

Разработка метода оптимального управления системой ориентирования фотоэлектрического модуля

В.Г. Черников В.Н. Павлыш

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

chernikov1210@gmail.com

Аннотация

Разработана методика формирования управляющего сигнала для системы ориентирования фотоэлектрического модуля на базе позиционного электропривода. Управление системой ориентирования реализовано на основе микропроцессорного контроллера промышленного исполнения Simatic S7-300. Эффективность предложенной методики подтверждена экспериментальными исследованиями на специально разработанном стенде. Применение предложенного закона управления позволяет существенно повысить энергоэффективность фотоэлектрической системы.

Введение

В условиях интенсивно развивающейся зеленой энергетики доля экологически чистой энергии в энергобалансе развитых стран неуклонно растет. За прошедшее десятилетие наибольшие темпы роста показывают электроэнергетические системы на базе ветрогенераторов и фотоэлектрических модулей. В связи с этим большое внимание уделяется разработке систем управления, способных повысить эффективность энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии.

Приведенные в статье исследования позволяют разработать метод оптимального управления системой ориентирования фотоэлектрического модуля. Для решения поставленной задачи предлагается применить программируемый логический контроллер с достаточной вычислительной мощностью. Основным критерием эффективности предложенного метода является увеличение выработки энергии фотоэлектрической системой.

Целью исследования является разработка метода оптимального управления системой ориентирования фотоэлектрического модуля, проверка работоспособности предложенного метода на экспериментальной установке, а так же оценка повышения энергоэффективности фотоэлектрического модуля за счет применения предложенной методики управления.

Анализ литературных источников

В [1] рассматриваются разновидности систем ориентирования фотоэлектрических модулей и проводится анализ их эффективности для различных географических мест установки.

В [2] рассмотрена структура системы регулирования положения на базе электропривода, выделены основные контуры регулирования, приводятся методы настройки

регуляторов, обосновывается необходимость применения задатчика положения в системе регулирования.

В [3] проанализированы преимущества применения систем векторного регулирования скорости двигателей переменного тока с использованием преобразователей частоты.

В [4] рассмотрены методы расчета плотности солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность фотоэлектрического модуля, в зависимости азимута и зенита солнца и положения модуля по отношению к земной поверхности.

В [5] рассмотрены примеры расчетов энергоэффективности различных систем ориентации фотоэлектрических модулей для различных географических координат расположения фотоэлектрической системы.

В [6] рассматриваются вопросы выбора оптимального интервала времени при включении системы ориентирования в течении светового дня, а так же приведены разновидности датчиков для оценки плотности солнечной энергии.

В [7] описывается взаимосвязь между плотностью солнечной энергии и током короткого замыкания фотоэлектрической ячейки, которая позволяет применить метод не прямой оценки интенсивности солнечной инсоляции.

В [8] проводится оценка влияния таких внешних факторов, как плотность солнечного излучения и температура фотоэлектрического модуля, на основные параметры его вольт-амперной характеристики.

В [9] описана структура аппаратной конфигурации программируемого логического контроллера серии Simatic, приведен основной набор команд для создания программ пользователя на языке STEP 7, рассмотрены возможности коммуникации микропроцессорной системы с исполнительными устройствами по информационной сети.

В [10] приведена методика расчета повышения энергоэффективности фотоэлектрического модуля за счет применения различных систем ориентации для географических координат г. Донецк.

Постановка задачи исследования

Разработка методики формирования сигнала управления для системы ориентирования фотоэлектрического модуля на базе позиционного электропривода. Программная реализация компонентов системы управления ориентацией на основе микропроцессорного контроллера. Проверка работоспособности предложенной методики на экспериментальном стенде.

Основное содержание и результаты работы

Анализ литературных источников позволил выделить основные разновидности систем ориентирования фотоэлектрических модулей. Во-первых, это одноосные системы с горизонтальной или вертикальной осью, пример одноосной системы с вертикальной осью показан на рис.1. В случае вертикальной оси поверхность модуля может быть наклонена на фиксированный угол по отношению к земной поверхности.

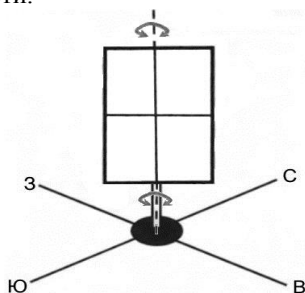


Рисунок 1 – Одноосная система ориентирования с вертикальной осью

Во-вторых, это одноосные системы с наклонной осью по отношению к поверхности земли (см. рис. 2). В таких системах плоскость модуля, вращаясь одним двигателем вокруг наклонной оси, совершает одновременный поворот в горизонтальной и вертикальном направлениях.

