

Секция 1 Эффективность электроэнергетических установок и систем

Разработка структуры шагового электропривода для системы наведения фотоэлектрической установки при действии ветровой нагрузки

*Аржанов К.В., Аржанова А.В.**

*Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Россия, г. Томск
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск
E-mail: rbhx@yandex.ru*

Для обеспечения точного наведения (до 1 градуса) солнечных батарей (СБ) на Солнце в автономных фотоэлектрических энергетических установках (АФЭУ) необходимо использовать: шаговые электроприводы [1], высокоточные датчики положения Солнца [2], непрерывно-дискретное наведение с использованием нелинейных алгоритмов управления режимом позиционирования [3], обеспечивающих минимизацию энергопотребления электроприводами при наведении СБ на Солнце.

При наведении в АФЭУ необходимо учитывать действие ветровой нагрузки, которая существенно влияет на нагрузочный момент, прикладываемый к валу двигателя. Большие ветровые нагрузки (более 15 м/с) могут не позволить осуществить наведение рамы с СБ на Солнце в системе с шаговым электроприводом, в виду нехватки момента, развиваемого шаговым двигателем (ШД), а ураганный ветер (более 25 м/с) может вывести из строя механизм перемещения фотоэлектрической энергетической установки.

Проведен расчет дополнительного момента от действия ветровой нагрузки для разработанной установки АФЭУ-0,5 [4]. Площадь установленных двух солнечных батарей (КСМ 160) на установке АФЭУ-0,5 составляет 2,54 м². В таблице 1 приведены величины дополнительного момента от ветровой нагрузки для установки АФЭУ-0,5, редуктор у ШД по азимуту $i = 250$, редуктор у ШД по углу места $i = 900$, высота установки 2 метра. Установка АФЭУ-0,5 размещена на крыше учебного корпуса ТУСУР на высоте 8 метров.

Таблица 1. Величина момента для двигателя от скорости ветра в АФЭУ-0,5

Скорость ветра, м/сек	1	5	10	15	20	25	30
Момент ветровой нагрузки, Нм	0,3	7,5	30	67,5	120	187,5	270
Приведенный момент к валу двигателя по углу места, Нм	0,00033	0,0083	0,033	0,074	0,13	0,2	0,3
Приведенный момент к валу двигателя по азимуту, Нм	0,0012	0,03	0,12	0,27	0,48	0,75	1,08

В установке, при использовании шагового двигателя ШД 5Д-1М, имеющего номинальный момент 0,1 Нм и максимальный момент 0,4 Нм ($f=2000$ Гц, $j_n=8 \cdot 10^{-6}$), при скорости ветра 20 м/сек момент от действия ветровой нагрузки в системе перемещения по азимуту превысит в 1,2 раза максимальный момент шагового двигателя, а при скорости 25 м/сек момент от действия ветровой нагрузки в системе перемещения по азимуту превысит в 1,9 раза максимальный момент шагового двигателя. Причем для обеспечения перемещения ШД без сбоев по техническим условиям (ТУ) на двигатель ШД 5Д-1М не рекомендуется превышать максимальный момент нагрузки на 40-50% от максимального момента на ШД.

Для исключения сбоев при перемещении при действии ветровой нагрузки на раму с СБ предложена структура управления контуром тока в ШД, реализующая кратковременное увеличение амплитуды тока ШД в момент действия большой ветровой нагрузки. Принцип управления заключается в определении сбоя при перемещении или уменьшения скорости перемещения рамы с ШД путем измерения производной от скорости перемещения рамы с СБ. Это

осуществляется путем измерения производной от ошибки по положению. Ввиду отсутствия датчика положения механизма расчет осуществляется по датчику положения Солнца при использовании которого определяется ошибка по положению путем измерения токов в наклонных гранях датчика положения Солнца [2] и определение уменьшалась ли эта разница в течении заданного времени (находится производная по ошибке). Если разница (ошибка) в течении заданного времени не уменьшилась, это означает или действует большой момент ветровой нагрузки или по каким либо причинам выключился драйвер шагового двигателя (ДШД). Необходимо произвести опрос ДШД с помощью контроллера наведения. Если он исправен - это означает, что действует большой момент ветровой нагрузки. При этом необходимо увеличить амплитуду задания тока в ДШД на время микроцикла перемещения рамы с СБ (ввиду непрерывно - дискретного наведения с системе АФЭУ). Описание разработанного принципа регулирования (алгоритма управления) приведено в таблице 2.

