



Система наведения концентратора на солнце



Татьяна АББАСОВА

Tatiana S.ABBASOVA

Разработана система наведения гелиоустановки с концентратором, которая оптимизирует функции подобного автономного источника энергии. Новые подходы обеспечивают упрощение конструкции механической части установки и экономичный режим работы следящего электропривода, а также возвращение концентратора в первоначальное положение в утренние часы последующего дня.

Ключевые слова: гелиоустановка, резервирование электроснабжения, концентратор, следящий электропривод, точность наведения.

Аббасова Татьяна Сергеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем Института управления, экономики и социологии (г. Королёв).

Внедрение независимых от электрических сетей автономных экологических источников энергии, реализованных в виде гелиоустановок (ГУ), актуально, поскольку износ основных фондов электросетей России составляет 40%, а подстанционного оборудования — 63,4%. ГУ можно использовать как в качестве резервного, так и автономного источника энергии, причем особенно это важно для электростанций, обслуживающих вычислительное оборудование [1].

На современном этапе происходит консолидация вычислительного оборудования. В этом смысле показательно, к примеру, что развитие телекоммуникаций сделало возможным функционирование масштабной ИТ-инфраструктуры ОАО «РЖД» именно в консолидированном режиме, который обеспечивает концентрацию наиболее значимой части вычислительных ресурсов и помогает ликвидации пересекающихся системных функций.

В районах Сибири и Дальнего Востока с высокими показателями солнечной радиации, соответствующими аналогам Италии, Греции, Испании, целесообразно применять для бесперебойного энергоснабжения вычислительного оборудования

гелиоустановки с концентраторами. Они улавливают на 40% больше солнечных лучей [2], но увеличивают затраты на систему управления. Чтобы оптимизировать соотношение этих затрат и нужных результатов, требуется такое наведение концентратора на Солнце, которое предполагало бы и упрощение конструкции механической системы ГУ, и экономичный режим работы следящего электропривода.

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Программное управление по астрономическому времени и широте используется в схеме комбинированного наведения гелиоустановки для грубой наводки и имеет существенный недостаток: любое изменение места расположения гелиоустановки требует перепрограммирования процессора. Такое управление не получило массового распространения. Сейчас для наведения гелиоустановок на Солнце применяются следящие электроприводы (СЭП), использующие экваториальную или азимутально-зенитальную системы координат. Экваториальная система предназначена для гелиоустановок без концентрации либо с малым коэффициентом концентрации. Это объясняется небольшой скоростью изменения угла склонения, что позволяет производить слежение по нему вручную несколько раз в год. Азимутально-зенитальная система координат располагает более функциональной конструкцией, поэтому чаще, чем экваториальная система, оказывается в гелиоустановках с концентратором.

В гелиоустановках с концентратором может применяться электропривод как одно-, так и двухкоординатный. Существуют двухкоординатные опорно-поворотные устройства с взаимосвязанным электроприводом, где СЭП отвечают за слежение по обоим координатам.

Для снижения стоимости системы управления гелиоустановкой с помощью устройств слежения необходим точный выбор условий функционирования и установочных параметров СЭП, датчиков слежения (ДС) и элементов системы автоматического управления.

В работе [3] приведены конструктивные схемы и описания различных высокоточных датчиков слежения, в том числе ши-

рокозахватных оптических и фотоэлектрических. Они имеют простейшую конструкцию и позволяют с наименьшим количеством фототранзисторов управлять процессами грубого (до 60°) и точного (до 4 угл. мин) слежения за Солнцем.

Системам автоматического наведения концентраторов и гелиостатов посвящена работа [4]. Теоретические вопросы процесса слежения за Солнцем представлены в [5,6]. В [7] описывается система наведения, в которой осуществляется непрерывное перемещение ГУ независимо от того, находится ли наше светило в прямой видимости или находится за облаками.

В [8] разработана система автоматического наведения ГУ на Солнце, обеспечивающая слежение за его положением только при наличии прямого излучения. Однако в случае 10–15-градусного отклонения оптической оси концентратора от реального направления Солнца из-за облачности в летнее время восстановление точной ориентировки уменьшает вырабатываемую ГУ мощность. В зимний сезон, особенно в утренние часы, угловая скорость реального движения Солнца по сравнению с летним сезоном значительно снижается, и при вращении концентратора с установленной максимальной скоростью процесс его наведения осложняется, ибо из-за большой угловой скорости оптическая ось концентратора после остановки работы СЭП, находящегося в пошаговом режиме, по инерции продолжает движение. Чем массивнее концентратор, тем заметнее издержки процесса. Это приводит к дополнительной вибрации концентратора, уменьшению надежности конструктивных узлов редукторов и преждевременному выходу из строя поляризованных реле, осуществляющих пошаговое слежение. Следовательно, концентратор должен двигаться не с максимальной скоростью, а со скоростью, которая определяется центральным датчиком точного слежения.