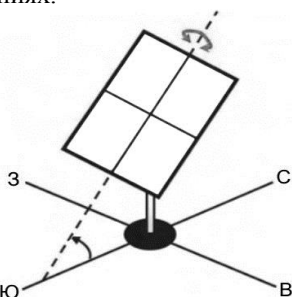


Рисунок 2 – Система ориентирования с наклонной осью

В третьих, это двухосные системы, в которых наличие двух двигателей обеспечивает одновременное вращение модуля относительно горизонтальной и вертикальной осей (см. рис. 3).

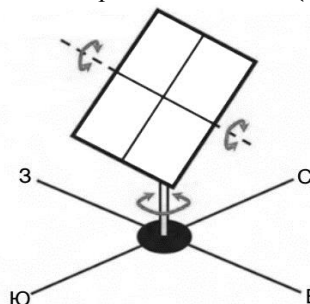


Рисунок 3 – Двухосная система ориентирования

При изготовлении экспериментального стенда предпочтение было отдано системе ориентирования с наклонной осью. Поскольку, как уже упоминалось, в этой системе один двигатель обеспечивает поворот модуля в горизонтальном и вертикальном направлениях. При этом, с точки зрения конструктивного решения, двигатель с закрепленной на валу шестерней вращает полудиск, который наклонен к земной поверхности на угол β . Поверхность модуля закреплена перпендикулярно поверхности полудиска (см. рис. 4).

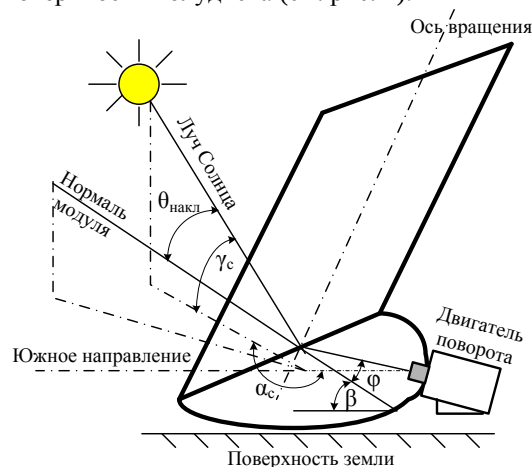


Рисунок 4 – Конструкция экспериментального стенда с наклонной осью вращения модуля.

На рисунке показаны следующие углы: φ – угол поворота полудиска относительно его центральной оси, β – угол наклона плоскости полудиска к земной поверхности, α_c – азимут Солнца, γ_c – угол высоты Солнца над горизонтом, $\theta_{накл}$ – угол падения солнечных лучей на наклонную поверхность модуля, т.е. угол между нормалью модуля и направлением на Солнце. Используя геометрические соотношения, можно доказать, что косинус угла $\theta_{накл}$ может быть вычислен по формуле:

$$\cos \theta_{накл} = \cos \varphi \cdot (\sin \gamma_c \cdot \sin \beta - \cos \gamma_c \cdot \cos \alpha_c \cdot \cos \beta) - \cos \gamma_c \cdot \sin \alpha_c \cdot \sin \varphi. \quad (1)$$

В данном случае оптимальный метод управления системой ориентирования фотоэлектрического модуля подразумевает определение такого угла поворота полудиска $\varphi_{опт}$, при котором угол $\theta_{накл}$ между направлением на солнце и нормалью модуля будет минимальным. Тогда солнечные лучи будут попадать на поверхность модуля как можно ближе к перпендикулярному направлению и энергоотдача модуля будет максимальной.

Для того, чтобы определить значение оптимального угла $\varphi_{опт}$, проведем исследование функции, описанной формулой (1) на экстремум, т.е. приравняем производную $d(\cos\theta_{накл})/d\varphi$ нулю. Это позволит определить значение $\varphi_{опт}$, при котором значение косинуса угла $\theta_{накл}$ будет максимальным, т.е. сам угол $\theta_{накл}$ будет иметь минимальное значение. Для удобства введем дополнительные обозначения переменных

$$d = \sin \gamma_c \cdot \sin \beta - \cos \gamma_c \cdot \cos \alpha_c \cdot \cos \beta. \quad (2)$$

$$q = \cos \alpha_c \cdot \sin \gamma_c. \quad (3)$$

Тогда получим

$$\varphi_{опт} = \arccos \left(\frac{d}{\sqrt{d^2 + q^2}} \right). \quad (4)$$

Таким образом, для вычисления оптимального угла поворота полудиска достаточно знать углы положения Солнца - γ_c и α_c , а так же угол наклона полудиска к земной поверхности - β . Для вычисления углом положения солнца воспользуемся предложенной в [4] методикой. Сначала рассчитаем параметр J , связанный с номером дня в году

$$J = 360^\circ \cdot \frac{\text{День года}}{\text{Число дней в году}}. \quad (5)$$

