

УДК 621.313.33 : 519.876.5

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРОКАТНОГО СТАНА ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Лузанова Ю.В., Губарь Ю. В.
Донецкий национальный технический университет

В работе рассмотрены актуальные вопросы анализа и исследования снижения тепловых потерь позиционных приводов прокатного стана за счет интенсификации переходных процессов и приведены результаты модельных экспериментов средствами системы Matlab.

Введение

Увеличение цен на энергоносители повышают актуальность принятия решений, направленных на снижение непроизводительных затрат электроэнергии. В данной работе ставится задача исследовать влияние интенсификации переходных процессов (за счет использования комбинированного управления) на тепловые потери в приводном двигателе.

1 Решение задачи и результаты исследований

Для решения поставленной задачи рассмотрим вопрос о связи между диаграммой тока якоря двигателя и тепловыми потерями в двигателе позиционного электропривода. Математический анализ системы выполним в относительных величинах [1]: τ - время; γ - угловая скорость вращения двигателя; α - угол, обрабатываемый валом двигателя; i - ток якоря двигателя; q - количество тепла, выделяемого в обмотке якоря двигателя.

Предположим, что требуется обеспечить обработку заданного перемещения α_p по треугольному графику скорости за время τ_p (рис.1, а). Будем полагать, что параметры системы выбраны такими, что перерегулирование по току невелико.

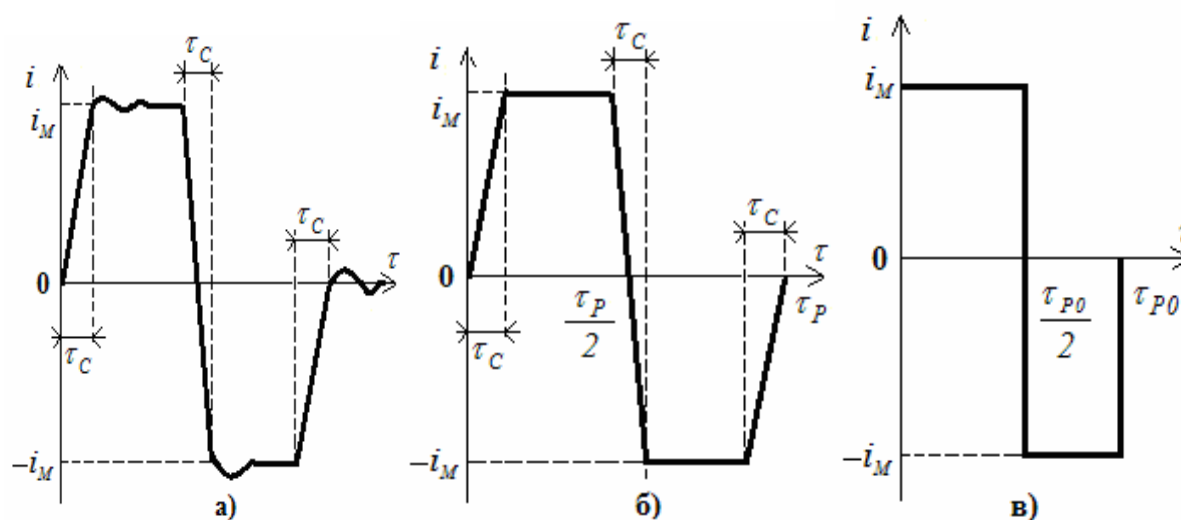


Рисунок 1 – Диаграммы тока двигателя

Без большой погрешности приведенная диаграмма тока может быть аппроксимирована прямыми линиями, как это показано на рис. 1, б.

Рассмотрим вопрос влияния времени τ_c первого согласования тока с установившимся значением на нагрев двигателя. Исследование выполним для случая, когда ток статической нагрузки i_c равен нулю. Этот случай оказывается достаточным, чтобы выявить искомые здесь основные закономерности.

