**Буй Хай Шон. Параметрический синтез и анализ АСР с ПИД-алгоритмами различной структуры : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 Москва, 2006 160 с. РГБ ОД, 61:06-5/3347**

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (технический университет)

На правах рукописи

Буй Хай Шон

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И АНАЛИЗ АСР С ПИД-АЛГОРИТМАМИ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Специальность 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (отрасль: энергетика)

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель кандидат технических наук, профессор Панько Марк Андреевич

Москва - 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АСР С ПИД-АЛГОРИТМОМ

1. ПИД-алгоритм и его особенности
2. Идеальный ПИД-алгоритм
3. Физически реализуемый ПИД-алгоритм
4. Цифровая реализация ПИД-алгоритма
5. Автоматические регуляторы релейно-импульсного действия
6. Особенности АСР с ПИД-регулятором
7. Методы параметрического синтеза АСР с ПИД-регуляторами
8. Задача параметрического синтеза АСР
9. Обзор методов определения настроек ПИД-регулятора

ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

АСР С ПИД-РЕГУЛЯТОРАМИ

* 1. Расчет линий заданного запаса устойчивости *т* = const для АСР с идеальным ПИД-алгоритмом
  2. Анализ влияния настроек ПИД-регулятора на распределение корней характеристического уравнения замкнутой системы
  3. Расчет оптимальных параметров настройки с использованием комплексного показателя запаса устойчивости
  4. Особенности АСР с иде&чьным ПИД-алгоритмом и объектом

управления с запаздыванием

* 1. Анализ распределения корней характеристического уравнения
  2. Сравнение методов расчета оптимальных параметров настройки

АСР с ПИД-регулятором

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ РОБАСТНСШ НАСТРОЙКИРЕАЛЬНЫХ

I I I

I *I \ , S ,* • / ^ /

РЕГУЛЯТОРОВ1

1. Параметрический синтез и анализ динамики АСР с цифровым

86

ПИД-регулятором

1. Выбор параметров электрического исполнительного механизма

1 с ПИД‘алгоритмом ..'..'.і......'..'..' / '100

1 J ,У| *( I S S (* I/

I I I \_ ^ ^ I I

1. Исследование автоколебаний в АСР,с ЦІЦМ и ЭИМ ; 109

і ! ч / / *\_ і*

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

1. Описание экспериментального стенда 114
2. Получение математической модели объекта регулирования 116
3. Настройки регулятора и процессы регулирования по результатам эксперимента и моделирования ;. : 118

' Т " » || і ' ' ‘ г ‘ ‘ г' • \* Т"

1. [Возможные области применения. ПИД^алгориїма в. системах автоматизации теплотехнических объектов управления 126](#bookmark47)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 130

Список литературы 133

Приложении 141

*А*

*\** I

*А*

' I I

” т

I

*А*

*'* I і

“ Т ' I I

\ I і \

*А*

*л*

ВВЕДЕНИЕ ;

\ I I \

Анализ алгоритмических структур промышленных автоматических сис­тем регулирования показывает, что наибольшее распространение в реальных системах получили типовые алгоритмы регулирования - пропорциональный (П-) и пропорционально-интегральный (ГТИ-). К типовым относят также

*г \ '* Ч ' 4 \ Ч

предложенный значительно Позже этих алгоритмов пропорционально-

■т\_ ■ , ■ і , • < , • ■ ■т\_

интегрально-дифференциальный алгоритм (ГІИД-): Приборостроительные фирмы разрабатывают и производят микропроцессорные ПИД-регуляторы и микропроцессорные контроллеры с библиотеками, включающими не только ПИД, но и более сложные алгоритмы регулирования. Однако, до настоящего • времени ПИД-регуляторы в реальных системах применяются редко и, как

правило\* потенциальные • возможности ПИД-алгоритма не реализуются в \

, 1 , ' 1 ' 1 / *• 1 , 1*

полной мере. /\* '1587399780 ' \*/ 1 ;

Тем не менее, именно ПИД-алгоритму посвящено основное количество научных публикаций по проблеме оптимального параметрического синтеза автоматических систем регулирования. Множество публикаций по проблеме свидетельствует как об ее актуальности, так и об отсутствии ее окончатель­ного решения.,/\* 1587399730 \*/ \ \ ''

' 1 . 1 1 . 1 *'* 1 '.г.'

