Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. В. Стариков, Обеспечение точного подхода к заданной координате, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2001, выпуск 12, 200–202

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu85>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.209.158.208

26 апреля 2023 г., 12:36:57

Математическая теория управления и оптимизация

УДК 621-52

А. В. Стариков

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОГО ПОДХОДА К ЗАДАННОЙ КООРДИНАТЕ

Приведено решение задачи обеспечения точного подхода к заданной координате для определенного класса систем автоматического управления. Показана простота и эффективность применения предлагаемого решения на ряде практических примеров.

В задачах управления часто требуется обеспечить требуемую точность подхода к некоторой заданной физической координате без перебега (перерегулирования) независимо от динамической модели системы и объекта управления. Особую важность это приобретает при релейном законе управления, когда необходимо определить момент отключения, при котором выходная координата достигнет требуемой величины за счет инерционности системы и объекта.

Прямое решение поставленной задачи путем отыскания максимума переходной функции в зависимости от начальных условий выходной координаты, как правило, приводит к неприемлемо громоздким результатам, которые невозможно использовать при синтезе закона управления из-за сложности вычислительных процедур.

Если ограничиться системами (объектами), в которых выходная величина $x(t)$ связана интегральной зависимостью с некоторой промежуточной координатой $w(t)$, то можно предложить следующее решение задачи обеспечения точного подхода.

Пусть в самом общем виде передаточная функция, связывающая промежуточную координату $w(p)$ с управляющим воздействием $U(p)$, имеет вид

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \mathbf{L} + b_{m-1} + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \mathbf{L} + a_{n-1} p + a_n}, \quad (1)$$

где $b_0, b_1, \dots, b_m, a_0, a_1, \dots, a_n$ – коэффициенты; p – комплексная переменная.

В соответствии с передаточной функцией (1) изображение $w(p)$ при ненулевых начальных условиях

$$w(0) = w_0; w'(0) = w'_0; \dots; w^{(n-1)}(0) = w_0^{(n-1)}$$

и релейном отключении управляющего воздействия, т. е. при $U(p) = 0$, можно представить соотношением

$$w(p) = \frac{a_0 [p^{n-1} w_0 + p^{n-2} w'_0 + \mathbf{L} + w_0^{(n-1)}] + a_1 [p^{n-2} w_0 + p^{n-3} w'_0 + \mathbf{L} + w_0^{(n-2)}] + \mathbf{L} + a_{n-1} w_0}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \mathbf{L} + a_{n-1} p + a_n}. \quad (2)$$

Если переменная $x(t)$ является интегралом от переменной $w(t)$, то при переходе к изображениям Лапласа, имеем

$$x(p) = \frac{w(p)}{p}. \quad (3)$$

В соответствии с основными свойствами преобразования Лапласа (теорема о предельных значениях) [1], определяем установившееся значение координаты $x(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t)$

$$x(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p x(p). \quad (4)$$

Подставляя в (4) последовательно выражения (3) и (2) и переходя к пределу, получим, что

$$x(\infty) = \frac{a_0}{a_n} w_0^{(n-1)} + \frac{a_1}{a_n} w_0^{(n-2)} + \mathbf{L} + \frac{a_{n-1}}{a_n} w_0. \quad (5)$$

При нормированной форме записи передаточной функции (1), когда $a_n = 1$, имеем

$$x(\infty) = a_0 w_0^{(n-1)} + a_1 w_0^{(n-2)} + \mathbf{L} + a_{n-1} w_0. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) можно использовать для решения поставленной задачи. Проиллюстрируем это на примере системы управления электромеханическим гайковертом [3], в котором используется релейное управление скоростью исполнительного двигателя посредством регулируемого электропривода.

Передачная функция, связывающая изображение угловой скорости $w(p)$ вала электродвигателя с задающим напряжением $U(p)$ на входе электропривода, построенного как система подчиненного регулирования, при стандартных настройках [2], имеет вид

$$W_{эл}(p) = \frac{w(p)}{U(p)} = \frac{1}{k_{occ} (64T_{СП}^3 p^3 + 32T_{СП}^2 p^2 + 8T_{СП} p + 1)}, \quad (7)$$

где k_{occ} - коэффициент передачи обратной связи по скорости; $T_{СП}$ - постоянная времени силового преобразователя.

Выходной координатой системы управления гайковертом является угол j затяжки резьбового соединения, который на соответствующем этапе сборки интегрально связан со скоростью электродвигателя w :

$$j(t) = k_{ред} \int w(t) dt, \quad (8)$$

где $k_{ред}$ - коэффициент передачи редуктора гайковерта.

Анализ выражений (7) и (8) показывает, что в соответствии с полученным выше общим правилом (5) и (6), угол доворота (дозатяжки) резьбового соединения после релейного отключения задающего воздействия U составит

$$j_{дов} = j_{дов}(\infty) = k_{ред} (8T_{СП} w_0 + 32T_{СП}^2 w_0' + 64T_{СП}^3 w_0''), \quad (9)$$

где w_0 , w_0' и w_0'' - соответственно угловая скорость и ее первая и вторая производные в момент отключения.

Следовательно, с учетом (9) отключение электропривода гайковерта необходимо производить при угле затяжки резьбового соединения

$$j_{откл} = j_{тр} - j_{дов},$$

где $j_{тр}$ - требуемый угол затяжки резьбового соединения.

