при этом быстродействие системы оказалось равным 1,35 с., что является приемлемым результатом для такого объекта, как прокатный стан. Система нормально отрабатывает единичное ступенчатое воздействие, при этом установившееся значение выходной величины достигает уровня задающего воздействия.

Моделирование динамики исследуемого объекта управления показали, что при отработке задающего ступенчатого воздействия координаты вектора состояния изменяются от нуля до определенного значения и затем уменьшаются до нуля, причем ошибка по каждой координате стремится к нулю.

Таким образом полученные алгоритмы оптимального управления оказались вполне работоспособными при функционировании исследуемой динамической системы.

Перечень ссылок

1. Файнберг Ю.М. “Автоматизация непрерывных станов горячей прокатки”.- М.:1963.-326 с.
2. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления:Пер.с англ.- Машиностроение,1986.-448 с.
3. Кацухито Огата. ”Проектирование дискретных динамических систем с помощью MATLAB”.: Пер.с англ. Нью-Йорк:1997.-360 с.

УДК 62-83.621.313.3

СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ

Литовченко В.В., студент; Захаров В.Ю., доц., к.т.н.; Рахма Халиди, аспирант
(Криворожский технический университет, Украина)

СД – наиболее часто встречающийся тип двигателей в системах автоматизированного электропривода. Одной из основных задач автоматизации является разработка и исследование математической модели СД в различных системах координат и изучение передаточных функций по различным управляющим воздействиям для синтеза регуляторов при векторном и частотном управлении.

Рассмотрим обобщенную систему дифференциальных уравнений СД в векторной форме:

$$\begin{cases} \overline{U}_s = \dfrac{d\overline{\Psi}_s}{dt} + j\omega_k \overline{\Psi}_s + \overline{I}_s \cdot R_s; \\ \overline{U}_r = \dfrac{d\overline{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \overline{\Psi}_r + \overline{I}_r \cdot R_r; \\ \overline{U}_b = \dfrac{d\overline{\Psi}_b}{dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \overline{\Psi}_b + \overline{I}_b \cdot R_b, \end{cases}$$

где ω – угловая частота вращения ротора;

$\omega_к$ – угловая частота вращения выбранной системы координат;

индекс s – относится к параметрам статора соответственно (U– напряжение, I – ток, Ψ- потокосцепление, R – сопротивление);

индекс r – относится к соответствующим параметрам роторной обмотки; индекс b – к параметрам обмотки возбуждения.

Взаимосвязь токов и потоков можно представить в виде:

$$\begin{cases} \overline{\Psi}_s = \overline{I}_s L_s + \overline{I}_r L_{sr} + \overline{I}_b L_{sb}; \\ \overline{\Psi}_r = \overline{I}_s L_{sr} + \overline{I}_r L_r + \overline{I}_b L_{rb}; \\ \overline{\Psi}_b = \overline{I}_s L_{sb} + \overline{I}_r L_{rb} + \overline{I}_b L_b. \end{cases}$$

Полученную СДУ преобразуем в систему уравнений, содержащую проекции данных векторов на оси координат по базисным векторам $\overline{\Psi}_s, \overline{I}_s \quad (\omega_k = 0)$:

$$
\begin{cases}
U_{r1} = Q_{S2}\dfrac{d\Psi_s}{dt} - X_{S2}\dfrac{dI_{S1}}{dt} - \omega X_{S2} I_{S2} + \Psi_S R_r K_r - I_{S1} R_r L_{m2}; \\
U_{r2} = \omega_\psi Q_{S2}\Psi_S - X_{S2}\dfrac{dI_{S2}}{dt} - \omega\Psi_S Q_{S2} + \omega X_{S2} I_{S1} - I_{S2} R_r L_{m2}; \\
U_{r1} = 0; \\
U_{r2} = 0; \\
U_{S1} - \dfrac{U_{B1}}{Q_{SB}^{//}} = \dfrac{X_{SB}^{/}}{Q_{SB}^{/}}\dfrac{dI_{S1}^{//}}{dt} + I_{S1}^{//}\left(\dfrac{Q_{SB}^{/} R_S + R_b L_{mb}^{/}}{Q_{SB}^{/}}\right) + \omega\dfrac{X_{SB}^{/}}{Q_{SB}^{/}} I_{S2} - \Psi_S R_b K_b; \\
U_{S2} - \dfrac{U_{B2}}{Q_{SB}^{//}} = \dfrac{X_{SB}^{/}}{Q_{SB}^{/}}\dfrac{dI_{S2}^{//}}{dt} + I_{S2}^{//}\left(\dfrac{Q_{SB}^{//} R_S + R_b L_{mb}^{//}}{Q_{SB}^{//}}\right) + \omega\Psi_S - \omega\dfrac{X_{SB}^{//}}{Q_{SB}^{//}} I_{S1}^{//}; \\
M_{эм} = \dfrac{3p}{2}\Psi_S I_{S2} = \dfrac{3p}{2}\Psi_S\left(I_{S2}^{/} + I_{S2}^{//}\right),
\end{cases}
$$

где Q_{S2}, Q_{SB}, K_b, K_r - коэффициенты, зависящие от конструктивных параметров машины;
индекс 1 при переменных обозначает, что это проекции векторов на ось, совпадающую с вектором $\overline{\Psi}_S$;
индекс 2 относится к проекциям векторов на ось системы координат, сдвинутой на $+90^0$ относительно вектора $\overline{\Psi}_S$.

При базисных векторах $\overline{\Psi}_b$ и $\overline{I}_S$ система дифференциальных уравнений примет вид:

$$
\begin{cases}
U_{S1} = L_S^{/}\dfrac{dI_{S1}}{dt} + R_S I_{S1} + \dfrac{L_b}{L_f}U_{f1} - \dfrac{L_b R_f}{L_f^2}\Psi_f + I_{S1}\dfrac{L_b^2}{L_f^2}R_f - I_{S2}\omega L_S^{/}; \\
U_{S2} = L_S^{/}\dfrac{dI_{S2}}{dt} + R_S I_{S2} + \dfrac{L_b}{L_f}R_f I_{S2} + I_{S1}\omega L_S^{/}; \\
U_f = \dfrac{d\Psi_f}{dt} + \dfrac{R_f}{L_f}\Psi_f - I_{S1}\dfrac{L_b R_f}{L_f}; \qquad M = \dfrac{3p}{2}\dfrac{L_b}{L_f}\Psi_f I_{S2}.
\end{cases}
$$

Можно также использовать систему координат α, β (жестко связанной со статором двигателя) для демпферной обмотки возбуждения, а для статорной обмотки фазную систему координат, тогда система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{d\Psi_\alpha}{dt} = -i_{r\alpha} R_r + \Psi_\beta \omega; \\ \dfrac{d\Psi_\beta}{dt} = -i_{r\beta} R_r - \Psi_\alpha \omega; \\ \dfrac{d\Psi_a}{dt} = U_a - i_a R_S; \\ \dfrac{d\Psi_b}{dt} = U_b - i_b R_S; \\ \dfrac{d\Psi_c}{dt} = U_c - i_c R_S; \\ \dfrac{d\Psi_{воз\alpha}}{dt} = U_{воз} \cos\theta - i_{b\alpha} R_b - \Psi_\beta \omega; \\ \dfrac{d\Psi_{воз\beta}}{dt} = -U_{воз} \sin\theta - i_{b\beta} R_b - \Psi_\alpha \omega. \end{cases}$$

θ - угол поворота ротора.