• • I I — ^ . X •

\ Актуальность этой проблемы для решения'.задач' автоматизации объектов

*S \ /* I Ч/ \* \* Ч/Ч/Ч/ЧХЧ^

•> « А я» « . 4 • I «. «к \*\* ^ *-г* » • і

управления в энергетике подтверждается и тем, что ее решению были посвя­щены работы Е.Г. Дудникова, Е.П. Стефани, Н.И. Давыдова, В .Я. Ротача, В.В. Волгина и многих других специалистов в рамках проводимых ими ис­следований по автоматизации управления теплоэнергетическими процессами

и установками. /\* 1587399780 -\*/

*J ■* ■ , - , . .

**1** *'* **і** *‘* **і** *\** **і 1** *\** **і 1 /|**

Простейшие П- и ПИ- алгоритмы достаточно точно реализуются в реаль-

/ I *t* 1 / 1 *t*

1 IIі

Ч / N/Ч/Ч/ Ч/ 1 Ч/ 1

ных автоматических регуляторах, что позволяет использовать в решении за­дач анализа и синтеза автоматических систем регулирования с этими алго­ритмами математические модели идеальных регуляторов. Как правило, при оптимальных настройках автоматические системы регулирования с П- и

*А*

ПИ-регуляторами оказываются робастными (грубыми), мало чувствительны­ми к вариациям параметров объекта и регулятора. Поэтому важнейшее тре­бование к реальной системе - требование робастности - удовлетворяется при применении этих алгоритмов «автоматически» без дополнительных ограни­чений.

Системам с ПИД-алгоритмом присущи, по крайней мере, две особенно­сти, обличающие их от АСР с простейшими алгоритмами. /\* **1587399783** \*/ Во-первых, идеальный ПИД-алгоритм физически не реализуем, и резуль­таты оптимального параметрического синтеза не могут непосредственно пе­реноситься на реальную систему. Из этого следует актуальность поставлен­ной в работе задачи оптимального параметрического синтеза с учетом осо­бенностей технической реализации ПИД-алгоритма. В работе наряду с иде­альным алгоритмом рассматриваются ПИД-регуляторы с цифровой реализа­цией алгоритма (цифровые регуляторы) и ПИД-регуляторы с электрическим исполнительным механизмом постоянной скорости, в структуру которых включается широтно-импульсный модулятор (ШИМ).

Во-вторых, оптимальная система с ПИД-регулятором может оказаться негрубой **И,** следовательно, неработоспособной. /\* **1587399783** \*/

Для АСР с ПИД-алгоритмом важно сформулировать ограничения, гаран­тирующие малую чувствительность системы к вариациям параметров, и кри­терий качества. Известно, что качество АСР с ПИД-алгоритмом характеризу­ет отношение значений постоянной дифференцирования Гд к постоянной ин­тегрирования Ги: с увеличением этого отношения динамическая точность АСР возрастает, однако, вместе с этим возрастает чувствительность системы к вариациям параметров. /\* **1587399783 \*/**

Расчет оптимальных настроек заключается в определении значений па­раметров регулятора, соответствующих минимуму целевой функции при вы­полнении определенных ограничений и, прежде всего, ограничения на запас устойчивости системы. /\* **1587399783 \*/**

Для систем автоматизации теплотехнических процессов характерны объ­екты управления с транспортным и емкостным запаздыванием. Запаздывание в канале регулирующего воздействия снижает эффективность ПИД- алгоритма, и в этом случае представляет интерес сравнительная оценка динамической точности реальных АСР с ПИ- и ПИД- алгоритмами.

Задача оптимального параметрического синтеза может быть решена ана­литическими, аналитическими итеративными или поисковым методами. Аналитическое решение позволяет определить в пространстве параметров настройки регулятора границы устойчивости и заданного запаса устойчиво­сти, проанализировать влияние вариации параметров на свойства системы и представить результаты исследования в наглядной форме. Изучение на этой основе особенностей системы обеспечивает возможность эффективного при­менения современных поисковых алгоритмов для оптимального параметри­ческого синтеза. /\* 1587399786 \*/

**Целыо настоящей работы** является разработка формализованных ана­литических методов оптимального параметрического синтеза АСР с ПИД- алгоритмом, обеспечивающих получение робастных настроек и максимально возможное качество при учете свойств реальных ПИД-регуляторов.

