Клименко А.К. **Украина**

Бердянский Государственный педагогический университет

О СПОСОБЕ УСТРАНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ИМПУЛЬСНОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ В ПРОМЕЖУТКАХ ДИСКРЕТНОГО ВРЕМЕНИ

Введение. При автоматизации производственных процессов с использованием средств вычислительной техники возникает необходимость разработки импульсных следящих систем на нижнем уровне управления.

Как известно, в состав импульсной следящей системы входят дискретное управляющее устройство и непрерывная часть, охваченные цепью обратной связи. Неотъемлемый элемент системы — генератор сигналов, который обеспечивает работу управляющего устройства в дискретном времени.

Одной из проблем, возникающих при разработке импульсных следящих систем, является необходимость подавления колебаний их выходного сигнала в промежутках дискретного времени. Причиной возникновения этих колебаний чаще всего служит то обстоятельство, что обратная связь в следящей системе осуществляется в дискретные моменты времени, а в промежутках дискретного времени управляемая величина не контролируется. Существуют также импульсные следящие системы, у которых дискретная и непрерывная части соединены последовательно, но не охвачены цепью обратной связи. В них также возникает необходимость устранения колебаний выходного сигнала непрерывной части, порождаемых квантованным по времени представлением выходного сигнала дискретното управляющего устройства.

В данной работе рассматривается способ устранения колебаний в промежутках дискретного времени независимо от наличия или присутствия обратной связи, охватывающей одновременно дискретную и непрерывную части следящей системы. В качестве примера дискретной части используется обратная модель реального динамического объекта.

Анализ известных решений. Уже известны попытки подавления описываемых колебаний. Так, например, в работе [1] рассматривается способ подавления колебаний, заключающийся в том, что в контур управления вводят модель непрерывного внутреннего состояния следящей системы. Однако этот способ сложно реализовать из-за необходимости вмешательства во внутренний контур управления. Кроме того, для осуществления модели необходимо знание всех параметров исходной следящей системы, причем они должны быть постоянными во времени. Указанный способ устранения колебаний не распространяется на системы, у которых дискретная и непрерывная части не охвачены общей цепью обратной связи.

Для решения ряда задач автоматического управления и диагностики требуется применение обратной модели (ОМ) динамического объекта (ДО). Идеальная ОМ реального объекта, как известно, неосуществима. На аналоговых средствах техники удавалось создавать лишь приближенные ОМ для ДО, описываемых уравнениями не выше второго порядка. Применение средств вычислительной техники позволило найти технические решения ОМ, приближающихся к идеальным и не зависящих от порядка описываемых ДО уравнений. При использовании дискретных ОМ в непрерывных системах также возникает проблема устранения ошибок в промежутках дискретного времени.

Предполагается, что ДО, для которого создается ОМ, непрерывный, линейный и стационарный. В качестве его исходного математического описания используется переходная характеристика (ПХ), называемая также и кривой переходного процесса. Последняя может быть получена как аналитически из передаточной функции ДО с использованием обратного преобразования Лапласа, так и экспериментально.

ОМ функционирует в дискретном времени. Для решения задач в дискретном времени используется импульсная переходная функция (ИПФ) ДО, которая является реакцией последнего на входное воздействие в виде кратковременного импульса единичной площади. ИПФ может быть получена из ПХ по формуле:

$$k(n+\gamma) = h(t)\big|_{t=nT+\gamma} - h(t)\big|_{t=nT-T+\gamma},\ n =\in [0, N_1], \tag{1}$$

где t – непрерывное время, T – дискретность (шаг квантования) времени, n – дискретное время ($n = \bar{t}/T$, $\bar{t}$ – моменты непрерывного времени, кратные T), N_1 – время затухания переходного процесса, γ – дробная часть дискретного времени, $h(t)$ – ПХ ДО.

При выполнении данной работы используется известная из [2] ОМ ДО. Она описывается математической зависимостью:

$$c(n) = \left\{ x(n) - \sum_{m=1}^{N_1} c(n-m)k(m+\tau) \right\} / k(\tau),\ 0 < \tau \le 1, \tag{2}$$

где $c(n)$ и $x(n)$ – соответственно выходной и входной сигналы ОМ, τ – конструктивный временной сдвиг, обеспечивающий работоспособность и устойчивость ОМ, $k(\tau) = k(n+\tau)\big|_{n=0}$ – первое из используемых значений ИПФ ДО.

Пример использования дискретной ОМ для улучшения показателей качества непрерывной следящей системы приведен в работе [3].

На рис.1 показан типовой пример ПХ последовательно соединенных дискретной и непрерывной частей следящей системы, который не зависит от наличия или отсутствия охватывающей их общей обратной связи. В качестве дискретной части системы может выступать ОМ ее непрерывной части. Символами на рисунке обозначены: $h_{om}(n)$ – выходной сигнал дискретной части, $h_{do}(n+\gamma)$ – выходной сигнал непрерывной части системы, являющийся и выходным сигналом всей импульсной системы.