На рис. 2 выделены шесть характерных участков изменения тока якоря двигателя $i(\tau)$, который при неизменном магнитном потоке пропорционален ускорению двигателя. Для каждого из участков определим законы изменения тока i , скорости γ и угла поворота вала двигателя α в относительном времени τ .

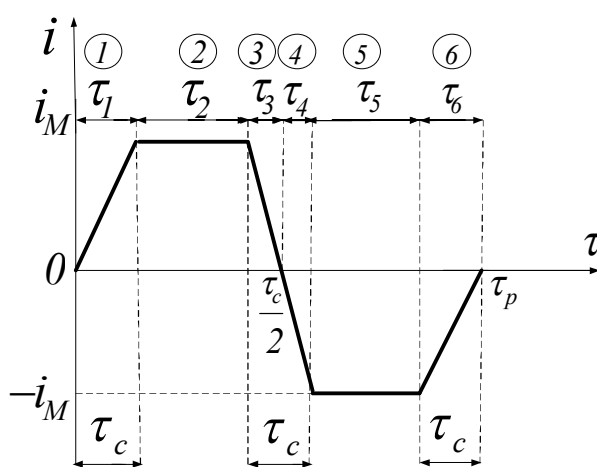


Рисунок 2 – Шесть участков изменения тока якоря двигателя

На первом участке:

$$i_1 = i_M \cdot \frac{\tau}{\tau_c}; \quad \gamma_1 = \int i d\tau = \frac{i_M \cdot \tau^2}{2 \tau_c}; \quad \alpha_1 = \int \gamma d\tau = \frac{i_M \cdot \tau^3}{6 \tau_c}. \quad (1)$$

При

$$\tau = \tau_1 \rightarrow \gamma_{M1} = \frac{i_M \cdot \tau_c}{2}. \quad (2)$$

На втором участке:

$$i_2 = i_M; \quad \gamma_2 = \gamma_{M1} + \int i d\tau = \frac{i_M \cdot \tau_c}{2} + i_M \cdot \tau; \quad \alpha_2 = \int \gamma d\tau = \frac{i_M \cdot \tau_c \cdot \tau}{2} + \frac{i_M \cdot \tau^2}{2}. \quad (3)$$

При

$$\tau = \tau_2 \rightarrow \gamma_{M2} = \frac{i_M \cdot \tau_c}{2} + i_M \cdot \tau_c. \quad (4)$$

На третьем участке:

$$i_3 = i_M \cdot \left(1 - \frac{\tau}{\tau_3}\right); \quad \gamma_3 = \gamma_{M2} + \int i d\tau = \frac{i_M \cdot \tau_C}{2} + i_M \cdot \tau_2 + i_{M1} \cdot \tau - \frac{i_M \cdot \tau^2}{2\tau_3}; \quad (5)$$

$$\alpha_3 = \int \gamma d\tau = \frac{i_M \cdot \tau_C \cdot \tau}{2} + i_M \cdot \tau_2 \cdot \tau + \frac{i_M \cdot \tau^2}{2} - \frac{i_M \cdot \tau^3}{6\tau_3}. \quad (6)$$

При

$$\tau = \tau_3 \rightarrow \gamma_3 = 0.$$

Будем полагать, что разгон и торможение привода осуществляются с одинаковым по модулю ускорением (током якоря двигателя i_M). Тогда имеем:

$$\tau_3 = \tau_4, \quad \tau_2 = \tau_5, \quad \tau_1 = \tau_6; \quad \alpha_3 = \alpha_4, \quad \alpha_2 = \alpha_5, \quad \alpha_1 = \alpha_6. \quad (8)$$

Отработка заданного перемещения (угла поворота) α_P составит в этом случае величину

$$\alpha_P = 2 \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) = \frac{i_M \cdot (\tau_P)^2}{4} \cdot \left(1 - \frac{\tau_C}{\tau_P}\right). \quad (9)$$