Далее рассчитаем солнечное склонение – δ

$$\delta = 0,3948 - 23,2559 \cdot \cos(J + 9,1^\circ) - 0,3915 \times \\ \times \cos(2 \cdot J + 5,4^\circ) - 0,1764 \cdot \cos(3 \cdot J + 26^\circ). \quad (6)$$

Рассчитаем уравнение времени, которое учитывает изменение длительности светового дня.

$$t_{ep} = 0,0066 + 7,3525 \cdot \cos(J + 85,9^\circ) + 9,9359 \times \\ \times \cos(2 \cdot J + 108,9^\circ) + 0,3387 \cdot \cos(3 \cdot J + 105,2^\circ). \quad (7)$$

Далее рассчитаем значение среднего местного времени – CMB

$$CMB = MB - ЧП + 4 \cdot \lambda, \quad (8)$$

где MB – местное время, час; $ЧП$ – часовой пояс; λ – долгота местности, градусы.

На основании значений CMB и t_{ep} определим реальное местное время – PMB .

$$PMB = CMB + t_{ep}. \quad (9)$$

На основании параметра PMB рассчитаем значение часового угла – ω .

$$\omega = (12 - PMB) \cdot 15. \quad (10)$$

Теперь, на основании рассчитанных выше параметров и географической широты местности - φ , можно рассчитать угол высоты Солнца над горизонтом - γ_c и азимут Солнца - α_c .

$$\gamma_c = \arcsin(\cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta). \quad (11)$$

$$\alpha_c = 180^\circ - \arccos \frac{\sin \gamma_c \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_c \cdot \cos \varphi}, \quad (12)$$

для $PMB < 12:00$ ч

$$\alpha_c = 180^\circ + \arccos \frac{\sin \gamma_c \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_c \cdot \cos \varphi}, \quad (13)$$

для $PMB > 12:00$ ч.

Таким образом, формулы (5-13) позволяют вычислить все необходимые величины для расчета оптимального угла поворота $\varphi_{опт}$.

Для реализации системы управления ориентированием фотоэлектрического модуля был использован микропроцессорный контроллер – Simatic S7-300. В качестве привода поворота использовался преобразователь частоты Micromaster 440, который обеспечивает вращение асинхронного электродвигателя.

Основные аппаратные и программные компоненты системы управления ориентированием фотоэлектрического модуля приведены на рис. 5.

Выходные данные системного таймера позволяют рассчитать параметр J по формуле (5) и значение среднего местного времени – CMB по формуле (8), что позволяет рассчитать оптимальный угол поворота модуля $\varphi_{опт}$. Блок управления поворотом модуля формирует последовательность подачи заданий на систему ориентирования. При этом формирования сигнала задания на угол поворота модуля может происходить как в автоматическом режиме, когда интервал выдачи задания определяется сигналом программного тактового генератора, так и в полуавтоматическом режиме, когда момент подачи задания определяется оператором. Выбор режима осуществляется переключателями на пульте управления. Посредством датчика положения обеспечивается плавное перемещение механизма поворота с заданными значениями скорости перемещения и ускорения. Далее сигнал задания поступает на регулятор положения, который совместно со звеном предупреждения формирует сигнал заданного значения скорости перемещения механизма ориентирования.

