводит к изменению температуры фотоэлементов, а, следовательно, и к рассеиванию на фотоэлементах мощности. Это приводит к изменению сопротивления фотоэлементов и солнечной батареи в целом, к изменению температурного режима и вольт-амперной характеристики и, следовательно, к уменьшению выходной мощности.

С целью анализа электрических параметров фотоэлектрической системы (ФЭС) при работе солнечной батареи на различные нагрузки целесообразно представить все промежуточные устройства между солнечной батареей и нагрузкой в виде четырехполюсника.

Методы исследований. Рассматривается эквивалентная схема замещения фотоэлементов с использованием теоремы вариаций с целью получения зависимостей изменения выходных

параметров. При работе солнечной батареи на нагрузку все преобразовательные устройства, включающие коммутирующие устройства, стабилизатор напряжения, инвертор, представляются в виде четырехполюсника, для того чтобы получить наиболее приемлемые значения четырехполюсника и согласования выходного сопротивления четырехполюсника с входным сопротивлением нагрузки при работе фотоэлектрической системы для электропитания жилого дома; для генерации электрической энергии в сеть промышленного электроснабжения; при заряде аккумуляторной батареи.

Анализ работы фотоэлементов солнечной батареи. На рис. 1. представлена эквивалентная схема замещения фотоэлемента [3], включенная на аккумуляторную батарею. Представленные на эквивалентной схеме величины C_d , C_t , R_d зависят от интенсивности излучения и температуры, с увеличением частоты $C_d \rightarrow 0$. Эквивалентное сопротивление схемы, приведенной на рис. 1, можно представить в виде:

$$\frac{1 + R_{\pi} j\omega C + R_{\pi} \frac{R_d + R_{ш}}{R_d * R_{ш}}}{j\omega C + \frac{R_d + R_{ш}}{R_d * R_{ш}}} = Z_{\phi}, \quad (1)$$

где в правой части Z_{ϕ} – емкостное и активное сопротивление аккумуляторной батареи, подключаемой для зарядки от солнечных панелей. При коротком замыкании правая часть равна нулю.

Ввиду малого значения емкости $C \rightarrow 0$ и частоты $\omega \rightarrow 0$, приведенное выражение (1) имеет вид:

$$R_{\pi} = - \frac{R_d R_{ш}}{R_d + R_{ш}}. \quad (2)$$

Так как $R_{ш} \gg R_d$, $R_{ш} \gg R_{\pi}$ [3], то выходное сопротивление фотоэлемента определяется значением $R_{\text{вых}}$. Но при большом значении $R_{\text{вых}}$ на нем происходит падение напряжения при прохождении тока I (рис. 1); это приводит к рассеянию мощности на внутреннем сопротивлении фотоэлемента, а, следовательно, к нагреву фотоэлемента в целом. Наиболее оптимальным будет считаться, если

$$|R_{\pi}| = \left| \frac{R_d R_{ш}}{R_d + R_{ш}} \right|, \quad (3)$$

и эта величина будет стремиться к нулю. Величины сопротивлений составляют: $R_d = 0,1 \dots 0,5$ Ом;

$R_{ш} = 5 \dots 50$ кОм. Приведенное выражение будет максимально удовлетворяться при величинах $R_d = 0,2$ Ом; $R_{ш} = 1$ кОм.

При прохождении через фотоэлемент тока в пределах 9 мА мощность, выделяемая в фотоэлементе, равна:

$$P = I^2 R_{\text{вых}} = 81 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 = 16,2 \cdot 10^{-6} \text{ Вт.}$$

Если солнечная панель содержит 2500 фотоэлементов, то рассеиваемая мощность на фотоэлементах солнечной панели равна 40,5 МВт.

