

**Г.Е. АЙВАЗЯН, Д.В. АГАБЕКЯН, А.А. ВАРДАНЯН, О.А. ПЕТРОСЯН**  
**СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ**  
**СТАНЦИЙ**

Разработана система слежения за Солнцем для фотовольтаических станций, состоящая из светочувствительного датчика на основе солнечных элементов, преобразователя сигнала, микроконтроллера и поворотного устройства. Составлен алгоритм работы системы, изготовлены соответствующие узлы. Тестирование системы в полевых условиях показало, что в результате одноосного слежения за Солнцем энергетическая эффективность фотовольтаической станции увеличивается на 25%.

**Ключевые слова:** фотовольтаическая станция, солнечный элемент, светочувствительный датчик, слежение за Солнцем.

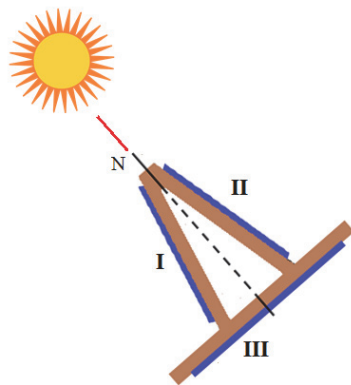
**Введение.** Преобразование солнечной энергии в электрическую является перспективным и активно развиваемым направлением возобновляемой энергетики. Особенно это важно для Республики Армения, имеющей ограниченные запасы полезных ископаемых и благоприятные, с точки зрения солнечного излучения, природно-климатические условия.

Преобразование солнечной энергии в пригодную для непосредственного применения электрическую энергию осуществляется с помощью солнечных фотовольтаических станций, ключевым элементом которых являются полупроводниковые солнечные элементы. Для получения требуемых энергетических характеристик солнечные элементы объединяют последовательно-параллельным способом в батареи. Прием, накопление, преобразование и передача генерированной мощности осуществляются с помощью вспомогательных узлов и устройств, таких как регуляторы заряда и мощности, инверторы, аккумуляторы, измерительные и коммуникационные устройства и др. [1].

Современные фотовольтаические станции имеют высокую себестоимость и низкую эффективность, что и ограничивает их широкое использование. Следовательно, повышение энергетической эффективности фотовольтаических станций является весьма актуальной научно-практической задачей. Одним из способов решения этой проблемы является снижение потерь эксплуатационной мощности станций путем оптимальной ориентации световоспринимающих поверхностей солнечных батарей относительно Солнца [2-5].

В данной работе представлены результаты разработки и исследования эффективности системы слежения за Солнцем для фотовольтаических станций.

**Описание системы.** Для системы слежения за Солнцем был использован разработанный нами светочувствительный датчик на основе трех солнечных элементов, структура которого показана на рис. 1 [6].



*Рис. 1. Структура светочувствительного датчика*

Датчик был выполнен в виде трехгранной металлической конструкции, в двух наклонных боковых гранях которой имелись посадочные места под двумя солнечными элементами (I и II), а в основании было предусмотрено посадочное место под третий элемент (III). Наклон боковых граней составлял 20 градусов. Солнечные элементы I и II предназначены для определения положения Солнца, а элемент III – для определения уровня фонового излучения и запуска системы утром. Металлическая конструкция служит токопроводящим элементом и позволяет компенсировать влияние разности температур на параметры солнечных элементов.

Солнечные элементы имели идентичные электрофизические параметры при одинаковом уровне освещенности. В качестве регулирующего сигнала был выбран фототок, который сильно зависит от интенсивности солнечного излучения и практически не зависит от температуры. Площадь солнечных элементов определялся исходя из следующих факторов: 1) их максимальным фототоком при максимальной освещенности; 2) необходимой чувствительностью датчика при уменьшении освещенности в несколько раз; 3) минимизацией габаритов датчика.

Были использованы полукристаллические солнечные элементы мощностью 0.25 Вт площадью 35X55 мм<sup>2</sup>. В этом случае обеспечивается изменение фототока 5...10 мкА при перемещении датчика на 0.25 углового градуса.

Главные преимущества разработанного светочувствительного датчика - простота, автономность и необходимая для фотовольтаических станций точность наведения.

Структурная схема системы слежения за Солнцем представлена на рис. 2. Она состоит из светочувствительного датчика 1, блока преобразователя сигнала 2, микроконтроллера 3 и поворотного устройства 4.