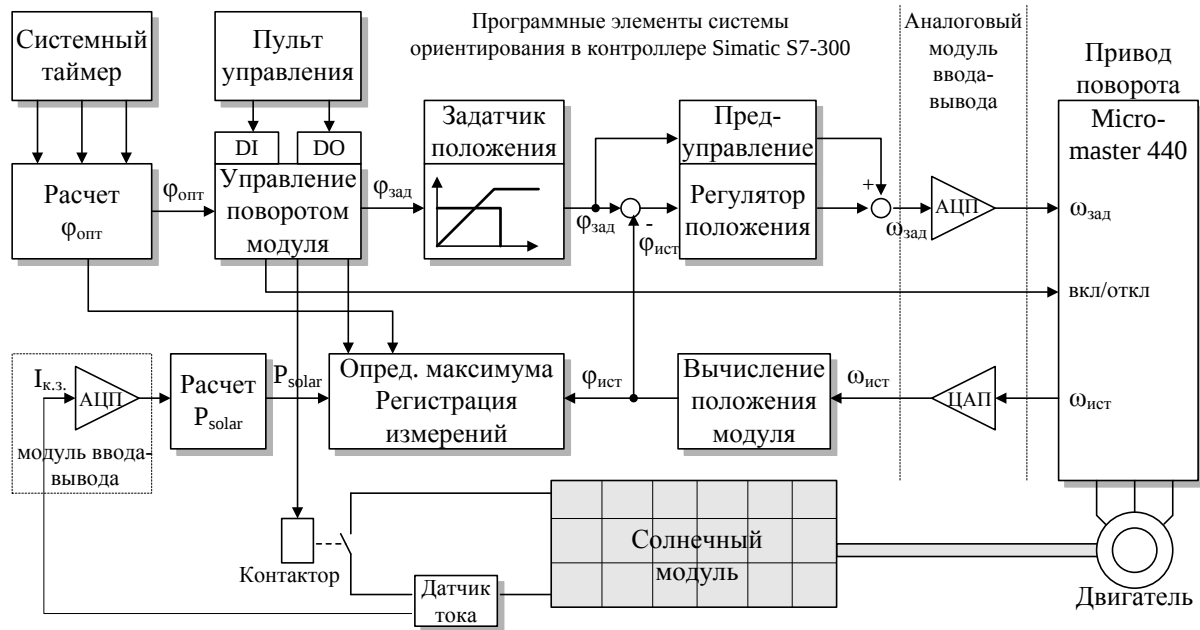


Рисунок 5 - Структура системы управления ориентированием фотоэлектрического модуля на базе программируемого логического контроллера

Внутри звена предупреждения происходит вычисление производной от сигнала задания на угол поворота $\varphi_{зад}$, что позволяет эффективней формировать сигнал задания на скорость и увеличить быстродействие контура позиционирования. Цифровой сигнал заданного значения скорости $\omega_{зад}$ через АЦП контроллера передается в аналоговой форме на привод поворота модуля.

Реальное значение скорости вращения привода $\omega_{ист}$ оценивается импульсным датчиком, установленным на валу двигателя со степенью точности 2048 импульсов на оборот. Сигналы импульсного датчика обрабатываются преобразователем частоты Micromaster 440 и в аналоговой форме поступают на ЦАП контроллера, который оцифровывает значение сигнала скорости вращения двигателя поворота. В дальнейшем, на базе цифрового значения скорости, можно вычислить реальный угол поворота фотоэлектрического модуля $\varphi_{ист}$, который поступает в качестве обратной связи на регулятор положения.

При этом необходимо отметить, что нулевое значение угла поворота фотоэлектрического модуля присваивается такому положению модуля, когда его поверхность сориентирована перпендикулярно южному направлению. Нулевое значение угла поворота модуля фиксируется в системе управления соответствующим конечным выключателем. Таким образом, поворот модуля левее южного направления будет соответствовать отрицательным углам поворота, а поворот модуля правее южного направления будет соответствовать положительным углам поворота. Полный ход механизма ориентации

соответствует диапазону углов поворота от -85° до $+85^{\circ}$. При этом крайние положения механизма поворота фиксируются двумя соответствующими конечными выключателями для предотвращения выхода приводной шестерни за пределы полудиска.

Расчет реального угла поворота фотоэлектрического модуля $\varphi_{ист}$ происходит на базе передаточной функции дискретного интегратора, которая трансформируется в разностное уравнение

$$\varphi_{ucm} = \frac{b_0}{1 - a_1 \cdot z^{-1}} \cdot \omega_{ucm} \quad (14)$$

$$\varphi_{ucm}[n] = k_I \cdot T \cdot \omega[n] + \varphi[n-1], \quad (15)$$

где k_I – коэффициент интегратора; T – период дискретности интегратора.

Ниже приводится пример реализации программного блока вычисления реального угла поворота модуля на языке программирования Step 7 в виде нескольких сегментов программы.

