

УДК 620.383

Н. Т. ИСЕМБЕРГЕНОВ, С. М. ТОКТАБАЕВ, Л. Б. ИЛИПБАЕВА

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПО СИСТЕМЕ «СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ – ТРЕХФАЗНЫЙ ИНВЕРТОР – НАГРУЗКА»

Рассмотрены разные варианты преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного напряжения по системе солнечные элементы – трехфазный инвертор – нагрузка. При этом инвертор выполнен трехфазным или состоять из трех однофазных инверторов.

В настоящее время для преобразования солнечной энергии в электрическую используются солнечные элементы, которые получили наибольшее практическое применение [1]. Они имеют малую массу, отличаются простотой обслуживания. Модульный тип конструкций солнечных элементов позволяет создавать установки практически любой мощности и делает их весьма перспективными. Недостатком солнечных элементов является высокая стоимость и низкий КПД. В связи с этим, оптимальное использование солнечных элементов является актуальным вопросом при преобразовании солнечной энергии в электроэнергию переменного напряжения.

Один модуль солнечных элементов (серий ACE-50) фирмы «Ветроэнергетика» (Россия) вырабатывает напряжение 17 В и ток 2,88 А [1]. При последовательном и параллельном соединении этих модулей можно получить электроэнергию любой мощности. Однако эту электроэнергию постоянного тока надо преобразовать в электроэнергию переменного трехфазного напряжения.

При преобразовании солнечной энергии в переменное трехфазное напряжение, часть энергии солнечных элементов теряется в системе ин-

вертирования или не доходит до потребителей за счет фильтра. При этом не все подключенные дорогостоящие солнечные элементы (СЭ) будут максимально использованы. Это повышает стоимость солнечных преобразователей [2].

В данной работе оцениваются различные способы инвертирования солнечной энергии в электроэнергию переменного трехфазного напряжения промышленной частоты, в соответствии с требованием рационального использования солнечных элементов.

На рис. 1 представлена традиционная схема преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного трехфазного напряжения, где солнечная площадка, состоящая из n последовательно соединенных солнечных элементов и m параллельно соединенных n СЭ, вырабатывает определенную мощность. Постоянное напряжение солнечной площадки подается на трехфазный инвертор (I_3) и преобразуется в переменное трехфазное напряжение. Анализ этой схемы показал, что не вся мощность, вырабатываемая СЭ, доходит до потребителя (до нагрузки $Z_{\text{наг}}$) из-за несовершенства системы преобразования постоянного напряжения в переменное.

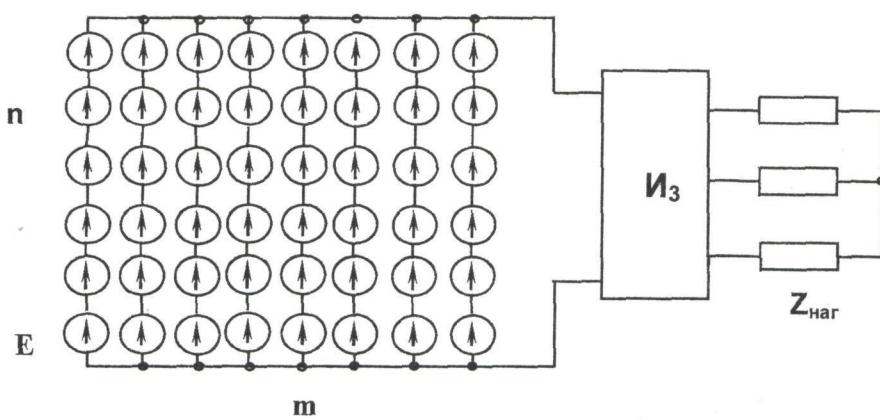


Рис. 1. Традиционная схема преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного трехфазного напряжения

С целью усовершенствования этой системы преобразования, разработана схема оптимального использования солнечных элементов. Эта схема преобразования солнечной энергии в электроэнергию промышленной частоты позволяет сэкономить число дорогостоящих СЭ. Для этого необходимо на вход инвертора подавать многоступенчатое напряжение, и тогда, в зависимости от количества ступеней напряжения на выходе, получится синусоидальная форма кривой напряжения [2]. Формирование многоступенчатой формы напряжения на входе инвертора осуществляется путем разделения n последовательно соединенных солнечных элементов на несколько ступеней с различным уровнем напряжения, также солнечная площадка состоит из m параллельно соединенных между собой СЭ различным временем коммутации. Каждая ступень напряжения подается к инвертору, а инвертор в свою очередь, определенные группы параллельно и последовательно соединенных солнечных элементов поочередно подключает к нагрузке, формируя напряжение, практически близкое к синусоидальной форме. Таким образом, инвертором формируется переменное напряжение промышленной частоты. При ступенчатом расположении солнечных элементов некоторое количество СЭ не используется [2].

Методика расчета неиспользованных (пассивных) солнечных элементов разработана в работе [2].