Для реализации закона управления электромеханическим гайковертом с упреждающим отключением в самом общем случае необходимо измерять текущие значения скорости w и ее первой w' и второй w'' производных. Если на этапе затяжки вращение вала электродвигателя происходит с постоянной скоростью $w = const$ и, следовательно, $w' = w'' = 0$, выражение (9) для определения угла доворота упрощается и принимает вид

$$j_{дов} = 8T_{СП} k_{ред} w_0. \quad (10)$$

В случаях, когда скорость вращения вала двигателя гайковерта изменяется по сложному закону и существуют технические трудности измерения производных w' и w'' , всегда можно воспользоваться приближением

$$j_{дов} = k_{ред} (8T_{СП} w_0 + 32T_{СП}^2 w_0')$$

или (10). При этом следует оценить максимально допустимые значения w_{MAX}' и w_{MAX}'' , при которых не будет потеряна необходимая точность достижения требуемой величины выходной координаты, что определяется соответствующими неравенствами:

$$64T_{СП}^3 k_{ред} w_{MAX}'' \leq \Delta j_{доп} \quad \text{или} \quad k_{ред} (32T_{СП}^2 w_{MAX}' + 64T_{СП}^3 w_{MAX}'') \leq \Delta j_{доп},$$

где $\Delta j_{доп}$ - допустимая погрешность в достижении угла затяжки резьбового соединения.

В рассмотренном примере использована линейная математическая модель системы управления. Тем не менее, применение выражений (5) и (6) для нелинейных систем и объектов также дает хорошие результаты. Последнее объясняется тем, что в результате линеаризации всегда можно найти такие значения коэффициентов $a_0, a_1, \dots, a_n$, при которых будет достигнута требуемая точность подхода к заданной координате.

Предлагаемый подход к решению задачи обеспечения точного подхода к заданной координате распространяется и на нелинейные системы управления с динамическими звеньями чистого запаздывания. Примером может послужить система управления пневматическим гайковертом [4], динамическая модель которой существенно нелинейна и содержит звенья запаздывания. Передачная функция линеаризованной модели пневматического гайковерта, связывающая изображение угловой скорости $w(p)$ вала пневмодвигателя с сигналом $U(p)$ управления на входе электромагнитного золотника, имеет вид

$$W_{\Pi T}(p) = \frac{w(p)}{U(p)} = \frac{k_w p e^{-tp}}{\frac{J}{k_{\text{ПЕД}}^2 k_{\text{Ма}}} p^2 + \frac{2B'_K w_0}{k_{\text{ПЕД}}^2 k_{\text{Ма}}} p + 1}, \quad (11)$$

где k_w - коэффициент передачи гайковерта по скорости; J - приведенный момент инерции ротора пневмодвигателя; B'_K - эквивалентный диссипативный коэффициент квадратичного трения; w_0 - скорость пневмодвигателя в рабочей точки линеаризации (в рассматриваемом случае совпадает со скоростью в момент отключения); $k_{\text{Ма}}$ - коэффициент, зависящий от конструктивных параметров и условий трения резьбового соединения; t - время запаздывания электромагнитного золотника.

Применение выражения (6) к передаточной функции (11) и учет запаздывания электромагнитного импульса приводит к следующей зависимости угла доворота резьбового соединения от начальных условий w_0 и w'_0 :

$$j_{\text{ДОВ}} = k_{\text{ПЕД}} \left[\left(\frac{2B'_K w_0}{k_{\text{ПЕД}}^2 k_{\text{Ма}}} + t \right) w_0 + \left(\frac{J}{k_{\text{ПЕД}}^2 k_{\text{Ма}}} + \frac{2B'_K w_0 t}{k_{\text{ПЕД}}^2 k_{\text{Ма}}} + \frac{t^2}{2} \right) w'_0 \right]. \quad (12)$$

Следовательно, измеряя в процессе работы пневматического гайковерта текущие значения скорости w и ускорения w' вала пневмодвигателя, можно обеспечить точную затяжку резьбового соединения путем упреждающего отключения в соответствии с формулой (12). Если полученное решение по каким-либо причинам сложно для технической реализации, то достаточно найти приемлемое приближение. Например, при $w' = 0$ можно использовать соотношение

$$j_{\text{ДОВ}} = \frac{2B'_K w_0^2}{k_{\text{ПЕД}} k_{\text{Ма}}} + t k_{\text{ПЕД}} w_0.$$

Предлагаемое решение задачи обеспечения точного подхода к заданной координате не ограничивается приведенными примерами и может найти применение в следящих приводах, в системах управления движением различных объектов и в других практических случаях. Особо следует отметить, что вне зависимости от порядка дифференциального уравнения, описывающего движение, решение обладает достаточной простотой, позволяющей производить синтез законов управления системами рассматриваемого класса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория автоматического управления. Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления / Под ред. А. А. Воронова. М.: Высш. Школа, 1977. 303 с.
2. Ковчин С. А., Сабинин Ю. А. Теория электропривода. СПб.: Энергоатомиздат, 1994. 496 с.
3. А. с. 1489973 СССР, МКИ⁴ В 25 В 21/00. Система управления гайковертом / А. В. Стариков. Оpubл. 30.06.89, Бюл. № 24.
4. А. с. 1776554 СССР, МКИ⁵ В 25 В 21/00, В 23 Р 19/06. Способ управления пневматическим гайковертом и устройство для его осуществления / С. Я. Галицков, В. И. Сердюк, А. В. Стариков, В. А. Шаров. Оpubл. 23.11.92, Бюл. № 43.