Согласно приведенной схеме замещения (рис. 1), выходное сопротивление фотоэлемента, представляющего собой активный двухполюсник, должно быть согласовано с входным сопротивлением четырехполюсника Z_{11} и может определяться по формуле:

$$Z_{11} = R_{\pi} + j \frac{R_d R_{ш}}{R_d + R_{ш}} \omega C. \quad (4)$$

Его величина при известных R_{π} , R_d , $R_{ш}$, C [3] составляет:

$$Z_{11 \text{ min}} = 0,1 + j12,9 \text{ Ом};$$

$$Z_{11 \text{ max}} = 0,5 + j25,87 \text{ Ом}.$$

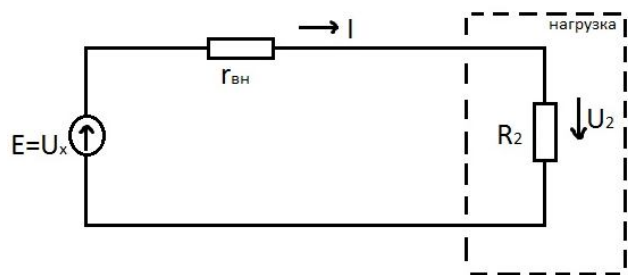


Рис. 2. Схема подключения активного двухполюсника к нагрузке.

Передача энергии от активного двухполюсника к пассивному, в случае электропитания, когда нагрузка R_2 активная (рис. 2), определяется по формуле:

$$P = U_x I - r_{\text{вн}} I^2 = UI - r_{\text{вн}} I^2. \quad (5)$$

Возьмем первую производную мощности по току и приравняем ее нулю:

$$\frac{dP}{dI} = U_x - 2r_{\text{вн}} I = 0;$$

$$I = \frac{U_x}{2r_{\text{вн}}}. \quad (6)$$

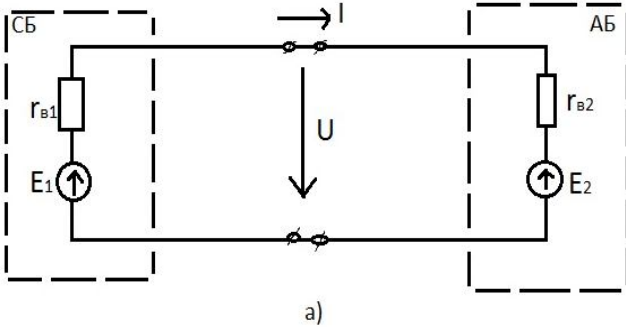
Максимальная мощность в нагрузке будет при $R = r_{\text{вн}}$, то есть, $R_{\text{вх}} = R_{\text{вых}}$. Из выражения $P = RI^2$ имеем:

$$P_{\text{max}} = \frac{U_x^2}{4r_{\text{вн}}}. \quad (7)$$

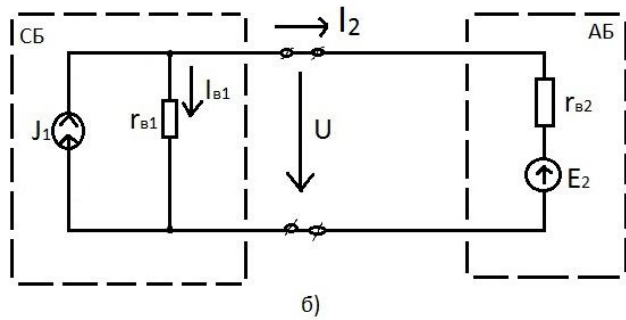
Определим КПД:

$$\eta = \frac{P}{P_{\max}} = \frac{U_x I - r_{\text{вн}} I^2}{U_x I} = 1 - \frac{r_{\text{вн}} I}{U_x} = \frac{R_2}{r_{\text{вн}} + R_2}. \quad (8)$$

Рассмотрим показанную на рис. 1 схему в виде, представленном на рис. 3а при заряде аккумуляторной батареи (АБ) от солнечной батареи (СБ), или в виде рис. 3б, представляя солнечную батарею источником тока.