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ

Упрощенная структурная схема ГУ с концентратором и системой наведения приведена на рис. 1. В качестве фотоэлектрических преобразователей используется арсенид галлия. Для увеличения КПД преобразования солнечной энергии в электри-



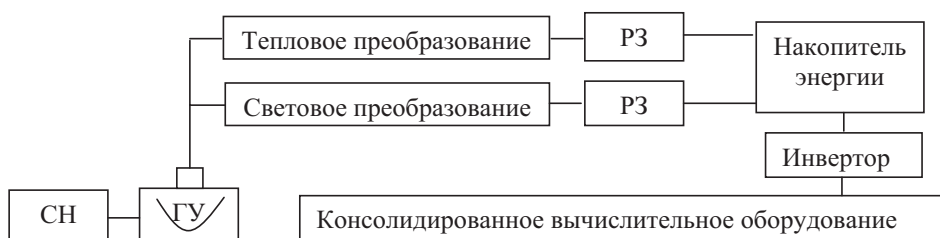


Рис. 1. Структурная схема гелиоустановки с концентратором, СН – система наведения, ГУ – гелиоустановка, РЗ – регулятор заряда.

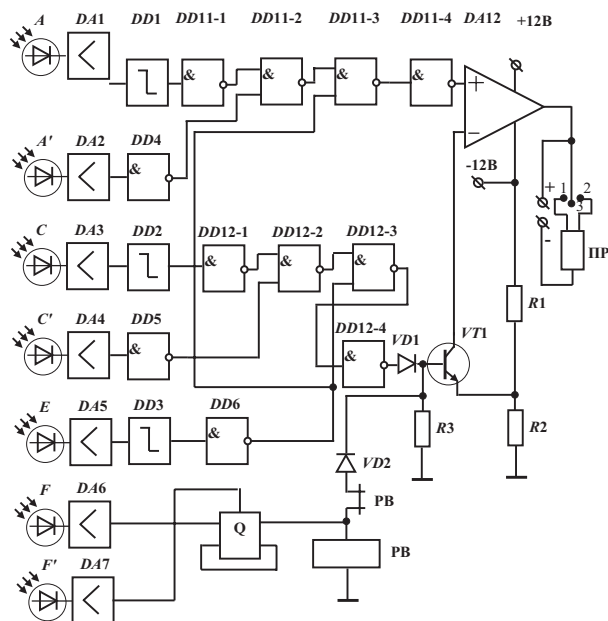


Рис. 2. Принципиальная схема системы наведения ГУ с концентратором.

ческую применяется одновременно световое и тепловое преобразование.

Для системы слежения за Солнцем предлагается СЭП с астатизмом второго порядка [9]. Астатизм позволяет снизить требования к полосе пропускания СЭП и исключить скоростную и статическую ошибки [10]. При этом нет необходимости предусматривать контур тока, достаточно ограничиться только контуром скорости для упрощения системы управления, поэтому СЭП гелиоустановки будет одноконтурным и однодвигательным. Упрощается конструкция гелиоустановки, уменьшается число контролируемых параметров. Корректировка по контуру скорости в целях точного наведения концентратора на Солнце осуществляется с помощью азимутального электропривода. Зенитальный электропривод можно исключить, зенитальная ориентировка будет задаваться

вручную один раз в месяц. Датчики канала азимутального слежения вырабатывают электрические сигналы при изменении положения Солнца.

На рис. 2 представлена принципиальная схема разработанной автором системы наведения с СЭП, которая состоит из следующих основных элементов: точные (А, С, Е) и поисковые (А', С', F') ДС, фотоусилители DA1-DA7, пороговые устройства DD1-DD3, логические элементы «И» – «НЕ» DD4-DD6, DD11-1-DD11-4, DD12-1-DD12-4, дифференциальный операционный усилитель DA12, транзисторный ключ VT1 для управления напряжением смещения (генератор опорного напряжения) с делителем напряжения R_1 и R_2 соответственно, диод VD1 для развязывания базовых цепей транзистора VT1, поляризованные реле ПР.

Триггер Q системы слежения управляет- ся от поисковых ДС F и F', установленных в тыльной и лицевой сторонах концентратора, и служит для его возвращения в первоначальное положение в моменты восхода Солнца в утренние часы последующего дня. Сигнал с выхода дифференциального операционного усилителя DA12 поступает на обмотку реле ПР и управляет процессами переключения контактов реле ПР (ПР-1 и ПР-2), введенных в цепь питания электропривода азимутального вращения (ЭПАВ). Для исключения перегрева и преждевременного выхода из строя цепей питания якорной обмотки двигателя постоянного тока из-за продолжительной непрерывной работы, возникающей при возвращении концентратора из геометрического положения вечерних часов предыдущего дня к утренним последующего, в цепи триггера Q дополнительно введено реле времени РВ, которое служит для прерывания цепей питания якорной обмотки двигателя через каждые 10 минут на короткое время (до 10 с).

