

## ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С МИНИМАЛЬНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОТЕРЯМИ

*В.П. Курган, А.А. Панкин*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*В статье получен оптимальный закон перемещения исполнительного механизма позиционным электроприводом постоянного тока исходя из критерия минимума тепловых потерь.*

**Ключевые слова:** позиционный электропривод, оптимальный закон, критерий оптимизации, экстремум, тепловые потери.

Для большой группы электроприводов основной задачей является отработка заданного пространственного положения рабочих органов приводимых ими в движение исполнительных механизмов; соответственно, основной управляемой координатой является их угловое  $\theta$  или линейное  $S$  перемещение. Такие электроприводы получили название позиционных.

Наиболее широко распространен метод оптимального управления позиционными электроприводами по критерию минимума длительности отработки перемещения, когда скорость изменяется по треугольной (трапецеидальной) диаграмме [2, 3]. Однако в ряде случаев более приемлемыми являются другие критерии оптимизации. Известно, что работа электропривода в переходном режиме сопровождается увеличением потерь в двигателе, а следовательно, приводит к повышенному нагреву его обмоток. Поэтому в ряде случаев необходимо выбирать режимы работы позиционного электропривода исходя из минимума потерь. Такая задача особенно актуальна для тех электроприводов, где требуется использовать электродвигатель минимальных габаритов. Это касается, например, позиционных электроприводов с автономным электроснабжением, применяемых в транспортных средствах. Пусть необходимо минимизировать тепловые потери в двигателе постоянного тока независимого возбуждения, найдя соответствующую экстремаль для тока якоря  $I_{я}$  и угловой скорости двигателя  $\omega$ , при заданном угловом перемещении исполнительного механизма  $\theta_K$  и заданном времени цикла перемещения  $t_{ц}$ , пользуясь методами вариационного исчисления [1].

Введем допущения: магнитный поток  $\Phi = const$ ; момент инерции электродвигателя и исполнительного механизма, приведенный к валу двигателя,  $J = const$ ; момент нагрузки на валу двигателя  $M_c = const$ .

Управляющим воздействием будем считать ток  $I_{я}$ , а регулируемой величиной – скорость  $\omega$  и угловое перемещение  $\theta$ .

Пусть имеем уравнение движения электропривода

$$J \frac{d\omega}{dt} = K \cdot \Phi \cdot I_{я} - M_c,$$

где  $K$  – конструктивный коэффициент двигателя постоянного тока.

Умножая все члены этого уравнения на  $\frac{\omega_0}{M_{K3}}$ , получим

$$T_M \frac{d\omega}{dt} = \omega_0 \frac{I_{я}}{I_{K3}} - \frac{M_c}{M_{K3}} \omega_0, \quad (1)$$

где  $M_{K3} = K \cdot \Phi \cdot I_{K3}$ ;  $J \frac{\omega_0}{M_{K3}} = T_M$ ;

$\omega_0$  – угловая скорость идеального холостого хода;

$T_M$  – электромеханическая постоянная времени двигателя;

$M_{K3}, I_{K3}$  – соответственно момент и ток короткого замыкания двигателя постоянного тока при  $\omega = 0$ .

Требуется найти такой закон управления током якоря во времени  $I_{я}$ , чтобы при описании объекта управления уравнением (1) при заданном перемещении исполнительного механизма  $\theta_K$  минимизировать тепловые потери в двигателе, что означает оптимальный выбор его мощности.

Данная задача является классической задачей на условный экстремум, причем со смешанными ограничениями, где уравнение (1) – это условие типа дифференциальной связи, что относит ее к изопериметрической задаче по методу Лагранжа. Применим этот метод, приведенный в [1], используя переменные в относительных единицах, введенных в [2].

Рассмотрим случай задачи с закрепленными концами, когда должны быть заданы нулевые граничные условия,  $\omega(0) = \omega(t_{ц}) = 0$ . После ее решения в результате обратного перехода к абсолютным величинам получим, что оптимальный закон регулирования скорости двигателя имеет вид

$$\omega(t) = 6 \cdot \theta_K \left( \frac{t}{t_{ц}^2} - \frac{1}{t_{ц}^3} t^2 \right); \quad (2)$$

при оптимальном законе управления током якоря

$$I_{я} = \frac{M_c}{K \cdot \Phi} + I_{K3} \frac{6 \cdot \theta_K \cdot T_M}{t_{ц}^2 \cdot \omega_0} \left( 1 - \frac{2}{t_{ц}} t \right). \quad (3)$$

После этого, интегрируя (2) и произведя необходимые преобразования, получим оптимальный закон углового перемещения исполнительного механизма в виде

$$\theta(t) = \theta_K \frac{t^2}{t_{ц}^2} \left( 3 - 2 \frac{t}{t_{ц}} \right). \quad (4)$$

При реализации данных законов оптимального управления (2), (3), (4) минимальные тепловые потери в двигателе равны

$$Q_{\min} = 2J \frac{\omega_0^2}{2} \left[ \left( \frac{M_c}{M_{K3}} \right)^2 \frac{t_{ц}}{T_M} + 12 \left( \frac{\theta_K}{\omega_0} \right)^2 \frac{T_M}{t_{ц}^3} \right]. \quad (5)$$

Выражения (5), (2), (3), (4) дают возможность рассчитать величину тепловых потерь и законы оптимального регулирования координат позиционного электропривода в конкретном случае его применения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Петров Ю.П.* Вариационные методы теории оптимального управления / Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1977. – 280 с.: ил.
2. *Сабинин Ю.А.* Электромашинные устройства автоматики: Учебник для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1988. – 408 с.: ил.
3. *Сабинин Ю.А.* Позиционные и следящие электромеханические системы: Учеб. пособие для вузов. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд., 2001. – 208 с.: ил.

*Статья поступила в редакцию 31 мая 2011 г.*

UDC 62-83

### **THE TRANSITIONAL PROCESSES OF POSITION DIRECT CURRENT ELECTRIC DRIVE WITH MINIMAL HEAT LOSS**

***V.P. Kurgan, A.A. Pankin***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The optimal law of actuator movement in virtue of positional electro drive direct current, according to the criterion of heat loss minimum is obtained in this article.*

***Keywords:*** *positional electro drive, optimal law, optimization criterion, extremum, heat loss.*

---

*V.P. Kurgan – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.  
A.A. Pankin – Assistantt.*