а)



б)

Рис. 3. Заряд АБ от СБ, эквивалентные схемы замещения: E_2 – ЭДС АБ; J_1 – ток СБ; E_1 – ЭДС СБ.

Для схемы, представленной на рис. 3а, запишем уравнения согласно II закону Кирхгофа:

$$U = E_1 - r_{\text{B1}} I; \quad (9)$$

$$U = E_2 + r_{\text{B2}} I_2. \quad (10)$$

Умножим обе части выражений (9), (10) на ток I :

$$E_1 I = r_{\text{B1}} I^2 + UI; \quad (11)$$

$$UI = r_{\text{B2}} I^2 + E_2 I. \quad (12)$$

В формуле (12) значение $r_{\text{B2}} I^2$ представляет собой тепловые потери в АБ, а $E_2 I$ – мощность зарядки АБ.

Для схемы, представленной на рис. 3б, имеем:

$$J_1 U = (I_{\text{с1}} + I) U = \frac{U^2}{r_{\text{с1}}} + UI. \quad (13)$$

Анализ электрических параметров фотоэлектрических систем. Рассмотрим электриче-

ские параметры фотоэлектрических систем при работе СБ на различные нагрузки, представляя промежуточные устройства-коммутаторы, стабилизаторы напряжения, инверторы и другие преобразователи в виде четырехполюсников. На рис. 4 показана эквивалентная схема замещения при работе солнечной батареи на заряд аккумуляторной батареи.

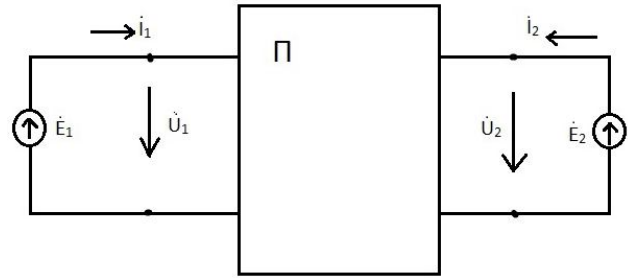


Рис. 4. Эквивалентная схема замещения заряда АБ от СБ.

Согласно теории четырехполюсников [2] можно записать:

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = \dot{U}_1 = Z_{11} \dot{i}_1 + Z_{12} \dot{i}_2 \\ \dot{E}_2 = \dot{U}_2 = Z_{21} \dot{i}_1 + Z_{22} \dot{i}_2 \end{cases} \quad (14)$$

Здесь $Z_{11} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{i}_1}$ при $\dot{i}_2 = 0$ (холостой ход вторичной цепи); $Z_{22} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{i}_2}$; $Z_{12} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{i}_2}$ при $\dot{i}_1 = 0$ (холостой ход на входе четырехполюсника); \dot{E}_1 – ЭДС СБ; \dot{E}_2 – ЭДС АБ.

При работе СБ для электропитания жилого дома схема замещения показана на рис. 5.

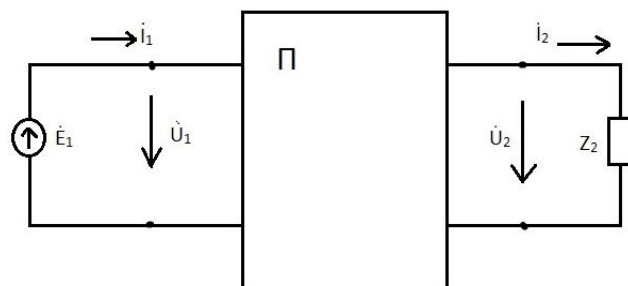


Рис. 5. Эквивалентная схема замещения электропитания жилого дома от СБ.

Уравнения четырехполюсника:

$$\begin{cases} \dot{i}_1 = Y_{11} \dot{U}_1 - Y_{12} \dot{U}_2 \\ -\dot{i}_2 = -Y_{21} \dot{U}_1 + Y_{22} \dot{U}_2, \end{cases} \quad (15)$$

где Y_{11} – проводимость входной цепи; Y_{22} – проводимость выходной цепи.

