

## СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ВОЗМУЩЕНИЯХ В КАНАЛЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

**Опейко О.Ф.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Качество системы управления зависит от достоверности информации о состоянии объекта, получаемой по каналам обратных связей, которые, однако, подвержены помехам.

Система электропривода имеет обратную связь по скорости от инкрементального датчика положения (энкодера), получаемую дискретным дифференцированием. При уменьшении скорости, ввиду увеличения интервала времени между импульсами датчика, запаздывание определения скорости и погрешность увеличиваются.

Возможны два варианта расчета параметров пропорционально интегрирующего (ПИ) регулятора скорости в условиях изменения частоты импульсов в канале ОС по скорости. В первом варианте ПИ- регулятор адаптируется к изменению периода импульсов. Во втором - ПИ- регулятор робастный и рассчитан на весь диапазон изменений скорости.

ПИ- регулятор с передаточной функцией (ПФ)

$$K(z) = k_p + k_i \frac{T_c z^{-1}}{1 - z^{-1}}$$

имеет коэффициенты  $k_p$  и  $k_i$  усиления пропорциональной и интегрирующей частей,  $z^{-1} = \exp(-T_c s)$  соответствует запаздыванию на время  $T_c$ , формирования сигнала управления. Коэффициенты  $k_p$  и  $k_i$  следует рассчитывать так, чтобы характеристический полином замкнутого контура скорости имел заданные корни.

Учитывая, что контур регулирования тока практически безынерционен, характеристический полином контура скорости с ПИ- регулятором и дискретной ПФ объекта  $k_M J^{-1} (1 - z^{-1})^{-1}$  принимает вид

$$N(z) = (z^2 - 1) + (k_p(z - 1) + k_i T_c) T_c k_M J^{-1} = z^2 - (2 - k_p T_c k_M J^{-1})z + k_i T_c^2 k_M J^{-1}.$$

Здесь  $k_M$ , - коэффициент пропорциональности между моментом и током,  $J$  - момент инерции. Чтобы корни полинома имели значения  $z_{1,2} = \exp(T_c(-\alpha \pm j\beta))$ , где  $\alpha = 3/t_0$  определяется в зависимости от требуемого времени регулирования  $t_0$ , при  $\beta = 0$  параметры регулятора следует определить по выражениям

$$k_{PM} = 2 \cdot (1-d) \cdot T_C^{-1} k_{CI}^{-1}, \quad k_{IM} = d^2 T_C^{-2} k_{CM}^{-1} J \quad (1)$$

Здесь  $d = \exp(-T_C \alpha)$ . При малых значениях  $T_C$  справедливо приближенное выражение  $d \approx 1 - T_C \alpha$ , и на основании (1) получаются приближенные выражения

$$k_{PM} = 2 \cdot \alpha \cdot k_{CM}^{-1}, \quad k_{IM} = (1 - \alpha T_C)^2 T_C^{-2} k_{CM}^{-1} J. \quad (2)$$

Из (2) видно, что при малых  $T_C$  от  $T_C$  зависит только параметр  $k_I$ , возрастая с уменьшением  $T_C$ . Следовательно, выбор для расчета заниженных значений  $T_C$  приведет к возрастанию колебаний.

В случае квадратурного счета событий от датчика с  $N$  делениями на один оборот угловое деление равно

$$\Delta = 2\pi / (4N) \text{ рад.}$$

При скорости  $\omega$  период  $T_N$  событий определяется выражением  $T_N = \Delta / \omega$ , и на низких скоростях  $\omega \leq \omega^* = \Delta / T_S$  может превосходить период  $T_S$  расчета сигнала управления в микроконтроллере управления электроприводом. Поэтому в выражениях (1) интервал дискретности рекомендуется принимать равным  $T_C = \max[T_S, T_N]$  во избежание потери устойчивости и качества.

В первом варианте на каждом шаге расчета управления при низких скоростях  $\omega \leq \omega^*$  параметры (1) должны заново рассчитываться в зависимости от изменившегося значения  $T_C = T_N = \Delta / \omega$ .

Во втором варианте расчета управления при низких скоростях  $\omega \leq \omega^*$  параметры (1) постоянны и рассчитываются для наименьшего значения скорости из диапазона,  $T_C = T_{N\max} = \Delta / \omega_{\min}$ , когда имеет место наибольшее запаздывание  $T_{N\max}$ .

Например, при  $N=112$ ,  $T_S = 0,0005 \text{ с}$ ,  $\omega^* = \Delta / T_S = 28 \text{ рад/с}$ , и при  $\omega_{\min} = 5 \text{ рад/с}$  расчетное значение  $T_C$  для (1) определяется в виде  $T_C = T_{N\max} = \Delta / \omega_{\min} = 0,0028 \text{ с}$ .

Адаптивный ПИ- регулятор позволяет сохранить показатели качества при изменении интервала дискретности.

Преимущество робастного регулятора заключается в постоянстве параметров регулятора и наличии значительного запаса устойчивости, однако такой регулятор не использует возможное при высоких скоростях быстрое действие.