Датчики слежения А, А' и С, С', F, F' контролируют направления «азимут — запад» и «азимут — восток». Поисковые датчики А' и С' состоят из однотипных фотодиодов с одинаковыми оптическими характеристиками. Фотодиоды А, А'₁, А'₂, А'₃, А'₄, А'₅ группы поискового ДС А' по электрической цепи между собой соединены параллельно. Используются высокочувствительные германиевые фотодиоды типа ФД-К-227 с диаметром 3 мм и высотой светозащитной оболочки 30 мм, которые были установлены в центре нижнего основания дополнительных светозащитных направляющих трубочек длиной 350 мм. Датчики установлены в лицевой стороне концентратора и служат в течение всего рабочего дня.

При точной ориентировке гелиоустановки на Солнце оптическая ось светозащитной направляющей трубочки центрального датчика точного слежения Е находится строго параллельно фокальной оси параболического концентратора, а светозащитные трубочки остальных фотодиодов установлены с учетом угловых значений, которые описаны ниже.

Поле зрения центрального датчика точного слежения Е составляет 4 угл. мин, а крайних ДС А и С — по 10 угл. мин у каж-

дого, при этом оптические оси ДС А и С находятся под углом 7 угл. мин относительно оптических осей центрального ДС Е. Поле зрения поисковых фотодиодов ДС А' — 12°, а оптические оси соседних фотодиодов расположены под углом 12° относительно друг друга. Таким образом, суммарные значения углов захвата составляют 60°.

Между всеми соседними фотодиодами ДС установлены нейтральные зоны невидимости (зоны нечувствительности для обоих соседних фотодиодов), равные 6 угл. мин, которые гелиоконцентратор проходит инерциально, и при установленной угловой скорости вращения это угловое расстояние преодолевает за 4 с.

Угол захвата поискового ДС С', следящего за Солнцем в направлении «азимут — восток», также составляет 12°, что вполне достаточно для нахождения точных солнечных координат в утренние часы последующего дня независимо от сезона года.

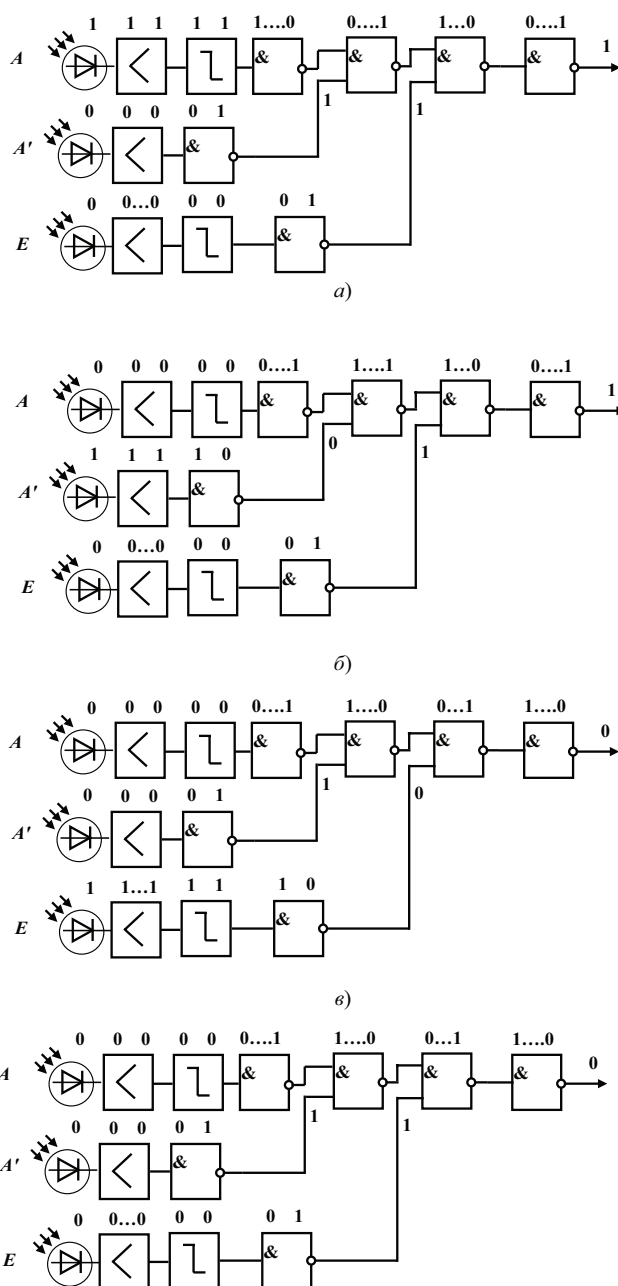
По первому каналу («азимут — запад») процессы слежения осуществляются посредством следующих элементов: это ДС А, А' и Е, фотоусилители DA1, DA2 и DA5, пороговые устройства DD1 и DD3, логические элементы DD4, DD6, DD11-1, DD11-2, DD11-3 и DD11-4, дифференциальный операционный усилитель DA12, поляризованное реле ПР с переключающими контактами ПР-1 и ПР-2, а также реверсивный электропривод ЭПАВ с редуктором.