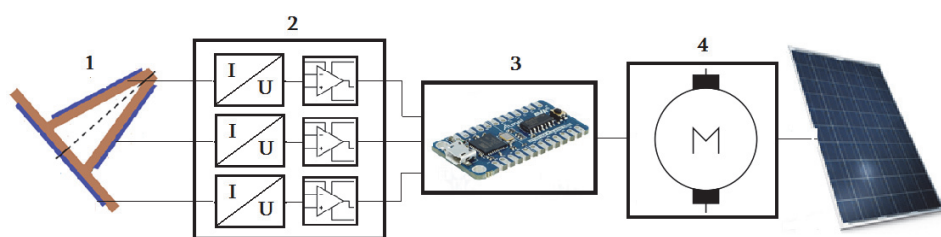


Рис. 2. Структурная схема системы слежения за Солнцем

Система работает следующим образом. Солнечные элементы светочувствительного датчика, установленного в одной плоскости с солнечной батареей, преобразуют световой поток в фототоки, пропорциональные освещенности каждого элемента. Токи поступают в блок преобразователя сигнала, где они преобразуются в напряжение и усиливаются с помощью операционных усилителей. Был выбран высокоточный и термостабильный усилитель типа AD822.

Далее аналого-цифровые преобразователи микроконтроллера преобразовывают напряжения всех трех сигналов в соответствующие цифровые коды. Все цифровые коды считываются в память микроконтроллера и обрабатываются по заложенному алгоритму. Микроконтроллер был реализован в виде печатной платы на базе микросхемы Atmega 64.

От микроконтроллера управляющий код, соответствующий необходимому направлению и повороту фотовольтаической станции, подается на управляющий блок поворотного устройства. В итоге двигатель поворотного устройства обеспечивает заданное перемещение с помощью червячного редуктора. Были использованы бесконтактный моментный электродвигатель серии ДБМ и редуктор заднего моста автомобиля ЗИЛ-133.

Все электрические узлы системы слежения за Солнцем питались от аккумулятора фотовольтаической станции.

Разработан алгоритм работы системы, согласно которому сначала измеряются фототоки в трех солнечных элементах светочувствительного датчика,

далее определяется величина разницы в фототоках элементов I и II на гранях датчика и находится относительная величина ошибки по току. Если относительная величина ошибки по току больше заданного порогового значения (в данном случае – 0.05), происходит перемещение солнечных батарей налево или направо. Если относительная величина ошибки по току меньше порогового значения, то перемещение отсутствует. Это означает, что световоспринимающая поверхность солнечных батарей либо точно направлена на Солнце, либо находится в тени. Если величина фототока солнечного элемента III в тыловой части датчика больше среднего значения токов элементов I и II на 5%, то это означает, что Солнце светит с обратной стороны солнечных батарей. Это происходит на следующий день после восхода Солнца. В этом случае происходит разворот солнечных батарей в начальное положение. При этом для уменьшения энергопотребления системы был использован “спящий режим” с интервалом дискретного включения на 20 мин. Это приведет к потере выработанной мощности относительно неподвижной солнечной станции не более 2%.

**Тестирование системы.** Тестирование системы слежения за Солнцем проводилось в полевых условиях на демонстрационной фотовольтаической станции с максимальной мощностью 5 кВт, установленной на территории инновационного центра Барва (г. Талин, Армения, 40023°01.75'N; 43053°00.35'E; 1622 м) [7]. Общий вид демонстрационной станции показан на рис. 3.



Рис. 3. Общий вид демонстрационной фотовольтаической станции

На рис. 4 показаны временные зависимости мощности фотовольтаической станции с одноосевой (по азимуту) системой слежения за Солнцем и без этой системы - неподвижная станция. Угол наклона солнечных батарей составлял  $45^{\circ}$ .

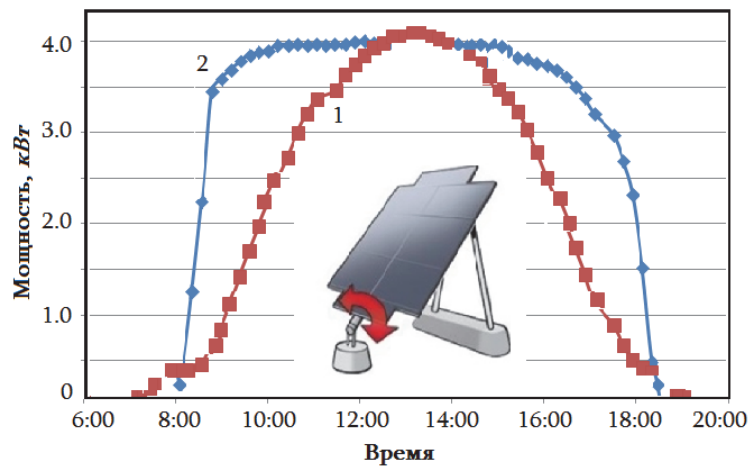


Рис. 4. Временные зависимости мощности с неподвижной (1) и одноосевой (2) системой слежения за Солнцем