При решении представленной системы уравнений (15) имеем:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2, \end{cases} \quad (16)$$

где $A=Y_{22}/Y_{21}$; $B=1/Y_{21}$; $C=(Y_{11}Y_{22}-Y_{12}Y_{21})/Y_{21}$; $D=Y_{11}/Y_{21}$; $AD-BC=Y_{12}/Y_{21}$; $AD-BC=1$ при $Y_{12}=Y_{21}$.

Рассмотрим режим при генерировании электроэнергии, вырабатываемой солнечными батареями, в общую энергосистему однофазного переменного напряжения (рис. 6).

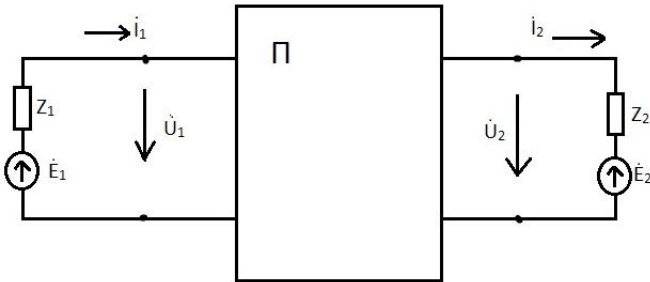


Рис. 6. Эквивалентная схема замещения при генерировании электроэнергии СБ в общую энергосистему.

В схеме (рис. 6) E_1 – ЭДС СБ; Z_1 – сопротивление СБ; U_2 – напряжение сети, к которой подключается ФЭС; Z_2 – сопротивление сети.

При генерировании электроэнергии в общую энергосистему необходимо, чтобы величина $U_1 > U_2 + \Delta U$, где ΔU – падение напряжения на устройствах, включенных в четырехполюсник.

Согласно приведенной формуле (14), определяется сопротивление Z_{11} , Z_{21} при холостом ходе вторичной цепи ($\dot{I}_2 = 0$) и Z_{22} , Z_{12} при $\dot{I}_1 = 0$.

При $U_1 > U_2$ передача энергии от источника приемнику:

$$\begin{cases} \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 > \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2; \\ \dot{E}_1 > \dot{E}_2; \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 + \dot{I}_2 Z_2 > \dot{E}_2. \end{cases} \quad (17)$$

При передаче электроэнергии одним из условий является $Z_2 \gg Z_1$, значит в формуле (17) $I_1 Z_1$ должно быть больше $I_2 Z_2$, значит $I_1 \gg I_2$ и $E_1 > E_2$ при равенстве $I_1 Z_1 = I_2 Z_2$ – падение напряжения на ФЭС с инвертором ($I_1 Z_1$) и падение напряжения на трансформаторе и линии электропередачи [4].

Для получения требуемого значения напряжения СБ включаются последовательно и общее сопротивление равно:

$$Z_{об} = n Z_{сб} = n Z_{11}, \quad (18)$$

где n – количество последовательно включенных СБ.

Общее значение напряжения последовательно включенных СБ равно:

$$U = I_{сб1} n Z_{11}. \quad (19)$$

Увеличение общего сопротивления приводит к увеличению мощности рассеяния на СБ и соединительных проводах.

Для получения необходимого значения тока СБ включаются параллельно, тогда:

$$Y_{об} = m \cdot Y_{сб} = m Y_{11} \text{ или } Z_{об} = Z_{11}/m,$$

где m – количество параллельно включенных СБ.

