

4. Основной причиной увеличения погрешности обработки заготовки при её диаметре более 50 мм является размерный износ. Для уменьшения его влияния рекомендуется уменьшить задний угол при вершине до $\alpha = 7^\circ$, что увеличит также прочность режущей пластины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / Под ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2007. – 528 с.
2. Козлов В.Н., Чжан Ц., Го И., Сабават С.К. Исследование контактных нагрузок при врезании // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Н. Яковлева. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — с. 315-316.
3. Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа технологических процессов изготовления деталей: учебное пособие. 2-е издание. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. -90 с.
4. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога-машиностроителя Т. 1. - Москва «Машиностроение», 2003. – 943 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Лю Фан

Научный руководитель: Курганов Василий Васильевич,
к.т.н., доцент ТПУ

Национальный исследовательский Томский политехнический
университет

Аннотация: Целью работы является анализ качества переходных процессов для теплового объекта с ПИД-регулятором, коэффициенты которого получены на основе генетического алгоритма и метода с релейной обратной связью. Способ получения коэффициентов на основе генетического алгоритма и метода с релейной обратной связью

сравнивается с широко используемым методом Циглера - Никольса. Полученные результаты показывают качественное преимущество исследованных метода настройки коэффициентов ПИД-регулятора.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, генетический алгоритм, метода с релейной обратной связью.

Введение

Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы и их различные комбинации является наиболее часто используемыми алгоритмами в промышленных системах регулирования. Благодаря универсальной структуре, в которой сочетаются прошлое настоящее и будущее, ПИД-регуляторы предлагают самые простые, эффективное и интуитивно понятные решение многих проблем автоматизации. Вместе с тем процесс настройки параметров ПИД-регулятора является важной технической задачей, от которой напрямую зависит стабильность и производительность объекта управления.

Описание объекта

Исследуемый объект представлебн на рисунке 1.

В камере 1 размещен тепловой нагреватель 2 с воздушным охлаждением. Нагрев выполняется постоянно от источника напряжением переменного тока VAC 3. Температура измеряется терм сопротивлением 4 и регулируется изменением воздушного потока, направленного на нагреватель. Воздушный поток создаётся вентилятором 5, который приводится в действие трёхфазным асинхронным двигателем 6. Производительность двигателя регулируется частотным преобразователем 7, управление которым выполняет микроконтроллер, реализующий ПИД-закон регулирования 8.

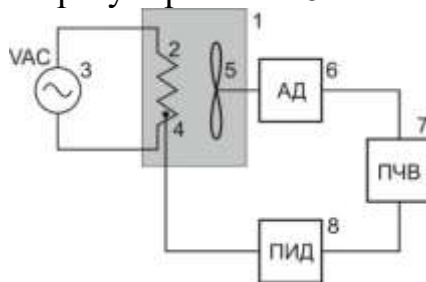


Рис. 1 – Функциональная схема объекта

Идентификация объекта

Передаточная функция объекта управления, имеющего гладкую не колебательную переходную характеристику, представленную на рисунке 2, достаточно просто определяется с помощью графических методов [1]. Представим передаточную функцию объекта в виде апериодического звена первого порядка с чистым запаздыванием

$$W(s) = \frac{k}{Ts+1} * e^{-\tau*s}, \quad (1)$$

где k – статический коэффициент передачи; τ – время запаздывания; T – постоянная времени объекта.

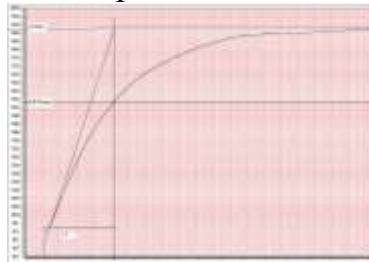


Рис. 2 – Переходная характеристика объекта

С учетом полученных значений выражение (1) принимает следующий вид

$$W(s) = \frac{1,92}{180s+1} e^{-15s} \quad (3)$$

Коэффициент передачи определяется как отношение изменения выходного сигнала (температуры объекта) к вызвавшему это изменение входного сигнала (изменение частоты питающего напряжения).