Как следует из результатов тестирования, применение системы слежения за Солнцем увеличило энергетическую эффективность фотовольтаической станции на 25%.

**Заключение.** Разработанная система слежения за Солнцем позволит изменять угол ориентации световоспринимающих поверхностей солнечных батарей в зависимости от положения Солнца, что увеличит реальное количество генерируемой энергии. Разработанная система независима от географического местоположения и не нуждается в предварительной настройке и работе высококвалифицированного персонала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ալվազյան Կ.Գ.** Բարձր արդյունավետությամբ արևային էլեմենտներ և կայաններ. - Եր.: Գասպրինտ, 2016. - 198 էջ:
2. **Lee C.Y., Chou P.C., Chiang C.M., Lin C.F.** Sun Tracking Systems: A Review // Sensors. - 2009. - 9. - P. 3875-3890.
3. **Chang Tian Pau.** The Sun's Apparent Position and the Optimal Tilt Angle of a Solar Collector in the Northern Hemisphere // Solar Energy. - 2009. - 83, № 8. - P. 1274-1284.

4. **Jing-Min Wang, Chia-Liang Lu.** Design and Implementation of a Sun Tracker with a Dual-Axis Single Motor for an Optical Sensor-Based Photovoltaic System // Sensors. - 2013. –13. - P. 3157-3168.
5. **Buniatyan V.V., Vardanyan A.A.** Performances of Solar Water Pumping Station with Solar Tracker // Proc. of NAS and SEUA. Ser. TN. - 2011. –64, № 1. - P. 99-103.
6. **Այվազյան Կ.Գ., Աղաբեկյան Դ.Վ., Աղղալյան Վ. Յու.** Արևին հետևող լուսազգայուն տվիչ // ՀՃԱ-ի Լրաբեր. - 2017.- Հ. 14, № 2.- էջ 290-293:
7. **Aghabekyan D.V., Ayyvazyan A.G., Vardanyan A.A.** Remote Monitoring System using GSM for Photovoltaic Stations // Proc. of the 10th International Conference on Semiconductor Micro- and Nanoelectronics. - Yerevan, Armenia, 2017. - P. 153-156.

**Գ.Ե. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Դ.Վ. ԱՂԱԲԵԿՅԱՆ, Ա.Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ,  
Օ.Հ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ**

#### **ՖՈՏՈՎՈԼՏԱՅԻՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ԱՐԵՎԻՆ ՀԵՏԵՎՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳ**

Մշակված է ֆոտովոլտային կայանների համար արևին հետևող համակարգ՝ բաղկացած արևային էլեմենտների հիման վրա լուսազգայուն տվիչից, ազդանշանի փոխակերպիչից, միկրոկոնտրոլերից և պտտող սարքակազմից: Կազմվել է համակարգի աշխատանքային ալգորիթմը, պատրաստվել են համապատասխան հանգույցները: Համակարգի փորձարկումը դաշտային պայմաններում ցույց է տվել, որ արևին մեկ առանցքով հետևելու արդյունքում ֆոտովոլտային կայանի էներգետիկական արդյունավետությունը մեծանում է 25%-ով:

**Առանցքային բառեր.** ֆոտովոլտային կայան, արևային էլեմենտ, լուսազգայուն տվիչ, արևին հետևում:

**G.Y. AYVAZYAN, D.V. AGHABEKYAN, A.A. VARDANYAN,  
O.H. PETROSYAN**

#### **A SUN TRACKING SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC STATIONS**

A sun tracking system for photovoltaic stations, consisting of a light-sensitive sensor based on solar cells, signal converter, microcontroller and rotary device is developed. The operation algorithm of the system is developed, and corresponding components are prepared. Field testing of the system has shown that as a result of uniaxial sun tracking, the energy efficiency of the photovoltaic station is increased by 25%.

**Keywords:** photovoltaic station, solar cell, light-sensitive sensor, sun tracking.