[-] Netzwerk 5: Масштабирование скорости

```
L      #w_ist
L      13824
-I
T      #w_ist_2
T      MM      30
L      #w_ist_2
ITD
DTR
T      #w1
L      1.047000e+001
*R
L      1.382400e+004
/R
L      -1.000000e+000
*R
T      #w
```

▣ **Netzwerk 6** : Дискретный интегратор

```
L      #w
L      #T
+R
L      #Ki
+R
L      #Fi_n1
+R
T      #Fi_n1
T      #Fi
SPA    m01
```

▣ **Netzwerk 7** : Обнуление переменных

```
m00: L      0.000000e+000
      T      #Fi_n1
      T      #Fi
m01: NOP    0
```

Кроме этого, приведенная на рис. 5 система управления позволяет рассчитывать мгновенные значения мощности фотоэлектрического модуля P_{solar} на основании его тока короткого замыкания, т.е. без использования какого либо фотоэлектрического датчика. Это происходит следующим образом: контактор по команде контроллера замыкает цепь солнечного модуля, быстродействующий датчик тока на основе эффекта Холла замеряет ток короткого замыкания модуля, сигнал датчика тока поступает на АЦП контроллера, после чего оцифрованное значение тока может быть использовано для расчета значения максимальной мощности фотоэлектрического модуля P_{solar} по нижеприведенной формуле.

$$P_{solar} = \frac{P_{solarN}}{I_{K3N}} \cdot I_{K3}, \quad (16)$$

где P_{solarN} и I_{K3N} - максимальная мощность и ток короткого замыкания модуля соответственно при стандартной плотности солнечной энергии $E_s=1000\text{Вт/м}^2$.

Таким образом, блок регистрации измерений в заданные моменты времени позволяет сохранять в памяти контроллера значения мощности фотоэлектрического модуля – P_{solar} на заданных углах его поворота относительно южно-направленной оси полудиска – φ , а так же сами значения этих углов. Эта способность системы управления дает ей возможность работать в исследовательском режиме работы. В этом режиме сначала мощность фотоэлектрического модуля фиксируется системой регистрации при строгой ориентации модуля на юг и затем при повороте модуля на оптимальный угол – φ_{opt} , рассчитанный системой управления. При таком методе регистрации измерений можно провести сравнительный анализ, который покажет, какой прирост мощности дает использование системы ориентирования по сравнению с жестко

закрепленным и сориентированным на юг фотоэлектрическим модулем.

Кроме регистрации мощности в указанных фиксированных положениях модуля, можно проводить регистрацию измерений прямо во время его движения с коротким временным интервалом записи в память, например каждые 20 ms. При этом диапазон изменения угла поворота целесообразно установить в пределах от $\varphi=0^\circ$ (ориентация на юг) до $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$. Во время поворота модуля можно использовать алгоритм трека максимальной мощности на исследуемом секторе поворота с последующей записью в память значения максимальной зарегистрированной в данном секторе мощности и угла поворота, соответствующего этой мощности. Дальнейшее сравнение зарегистрированного угла поворота, соответствующего максимальной мощности, с расчетным значением оптимального угла поворота модуля – φ_{onm} позволит сделать вывод о корректности предложенного метода расчета оптимального угла для ориентации фотоэлектрического модуля на максимальный поток солнечной энергии.

Временная диаграмма, демонстрирующая процесс регистрации основных параметров системы во время измерительного цикла приведена на рис. 6. При этом измерительным циклом можно считать процесс поворота модуля с исходной позиции при $\varphi=0^\circ$ до позиции $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$ и возврат в исходное положение (ориентация на юг). Процесс записи в память измеренных параметров происходит в моменты появления активирующих импульсов (см. рис. 6).

Первый импульс появляется через секунду после включения контактора в цепи фотоэлектрического модуля, в этот момент запоминается значение мощности модуля – P_{solar} в исходной позиции при $\varphi=0^\circ$ и время измерения – t . Сразу после этого начинается поворот модуля в позицию $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$. В процессе движения, при $\varphi=\varphi_{onm}$, появляется второй импульс и происходит регистрация мощности модуля – P_{solar} в позиции φ_{onm} и значения угла – φ_{onm} . Третий импульс появляется в момент достижения позиции $\varphi=\varphi_{onm}+15^\circ$. В этот момент фиксируется максимальная мощность модуля, зарегистрированная трекером в пройденном секторе – $P_{solar\ max}$ и угол поворота, на котором эта мощность была зафиксирована – φ_{max} . В процессе регистрации все данные записываются в соответствующие блоки данных. При регистрации используется метод косвенной адресации, при котором адрес ячейки памяти в блоке данных, куда будет произведена запись, задается в адресном регистре. При окончании измерительного цикла значение адресного регистра увеличивается на 32 бита и подготавливается к следующей записи в память.