Общий ток при m параллельно включенных СБ:

$$\dot{I} = \dot{U}_{сб} m Y_{11}. \quad (20)$$

В этом случае мощность СБ в фотоэлектрической системе определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P = UI &= I_{сб1} \cdot n \cdot Z_{11} \cdot U_{сб1} \cdot m \cdot Y_{11} = \\ &= U_{сб1} \cdot I_{сб1} \cdot n \cdot m \cdot Z_{11} Y_{11}. \end{aligned} \quad (21)$$

Для передачи максимальной мощности солнечными батареями нагрузке необходимо, чтобы $Z_{22} > Z_{11}$.

Например, для СБ типа CS-120 мощностью 120 Вт при $U_{хх} = 21,8$ В; $I_{кз} = 7,65$ А величина $Z = 2,85$ Ом.

Рассмотрим схему на рис. 4.

Емкость АБ $q = I t$, и $dq/dt = dI$.

Согласно теореме вариаций [2], для АБ:

$$\Delta I_2 = \frac{-Y_{22} \Delta Z I_2}{1 + Y_{22} \Delta Z}. \quad (22)$$

Для СБ:

$$\Delta I_1 = -Y_{12} \Delta Z (I_2 + \Delta I_2). \quad (23)$$

В случае приведенных ранее данных СБ CS-120 В, включенный через коммутирующее устройство (КУ) четырехполюсник на аккумулятор ДУМ-12-7 с параметрами $U = 12$ В; $I_{кз} = 210$ А; $I_{зар} = 2,1$ А; $Z_{вн} = 23 \cdot 10^{-3}$ Ом; $Z = 57 \cdot 10^{-3}$ Ом. Определим сопротивления четырехполюсника:

$$\begin{aligned} Z_{21} = U_2/I_1 &= 1,569 \text{ Ом}; Z_{22} = U_2/I_2 = 23 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \\ Z_{12} = U_1/I_2 &= 57 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; Z_{11} = U_1/I_1 = 2,85 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

С учетом формул (22) и (23) формула (14) имеет вид:

$$\begin{cases} U_1 = Z_{11}(I_1 + \Delta I_1) + Z_{12}(I_2 + \Delta I_2) \\ U_2 = Z_{21}(I_1 + \Delta I_1) + Z_{22}(I_2 + \Delta I_2) \end{cases} \quad (24)$$

или

$$\begin{cases} U_1 = Z_{11}[I_1 - Y_{12} \Delta Z (I_2 + \Delta I_2)] + Z_{12} \left[I_2 - \frac{Y_{22} \Delta Z I_2}{1 + Y_{22} \Delta Z} \right] \\ U_2 = Z_{21}[I_1 - Y_{12} \Delta Z (I_2 + \Delta I_2)] + Z_{22} \left[I_2 - \frac{Y_{22} \Delta Z I_2}{1 + Y_{22} \Delta Z} \right]. \end{cases} \quad (25)$$

Первое уравнение в формуле (25) напряжение U_1 для СБ, второе уравнение в формуле (25) напряжение U_2 для АБ [5]. При $U_1 = 14$ В и

$U_2 = 12$ В и приведенных выше значений сопротивлений, подставляя их в уравнения (25) получим:

$$\begin{cases} \Delta Z_{CB}^2 + 0,024\Delta Z_{CB} - 0,000043 = 0 \\ \Delta Z_{AB}^2 + 0,024\Delta Z_{AB} - 0,000019 = 0. \end{cases} \quad (26)$$

Решая эти уравнения, находим, в каких пределах должны быть изменения ΔZ_{CB} и ΔZ_{AB} . Изменение ΔZ_{AB} должно быть равно $0,82 \cdot 10^{-3}$ Ом, а $\Delta Z_{CB} = 23,18 \cdot 10^{-3}$ Ом.

Коэффициент соотношения изменения сопротивления ΔZ_{CB} к ΔZ_{AB} $k = \frac{\Delta Z_{CB}}{\Delta Z_{AB}}$ не должен превышать 2,4. Если это значение будет выше, то это может привести к увеличению рассеяния мощности в СБ, что приведет к повышенному нагреву фотоэлементов СБ; при уменьшении этого значения до величины $k = 0$ увеличивается рассеяние мощности в АБ, что приведет к преждевременному выходу из строя АБ. При $k = 0$ $\Delta Z_{CB} = 0$ и формула (25) примет вид (14), определяющий только статические энергетические параметры, не учитывающие электродинамические процессы, происходящие в СБ и АБ.

