DOI: 10.17117/na.2016.09.01.466

<http://ucom.ru/doc/na.2016.09.01.466.pdf>

Поступила (Received): 03.09.2016

Олейников К.А.

Синтез управления электродвигателем постоянного тока для следящих систем фотоэлектрических установок наземного базирования

Oleinikov K.A.

Synthesis of DC motor control for servo systems photovoltaic ground-based installations

В статье рассматриваются двухконтурная математическая модель электропривода постоянного тока для следящей системы фотоэлектрической установки, обеспечивающая оптимальные качественные переходные процессы, проведено моделирование в программе Matlab/Simulink. Рассмотрены проблемы синтеза регуляторов, нелинейных систем, влияние астатизма системы на качество процессов регулирования

Ключевые слова: электропривод, фотоэлектрическая установка, солнечная батарея, синтез управления

Article reviews the mathematical model of dual DC electric drive for tracking photovoltaic system installation, ensuring optimal quality responses simulated in Matlab / Simulink software. Reviewed the problems of synthesis of regulators, nonlinear systems, the effect of astatism system on the quality of the regulator process

Key words: electric drive, PV installations, solar panel, control system

Олейников Константин Анатольевич
Аспирант
Южный федеральный университет
г. Таганрог, ул. Чехова, 2

Oleinikov Konstantin Anatolievich
Graduate
Southern federal university
Taganrog, Chekhov st., 2

В настоящее время все больше наблюдается переход от традиционных к альтернативным источникам энергии. Евросоюз планирует увеличить общую долю электроэнергии, получаемых от альтернативных источников питания до 20% к 2025 году [1]. Среди альтернативной энергетики главным источником в ближайшее время останется солнечная энергия, поэтому важны улучшение эффективности и популяризация фотоэлементов как экологически чистого полноценного источника энергии. Одним из методов повышения эффективности солнечных батарей является создание следящей системы за Солнцем для солнечных концентраторов и фотоэлектрических преобразователей. Получаемая эффективность достигает 50% и является незаменимой в солнечных электростанциях башенного и модульного типа.

Рис. 1. Зависимость тока фотопреобразователя от угла падения излучения

Получение перпендикулярного угла падения солнечных лучей на поверхность фотоэлемента для максимальной эффективности получаемой энергии достигается созданием точного следящего электропривода. Применимо к фотоэлектрическим установкам можно выделить следующие типы: шаговый электропривод в режиме программного управления от ЭВМ или часовой заводкой, следящий шаговый электропривод в режиме автосопровождения с управлением от фотодатчика, следящий электропривод постоянного тока с управлением в режиме непрерывного слежения за солнцем. Наиболее перспективным является управление от датчиков рассогласования, обеспечивающим высокую точность, широкий угол захвата, высокую надежность, а также возможность использования в мобильных фотоэлектрических средствах (яхта, БПЛА, солнцемобили) в условиях недетерминированной неопределенной среды [2].

Проведенные за последние годы исследования показывают, что наряду с улучшением технологических характеристик механизмов, переход к регулируемому электроприводу и качественному управлению может обеспечить в среднем снижение на 20-30% электроэнергии, потребляемой электродвигателями, что позволяет экономить более 10% производимой электроэнергии, особенно в нелинейных динамических моделях и сильных возмущающих воздействиях [3]. К тому же реализация качественных законов управления существенно увеличивает срок эксплуатации привода и удобство управления.

Рис. 2. Структурная схема

Поскольку солнечная батарея является источником постоянного тока, то разумно использовать электродвигатель постоянного тока. Использовался следующий исполнительный привод постоянного тока независимого возбуждения – линейный актюатор со встроенным регулятором положения. Опишем электро-механическую часть системы и математическую модель двухконтурной системы электропривода для получения качественных переходных процессов [4,5].

В состав электромеханической схемы управления фотоэлектрической установки входят: регулятор положения, измерительное устройство, двигатель, регулятор скорости, управляемый преобразователь напряжения, исполнительный механизм. В следящем электроприводе фотоэлектрической установки основной нелинейностью является кинематический люфт. Общее условие нелинейности можно в следующем виде [6]:

$$M_{\kappa\zeta} = \left| M_{\text{тр}} \pm M_{\text{встр}} \pm J_{\text{ув}} \frac{d\omega_{\text{ув}}}{dt} \right| \geq M_{\text{мин}}$$

Где $M_{\kappa\zeta}$ – крутящий момент, передаваемый по кинематической цепи, Нм;

$M_{\text{тр}}$ – суммарный момент вязкого и сухого трения на исполнительном валу, Нм;

$J_{\text{ув}}$ – момент инерции исполнительного механизма

$\omega_{\text{ув}}$ – угловая скорость исполнительного вала.

Передаточная функция регулятора имеет следующий вид

$$W_{\text{рп}}(P) = \frac{U_{\text{рп}}(P)}{U_{\sigma}(P)} = \frac{(T_{k1}P + 1)(T_{k2} + 1)}{T_0 P}$$

где $U_{\text{рп}}(P)$ и $U_{\sigma}(P)$ – изображения Лапласа выходного регулятора положения и измерительного устройства соответственно. T_{k1}, T_{k2}, T_0 – постоянные времени регулятора положения.

В систему заложен астатизм 2-ого порядка для снижения требований к полосе пропускания и исключения скоростной и позиционной ошибки. Следящие системы 3-ого порядка позволяют дополнительно снизить требования к пропускной способности и устранить ошибку по ускорению, однако данные системы остро критичны к нелинейностям и относятся к категориям достаточно условных устойчивых систем [7].