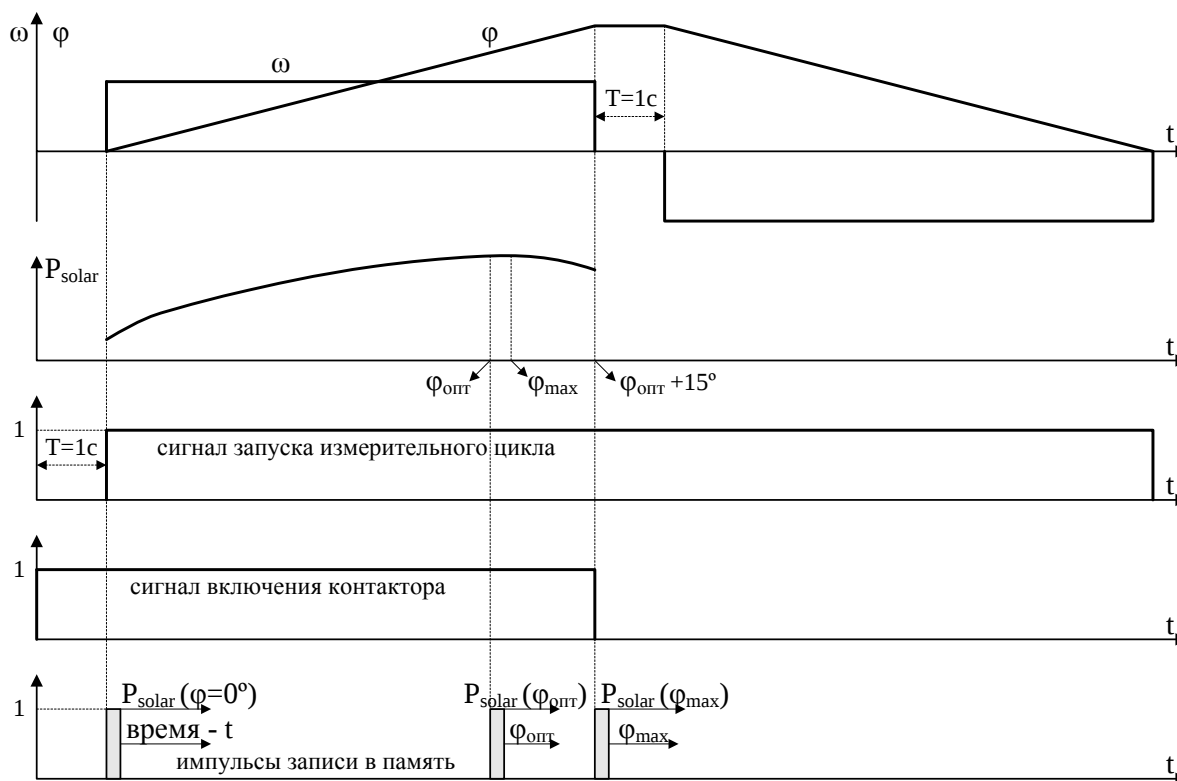


Рисунок 6 - Временная диаграмма измерительного цикла при регистрации основных параметров

Измерительный цикл заканчивается, когда модуль возвращается в исходное положение - $\varphi=0^\circ$. Проверка правильности предложенной методики проводилась на экспериментальном стенде 27 октября в ясный безоблачный день на открытой площадке при отсутствии затенения. Интервал проведения измерительных циклов составлял 10 минут. Пример фрагмента программы, который позволяет регистрировать мощность модуля и угол его поворота в точке максимума, приведен ниже.

▣ **Netzwerk 9 :** Замер E_{solar_max}

```

U      T      5
FP     M      5.2
=      #imp_zamer_max
UN     #imp_zamer_max
SPB    m02
AUF    DB     150
LAR1   MD     150
L      #E_solar_max
T      DBD [AR1,P#0.0]
L      P#4.0
+AR1
TAR1   MD     150
AUF    DB     160
LAR1   MD     154
L      #Fi_max
T      DBD [AR1,P#0.0]
L      P#4.0
+AR1
TAR1   MD     154
SPA    m02
    
```

Результаты регистрации угла поворота модуля в точке максимальной мощности - φ_{max} и в расчетной оптимальной точке - φ_{opt} приведены на рисунке 7. Они показывают, что отличие значения расчетного оптимального угла поворота модуля - φ_{opt} и значения угла поворота в точке максимальной мощности не превышает 1° , т.е. они практически совпадают на полуторачасовом измерительном интервале. Небольшая разница между этими углами может быть объяснена погрешностью при работе АЦП контроллера, которая по данным производителя может составлять около 1%.