В работе применены и развиты аналитические частотные методы опти­мального параметрического синтеза АСР с ПИД-регуляторами, методы ими­тационного моделирования АСР на основе цифровых моделей ее элементов и проведены экспериментальные исследования на стенде с физической моде­лью объекта управления и реальным микропроцессорным регулятором. Определены условия, выполнение которых позволяет в максимальной степе­ни использовать потенциал ПИД-алгоритма. /\* 1587399786 \*/

**В главе 1** рассматриваются формы математического описания ПИД- алгоритма и способы его реализации. Производится классификация и срав­нительный анализ методов оптимального параметрического синтеза АСР с ПИД-регуляторами, применяющиеся в России и мировой практике. Показы­вается необходимость разработки нового метода параметрического синтеза

ПИД-регулятора, который удовлетворял бы общепринятым показателям за­паса устойчивости АСР и компромиссу качества регулирования и робастно­сти. На основе проведенного анализа формируются цель и задачи диссерта­ционного исследования. /\* 1587399789 \*/

В **главе 2** исследуется зависимость вида линий заданного запаса устойчи­вости и качества АСР от значения а (а = Ги/Гд). Выявляются особенности расположения корней характеристического уравнения замкнутой системы при движении по линии *т =* const для различных значений а; компромисс между робастностью и динамической точностью регулирования при различ­ных значениях *т* и *М.* Выводят расчетные соотношения и алгоритмы, позво­ляющие вычислить и определить оптимальные параметры регуляторов по

критерию «критическое а» и совместное ограничение на корневой и частот-

*0*

ной показатели колебательности *«т =* шдоп и *М = М*т1» для идеального ПИД- алгоритма. Проводится сравнительный анализ методов параметрического синтеза ПИД-регулятора. /\* 1587399789 \*/

**В главе 3** выводятся соотношения для расчета параметров ПИД- регулятора при цифровой реализации алгоритма и совместном ограничении *пт* и М» и выбора интервала квантования сигналов по времени. Исследуется схема ПИД-регулятора с ШИМ и электрическим исполнительным механиз­мом (ЭИМ) постоянной скорости, выводятся расчетные формулы для опре­деления параметров ШИМ и ЭИМ в зависимости от параметров ПИД-регулятора и объекта управления. Исследуется режим автоколебаний в АСР с ШИМ.

В **главе 4** приводятся результаты моделирования АСР в среде Simulink пакета MathLab и исследования АСР с физической моделью объекта и реаль­ным цифровым ПИД-регулятором с ЭИМ при настройках, рассчитанных раз­работанным в диссертации методом. /\* 1587399789 \*/

В приложении приведены программы расчета параметров идеального и цифрового ПИД-регуляторов при ограничении *«т* и *М»* и анализа АСР с найденными настройками в среде MATLAB 6.5 и MathCad.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

J *§* і *і J* І Г і I

\ \ \ \

/ 4 / ^ / X X ^ / X X ^ / XX / X

Рассмотрены особенности расчета параметров настройки ПИД-

регуляторов по расширенным частотным характеристикам при задании

запаса устойчивости значением корневого показателя условиях *т = таоп,* выполнен анализ влияния значения а = *Тд* / Ги на вид линий заданного запаса устойчивости *m =* const. '/\* 1587400206 \*/ ; ' ",

\_ х *^* ч \_ х ^ ч „ X к х \_ х N . х

Разработана методика и выполнен анализ влияния выбора точки на линий

XX / XX / XX / XX / XX

•Ь— 4 ч „ Ч Ч ч ^ \ ч „

*m* = const, определяющей настройки ПИД-регулятора на распределение корней характеристического уравнения замкнутой системы. /\* 1587400206 \*/ Обосновано применение в качестве критерия динамической точности условия акрит при ограничении *«т = тдоп* и *М* = Млоп» и выполнен анализ чувствительности результата к погрешности определения а;крит. ;

- И ^ к - % *V V*

Разработана в среде,Matlab программа расчета настроек ПИД-регулятора при ограничении *«т = тдоп* и *М* = Мдоп». Расчет формализован, позволяет рассчитывать настройки для широкого класса объектов, включая ОУ с большим запаздыванием, и его результаты не зависят от субъективных факторов. /\* 1587400206 \*/

. Рассмотрены .варианты количественных характеристик ограничения

X ^ 4 » х ^ х «. х ч. \_ х ^ ч . х ^ ч

*«т =* отлоп и *М* = А/доп», показано, что предпочтительным вариантом расчета

ч ч ^ Ч s ^ Ч ч ^ ч ч ч

для объектов со стабильными характеристиками является условие *«т=*0,366 и *М=* 2,38» и акрит. При этом условии достигается соответствие между

принятыми в практике оптимального параметрического синтеза значениями показателей запаса устойчивости *т, Маці.* /\* 1587400206 \*/

