

Исходя из анализа полученных результатов минимальное перерегулирование имеет САР с регулятором  $W_r4$  ( $K_p=0.4$ ,  $T_i=760.1$ ). Передаточная функция ПИ регулятора с оптимальными коэффициентами имеет следующий вид:

$$W_R = \frac{0.4 s + 0.001316}{s} \quad (2)$$

УДК 62-52621.923

А. А. Лялько, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

### **ОБЗОР АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОЙ НАСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО- ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОР**

В случае, если объект управления (ОУ) имеет нестационарные параметры необходимо постоянно или периодически подстраивать коэффициенты пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора под изменяющиеся параметры ОУ так, чтобы достигалась цель управления. Решение этой проблемы достигается с помощью адаптивного управления, которое в зависимости от алгоритма адаптации подразумевает постоянную или периодическую корректировку коэффициентов ПИД-регулятора.

Существующие алгоритмы адаптации разделяют на прямые и непрямые. Прямые алгоритмы корректируют коэффициенты ПИД-регулятора на основе анализа регулируемой переменной. Непрямые алгоритмы основываются на идентификации модели ОУ и корректировке на основе ее результатов коэффициентов ПИД-регулятора.

В прямых алгоритмах адаптивного управления параметры регулятора обновляются непосредственно, по определенному закону, который зависит от состояния замкнутой системы. Для того чтобы оценить состояние системы, используются различные подходы.

Прямые адаптивные системы, использующие логические правила настройки регулятора (rule-based), представляют целый подкласс систем управления. Принцип действия основан на имитации действий наладчика, который, анализируя состояние выхода системы при изменении задающего воздействия корректирует параметры ПИД-регулятора. Во время функционирования всегда ищется компромисс между наименьшим временем переходного процесса и запасами устойчивости.

Среди перспективных прямых алгоритмов адаптивного управления можно выделить следующие:

1. Алгоритм итерационной градиентной настройки (Iterative

feedback tuning) [1].

Данный алгоритм способен функционировать при непредсказуемых изменениях параметров ОУ, но при малых внешних возмущениях. Основная идея заключается в вычислении градиента по коэффициентам ПИД-регулятора относительно ошибки слежения. Для вычисления градиента метод использует ступенчатые испытательные воздействия, подаваемые на вход замкнутой системы. По вычисленному градиенту корректируются коэффициенты ПИД-регулятора.

## 2. Метод рекуррентных целевых неравенств [2].

Суть метода заключается в использовании целевых неравенств, зависящих от текущих и предыдущих значений измеряемых переменных, состояния ОУ и управления, построенных на основе выбранной цели управления. При функционировании алгоритма сразу все целевые неравенства не доступны, они возникают по ходу функционирования и поэтому решаются рекуррентно. Для решения рекуррентных целевых неравенств используются конечно сходящиеся алгоритмы, суть которых заключается в том, что при достижении цели управления коэффициенты закона управления перестают корректироваться.

Многие непрямые алгоритмы адаптации являются дальнейшим развитием алгоритмов автоматической настройки. Так, в ряде работ были развиты идеи идентификации крайней точки и предложено использовать метод наименьших квадратов для идентификации этой точки. Далее было предложено использовать несколько идентификаторов совместно с узкополосными фильтрами, что позволило улучшить алгоритм. Множество алгоритмов используют в своей основе метод наименьших квадратов, позволяющий идентифицировать различные модели ОУ. Для синтеза ПИД-регуляторов в части работ используются алгебраические методы синтеза, в другой части - методы оптимизации.

Среди прямых алгоритмов адаптивного управления можно выделить следующие:

### 1. Алгоритм адаптации по реакции системы на ступеньку [3].

Первоначальная настройка ПИД-регулятора осуществляется по результатам эксперимента в разомкнутом контуре, т.е. выполняется предварительная автоматическая настройка регулятора. Затем последующая коррекция коэффициентов ПИД-регулятора осуществляется по результатам анализа реакции системы на ступенчатое изменение задающего воздействия или управления, не превышающее 10% от номинального значения.

### 2. Алгоритм адаптации, использующие релейный подход.

Первоначальная настройка регулятора осуществляется с помощью замыкания ОУ двухпозиционным реле. Измеряется амплитуда и период возникших автоколебаний, по значениям которых затем синтезируется ПИД-

регулятор. При необходимости подстройки коэффициентов ПИД-регулятора двухпозиционное реле подключается параллельно с регулятором.

Перспективным направлением в развитии не прямых адаптивных алгоритмов управления является частотное адаптивное управление [4]. Идея данного подхода заключается в использовании полигармонического испытательного сигнала, подаваемого на вход системы управления. Такая необходимость возникает при недостаточно  $\frac{3}{4}$ богатом наборе гармониками задающим воздействием, например, если она постоянная величина все время. С помощью фильтра Фурье можно выделить полезную составляющую, несущую информацию об ОУ, и таким образом оценить параметры модели ОУ даже при интенсивных неизвестных внешних возмущениях. Существуют некоторые вариации такого подхода. В первой вариации на вход системы подается одна гармоника с частотой, равной резонансной частоте системы, и определяется амплитуда и фаза установившихся колебаний на входе и выходе ОУ, на основе которых определяются параметры модели ОУ. Для первоначального определения резонансной частоты системы предлагается возбудить автоколебания в системе управления с помощью двухпозиционного реле или путем увеличения коэффициента усиления регулятора. Во второй вариации используется двух- и более частотный испытательный сигнал. Частоты гармоник испытательного сигнала при этом должны находиться относительно далеко друг от друга. Этот подход позволяет оценивать параметры модели ОУ с более сложной структурой.

Несмотря на наличие совокупности достаточно разнообразных и неоднородных алгоритмов адаптивного управления, все еще остается достаточно большой разрыв между теорией и практикой. Тем не менее потребности промышленности с каждым годом растут, что вызвано увеличением темпов производства, изменением технологии и повышением гибкости. Во многом это факторы, которые, в конечном итоге, создадут благоприятный фон для повсеместного использования адаптивных ПИД-регуляторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hjalmarsson H., Geers M., Gunnarsson S., Lequin O. Interactive feedback tuning: theory and applications // IEEE Control Syst. Magazin. 1998. V. 18. P. 26–41.
2. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981.
3. Шубладзе А.М., Кузнецов С.И. Автоматически настраиваемые промышленные ПИ и ПИД-регуляторы // Автоматизация в промышленности. 2007. № 2. С. 15–17.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для ВУЗов, 5-е издание. перераб. и доп. М.: Изд. дом МЭИ, 2008.