Для преобразования энергии солнечной площадки в электроэнергию переменного напряжения с действующим значением 220В необходимо 18 модулей серий ACE-50 последовательно соединенных солнечных элементов. Для того, чтобы получить мощность 7,6 кВт, при токе 34,56А,

необходимо параллельно соединить между собой двенадцать солнечных элементов, каждый из которых вырабатывает ток в 2,88А. Если такое четырехступенчатое напряжение подать на вход инвертора, то результаты гармонического анализа показывают [2], что на выходе инвертора напряжение имеет синусоидальную форму кривой, без использования фильтра.

Показано [2], что для однофазного инвертора при четырех ступенях, экономия количества солнечных элементов составит 32,4%, расчеты показали для пяти ступенчатой схемы – 35,19%. При этом нужно отметить, что для трехфазного инвертора экономия количества солнечных элементов, в процентном соотношении будет такой же, как и при однофазном инверторе.

На практике применяют трехфазный инвертор, а для улучшения формы кривой напряжения можно предложить схему многоступенчатого трехфазного инвертора [3]. Предлагается две схемы трехфазного трехступенчатого преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного напряжения промышленной частоты.

Система многоступенчатого трехфазного солнечного преобразователя состоит из трех однофазных инверторов, где каждый инвертирует автономно и нагрузки соединены звездой. Трехфазное напряжение на выходе формируется из однофазных инверторов, поэтому второй и третий инвертор должны иметь сдвиг фаз относительно первого, соответственно, на 120 и -120 градусов.

Расчет солнечных элементов в этой системе также можно производить по предложенной методике матриц [2].

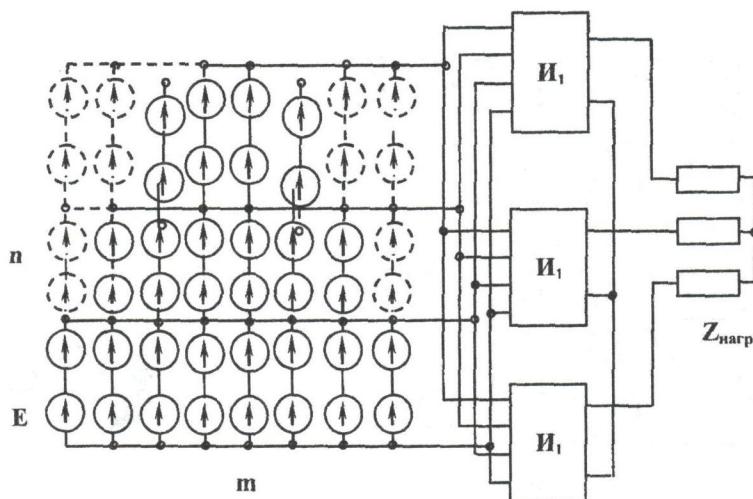


Рис. 2. Предлагаемая схема преобразования солнечной энергии на базе трех однофазных инверторов

На вход каждого однофазного инвертора действует напряжение в $U=220V$, ток $I=11,52A$, мощность $P=2,5kW$. Для получения напряжения в $220V$ необходимо 18 модулей серий ACE-50 последовательно соединенных солнечных элементов. Чтобы получить мощность $2,5 kW$ при $11,52A$ тока необходимо параллельно соединить между собой четыре солнечных элемента. Таких однофазных инверторов необходимо три чтобы на выходе получить общую мощность $7,6 kW$ и каждый инвертор присоединен к ступенчато последовательно-параллельно соединенных солнечных элементов. Таким образом, получаем трехфазный трехступенчатый солнечный преобразователь. Первая ступень состоит из девяти, вторая ступень из семи, третья из двух последовательно соединенных солнечных элементов.

Матрицы первой, второй, третьей ступеней первого однофазного инвертора трехфазной системы преобразования будут иметь следующий вид:

$$A_1 = \begin{bmatrix} a_{91} & a_{92} & a_{93} & a_{94} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \end{bmatrix} = \sum a_{ij} = 36;$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} a_{72} & a_{72} \\ \vdots & \vdots \\ a_{12} & a_{13} \end{bmatrix} = \sum a_{ij} = 14;$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} a_{22} \\ a_{12} \end{bmatrix} = \sum a_{ij} = 2.$$

Расчет числа солнечных элементов второй и третьей однофазных инверторов производится аналогично и экономия солнечных элементов на каждом инверторе составляет:

$$A_{\text{актив}} = 52, A_{\text{пассив}} = 72 - 52 = 20;$$

$$\bar{A}_{\text{пас}} = \frac{A_{\text{пас}}}{A_{\text{общ}}} = \frac{20}{72} \cdot 100\% = 27,77\%.$$

Следующая трехступенчатая трехфазная система преобразования солнечной энергии состоит из трехступенчатого солнечного модуля, из инвертора, а также из трехфазной нагрузки, соединенной звездой. Схема представлена на рис. 3.

Чтобы, получить мощность $7,6 kW$ при $34,56A$ тока необходимо параллельно соединить между собой двенадцать солнечных элементов. Схема состоит из трех ступеней, где первая ступень состоит из шести, вторая ступень из восьми, третья из пяти последовательно соединенных солнечных элементов.