Второй канал слежения («азимут — восток») содержит элементы ДС С, С' и Е, фотоусилители DA3, DA4 и DA5, пороговые устройства DD2 и DD3, логические элементы DD5, DD6, DD12-1, DD12-2, DD12-3 и DD12-4, диод VD1, транзисторный ключ (первый генератор опорного напряжения), выполненный на транзисторе VT1 с делителем напряжения R₁, R₂, операционный усилитель DA12, поляризованное реле ПР и реверсивный электропривод ЭПАВ с редуктором. Схема соединения ЭПАВ с редуктором на рис. 2 не показана.

Система слежения имеет дополнительный (третий) канал, служащий для возвращения ГУ в геометрическое положение, необходимое для утренних часов последующего дня. Канал включает свои элементы: поисковые ДС F и F' восточного направле-



Рис. 3. Функциональная схема действия узлов автоматики первого канала слежения (канал «азимут – запад») устройства для автоматического наведения ГУ на Солнце: а – освещается только точный ДС западного направления А; б – в поле света один из фотодиодов поискового датчика А' направления «запад – юг»; в – освещается только центральный ДС Е; г – не освещается ни один из ДС канала.



ния, фотоусилители DA6 и DA7, триггер Q, имеющий обратную связь с выходом фотоусилителя DA7, электронное реле времени РВ с размыкающим контактом, подключенное последовательно с диодом VD2, связывающим выходы триггера Q с базовой цепью транзистора VT1. Питание реле времени осуществляется через триггер, а диоды VD1 и VD2 в электрической цепи соединены навстречу друг другу. Этим устраняется возможность взаимных помех первого и третьего каналов.

Как видно из схемы рис. 2, в данной системе триггер Q управляется только по сигналу поисковых датчиков азимутального слежения F и F'. Этого достаточно, ибо значение зенитного угла в утренние часы последующего дня мало отличается от его значения в предыдущие вечерние часы (до 1°). Поэтому в утренние часы поисковые датчики азимутального слежения слегка настраиваются на реальные солнечные координаты, и система наводит ГУ на Солнце.

Все каналы системы наведения концентратора, кроме третьего, выполнены одинаково и функционируют аналогично, что упрощает электрическую схему устройства.

На рис. 3 приведена функциональная схема действия узлов автоматики первого канала слежения, согласно которой возможны следующие варианты управления: а) освещается только точный ДС А; б) в поле света один из фотодиодов поискового ДС А'; в) освещается только центральный точный ДС Е; г) не освещается ни один из ДС канала (в ночное время или часы рабочего времени, когда имеет место продолжительная сплошная облачность или туманность).

Процессы слежения по первому каналу происходят следующим образом. Когда освещается только ДС А, как на выходе фотопусилителя DA1, так и на выходе порогового устройства DD1 появляется логический потенциал «1», который поступает к входу логического элемента DD11-1, при этом на выходе последнего обнаруживается нулевой потенциал. Далее сигнал идет к первому входу X_1 логического элемента DD11-2, ко второму входу X_2 которого из выхода логического элемента второго контура канала DD4 (контур поискового ДС западного направления А') поступает логический потенциал «1», поскольку в этот момент на его входе возникает нулевой потенциал. Поэтому на выходе Y логического элемента DD11-2 получается логический потенциал «1», который подается на первый вход X_1 логического элемента DD11-3, а на второй вход X_2 тогда же из выхода логического элемента DD6 третьего контура 1-го канала слежения поступает логический потенциал «1».

В результате этого на выходе Y логического элемента DD11-3 фиксируется нулевой потенциал, который подается к входу логического элемента DD11-4, и следовательно, на выходе последнего получается логический потенциал «1», переходящий на соответствующий (положительный) вход дифференциального операционного усилителя DA12. При этом на выходе усилителя появляется положительный потенциал, который подается к обмотке реле ПР, и оно через свои переключающие контакты ПР-1 и ПР-2 замыкает цепи питания ЭПАВ в прямом направлении вращения («азимут — запад»).