Воспользовавшись формулой [1]

$$q_P = \int_0^{\tau_P} i^2 d\tau \quad (10)$$

для количества тепла, выделяемого в обмотках якоря двигателя при отработке заданного перемещения α_P за фиксированное время τ_P , находим

$$q_1 = \int_0^{\tau_1} (i_1)^2 d\tau = \int_0^{\tau_1} (i_M)^2 \cdot \frac{\tau^2}{(\tau_C)^2} d\tau = \frac{1}{3} \cdot (i_M)^2 \cdot \tau_C; \quad (11)$$

$$q_2 = \int_0^{\tau_2} (i_2)^2 d\tau = \int_0^{\tau_2} (i_M)^2 d\tau = (i_M)^2 \cdot \tau_2; \quad (12)$$

$$q_3 = \int_0^{\tau_3} (i_3)^2 d\tau = \int_0^{\tau_3} (i_M)^2 \cdot \left(1 - \frac{2\tau}{\tau_3} + \frac{\tau^2}{(\tau_3)^2}\right) d\tau = \frac{1}{3} (i_M)^2 \cdot \tau_3. \quad (13)$$

Обозначим $C = \frac{\tau_C}{\tau_P}$. Из диаграммы рис.2 находим:

$$\tau_1 = \tau_C = C \cdot \tau_P; \quad \tau_2 = \frac{\tau_P}{2} - \frac{3}{2} \cdot C \cdot \tau_P = \frac{\tau_P}{2} \cdot (1 - 3C); \quad \tau_3 = \frac{\tau_P}{2}. \quad (14)$$

Общее выражение вычисления q_P на всех участках работы привода составит:

$$q_P = 2(q_1 + q_2 + q_3) = 2(i_M)^2 \cdot \left(\frac{\tau_1}{3} + \tau_2 + \frac{\tau_3}{3}\right) = \frac{16(\alpha_P)^2}{(\tau_P)^3} \cdot \frac{1 - 2C}{(1 + C^2 - 2C)^2} =$$

$$= \frac{16(\alpha_P)^2}{(\tau_P)^3} \cdot \frac{1 - 2\frac{\tau_C}{\tau_P}}{(1 - \frac{\tau_C}{\tau_P})^4}. \quad (15)$$

Для суждения об относительной добротности исследуемой диаграммы введем показатель добротности

$$\delta_q = \frac{q_P - q_{P0}}{q_{P0}} \cdot 100\%, \quad (16)$$

который характеризует превышение количества тепла, выделяемого в обмотке якоря при работе двигателя с токовой диаграммой рис.1,б, над количеством тепла, выделяемого в обмотке якоря двигателя с технически оптимальной диаграммой тока (рис. 1, в), для которой

$$q_{P0} = \frac{16\alpha_P^2}{\tau_P^3}. \quad (17)$$

График зависимости $\delta_q (\tau_C / \tau_P)$ представлен на рис. 3. Из графика видно, что с уменьшением времени τ_C при фиксированном значении τ_P потери тепла в обмотке якоря двигателя, работающего с токовой диаграммой (рис. 1, б), уменьшаются.