При заряджении АБ $U_1 = U_2$ и ток $I_2 = 0$, тогда $U_1 = Z_{11}I_1$; $U_2 = Z_{21}I_1$; $Z_{11} = Z_{21}$; $U_1/I_1 = U_2/I_1$.

Мощность, рассеиваемая на СБ, равна:

$$P = U_1 I_1 = I_1^2 Z_{11}.$$

Изменение этой мощности:

$$\Delta P = \Delta I_1^2 \Delta Z_{11}, \quad (27)$$

откуда получим:

$$\Delta I_1^2 = \frac{\Delta P}{\Delta Z_{11}}. \quad (28)$$

При изменении интенсивности солнечного излучения изменяется и энергия, рассеиваемая на СБ; при этом изменяется и температура фотоэлементов [6]. Увеличение температуры приводит к изменению сопротивления:

$$\begin{aligned} Z &= Z_0(1 + \alpha t); \\ \Delta Z_{11} &= \Delta Z_0 \alpha t = \Delta P / \Delta I^2, \end{aligned} \quad (29)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления материала фотоэлемента.

Изменение температуры определяет изменение сопротивления:

$$t = \frac{\Delta P}{\Delta I_1^2 \alpha \Delta Z_0}, \quad (30)$$

откуда получим:

$$\Delta Z_0 = \frac{\Delta P}{\Delta I_1^2 \alpha t}; \quad (31)$$

$$\Delta P = \Delta I_1^2 \Delta Z_0 \alpha t. \quad (32)$$

Увеличение тока приводит к увеличению рассеяния мощности в фотоэлементе. Увеличение рассеяния мощности прямо пропорционально связано с температурой фотоэлемента. Следовательно,

$$P_{\text{фэmax}} = P_{\text{выхфэ}} + \Delta P.$$

При максимальном значении мощности фотоэлемента, имеющего определенное значение $P_{\text{фэmax}}$, при максимальной интенсивности солнечного излучения J_{max} увеличение ΔP приводит к уменьшению $P_{\text{вых фэ}}$. КПД равен:

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P}{P_{\text{выхфэ}}}.$$

При генерации электрической энергии в общую энергосистему [7] величина U_1 должна быть больше U_2 (рис. 6). Так как

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2, \end{cases} \quad (33)$$

то

$$Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \geq Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2. \quad (34)$$

Максимальная передача энергии от источника к приемнику определяется следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} Z_{11}\dot{I}_1 - Z_{21}\dot{I}_1 &\geq Z_{22}\dot{I}_2 - Z_{12}\dot{I}_2; \\ \dot{I}_1(Z_{11} - Z_{21}) &\geq \dot{I}_2(Z_{22} - Z_{12}); \end{aligned} \quad (35)$$

$$\dot{I}_1 Z_{\text{вх}} \geq \dot{I}_2 Z_{\text{вых}}, \quad (36)$$

где $Z_{\text{вх}} = Z_{11} - Z_{21}$; $Z_{\text{вых}} = Z_{22} - Z_{12}$.

При генерировании электрической энергии $\dot{E}_1 \neq \dot{U}_1$ и $\dot{E}_2 \neq \dot{U}_2$:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 - \dot{I}_1 Z_{\text{вх}}; \quad (37)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{I}_2 Z_{\text{вых}}. \quad (38)$$

Умножив обе части уравнения (37) на I_1 , получаем:

$$\dot{E}_1 \dot{I}_1 = Z_{\text{вх}} \dot{I}_1^2 + \dot{U}_1 \dot{I}_1. \quad (39)$$

Умножив обе части уравнения (38) на I_2 , получаем:

$$\dot{S} = \dot{U}_2 \dot{I}_2 = \dot{I}_2^2 Z_{\text{вых}} + \dot{E}_2 \dot{I}_2, \quad (40)$$

где $E_2 I_2$ – генерируемая в сеть электроэнергия.