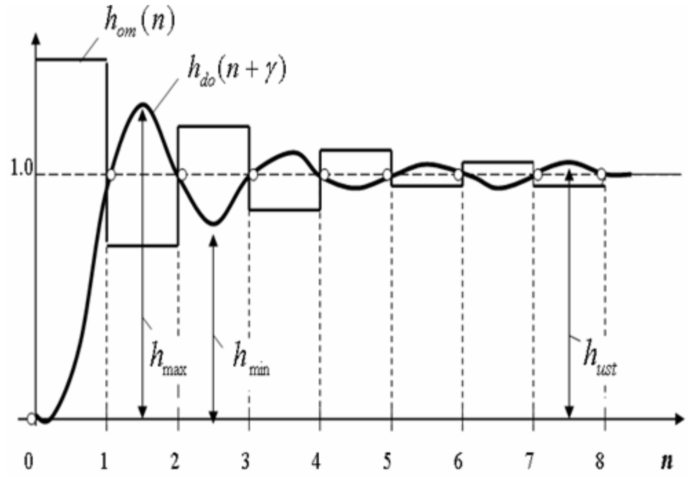

Рис. 1 Типовая переходная характеристика импульсной следящей системы

Исходные данные и постановка задачи. Предполагается, что задана исходная импульсная система, типовая ПХ которой изображена на рис. 1. Наиболее важными параметрами ПХ являются ее максимальное значение h_{max} , первое после максимального минимальное значение h_{min} и установившееся значение h_{ust}. В дискретные моменты времени, начиная с первого, численные значения ПХ равны установившемуся значению, а в промежутках дискретного времени имеют место колебания, период которых равен двум тактам дискретного времени.

Задачами данной работы являются: установить приближенное математическое описание колебаний ПХ исходной системы и найти техническое решение по устранению этих колебаний.

Результаты исследования. Последовательность прямоугольных импульсов на выходе дискретной части может быть представлен в виде суммы нечетных гармоник, амплитуда каждой из которых обратно пропорциональна ее номеру. Рабочая частота дискретной части, как правило, выше полосы пропускания непрерывной части. Гармоники за полосой пропускания очень сильно фильтруются. Поэтому кривая переходного процесса системы, после первого такта дискретного времени, может быть представлена как затухающая синусоида с ошибкой в несколько процентов.

Задача устранения колебаний импульсной системы в промежутках дискретного времени сводится к ликвидации затухающей синусоиды. Предлагается компенсационный способ решения задачи. Он состоит в следующем. Входная или выходная информация дискретной части следящей системы передается по двум каналам с различными коэффициентами передачи. Первый из каналов является безынерционным, а второй канал содержит элемент временной задержки на один такт дискретного времени. Выходные сигналы каналов суммируются.

При этом полезные составляющие выходных сигналов складываются, а колебательные оказываются в противофазе.

Структурная схема импульсной следящей системы, в которой устраняется колебательность в промежутках дискретного времени, показана на рис. 2. В состав системы входит генератор опорных сигналов, обеспечивающий работоспособность дискретной части, и элемента временной задержки. Обратная связь, охватывающая дискретную и непрерывную части системы, обозначена пунктиром, потому что она не является обязательной.

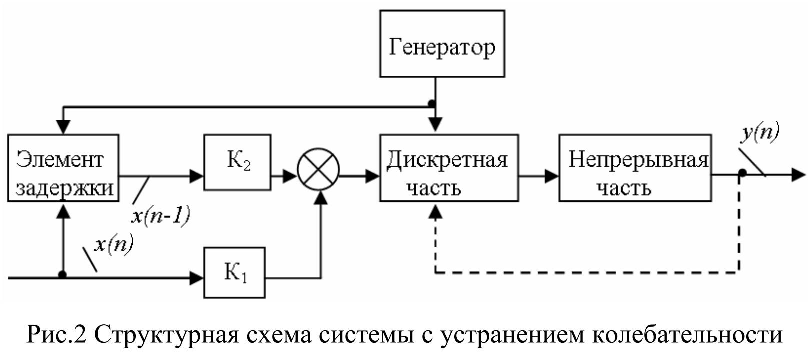

Рис.2 Структурная схема системы с устранением колебательности

В число корректирующих элементов системы входят безынерционные звенья с коэффициентами передачи K_1 и K_2. Величины этих коэффициентов устанавливаются для обеспечения полной компенсации затухающей синусоиды в изображенной на рис. 1 ПХ исходной следящей системы. Для упрощения задачи нахождения коэффициентов предлагается численный метод ее выполнения. Он состоит в следующем. На основании математического описания ДО в виде ИПФ (1) осуществляется его ОМ по формуле (2). Затем создается инструментальная схема в виде комплекса «ОМ-ДО». В качестве ДО может выступать его модель. Затем строится ПХ комплекса, совпадающая с выходным сигналом ДО $h_{do}(n+\gamma)$. Ее типовой вид показан на рис. 1. Она является непрерывной, а ее численные значения в дискретные моменты времени, начиная с первого, равны установившемуся значению, т.е. $h_{do}(n)\big|_{n\geq 1} = h_{ust}$.