Спустя некоторое время концентратор ГУ поворачивается в направлении «азимут — запад», и оптическая ось точного ДС западного направления А выходит из зоны чувствительности, а оптическая ось центрального ДС Е занимает точную ориентировку к Солнцу (вариант «б»). На оба входа (X_1 и X_2) логического элемента DD11-2 поступает логический потенциал «1» (из 1-го и 2-го контуров первого канала), поэтому на его выходе Y получается нулевой потенциал, который далее подается на первый вход X_1 логического элемента DD11-3, а на второй вход X_2 в тот же момент из 3-го контура, управляемого центральным ДС Е, опять идет нулевой потенциал, в результате чего на его выходе Y обнаруживается логический потенциал «1».

Полученный сигнал с выхода логического элемента DD11-3 подается на вход последующего элемента DD11-4, и на выходе его появляется нулевой потенциал, который поступает к входу дифференциального операционного усилителя DA12, после чего с обмотки поляризованного реле ПР снимается управляющее напряжение. Контакты ПР-1 и ПР-2 размыкаются, и питание электропривода ЭПАВ прекращается.

Как видно из схемы рис. 3, система слежения при варианте управления «г» действует аналогичным образом. На выходе последнего логического элемента DD11-4 1-го канала получается нулевой потенциал, и работа электропривода приостанавливается.

При освещении одного из фотодиодов поискового ДС западного направления А' (вариант «б») и независимо от величины углового отклонения Солнца (до 60°) система слежения функционирует идентично варианту «а». При этом на первом входе X_1 логического элемента DD11-2 получается логический потенциал «1», а на входе X_2 — нулевой потенциал. Соответственно на выходе Y элемента появляется логический потенциал «1», подаваемый на первый вход X_1 логического элемента DD11-3, на второй вход X_2 которого в этот момент из 3-го контура первого канала, управляемого центральным точным ДС Е, следует логический потенциал «1». На выходе Y DD11-3 и на входе X DD11-4 получается нулевой потенциал, а на выходе Y DD11-4 —





Таблица 1

Потенциалы у входов и выходов соответствующих узлов автоматики первого канала слежения

Режимы		Обозначение ДС	Потенциалы у входов (X_1 и X_2) и у выхода (Y)																								Состояние работы электропривода ЭПАВ	
			Потенциал ДС																									
			DA1		DA2		DA3		DD1		DD2		DD3		DD10		DD11-1		DD11-2		DD11-3		DD11-4		DA12			
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X ₁	X ₂	Y	X ₁	X ₂	Y	X	Y	X				
а	A	1	1	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	ЭПАВ подключается в направлении «азимут – запад»
	A'	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	E	0	-	-	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
б	A	0	0	0	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	ЭПАВ подключается в направлении «азимут – запад»
	A'	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	E	0	-	-	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
в	A	0	0	0	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	ЭПАВ отключается от источника питания
	A'	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	E	1	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
г	A	0	0	0	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	ЭПАВ отключается от источника питания
	A'	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	E	0	-	-	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

логический потенциал «1». Под действием этого потенциала, как и в варианте «а», электропривод ЭПАВ подключается к работе и вращает ГУ в направлении «азимут – запад».

МАНИПУЛЯЦИИ
С КОНЦЕНТРАТОРОМ

При максимальном отклонении оптической оси центрального датчика точного слежения E от реального направления Солнца ($\alpha_{аз}^{max} = 60^\circ$) процессы наведения ГУ с учетом полей зрения фотодиодов поискового ДС A' происходят в определенном порядке: $A'_5, A'_4, A'_3, A'_2, A'_1, A, E$.

В таблице 1 приведены логические потенциалы, возникающие на входе и выходе логических элементов «И» – «НЕ» и других узлов автоматики 1-го канала в процессе слежения (в направлении «азимут – запад»).

Процессы возвращения концентратора из вечернего рабочего положения к утреннему последующего дня (3-й канал слежения) идут следующим образом.

В вечерние часы, когда на выходах всех ДС бывают нулевые сигналы, вращение концентратора в азимутальном направлении приостанавливается. В утренние часы, как только солнечные лучи поступают на поисковый ДС F , установленный с обратной стороны концентратора в диаметрально противоположном направлении с центральным точным ДС E , на выходе фотоусилителя $DA1$ появляется максимальное напряжение (логический потенциал «1»), под действием которого меняется положение триггера Q , и напряжение, получаемое на его выходе, проходя через диод $VD3$ на размыкающий контакт реле времени PB , поступает в базовую цепь транзистора $VT1$ первого генератора опор-