Таблица 2. Описание принципа регулирования амплитуды тока ШД (по одной координате) при действии ветровой нагрузки

Наведение по координате X	Описание действий, осуществляемых по разработанному алгоритму
$\Delta\varphi_x = I_a - I_b$	Измерение ошибки ($\Delta\varphi_x$)
$\Delta\varphi_x$	Ошибка уменьшилась до нуля ($\Delta\varphi_x$) в заданное время
	Ошибка до нуля ($\Delta\varphi_x$) в заданное время не уменьшилась
	Опрос драйвера ШД на наличие неисправности в работе и отсутствие питания
	Драйвер ШД работает в штатном режиме, питание подключено
	Ошибка до нуля ($\Delta\varphi_x$) в заданное время не уменьшилась, при исправном драйвере - означает нехватку развиваемого момента ШД
	Увеличение до максимума амплитуды тока в обмотках ШД с помощью драйвера
$I_{zx} = \frac{d(I_a - I_b)}{dt}$	Измерение ошибки и ее производной.
	Ошибка $\Delta\varphi_x$ не уменьшается, необходимо увеличение амплитуды тока в ШД до максимального разрешенного в ТУ значения амплитуды тока в ШД
	Ошибка $\Delta\varphi_x$ не уменьшается за заданное время при максимальном значении амплитуды тока в ШД - означает что или произошла поломка в механизме наведения или величина внешней нагрузки превышает максимально-заданные пределы. При этом идет сообщение, что в системе наведения неисправность
	Ошибка уменьшается. Измеряем производную, происходит поддержание скорости уменьшения ошибки по ПИД закону регулирования
	Подсчет относительной величины ошибки по положению. Если величина относительной величины ошибки меньше K_{zn} (зоны нечувствительности), то регулирование (перемещение) прекращается. Достигнуто заданное положение - рамы с СБ точно наведена на Солнце.

В таблице 2 принято следующие обозначения: I_a, I_b -токи в противоположных гранях ДПС, I_{zx} - производная по ошибке по положению по азимуту, $\Delta\varphi_x$ -эквивалентная ошибка по положению по азимуту.

На рис. 1 показана предлагаемая функциональная схема контура регулирования амплитуды тока в ШД (для простоты показано для одной координаты) в функции от разницы токов в противоположных гранях фотоэлементов ДПС (косвенной ошибки по положению) и их производной.

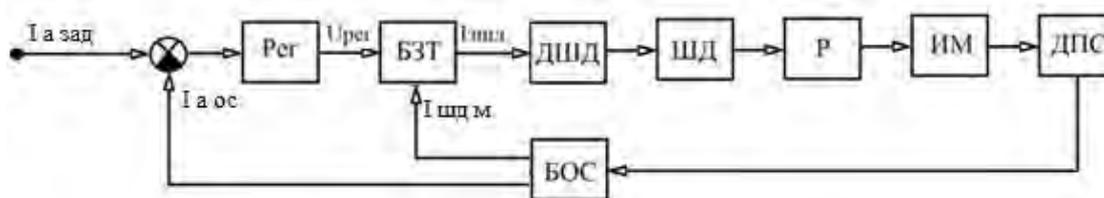
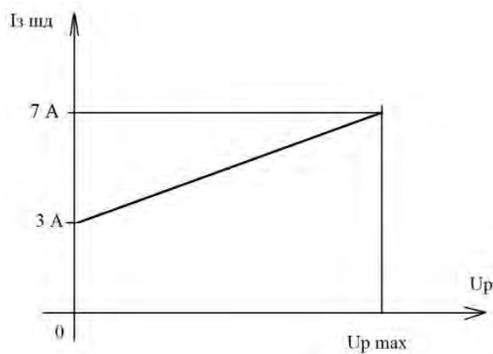


