

СИНТЕЗ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ САР ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОБРОТНОСТИ

В. А. Каменев

Х а р ь к о в

В процессе выполнения реальной тахограммы подъема на разных ее участках к САР предъявляются различные требования. Если на участке разгона, равномерного хода и частично на участке замедления основным требованием является выдерживание в определенных пределах заданной скорости и ускорения, то при подходе к приемной площадке основным требованием следует считать уменьшение ошибки пути. Однако при этом скорость и ускорение должны быть выдержаны в заданных пределах. Отсюда следует, что наилучшим решением, очевидно, может быть комбинированное управление по пути и скорости.

Соответствующим расчетом сигналов, пропорциональных ошибке скорости и ошибке пути, можно выполнить указанные выше условия, не предъявляя особо жестких условий к ошибке пути при движении на больших скоростях.

Уравнение движения подъемной машины для пути можно представить в виде

$$p^n x_3 + a_1 p^{n-1} x_3 + \dots + a_{n-1} p x_3 + a_n x_3 = a_n h_3 - f(F_c); \quad (1)$$

где x_3 и h_3 — проходимый и заданный пути движения подъемной машины;

$a_1, a_2, \dots, a_n$ — коэффициенты, зависящие от параметров системы автоматического управления;

F_c — статическая нагрузка.

Продифференцировав обе части уравнения (1), можно написать уравнение для скорости движения подъемной машины:

$$(p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) U = a_n p h_3 - f_1(F_c), \quad (2)$$

где U — действительная скорость движения подъемной машины.

Как было показано в работе [1], процесс регулирования можно считать оптимальным, если коэффициенты $a_1, a_2, \dots, a_n$ удовлетворяют условию кратности корней — критерию оптимальной добротности:

$$\begin{aligned} A_1 &= a_1 = \frac{y_1}{\tau_p}; \\ A_2 &= a_2 = \frac{C_n^2}{n^2} \left(\frac{y_1}{\tau_p} \right)^2; \\ &\dots \dots \dots \\ A_i &= a_i = \frac{C_n^i}{n^i} \left(\frac{y_1}{\tau_p} \right)^i, \end{aligned} \quad (3)$$

где y_1 — коэффициент времени;
 n — порядок уравнения;

$$c_n^i = \frac{n(n-1) \dots [n-(i-1)]}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots i};$$

τ_p — расчетная длительность переходного процесса;

$$\tau_p = \frac{y_1}{n^2} \tau;$$

$$\tau = \frac{\Delta U_d}{|W_{\max}|};$$

τ — заданная длительность переходного процесса;

ΔU_d — динамическая точность регулирования скорости;

$W_{\max}$ — максимальное ускорение.

Задавшись значениями допустимого отклонения скорости и максимального ускорения, можно вычислить значение коэффициентов $a_1, a_2, \dots, a_n$. А так как, с другой стороны, эти коэффициенты зависят от параметров системы регулирования, то можно найти оптимальные значения этих параметров.

Однако вследствие того, что параметры звеньев зачастую невозможно изменять в широких пределах, это условие в большинстве случаев невыполнимо и параметры регулятора хода приходится определять из условия нескольких равных корней и одного или нескольких неравных, по абсолютному значению больших, чем равные.

Необходимое характеристическое уравнение можно получить, введя обратные связи в виде дифференциаторов от перемещения объекта [2].

В этом случае уравнение (1) можно написать в виде

$$[p^n + (a_1 + \sigma \tau_{n-1}'') p^{n-1} + \dots + (a_{n-1} + \sigma \tau_1'') p + \sigma \tau_0''] x_3 = a_n h_3 - f(F_c), \quad (4)$$

где $a_1, a_2, \dots, a_n$ — коэффициенты неизменяемой части САР;

σ — коэффициент выхода корректирующего устройства;

$\tau_0'', \dots, \tau_{n-1}''$ — крутизна сигнала выхода соответствующего дифференциатора.