Произведено сравнение результатов расчета настроек ПИД-регулятора

• 1< ' - *У "* - *V* - *V " - '^ и*

\ ‘ \ » \ ' \ ' ч

при ограничении *«т* = тдоа и *М* = *Мдоп»* с другими, известными методами

ч w Ч Ч % Ч s Ч ч ^ ’

параметрического синтеза. /\* 1587400206 \*/

Рассмотрены особенности расчета параметров настройки ПИД- регуляторов при цифровой реализации алгоритма по расширенным частотным характеристикам при задании запаса устойчивости значением

корневого показателя условиях *т* = тдоп. В расчете используется характеристика эквивалентного аналогового регулятора. /\* 1587400209 \*/ Выполнен анализ влияния значений а = *Та* / Ги и интервала квантования по времени *Т* на вид линий заданного запаса устойчивости *m =* const в пространстве параметров настройки регулятора. /\* 1587400209 \*/

Выполнен с использованием цифровой (дискретной) модели АСР анализ влияния параметров настройки регулятора на расположение корней характеристического уравнения замкнутой АСР в плоскости комплексной переменной *z* и разработаны рекомендации по определению робастных настроек регулятора. /\* 1587400209 \*/

Рассмотрены особенности динамики АСР с ПИД-регулятором, работающим с электрическим исполнительным механизмом постоянной скорости. Определены условия и разработана методика выбора скорости ЭИМ и расчета параметров широтно-импульсного модулятора, входящего в структуру регулятора. /\* 1587400209 \*/

Проведено исследование режима автоколебаний, возникающих в АСР с ПИД-регулятором и ЭИМ, и предложена методика определения параметров автоколебаний. Показано, что автоколебания возникают в окрестности равновесного значения управляемой переменной. /\* 1587400209 \*/

Результаты теоретического исследования подтверждены данными моделирования АСР с ПИД-регулятором и ЭИМ в среде Simulink (MatlLab).

Эффективность ПИД-алгоритма с ЭИМ существенно зависит от инерционности объекта управления и в случае малоинерционного объекта ограничена быстродействием исполнительного устройства. /\* 1587400209 \*/ Произведено экспериментальное исследование динамики АСР с настройками ПИД-регулятора, рассчитанными по разработанным в диссертации методикам, на стенде с физической моделью объекта управления и реальными техническими средствами автоматизации - микропроцессорным регулирующим прибором ПРОТАР и электрическим

исполнительным механизмом типа МЭО, подтвердившее соответствие

результатов эксперимента расчету. /\* 1587400212 \*/

Выполнено моделирование АСР с ПИ- и ПИД-алгоритмами, ШИМ и

ЭИМ в среде Simulink математического пакета MatLab. Подтверждена

. возможность" моделирования реальных, регуляторов-в среде Simulink 'для

|/| *it ' ' \* 1 Г ,/

I I I \_ X \_ X | '|

I ^ | /\_

-исследования динамики АСР: расхождение визначеннях показателей

X/1 \ / N/N/N/N/ 1 V/ I

переходного процесса, полученных в эксперименте и на модели, не превышает 10 %. /\* 1587400212 \*/

Определены целесообразные области использования аналоговых (с цифровой реализацией алгоритма) и релейно-импульсных ПИД- регуляторов' в /системах автоматизации , теплотехнических объектов,

' і \* , . ***^ •*** , 1 1 , 1 / ■

\ I І і

управлений.. /\* 1587400212, \*/

; - - - ізз -' • " '' -

і I *і*

1 . 1 \_ 1 \_

- -ч *V* - % If ^

• Список литературы '/\* 1587400? 15 \*/

1. Андронов А.А., Ііонтрягин JI. С. Грубые системы //ДАН СССР. 1937. Т14 №5. С. 247-250.
2. Анисимов Н. Г. Оценка робастности алгоритма управления по отношению

' ~ V Г ' ~ ч Г ' “ ч ~ ' " ч г - - " Л

I I I I

к неопределенности .Параметров объекта // Приборы и системы управде-

» ' ч \* \ ' ч ' ч

ния; 1995/№ 12. С..8 -10.. *•*

1. Балакирев В. С., Дудников Е. Г, Цирлин А. М. Экспериментальное опре­деление динамических характеристик промышленных объектов управле­ния. М.: Энергия, 1967. /\* 1587400215 \*/
2. Бинь Ф.Т. Разработка робастных методов расчета систем автоматического

' \* N Г--- / % N *ф ш ш ш* / % ч *Ф ш ш т* / " , г--- / " ч

I I I I I

- регулирования.-Дис.^ канд. техн. наук.іМ.-1994. /\*-,1587400215 \*/--; ►

і і і j *і і* і і і