Изображенная на рис.1 ПХ имела бы место и применительно к комплексу «ОМ-ДО» в том случае, когда коэффициент передачи звена в прямом канале $K_1 = 1$, а в канале с временной задержкой $K_2 = 0$. В обратном случае, т.е. при $K_1 = 0$, а $K_2 = 1$, ПХ имеет такой же вид, но со сдвигом вправо на один такт дискретного времени.

На рис. 3 показана ПХ комплекса «ОМ-ДО» тогда, когда действуют одновременно прямой канал и канал с задержкой. Цифрами на рисунке обозначены: 1 – составная часть ПХ, порождаемая прямым каналом, 2 – составная часть, порождаемая сигналом канала с задержкой, 3 – суммарная ПХ комплекса. В суммарной ПХ полезные составляющие процесса складываются, а колебательные – взаимно подавляются.

Если сумма этих коэффициентов

$$K_1 + K_2 = 1, \tag{3}$$

то числовые значения ПХ в дискретные моменты времени, начиная со второго, также равны установившемуся, т.е.

$$h_{do}(n)\big|_{n\geq 2} = h_{ust}. \tag{4}$$

Для устранения колебания в промежутке между вторым и третьим моментами дискретного времени сумма максимального значения кривой 2 и минимального значения кривой 1 согласно рис. 3 должна быть равна установившемуся значению. Это имеет место тогда, когда коэффициенты передачи звеньев K_1 и K_2 удовлетворяют уравнению

$$K_1 h_{\max} + K_2 h_{\min} = h_{ust}. \tag{5}$$

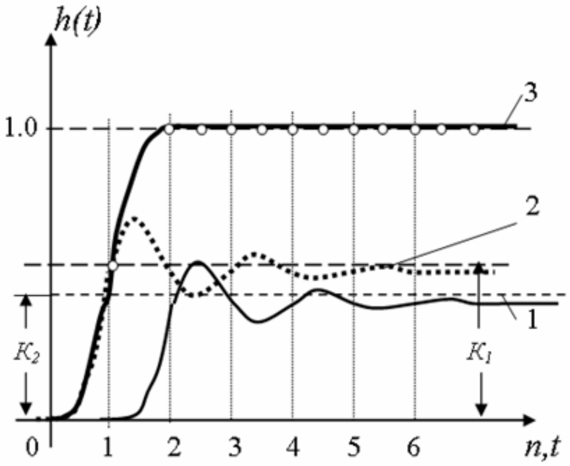

Рис. 3 ПХ комплекса «ОМ-ДО» после устранения колебательности

Решая систему из уравнений (3) и (5), получим те значения коэффициентов, при которых устраняется колебательность комплекса «ОМ-ДО» в промежутках дискретного времени с одновременным соблюдением условия (4):

$$K_1 = \frac{h_{ust} - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}}, \quad K_2 = \frac{h_{\max} - h_{ust}}{h_{\max} - h_{\min}}. \tag{6}$$

Из формул (6) следует, что величины коэффициентов K_1 и K_2 могут изменяться в определенных пределах в зависимости от колебательности исходного комплекса «ОМ-ДО». Если колебательность отсутствует, то потребность в звене цепи с временной задержкой отпадает, а коэффициенты получают значения $K_1 = 1$, $K_2 = 0$. Если же колебания являються наибольшими и не угасают, т.е. $h_{max} - h_{ust} = h_{ust} - h_{min}$, то $K_1 = K_2 = 0.5$.

Таким образом, осуществление импульсной следящей системы по изображенной на рис.2 структурной схеме позволяет эффективно подавить первую гармонику колебания в промежутках дискретного времени. Ошибки, порождаемые более высокими гармониками во входном сигнале непрерывной части, становятся пренебрежимо малыми. Платой за устранение колебаний в промежутках дискретного времени является появление в следящей системе временного запаздывания. Величина запаздывания увеличивается с повышением показателя колебательности. Если колебания в исходной системе не угасают, то за устранение их приходится платить временной задержкой величиной в один такт дискретного времени.

Выводы. Полученные результаты не зависят от того, были ли охвачены в исходной следящей системе общей обратной связью дискретная и непрерывная части. В том случае, когда указанная обратная связь отсутствует, корректирующие звенья, включающие в себя элемент временной задержки, безынерционные звенья и сумматор, могут быть перенесены со входа дискретной части на ее выход без изменения получаемого результата. Рассматриваемый способ устранения колебаний в промежутках дискретного времени применим для широкого круга импульсных следящих систем.

Литература

1. G.F. Franklin, A. Emami-Naeini. Design of ripple-free multivariable robust servomechanisms. IEEE Transactions on Automatic Control, vol. AC-31, № 7. - 1986. - P. 661-664.

2. Клименко А.К. Обратная модель для решения задач управления и контроля качества / Методы менеджмента качества // Надежность и контроль качества. – 1999, №8. – С. 32-39.

3. Клименко А.К. О возможности использования дискретной обратной модели в следящих системах // Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково-технічного журналу «ЕЛЕКТРОІНФОРМ» – Львів: ЕКОінформ, 2009 – С.97-98.