ПИД регулятор имеет следующую структуру:

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d * s \right) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d * s \quad (4)$$

где: K_p, K_i, K_d коэффициенты усиления пропорциональной, интегрирующей и дифференцирующей составляющих регулятора соответственно

Расчёт параметров настройки ПИД-регулятора

Метод Циглера-Никольса

Метод Циглера-Никольса относится к эмпирическим методам настройки коэффициентов ПИД-регулятора. Для настройки коэффициентов этим методом используются коэффициенты передаточной функции объекта k, T, τ , определённые по переходной характеристике (3). Формулы для расчета параметров регулятора представлены в таблице 1, результаты вычислений коэффициентов в таблице 2.

Таблица 1

Параметры настройки типовых регуляторов

	K_p	T_i	T_d
ПИ	$0,9T/k\tau$	$0,3T/k\tau^2$	-
ПИД	$1,2T/k\tau$	$0,6T/ k\tau^2$	$0,6T/k$

Таблица 2

Полученные настройки регуляторов

	K_p	T_i	T_d
ПИ	5,625	0,125	-
ПИД	7,5	0,25	56,25

На рисунках 3 и 4 представлены полученные экспериментально переходные процессы при одинаковом входном ступенчатом воздействии для ПИ и ПИД регуляторов.



Рис. 3- Переходный процесс в системе с ПИ-регулятором

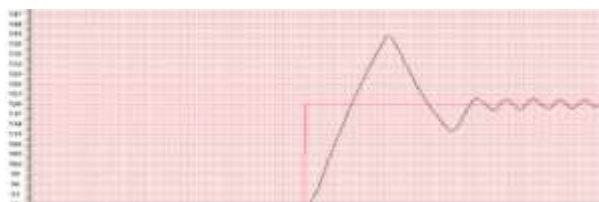


Рис. 4 - Переходные процессы в системе с ПИД-регулятором

Метод на основе генетического алгоритма

Генетические алгоритмы являются мощным инструментом в решении задач управления, в том числе эти методы используются для идентификации объектов управления, поиска оптимальных параметров регулятора и т. д.

Классический генетический алгоритм состоит из следующих шагов [1]:

- выбор исходной популяции хромосом размера N ;
- оценка приспособленности хромосом в популяции;
- проверка условия остановки алгоритма;
- селекция хромосом;
- применение генетических операторов;
- формирование новой популяции;
- переход к пункту 2.

Для проектирования ПИД-регулятора на основе генетического алгоритма исходная популяция хромосом генерируется случайным образом. Эта популяция содержит двоичные строки, где строка

представляет собой пропорциональную, интегральную и дифференциальную часть (K_p , K_i , K_d).

Оценка приспособленности хромосом в популяции для оценки коэффициентов ПИД-регулятора может быть выбрана, к примеру, как минимальное перерегулирование, минимальное время нарастания и т. д.

На рисунке 5 представлена структура алгоритма поиска оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора.

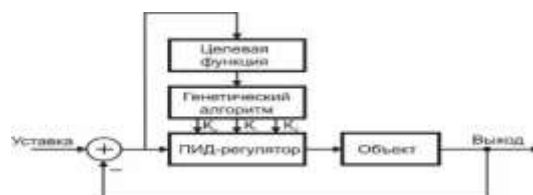


Рис. 5 - Блок схема настройки ПИД-регулятора на основе генетического алгоритма

Коэффициенты регулятора получены в результате моделирования в среде MATLAB:

$$K_p=1.3521; K_i=0.0174; K_d=0.07.$$

На рисунке 6 представлены результаты эксперимента на реальном объекте с полученными коэффициентами ПИД- регулятора

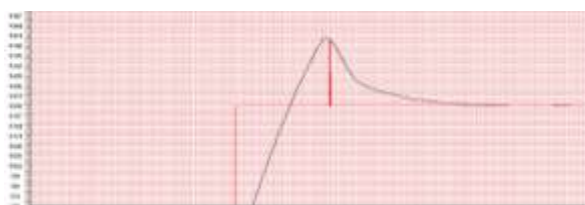


Рис. 6 - Переходный процесс в системе с ПИД-регулятора на основе генетического алгоритма

Самонастройка ПИД-регулятора на основе релейной обратной связи

В работах Астрема и Хаглунда приведен метод самонастройки регулятора [2], который в настоящее время является самым распространённым методом в коммерческих ПИД-регуляторах с автонастройкой. Он использует свойство замкнутой динамической системы с отрицательной обратной связью генерировать незатухающие колебания на частоте фазового сдвига -180° при петлевом усилении $K_{180} \geq 1$. Суть метода достаточно просто и понятно описана в [3].

Алгоритм метода следующий.