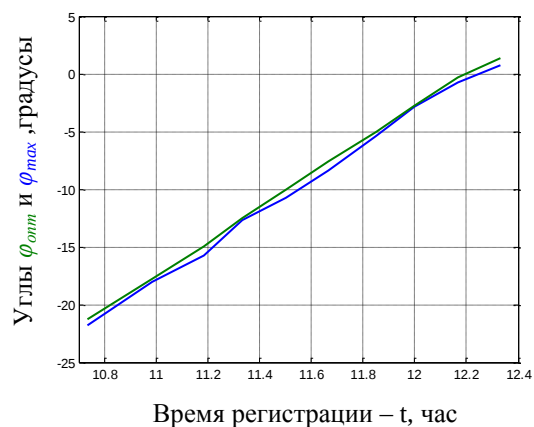


Рисунок 7 - Зарегистрированные значения угла поворота модуля в расчетной оптимальной точке - φ_{opt} и точке максим. мощности - φ_{max} .

На рис. 8 приведены значения зарегистрированной мощности фотоэлектрического модуля в трех позициях: при фиксированной ориентации на юг ($\varphi=0^\circ$), в расчетной позиции ($\varphi=\varphi_{opt}$) и в позиции достижения максимальной мощности ($\varphi=\varphi_{max}$). Они показывают, что значения мощности модуля в расчетной точке ($P_{solar, opt}$) и в точке максимальной мощности ($P_{solar, max}$) также практически совпадают, однако они могут быть существенно больше мощности фиксированно закрепленного модуля с ориентацией на юг, $P_{solar, 0}$ при значительном отклонении солнца от южного направления.

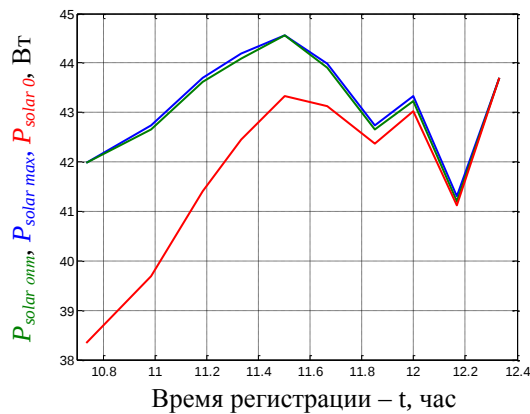


Рисунок 8 - Зарегистрированные значения мощности модуля в расчетной оптимальной точке – $P_{solar, opt}$, точке максимальной мощности – $P_{solar, max}$ и при ориентации на юг – $P_{solar, 0}$

Результаты исследования, показанные на рисунках 7 и 8, позволяют утверждать, что для ориентации фотоэлектрического модуля на максимальный поток солнечной энергии в ясную солнечную погоду нет необходимости применять алгоритм трекера максимальной мощности, а достаточно воспользоваться формулой (4), которая на основании углов положения солнца и угла наклона оси вращения модуля позволит рассчитать оптимальный угол поворота модуля – φ_{opt} . Углы положения солнца (α_c – азимут Солнца и γ_c – угол высоты Солнца над горизонтом) рассчитываются на основании данных системного таймера и географических параметров местности установки модуля. Исключение алгоритма трекера максимальной мощности позволит снизить энергозатраты на работу позиционного привода поворота модуля.

Выяснение будут ли приведенные утверждения так же справедливы для облачной погоды, когда положение светового пятна на небе может смещаться за счет рассеяния и отражения облаками, потребует дальнейших исследований.

После сделанных выводов остается выяснить, с какой периодичностью система ориентирования должна включаться и

поворачивать модуль вслед за перемещающимся по небосклону Солнцем, чтобы, с одной стороны, избежать частых включений, а, с другой стороны, получать практически максимальную энергию от светового потока. Для решения этой задачи была использована способность системы регистрации записывать значения мощности модуля и угол его поворота с интервалом 20 ms прямо во время перемещения модуля в процессе измерительного цикла. График зависимости мощности модуля от угла его поворота, снятый во время движения, приведен на рис. 9.



Рисунок 9 - График зависимости мощности модуля от угла его поворота

Пиковое значение мощности на рис. 9 соответствует оптимальному углу поворота модуля – φ_{opt} . На графике видно, что отклонение мощности на 1% от пикового значения достигается при отклонении угла поворота модуля от оптимального значения на 7° . На рисунке 7 можно увидеть, что на 7° Солнце перемещается приблизительно за 0,5 часа. Отсюда можно сделать заключение о том, что, если установить предел снижения мощности фотоэлектрического модуля за счет дискретности процесса слежения за Солнцем на уровне 1%, то включать систему ориентирования и подворачивать модуль вслед за солнцем нужно не реже, чем каждые полчаса. Это и будет оптимальной периодичностью включения системы ориентирования.