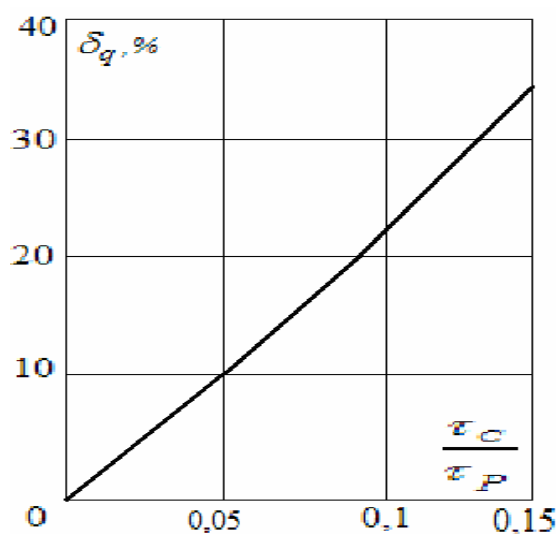


Рисунок 3 - График зависимости $\delta_q (\tau_C / \tau_P)$

Для количественной оценки уменьшения потерь тепла в якоре двигателя учтем, что в типовых позиционных приводах подчиненного регулирования $t_C = (7,5 \div 29,5)T_\mu$, где T_μ - малая некомпенсируемая постоянная времени привода, с [1]. Примем $T_\mu = 0,005$ с. Время работы t_P привода нажимного устройства обжимных прокатных станов составляет обычно $1 \div 2$ с. Тогда отношение $t_C / t_P \approx 0,04 \div 0,15$. Уменьшение времени t_C в два раза при фиксированном значении времени работы привода позволяет

уменьшить количество тепла, выделяемого в обмотке якоря двигателя, примерно на $4 \div 18\%$.

2 Анализ результатов исследования

Экспериментальные исследования рассмотренных систем проводились методом математического моделирования в среде Matlab с использованием пакета расширения Simulink. В качестве примера на рис.4,а приведены графики переходных процессов в системе регулирования положения (СРП) при отработке заданного перемещения α_3 без участка установившегося движения, а на рис.4,б - начальный участок тока якоря двигателя. Значение времени t_c в СРП с КУ составляет $7,5T_\mu$, а в СРП с УО - $t_c = 14,5T_\mu$ (T_μ - малая некомпенсируемая постоянная времени привода). Модельные эксперименты показали, что за счет интенсификации переходных процессов тепловые потери в двигателе снижаются при отработке каждого перемещения.

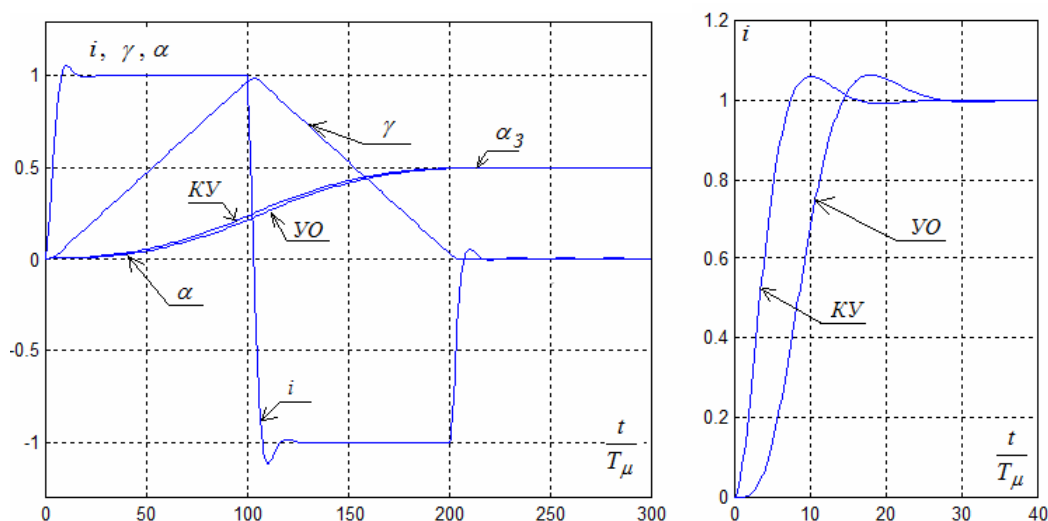


Рисунок 3 – Графики переходных процессов в СРП
(КУ – комбинированное управление; УО - управление по отклонению)

Выводы

При неизменном быстродействии привода (одинаковой величине t_p) уменьшение времени t_c способствует снижению количества тепла, выделяемого в обмотке якоря двигателя, то есть уменьшается нагрев двигателя и повышается надежность его работы.

Литература

- [1] Кожевников К.И. Диаграмма тока двигателя вспомогательных механизмов прокатных станков. - Электричество, 1956, № 6, С. 15 – 21.
- [2] Петров Ю.П. Оптимальное управление электроприводом. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 187 с.