

который линеаризует систему управления напором. Альтернативой служит линейный робастный регулятор, сигнал управления на выходе которого определяется операторным уравнением

$$u(p) = e(p)W(p).$$

Здесь $W(p)$ – передаточная функция линейного регулятора напора.

Возникает задача синтеза непрерывного управления напором в условиях, когда подключаемые к преобразователю электрической энергии электродвигатели, хотя и однотипные, могут отличаться параметрами, а напорная сеть так же меняет свои характеристики.

Управление регулируемым электроприводом должно обеспечивать качественное управление напором в условиях изменяющихся параметров и внешних возмущений объекта управления, состоящего из электродвигателя, турбомеханизма и напорной сети. Иными словами, управление напором должно удовлетворять условиям робастности системы.

Литература

1. Фираго Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн. : Техноперспектива. 2006. – 363 с.

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОКОНТУРНЫХ САР С ОДНИМ ПАРАМЕТРОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ

Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор, Кулаков А.Т., к.т.н., доцент,
УО «Белорусский национальный технический университет»;
Ковалев В.А., к.т.н., доцент, *УО «Белорусский государственный
аграрный технический университет», г. Минск, РБ*

Широкое распространение в области автоматизации инерционных технологических процессов получили двухконтурные системы автоматического регулирования (САР) с четырьмя или пятью параметрами оптимальной динамической настройки, которые рассчитывают из условия разложения системы на две одноконтурные. При этом принимается, что динамика переходных процессов внутреннего контура не оказывает влияния на характер переходных процессов внешнего. Обычно внутренний контур настраивают на опти-

мальную обработку внутренних возмущений, а внешний – на обработку внешних возмущений, приложенных к выходу системы регулирования [1].

В связи с этим актуальной становится задача разработки многоконтурных САР, позволяющих улучшить качество регулирования технологических параметров по сравнению с типовыми двухконтурными системами. Кроме того, в современных рыночных условиях развития экономически целесообразно при этом сократить время на наладку таких систем, например, за счет существенного уменьшения количества параметров динамической настройки системы.

Обычно динамику опережающего участка можно представить в виде передаточной функции инерционного звена первого порядка

$$W_{\text{ОП}}(p) = K_{\text{ОП}} / (T_{\text{ОП}}p + 1), \quad (1)$$

а инерционного – в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием

$$W_{\text{ИН}}(p) = \frac{K_{\text{ИН}} e^{-\tau p}}{T_{\text{ИН}}p + 1}. \quad (2)$$

Синтез оптимальной структуры САР начинают с выбора структуры регулятора внутреннего контура на основе передаточной функции опережающего участка (1) для оптимальной обработки скачка задания промежуточной регулируемой величины на базе передаточной функции оптимального регулятора. При этом структура оптимального регулятора находится как произведение инверсной передаточной функции опережающего участка (1) на заданную передаточную функцию разомкнутой системы

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{1}{T_{\text{ЗД1}}p} \quad (3)$$

для заданной передаточной функции внутреннего контура системы

$$W_{\text{ЗС1}}(p) = 1 / (T_{\text{ЗД1}}p + 1), \quad (4)$$

где $T_{\text{ЗД1}}$ – единственный параметр оптимальной динамической настройки регулятора внутреннего контура, формирующий критерий оптимальной обработки задающего сигнала по промежуточной регулируемой величине:

$$W_{p1}(p) = \frac{T_{оп}p + 1}{K_0 T_{зд1} p}. \quad (5)$$

В соответствии с передаточной функцией замкнутой системы внутреннего контура (4) обработка задающего сигнала осуществляется без перерегулирования. Причем с уменьшением величины $T_{зд1}$ переходной процесс по промежуточной величине при обработке задания приближается к идеальному усилительному звену, а максимальная динамическая ошибка регулирования при обработке внутреннего возмущения сокращается пропорционально численному значению $T_{зд1}$.

Для выбора структуры регулятора внешнего контура вначале используем модифицированный линейный упрединитель Смита: выход промежуточной регулируемой величины подаем на вход регулятора внешнего контура $W_{p2}(p)$ с отрицательным знаком с выхода неполной модели $W_{ин}^O(p)$ и с положительным знаком с выхода полной модели $W_{ин}(p) = W_{ин}^O(p)e^{-\tau p}$.