Выводы

Материалы проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что оптимальный метод управления системой ориентирования фотоэлектрического модуля заключается в формировании заданного угла поворота модуля в соответствии с законом, определяемым формулой (4), с периодичностью включения системы ориентирования – 0,5 часа. Для вычисления оптимального угла поворота

модуля достаточно данных системного таймера контроллера и географических координат местности. В безоблачную погоду этот метод позволяет исключить использование трекера максимальной мощности, что снижает затраты энергии на работу позиционного привода в процессе трекинга. Предложенный метод оптимального управления позволяет достичь максимальной энергоэффективности использования фотоэлектрического модуля в течение светового дня.

Литература

1. Wesselak Viktor. Photovoltaik / Viktor Wesselak. – Berlin: Springer, 2012. – 129 с.
2. Gross Hans. Elektrische Vorschubantriebe in der Automatisierungstechnik. Grundlagen Berechnung, Bemessung / Hans Gross. – Erlangen: Siemens Corporate Publishing, 2012. – 228 с.
3. Черников, В. Г. Сравнительная характеристика способов частотного регулирования асинхронного электропривода / В. Г. Черников, А. А. Горбунов, В. И. Калашников // Материалы конференции «ЭНЕРГИЯ-2020». – Иваново: ИГЭУ, 2020. – Т. 4. – С. 3-8.
4. Куашнинг, Ф. Системы возобновляемых источников энергии. Технология, расчеты, моделирование: учебник / Ф. Куашнинг. – Астана: Фолиант, 2013. – 480 с.
5. Елистратов, В. В. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учеб. пособие / В. В. Елистратов, Е. С. Аронова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 164 с.
6. Китаева, М. В. Аппаратно-программный комплекс для контроля оптимальной ориентации фотоэлектрических модулей на максимальный поток солнечного излучения: дис. канд. техн. наук: 05.11.13 / Китаева Мария Валерьевна. – Томск, 2014. – 139 с.
7. Wesselak V. Handbuch Regenerative Energietechnik / V. Wesselak, T. Schabbach. – Berlin: Springer, 2017. – 943 s.
8. Mertens, K., Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice / K. Mertens, , G. Roth. - Wiley & Sons Ltd, 2014. – 294 s.
9. Berger, H. Automating with STEP 7 in LAD and FBD fur SIMATIC S7-300/400 Programmable Controllers / H. Berger. – Erlangen:: Publicis Publishing, 2012. – 540 s.
10. Горбунов, А. А. Оценка повышения энергоэффективности фотоэлектрических модулей посредством применения системы ориентации / А. А. Горбунов, В. Г. Черников // Молодая мысль: наука, технологии, инновации. Материалы XII (XVIII) Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов аспирантов и молодых ученых. – Братск: Изд-во БрГУ, 2020. – С. 231-235.

Черников В.Г., Павлыш В.Н. Разработка метода оптимального управления системой ориентирования фотоэлектрического модуля. Разработана методика формирования управляющего сигнала для системы ориентирования фотоэлектрического модуля на базе позиционного электропривода. Управление системой ориентирования реализовано на основе микропроцессорного контроллера промышленного исполнения Simatic S7-300. Эффективность предложенной методики подтверждена экспериментальными исследованиями на специально разработанном стенде. Применение предложенного закона управления позволяет существенно повысить энергоэффективность фотоэлектрической системы.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, система ориентирования, позиционный электропривод, программируемый логический контроллер, аналого-цифровой преобразователь, контур регулирования.

Chernikov V., Pavlysh V. Development of a method for optimal control of the orientation system of a photovoltaic module. A method for generating a control signal for the orientation system of a photovoltaic module based on a positional electric drive has been developed. The control of the orientation system is implemented on the basis of a microprocessor controller of industrial design Simatic S7-300. The effectiveness of the proposed technique has been confirmed by experimental studies on a specially designed stand. The application of the proposed control law makes it possible to significantly increase the energy efficiency of the photovoltaic system.

Keywords: photoelectric module, orientation system, positional electric drive, programmable logic controller, analog-to-digital converter, control loop.

Статья поступила в редакцию 09.12.2021
Рекомендована к публикации профессором Зори С. А.