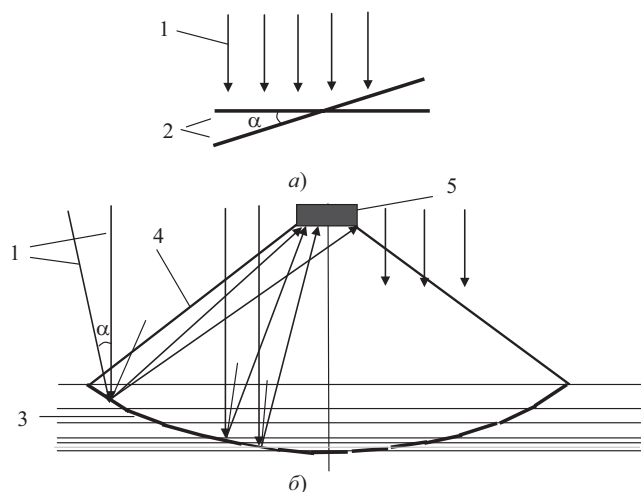


Рис. 4. Схема световых лучей
 а) для плоской поверхности
 солнечной панели без
 концентратора;
 б) для параболической поверхности
 концентратора.
 1 – солнечные лучи; 2 –
 плоская солнечная панель без
 концентратора; 3 – составной
 параболический концентратор
 из семи факетных колец; 4 –
 жесткая металлическая рама;
 5 – приемник излучения с ФЭП; α
 = 10° – поворот Солнца на данный
 угол.

ного напряжения. В результате этого на вход дифференциального операционного усилителя DA12 попадает напряжение с отрицательной полярностью, под действием которого на выходе усилителя образуется соответствующий сигнал управления.

Получаемый сигнал управления поступает к реле ПР, которое через переключающие контакты ПР-1 и ПР-2 подключает электропривод ЭПАВ к работе, но на этот раз в обратном направлении («азимут – восток»), и тот с установленной максимальной угловой скоростью ($360^\circ/\text{ч}$) вращает концентратор ГУ в сторону восхода Солнца. Вращение концентратора продолжается до тех пор, пока на выходе поискового ДС восточного направления F' сигнал управления не достигнет своего установленного значения.

Как только это происходит, на выходе фотоусилителя DA11 образуется напряжение, достаточное для изменения положения триггера Q. В результате триггер прекращает питание базовой цепи транзистора VT1 первого генератора опорного напряжения, функционирующего одновременно в качестве транзисторного ключа. В конечном итоге сигнал, поступающий на отрицательный вход дифференциального операционного усилителя DA12, прекращается, что приводит к остановке питания электропривода и его вращения.

Поскольку минимальное значение угла захвата поискового датчика F' на 1° больше ($\alpha_{F'}^{\text{макс}} = 13^\circ$) ДС восточного направления, то при возвращении концентратора в сторону восхода Солнца, прежде чем войти

в зону чувствительности датчика слежения, питание ЭПАВ по сигналу ДС F' прерывается, и принудительное вращение концентратора с максимальной скоростью прекращается. Далее концентратор, продолжая инерциальное движение, постепенно входит в зону чувствительности поискового датчика A, по сигналу которого электропривод снова (на этот раз по второму контуру 2-го канала управления) подключается к работе и с установленной номинальной скоростью ($90^\circ/\text{ч}$) вращает концентратор в направлении восхода Солнца. После этого слежение происходит в указанной последовательности.

При возвращении концентратора из положения вечерних часов предыдущего дня к утренним часам последующего нет необходимости использовать каналы зенитального направления, так как утренние значения зенитного угла Солнца в сравнении с углами захвата поисковых датчиков меняются незначительно ($\sim 1^\circ$).

Система наведения потребляет часть мощности, вырабатываемой ГУ. Уменьшение этого потребления может обеспечиваться за счет применения пошагового слежения за перемещением Солнца. Однако при увеличении шага для экономии электроэнергии в следящем электроприводе уменьшается ток на фотоэлементе, а следовательно, и выходная мощность гелиоустановки, поэтому требуется установить величину шага, являющуюся компромиссным решением [10,11].

Рассмотрим требования к точности наведения гелиоустановок с плоскими солнечными панелями и гелиоустановок