Математическая модель электропривода двухконтурной системы с обратными связями по положению и скорости выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\omega_{\text{дв}}}{dt} &= \frac{1}{J} \Delta M - \frac{1}{J} \Delta M_y \\ \frac{d\Delta I_{\text{я}}}{dt} &= \frac{k_{\text{я}}}{T_{\text{я}}} \Delta U_{\text{п}} - \frac{k_{\text{я}} k_{\text{е}}}{T_{\text{я}}} \Delta M_y \Delta \omega - \frac{1}{T_{\text{я}}} \Delta I_{\text{я}} \\ \Delta U_{\text{п}} &= k_{\text{п}} (\Delta U_{\text{рп}} - k_{\text{ос}} \Delta \omega_{\text{дв}}) \\ T_0 \frac{d\Delta U_{\text{рп}}}{dt} &= k_{\text{б}} \theta_{\text{зад}} - k_{\text{п}} T_{k1} \Delta \omega_{\text{ув}} - k_{\text{б}} \theta_{\text{ув}} \\ \frac{d\theta_{\text{ув}}}{dt} &= \Delta \omega_{\text{ув}} \end{aligned}$$

$$\frac{d\Delta\omega_{\text{ш}}}{dt} = \frac{1}{T_{\text{ш}}} (\Delta M_{\text{ш}} + \Delta M_{\text{в}}) - \frac{\beta_{\text{ш}}}{T_{\text{ш}}} \Delta\omega_{\text{ш}}$$

$$\frac{d\Delta M_{\text{ш}}}{dt} = C_{\text{ш}} \cdot q(a) \left((T_0 \frac{d\Delta\omega_{\text{ш}}}{dt} + \Delta\omega_{\text{ш}}) - ((T_0 \frac{d\Delta\omega_{\text{м}}}{dt} + \Delta\omega_{\text{ш}})) \right)$$

Где $\Delta\omega_{\text{ш}}$ – скорость вращения якоря, $\Delta I_{\text{я}}$ – ток якоря, $\Delta M_{\text{ш}}$ – приращение момента угла поворота, $\Delta M_{\text{в}}$ – приращение момента поворота вала, J – момент инерции, $k_{\text{я}}$ – коэффициент сопротивления якорной цепи, $C_{\text{ш}}$ – коэффициент пропорциональности упругости, $T_{\text{я}}$ – электромагнитная постоянная якоря, $k_{\text{п}}$ – коэффициент передачи преобразователя, T_0 – постоянные корректирующего звена, $\theta_{\text{ш}}$ – угол исполнительного вала, $\theta_{\text{зад}}$ – заданный угол поворота установки, $k_{\text{б}}$ – коэффициент усиления, $T_{\text{ш}}$ – постоянная времени, $\beta_{\text{ш}}$ – коэффициент трения вала, $q(a)$ – нелинейный элемент с зоной нечувствительности кинематического люфта, который можно линеаризовать методом гармонической линеаризации [8]:

$$q(a) = k - \frac{2k}{\pi} \left(\arcsin\left(\frac{b}{a}\right) + \frac{b}{a} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \right)$$

Соберем структурную схему в Matlab/Simulink:

Рис. 3. Схема в Matlab/Simulink

Полученные графики по результатам моделирования представлены на рис. 4.

Полученные переходные процессы с нелинейным люфтокомпенсирующим звеном для скорости и угла поворота вала ротора двигателя постоянного тока вполне приемлимы.

а

б

Рис. 4. Графики переходных процессов:
а) угловой скорости вала двигателя, б) угла исполнительного вала

В дальнейшем планируется более подробно синтезировать законы управления нелинейными моделями, значительно усложнив динамику внешними возмущениями (ветрянные флуктуации, автоколебания, нелинейность вольт-амперной характеристики и другие).

Список используемых источников:

1. Афре П., Бофрон М. Датчики измерительных систем. М.: Мир, 1995. 419 с.
2. Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М.: ВИЭСХ, 2005. 263 с.
3. Кутцов В.К., Полянский В.А. Расчет следящего привода, Ковров: Технологический институт, 1993. 35 с.
4. Овсянников Е.М. Электропривод энергетической гелиоустановки // Привод и управление. 2000. № 2. С. 4-9.
5. Терехов В.М., Алферов В.Г., Овсянников Е.М. Анализ способов компенсации люфтов в высокоточных следящих приводах. М.: Тр. МЭИ, 1978. Вып. 362. С. 48-56.
6. Дараев А.М., Сагитов П.И., Цыба Ю.А. Характер механических колебаний в электроприводе энергетических гелиоустановок // Вестник АИЭС. 2009. №2. С. 21-24.
7. Овсянников Е.М. Безлюфтовые опорно-поворотные устройства для гелиоустановок. М.: Тр. МЭИ, 2001. Вып. 677. С. 51-54.
8. Цыба Ю.А., Дараев А.М., Актаев Э.Т. Системы наведения в современных солнечных фотоэлектрических станциях // Вестник Автоматизации. 2009. №2. С. 7-10.

© 2016, Олейников К.А.

Синтез управления электродвигателем
постоянного тока для следящих систем
фотоэлектрических установок наземного
базирования

© 2016, Oleinikov K.A.

Synthesis of DC motor control for servo systems
photovoltaic ground-based installations