Из условия выполнения критерия оптимальной добротности можно написать

$$\begin{aligned} a_1 + \sigma \tau_{n-1}'' &= A_1; \\ a_2 + \sigma \tau_{n-2}'' &= A_2; \\ &\dots \dots \dots \\ \sigma \tau_0'' &= A_n. \end{aligned} \quad (5)$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \tau_{n-1}'' &= \frac{A_1 - a_1}{\sigma}; \\ \tau_{n-2}'' &= \frac{A_2 - a_2}{\sigma}; \\ &\dots \dots \dots \\ \tau_0'' &= \frac{A_n}{\sigma}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для анализа путевой ошибки подставим ее значение $\Delta S = h_3 - x_3$ в уравнение (1). После преобразований получим передаточную функцию ошибки по управляющему воздействию:

$$F(p) = \frac{\Delta S}{h_3} = \frac{a_{n-1}p + \dots + a_1 p^{n-1} + p^n}{a_n + a_{n-1}p + \dots + a_1 p^{n-1} + p^n}. \quad (7)$$

Разложим передаточную функцию ошибки $F(p)$ по степеням в ряд, для чего разделим числитель на знаменатель

$$F(p) = \frac{1}{a_n} \left[a_{n-1}p + \left(a_{n-2} - \frac{a_{n-1}^2}{a_n} \right) p^2 + \left(a_{n-3} - \frac{2a_{n-1}a_{n-2}}{a_n} - \frac{a_{n-1}^3}{a_n^2} \right) p^3 + \dots \right]. \quad (8)$$

В дальнейшем ограничимся двумя членами ряда (8).

Если уравнение (1) удовлетворяло критерию оптимальной добротности, то, подставив выражение (3) в формулу (8), после преобразований получим значение установившейся путевой ошибки:

$$\Delta S_{уст} = h_3 \left[\frac{n^2 \tau_p}{y_1} p + \left(\frac{2n}{n-1} \frac{\tau_p^2}{y_1^2} - \frac{n^4 \tau_p^2}{y_1^2} \right) p^2 \right]. \quad (9)$$

В случае разгона с постоянным ускорением, когда $h_3 = \frac{Wt^2}{2}$, значение установившейся путевой ошибки можно определить из выражения

$$\Delta S_{уст} = \frac{n^2 \tau_p}{y_1} Wt + \left(\frac{2n}{n-1} \frac{\tau_p^2}{y_1^2} - \frac{n^4 \tau_p^2}{y_1^2} \right) W, \quad (10)$$

так как

$$Wt = V = k \Delta V, \text{ а } W = \frac{\Delta V}{\tau_p},$$

то

$$\Delta S_{уст} = \frac{n^2 \tau_p}{y_1} k \Delta V + \frac{\tau_p}{y_1^2} \left(\frac{2n}{n-1} - n^4 \right) \Delta V, \quad (11)$$

где $k = 0, 1, 2 \dots$ — номер кванта скорости.

Путь, проходимый подъемной машиной за время переходного процесса, можно определить приближенно из выражения

$$\Delta S = k \Delta V \tau_p, \quad (12)$$

где ΔS — путевой квант;
отсюда

$$\Delta V = \frac{\Delta S}{k \tau_p}. \quad (13)$$

Подставив формулу (13) в выражение (11), получим

$$\Delta S_{уст} = \frac{n^2}{y_1} \Delta S + \left(\frac{2n}{n-1} - n^4 \right) \frac{\Delta S}{y_1^2 k}. \quad (14)$$

Из формулы (14) можно определить значение путевого кванта ΔS :

$$\Delta S = \frac{y_1^2 k \Delta S_{уст}}{y_1 k n^2 + \left(\frac{2n}{n-1} - n^4 \right)}, \quad (15)$$

но

$$\Delta S_{уст} = \Delta S_{дон} = k \Delta V \tau. \quad (16)$$

Подставив значение $\Delta S_{уст}$ из (16) в формулу (15), окончательно получим

$$\Delta S = \frac{y_1 k^2 \tau \Delta V}{y_1 k n^2 + \left(\frac{2n}{n-1} - n^4 \right)}. \quad (17)$$

Из формулы (17) следует, что путевой квант необходимо делать переменным, что переключается он в зависимости от номера кванта скорости k . Если это условие (17) будет выполнено, то будет выполнено и требование

выдерживания допустимых отклонений скорости и ускорения на всем участке тахограммы. При подходе к приемной площадке, когда значения скорости малы, точность остановки подъемного сосуда будет зависеть только от наименьшего путевого кванта, величина которого будет определяться конкретной конструкцией путевого датчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Е. Иванченко. Основы теории расчета систем автоматического управления рудничными подъемными машинами. Изд-во «Недра», 1966.
 2. В. Н. Яворский, А. А. Бессонов, А. И. Коротяев, А. М. Потопов. Проектирование инвариантных следящих приводов. Изд-во «Высшая школа», 1963.
-