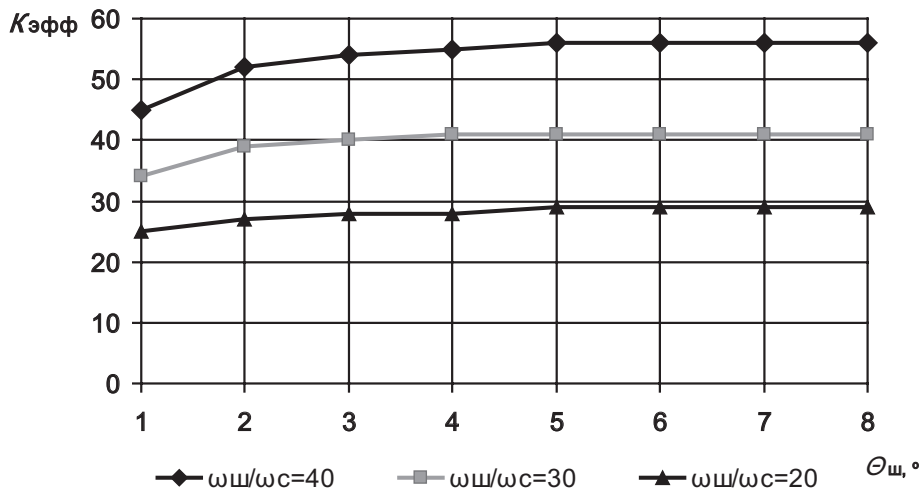


Рис. 5. Зависимость $K_{эфф}$ от угла поворота $\theta_{ш}$ при неизменной скорости шага двигателя МЭ215 следящего электропривода и разных отношениях угловых скоростей вращения двигателя в пошаговом режиме и режиме непрерывного слежения $\omega_{ш}/\omega_{с}$.

с концентраторами. По закону Ламберта $I_{\alpha} = I_0 \cos \alpha$, где I_{α} — сила света, излучаемого плоской рассеивающей площадкой dS в каком-либо направлении, α — угол между этим направлением и перпендикуляром к dS . Зависимость уменьшения мощности от угла отклонения солнечной панели $P \sim \cos \alpha$, при $\alpha = 10^\circ$, $\cos(10^\circ) = 0,98$ (~ 1), потери мощности незначительны. На рис. 4а представлено схематическое изображение света, падающего на плоскую рассеивающую площадку, которая затем поворачивается вокруг своей оси на 10° . На рис. 4б — схема отражения солнечных лучей от поверхности параболического концентратора при повороте Солнца на небосклоне на 10° и неизменном положении концентратора.

Таким образом, для плоской солнечной панели уменьшение мощности светового сигнала при отклонении луча на 10° (или повороте панели 10°) незначительно. Для фотоэлектрических гелиоустановок с концентрацией излучения точность наведения зависит от типа применяемых концентраторов лучистого потока и площади фотоэлектрического преобразователя. В [11] показано, что максимально допустимая погрешность в ориентации гелиоустановки с параболическим концентратором не должна превышать 2° , соответственно шаг слежения также не должен превышать эту величину.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

На основе математической модели универсального однодвигательного электропривода гелиоустановки [9,10] и предложенного метода оценки эффективности пошагового слежения за Солнцем (учитывается отношение потерь при непрерывном слежении и пошаговом режиме) [10,11] получено выражение для определения коэффициента эффективности:

$$K_{эфф} = 0,01' [\omega_{ш}/\omega_{с} \cdot (A(\omega_{с}/\omega_{ш}) + D)] / [\Delta P_{уст} + B(\omega_{ш}/\theta_{ш})]. \quad (1)$$

Входящие в формулу (1) величины выводятся, принимая во внимание:

$$\text{полином } A(\omega_{с}/\omega_{ш}) = K_{от} \Delta P_{мех.ном} (\omega_{с}/\omega_{ш}) + K_{от}^{1,3} \Delta P_{ст.ном} (\omega_{с}/\omega_{ш})^{1,3} + K_{от} \Phi I_{с} [1 - \omega_{ном} (\omega_{с}/\omega_{ш}) K_{от}];$$

$$\text{параметр } D \text{ (не зависящий от частоты вращения вала двигателя)} D = \Delta P_{доб} + \Delta P_{в} + I_{с}^2 R_{я} + 2 \Delta U_{ш} I_{с} (I_{ном} + I_{с}) I_{с} R_{я} + (U_{с} - U_{ном}) I_{с};$$

$$\text{параметр } B \text{ (отражающий потери энергии в переходном процессе)} B = K + T \Delta P_{уст};$$

$$\text{коэффициент } K = T_{м} [1/2 (I_{к.з} - I_{с})^2 R_{я} + (I_{к.з} - I_{с}) (2 \Delta U_{ш} + \Delta U_{с.р}^{от} + 2 I_{с} R_{я}) - K_{от} (\Delta P_{ст.ном} + \Delta P_{мех.ном})] + \Delta P_{в} (t_o - 1,5 T_{в}).$$

Здесь $\omega_{с}$ и $\omega_{ш}$ — угловые частоты вращения исполнительного вала в процессах непрерывного и пошагового слежения, [рад/с]; $\Delta P_{уст}$ — потери мощности в течение шага в установившемся режиме, [Вт]; $\theta_{ш}$ — шаг слежения, рад; $K_{от}$ — коэффициент отклонения установившейся скорости вала двигателя от номинальной; Φ — магнитный

поток в двигателе, [Вб]; I_c — статический ток якоря двигателя, [А]; $\omega_{\text{ном}}$ — номинальная частота вращения двигателя, [рад/с]; $R_{\text{я}}$ — сопротивление якоря, [Ом]; $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток двигателя, [А]; $\Delta U_{\text{щ}}$ — падение напряжения на щеточном контакте, [В]; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение двигателя, [В]; $T_{\text{м}}$ и $T_{\text{в}}$ — постоянные времени механической системы и обмотки возбуждения, [с]; $I_{\text{кз}}$ — ток короткого замыкания, [А]; $\Delta U_{\text{ср}}^{\text{от}}$ — падение напряжения на силовом ключе в открытом состоянии, [В]; U_c — напряжение сети, [В]; t_0 — время опережения включения обмотки возбуждения перед подачей на якорь двигателя, [с].