Следовательно матрица для 18 последовательно и 12 параллельно соединенных СЭ в трехфазной трехступенчатой схеме преобразования определяется следующим образом:

$$A_{\text{общ}} = \begin{bmatrix} a_{181} & a_{182} & \cdots & a_{1812} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{31} & a_{32} & \cdots & a_{312} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{212} \\ a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{112} \end{bmatrix} = \sum a_{ij} = 216.$$

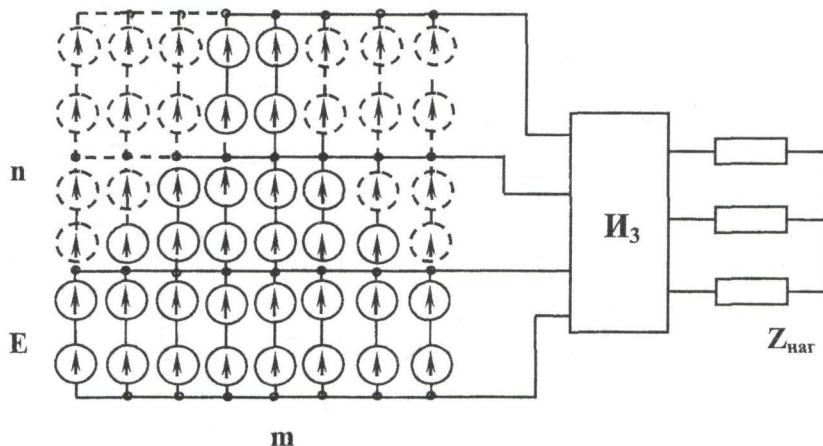


Рис. 3. Предлагаемая схема преобразование солнечной энергии на базе трехфазного инвертора на базе трехфазного инвертора

Матрицы первой, второй, третьей ступеней задействованных СЭ в трехфазной схеме преобразования, будут иметь следующий вид:

$$A_1 = \begin{bmatrix} a_{61} & a_{62} & \cdots & a_{612} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{31} & a_{32} & \cdots & a_{310} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{210} \\ a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{110} \end{bmatrix} = \sum a_{ij} = 72;$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} a_{82} & a_{83} & \cdots & a_{811} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{72} & a_{73} & \cdots & a_{79} \\ a_{62} & a_{63} & \cdots & a_{611} \end{bmatrix} = \sum a_{ij} = 80;$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} a_{54} & a_{55} & \cdots & a_{59} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{34} & a_{35} & \cdots & a_{37} \\ a_{24} & a_{25} & \cdots & a_{29} \\ a_{14} & a_{15} & \cdots & a_{19} \end{bmatrix} = \sum a_{ij} = 24.$$

Соответственно общее число и пассивное число солнечных элементов будет следующим:

$$A_{\text{актив}} = A_1 + A_2 + A_3 = 72 + 80 + 24 = 176;$$

$$A_{\text{пассив}} = A_{\text{общ}} - A_{\text{ак}} = 216 - 176 = 40.$$

Число сэкономленных солнечных элементов в процентном отношении будет следующим:

$$\bar{A}_{\text{пас}} = \frac{A_{\text{пас}}}{A_{\text{общ}}} = \frac{40}{216} \cdot 100\% = 18,5\%.$$

Из выше указанных расчетов можно сделать следующие выводы: от повышения числа ступеней экономия солнечных элементов увеличивается. Четырехступенчатое трехфазное преобразование, в отличие от трехступенчатого трехфазного преобразования дает больше экономии дорогостоящих солнечных элементов и кривая напряжения будет более синусоидальной. Также нужно отметить, что при использовании трех однофазных инверторов в трехфазном солнечном преобразовании дает больше экономии солнечных элементов, чем схема на базе трехфазного инвертора. Схема из трех однофазных инверторов будет более громоздкой в реализации. В общем, оптимальное использование солнечных элементов в многоступенчатой трехфазной системе преобразования солнечной энергии позволяет сэкономить от 18,5 до 35,19 % дорогостоящих солнечных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Источники сети интернет (<http://ovis.khv.ru/>).
2. Исембергенов Н.Т., Илипбаева Л.Б. Оптимальное использование солнечных элементов // Вестник КазНТУ им. К. И. Сатпаева. 2006. № 5(55).
3. Исембергенов Н.Т., Илипбаева Л.Б. Преобразование солнечной энергии в электроэнергию промышленной частоты и напряжения // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. 2006. № 1(19).
4. Константинов В.Г. Многофазное преобразователи на транзисторах. М.: Энергия, 1972.

Резюме

Күн энергиясын айнымалы электр энергияға түрлендірудің бірнеше тәсілдері қарастырылған. Сонымен қатар инвертордың қаралу схемасы үшфазалы және үш бір фазалыдан құрастырылу жағдайлары зерттелінген.

КазНТУ им. К. И. Сатпаева

Поступила 3.07.08г.