Для регулятора $W_{p2}(p)$ внешнего контура эквивалентная передаточная функция объекта регулирования равна произведению заданной передаточной функции (4) внутреннего контура $W_{зс1}(p)$ на ту часть передаточной функции (5) инерционного участка объекта $W_{ин}^O(p)$, которая не содержит запаздывания:

$$W_{экр}(p) = W_{зс1}(p)W_{ин}^O(p) = \frac{K_{ин}}{(T_k p + 1)(T_{зд1} p + 1)}. \quad (6)$$

Так как передаточная функция (6) второго порядка, то в качестве критерия оптимальности при обработке задания регулятору внешнего контура (выход – промежуточная регулируемая величина $y_1(t)$, а вход – задание внешнему контуру САР) принимается инерционное звено второго порядка:

$$W_{зд2}(p) = \frac{1}{(T_{зд2} p + 1)^2}, \quad (7)$$

где $T_{зд2} = T_{зд1}$.

С учетом передаточных функций (6) и (7) передаточная функция регулятора $W_{p2}(p)$ внешнего контура системы будет равна произведению инверсной передаточной функции (6) эквивалентного объекта регулирования на заданную передаточную функцию разомкнутой системы

$$W_{pc}(p) = \frac{1}{2T_{зД1}p\left(\frac{T_{зД1}}{2}p + 1\right)}, \quad (8)$$

представляет собой реальный ПИД-регулятор

$$W_{p2}(p) = \frac{(T_k p + 1)(T_{зД1} p + 1)}{2K_{ин} T_{зД1} p (T_{зД1} p / 2 + 1)}. \quad (9)$$

При обработке скачка задания $X_{зД2}$ система становится разомкнуто-замкнутой, т.к. сигнал главной обратной связи компенсируется положительным сигналом полной модели инерционного участка объекта регулирования. В результате этого передаточная функция системы по задающему воздействию принимает следующий вид:

$$W_{Y, X_{зД}}(p) = \frac{W_{p2}(p)W_{зД1}(p)W_{ин}^O(p)e^{-\tau p}}{1 + W_{pc}(p)W_{зД1}(p)W_{ин}^O(p)}, \quad (10)$$

Эта передаточная функция при достаточно большом значении коэффициента передачи регулятора ($T_{зД1} \Rightarrow \min$), стремится к звену чистого запаздывания, т.е. САР становится максимальной по быстродействию при обработке задающего сигнала.

Анализ переходных процессов типовой САР с дифференциатором [1] и предлагаемой системы, полученных путем моделирования с использованием пакета Simulink, показал, что структурно-параметрическая оптимизация системы с одним параметром динамической настройки позволяет существенно улучшить качество регулирования при основных воздействиях: при обработке скачка задания время регулирования сокращается в 4,7 раза, а перерегулирование отсутствует; при обработке крайнего внешнего возмущения полное время регулирования сокращается в 3,4 раза, а абсолютная площадь ошибки регулирования сокращается на 38 % по

сравнению с САР с дифференциатором; максимальная динамическая ошибка регулирования при обработке внутреннего возмущения в обеих системах близка к зоне нечувствительности регулятора.

1. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учеб. / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск, БГТУ, 2010. – 574с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРИВОДОВ В СРЕДЕ MULTISIM

Лагутин А.Е., к.т.н, доцент

Белорусская государственная академия связи, Минск, РБ

В инженерной практике при проектировании электромеханических комплексов (ЭК), а также при автоматизированном выборе наилучших проектных решений, широко применяются компьютерные методы исследования и синтеза. Эти методы позволяют повысить эффективность решений и сократить сроки и затраты на ввод ЭК в промышленную эксплуатацию [1].

Современные ЭК характеризуются большим числом взаимосвязанных входных и выходных параметров. В математическом описании динамика ЭК представляется системой дифференциальных и алгебраических уравнений.

С появлением вычислительной техники новых поколений и совершенствованием методов ее использования наметился новый системный подход к организации процесса проектирования на ПК, заключающийся в создании крупных программных комплексов, построенных по модульному принципу, с универсальными информационными и управляющими связями между модулями. При решении задач данного класса используются единые информационные массивы, организованные в банки данных.

Для решения задач исследования и синтеза систем автоматизированных электроприводов применяют следующие программные средства: MATLAB (MathWorks, Inc) [2]; GPSS (компания Minuteman Software – США); SCILAB, MATHCAD (Mathsoft, Inc); DERIVE (Soft Warehouse); SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) или DCS (Distributed Control Systems – распределенная система управления) – системы, реализующие в том числе и функции схематичного отображения технологических процессов; Case-средства (Computer-