Рис. 1 - Функциональная схема контура регулирования амплитуды тока

На рис. 1 приняты следующие обозначения: БЗТ – блок задания тока; Рег – регулятор; ДШД – драйвер ШД, Р – редуктор; ИМ – исполнительный механизм; ДПС – датчик положения Солнца; БОС – блок обратной связи; $I_{зад}$ – задание на амплитуду тока ШД, I_{aoc} – величина обратной по амплитуде тока ШД, $U_{рег}$ – выходной сигнал регулятора; $I_{зад}$ – амплитуда тока задания для ШД, $I_{удм}$ – максимальное значение амплитуды тока для ШД. Особенностью данной структурной схемы (алгоритма управления контуром тока шагового электропривода) является: увеличение задания амплитуды тока ШД при поддержании заданного темпа уменьшения ошибки по положению в независимости от нагрузки на ШД. Осуществляется это путем управления амплитудой тока в ШД в функции ошибки наведения и ее производной, определяемой с помощью ДПС. Характеристика



блока задания амплитуды тока для ШД 5Д приведена на рис. 2. Максимальная амплитуда импульсного тока ($I_{удм}$) для двигателя ШД 5Д по ТУ равна 7 А.

Рис. 2 - Характеристика блока задания амплитуды тока ШД

Исследование динамических характеристик шагового электропривода, уточнение коэффициента и постоянных ПИД регулятора, исследование влияния нагрузки на характеристики электропривода, исследование влияния переменного

момента инерции проводились путем моделирования системы шагового электропривода в MATLAB 7.11 (Simulink). Из экспериментов на цифровой модели получено, что система регулирования с ПИД регулятором отрабатывает нагрузку до 2-3 I_n (до трехкратного увеличения от рекомендованной нагрузки в ШД, за счет увеличения амплитуды тока ШД до 7 А).

С учетом вышеизложенного разработана и изготовлена экспериментальная фотоэлектрическая установка АФЭУ 0-5 [5].

Список литературы:

1. Аржанов К.В. Автоматическое управление фотоэлектрической энергетической установкой // Материалы 10 Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». – Томск: Изд-во В-Спектр, 2014, с. 190 – 192.
2. Датчик положения Солнца: пат. № 135126 U1 Рос. Федерация. № 2013117198; заявл. 15.04.2013; опубл. 27.11.2013 в бюл. № 33; ил.
3. Аржанов В.В., Шурыгин Ю.А., Шиняков Ю.А., Аржанов К.В. Минимизация энергопотребления электроприводами в фотоэлектрической энергетической установке // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т.322. – № 4. – С. 146-150.
4. Аржанов К.В. Фотоэлектрическая энергетическая установка с наведением на Солнце. Энергетика в 21 веке. Иркутск. – // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление: материалы всероссийской конференции. - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. - 3 с. – ISBN 978-5-93908-138-2.
5. Программное обеспечение двухкоординатной системы наведения солнечных батарей на Солнце. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014616456. Дата поступления 29.04.2014. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 24.06.2014.

Анализ факторов и критериев эффективности энергетических систем с использованием укрупненного энергобаланса

Арсланова Э.Р., Дмитриева И.С., Дмитриев С.В., Сюткина Ю.П.

*Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Россия, г. Набережные Челны,
E-mail: yulya_s@mail.ru*

Энергетика – бесспорно важнейшее направление научно-производственной деятельности человечества, оказывающее существенное влияние на все аспекты жизни на Земле. Как