

УДК 621.878.6

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ МАШИНОЙ

О. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Рабочая машина должна реализовать требуемое движение. Это может быть обеспечено кинематической схемой машины или определенным законом управления двигателем машины. Закон управления легче изменить, чем кинематическую схему, поэтому чаще используют машины с программным управлением. При этом программа управления должна обеспечивать выполнение требуемого движения с определенной точностью.

Оценка эффективности программного управления основана на выполнении динамического анализа машины и включает следующие этапы: формирование математической модели объекта исследования; формирование программы управления объектом; оценка уровня идеализации математической модели объекта исследования; оценка динамических ошибок идеализации; при необходимости, синтез, повышающий точность системы управления, используя дополнительные элементы (конечные выключатели, ограничительные упоры, многоступенчатое позиционирование, замкнутый контур с обратной связью).

Математическая модель динамической системы представляет собой систему дифференциальных уравнений движения в форме уравнений Лагранжа с учетом характеристики двигателя:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i + Q_{ci}; \\ \tau \dot{Q}_i + Q_i = F_{cm}(u, \dot{q}_i), \quad i = 1 \dots n, \end{cases} \quad (1)$$

где q_i – обобщенная координата подвижности i ; $T(q, \dot{q})$ – кинетическая энергия системы; Q – обобщенная движущая сила; Q_c – обобщенная сила сопротивления; F_{cm} – статическая характеристика двигателя; τ – собственная постоянная времени, характеризующая инерционность процессов источника энергии; $u(t)$ – параметр управления двигателя.

Должен быть задан требуемый закон движения выходного звена $q(t)$. Тогда, решая задачу кинематики, можно найти закон изменения обобщенной движущей силы и закон программного управления $u(t)$. Так, к системе (1) добавляются уравнения программного управления $u_i(t)$ с учетом способа управления. Для программного управления

$$u(t) = s \dot{q}_n(t), \quad (2)$$

где $\dot{q}_n(t)$ – программный закон изменения обобщенной координаты q_i ;

s – крутизна статической характеристики двигателя.

Для следящей системы с ПД-регулятором

$$u(t) = -\lambda_1(q - q_n) - \lambda_2(\dot{q} - \dot{q}_n), \quad (3)$$

где λ_1, λ_2 – коэффициенты усиления обратной связи по координате и по скорости; s – крутизна статической характеристики двигателя.

Для системы управления с отрицательной обратной связью, которая содержит ПД-регулятор,

$$u(t) = s\dot{q}_n(t) - \lambda_1(q - q_n) - \lambda_2(\dot{q} - \dot{q}_n). \quad (4)$$

Уровень идеализации зависит от модели источника энергии и от модели механизма. Это может быть пренебрежение собственной постоянной времени, крутизной статической характеристики двигателя, регулировочными коэффициентами, точностью выполнения кинематической схемы машины, свойствами упругости деталей и т. д.

Затем необходимо определить динамические ошибки программного управления путем подстановки обобщенных движущих сил из первого уравнения системы (1) во второе и решая его относительно обобщенных координат с учетом идеализации модели. Это будет дифференциальное уравнение, решение которого даст реальный закон изменения характеристики двигателя. Сама динамическая ошибка – это разность между требуемым и реальным законами движения выходного звена. Поскольку ошибка является решением дифференциального уравнения, то ее можно представить в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения, которое соответствует динамической ошибке в системе после окончания переходного процесса. Общее решение укажет на ошибку начальных условий, а частное – на неточности описания модели. Причем эта ошибка будет зависеть от времени, т. е. накапливаться.

Описанная методика использовалась при анализе эффективности программного управления транспортным манипулятором, который приводится в движение электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения по синусоидальному закону изменения программного ускорения поворота. При определении динамической ошибки учитывалась возможность использования трех способов управления: программного управления, следящей системы с ПД-регулятором, системы управления с отрицательной обратной связью, которая содержит ПД-регулятор.

Результаты анализа показали, что при программном управлении формируется максимальная динамическая ошибка по угловой координате, равная 0,3 % от величины координаты. Применение следящей системы с ПД-регулятором позволило на порядок уменьшить динамическую ошибку управления при ограничении коэффициентов усиления $\lambda > 90$. Используя систему управления с отрицательной обратной связью, которая содержит ПД-регулятор, можно еще уменьшить динамическую ошибку с учетом другого ограничения коэффициентов усиления $\lambda > 0,5$.