Установлена зависимость $K_{\text{эфф}}$ для различных условий эксплуатации, приведенная на рис. 5.

Нецелесообразно применять частые включения двигателя СЭП (малые величины шага около $0,5^\circ$), так как снижается ресурс надежности двигателей. На практике шаг слежения гелиоустановки целесообразно выбирать в пределах от $0,9^\circ$ до 2° в зависимости от типа применяемых концентраторов лучистого потока и площади фотоэлектрического преобразователя.

В соответствии с требованиями к надежности системы использовать значения величин шага меньше оптимального не рационально. При мощности двигателя слежения 30 Вт экономия в результате перехода от непрерывного к пошаговому слежению достигает 50% энергии, потребляемой электроприводом (1 кВт).

В конечном счете упрощение конструкции механической части гелиоустановки в системах наведения обеспечивается за счет использования единичных гелиостатов, исключения автоматической зенитальной ориентировки (осуществляется вручную

один раз в месяц), однодвигательного следящего электропривода. Экономичный режим работы электропривода и концентратора становится возможным благодаря пошаговому слежению за Солнцем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автономные энергоустановки на базе возобновляемых источников энергии//<http://cert-energy.ru/news.aspx.htm>; Аббасова Т.С. Гелиоустановки для автономных объектов//Мир транспорта. — 2012. — № 1.
2. Taggart S. CSP concentrates the mind//ReneWable energy focus. Jan/Feb 2008. Elsevier Ltd. P. 46–50.
3. Дубилович В. М., Костюковский А. Г., Педко В. А., Пыльников Г. Е., Тюшкевич Н. И. Технические средства автоматической системы управления полем гелиостатов Крымской СЭС-5//Телиотехника. — 1988. — № 14.
4. Николаев В. П., Новоселова И. Г. п др. Система автоматического наведения гелиостата на Солнце//Телиотехника. — 1990. — № 5.
5. Терехов В. М., Овсянников Е. М., Гулям Савар. Оптимизация режимов слежения по потерям электроэнергии в тихоходных следящих электроприводах//Труды МЭИ. Вып. 672. — М., 1995.
6. Бу-Диаб Сайед. Автоматические системы ориентации на Солнце гелиоустановок/Автореф. дис... канд. техн. наук. — СПб., 1991.
7. Салямов О. М., Гаджигасанов И. А., Мамедов Ф. Ф., Самедова У. Ф., Исаков Г. И. Система автоматического наведения гелиоустановок с параболическими и параболоцилиндрическими концентраторами на Солнце//Альтернативная энергетика и экология. — 2007. — № 5.
8. Патент RU № 2286517. Солнечная фотоэлектрическая установка. Алферов Ж. И.; Андреев В. М.; Зазимко В. Н.; Ларионов В. Р.; Румянцев В. Д.; Чалов А. Е. Бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 21.02.2005.
9. Аббасов Э. М., Аббасова Т. С. Исследование структуры и условий работы следящих электроприводов гелиоустановок//Промышленная энергетика. — 2011. — № 1.
10. Овсянников Е. М., Пшеннов В. Б., Аббасов Э. М. Экономический эффект в результате перехода к пошаговому режиму слежения гелиоустановки за Солнцем//Промышленная энергетика. — 2007. — № 9.
11. Пшеннов В. Б. Методика определения энергетической эффективности электроприводов гелиоустановок с концентрацией потока лучистой энергии/Автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 2009.

SYSTEM OF CONCENTRATOR ORIENTATION TO THE SUN

Abbasova, Tatiana S. — Ph.D. (Tech), associate professor of the department of information technology and controlling systems of the Institute of management, economics and social sciences (city of Korolev, Moscow region).

The author studies the system of guiding of solar power station with concentrator towards the sun. The system optimizes functions of autonomous source of power supply, simplifies the design of mechanical part of the station, ensures power saving operation of monitoring electric drive and the return of concentrator to the starting position in the next morning hours.

Key words: solar power station, reserved electric supply, concentrator, electric drive for monitoring, exactitude of guiding.

Координаты автора (contact information): Аббасова Т. С. — abbasova_univer@mail.ru