Продифференцируем формулу (40) по току:

$$\frac{dS}{dI} = 2I_2 Z_{\text{вых}} + E_2 = 0, \text{ или}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{2Z_{\text{вых}}}. \quad (41)$$

Максимальное значение мощности при $Z_{\text{вх}} = Z_{\text{вых}}$ определяется по формуле:

$$S_{max} = \frac{U_2^2}{4Z_{ввых}} \quad (42)$$

Из уравнения (11) S_{max} будет при $Z_{вх} = Z_{ввых}$, или

$$\begin{cases} Z_{11} - Z_{21} = Z_{22} - Z_{12} \\ Z_{22} = Z_{11} - Z_{21} + Z_{12}. \end{cases} \quad (43)$$

Если $Z_{12} = Z_{21}$, то ток, проходящий по входной и выходной цепи, один и тот же. При $Z_{12} = Z_{21}$ сопротивление выходное равно входному: $Z_{22} = Z_{11}$.

Выводы. 1. Изменение интенсивности солнечного излучения приводит к изменению энергии, рассеиваемой в солнечных батареях. Получены соотношения, показывающие изменение сопротивления, температуры и мощности в фотоэлементах.

2. Определен коэффициент соотношения изменения сопротивления солнечной батареи к аккумуляторной батарее, который не должен превышать 2,4. Увеличение этого значения может привести к увеличению рассеяния мощности в солнечной батарее, что приведет к нагреву фотоэлементов в солнечной батарее.

3. Рассмотрены режимы работы солнечных батарей при заряде аккумуляторных батарей, при

электроснабжении зданий, при генерировании электрической энергии. Приведены основные определяющие соотношения и формулы.

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Изд. 4 – М.: Энергия, 1975. – 752 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Изд. 6 – М.: Высшая школа, 1973. – 752 с.
3. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. – Пер. с англ. Под ред. Колтуна М.М. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 357 с.
4. Бекиров Э.А. Автономные источники электропитания на базе солнечных батарей. – Сиферополь, ИТ Ариал, 2011. – 480 с.
5. Анализ роста использования фотоэлектрических модулей и предложение по устройству преобразования постоянного тока в переменный ток: Э.А. Бекиров. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь, 2005. – Вып. 10. – С. 179–184.
6. Анализ солнечного радиационного режима Крыма с целью создания солнечной энергоустановки для обеспечения электроэнергией локального потребителя: Э.А. Бекиров. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь, 2005. – Вып. 11. – С. 172–181.
7. Бекиров Э.А. Принципы преобразования энергии постоянного тока фотоэлектрических преобразователей в переменный синусоидальный ток // Відновлювана енергетика. – 2006. – № 1. – С. 33–40.

XII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ-2014
 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНЕ, СВІЛОТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, КАБЕЛІ ТА ПРОВІДИ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КВПІА, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ УСТАНОВОК, МАШИН І МЕХАНІЗМІВ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

СПЕЦІАЛЬНІ ТЕМИ:
 СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ОБЛІКУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ • УСТАТКУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДСТАНЦІЙ

XII МІЖНАРОДНИЙ ФОРУМ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ: СЬОГОДЕННЯ ТА МАЙБУТНЄ

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
 Україна, 02660
 Київ, Броварський пр-т, 15
 (М) "Лівобережна"
 тел./факс: (044) 201-11-57
 e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
 www.iec-expo.com.ua
 www.tech-expo.com.ua

23-25
вересня

ОРГАНІЗАТОРИ:
 Міністерство енергетики та вугільної промисловості України
 Міжнародний виставковий центр

Технічний партнер: *Real Media*