В режиме автонастройки в контур отрицательной обратной связи включается релейное звено, благодаря которому возбуждаются незатухающие колебания.

Для полученных незатухающих колебаний рассчитываются:

- период колебаний T_u ;
- коэффициент передачи на границе устойчивости K_u ,

по которым, с использованием эмпирических выражений, определяются коэффициенты регулятора. После чего система переходит в режим регулирования.

Структурная схема самонастройки представлена на рисунке 7.

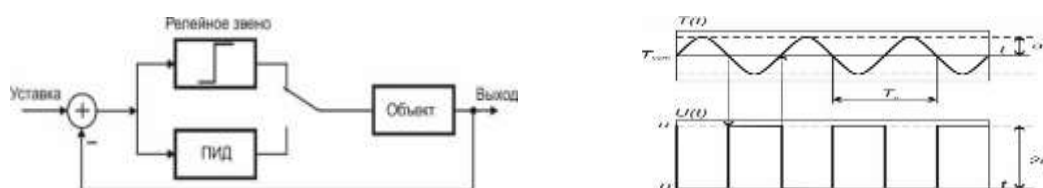


Рис. 7 - Структурная схема самонастройки и диаграмма входных и выходных сигналов на основе релейной обратной связи

Выходной сигнал $T(t)$ представляет собой кривую по форме близкую к синусоиде, которая имеет фазовый сдвиг относительно входного сигнала $u(t)$ равный π . Форма выходного сигнала объясняется тем, что объект является мощным фильтром, существенно ослабляющим высшие гармоники. По сути, на выходе объекта наблюдается первая гармоника от последовательности прямоугольных импульсов на входе.

Период установившихся колебаний T_u определяется непосредственно по графику, коэффициент передачи K_u определяется следующим образом [3].

Если размах прямоугольных импульсов на входе объекта равен $2d$, то амплитуда первой гармоники этих импульсов равна $4d/\pi$. Если обозначить амплитуду первой гармоники выходного сигнала через a , то искомый коэффициент передачи системы будет равен отношению амплитуды на выходе к амплитуде на входе $K_{180} = \frac{\pi a}{4d}$.

Чтобы вывести систему на границу устойчивости необходимо чтобы коэффициент петлевого усиления был равен 1. Это означает, что необходим дополнительный коэффициент K_u , равный

$$K_u = \frac{1}{K_{180}}$$

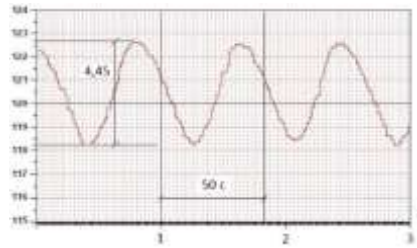


Рис. 9 – Автоколебания в реальной системе при релейном изменении входного сигнала

По графику определяем $T_u \approx 50$ и рассчитываем $K_u=14,15$

Значения параметров регулятора рассчитываются по формулам, приведенным в таблице 3, результаты вычислений приведены в таблице 4.

Таблица 3

Выражения для коэффициентов регулятора

	K	K_i	K_d
ПИ-регулятор	$0,45 \cdot K_u$	$0,54 \cdot K_u / T_u$	
ПИД-регулятор	$0,6 \cdot K_u$	$1,2 \cdot K_u / T_u$	$0,75 \cdot K_u \cdot T_u$

Таблица 4

Расчетные значения коэффициентов регулятора

	K	K_i	K_d
ПИ-регулятор	1,314	0,02252	
ПИД-регулятор	1,752	0,05	15,33

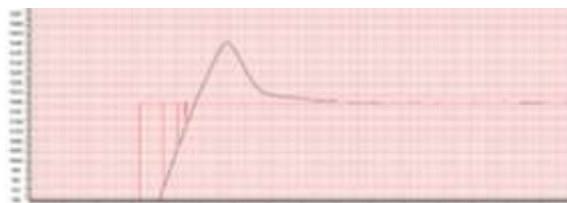


Рис. 10 - Переходный процесс в системе с ПИ-регулятором

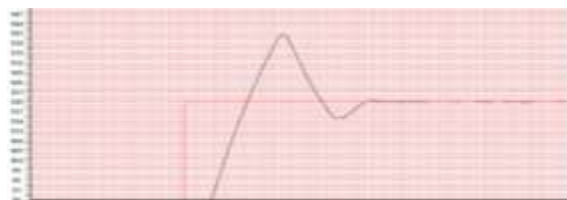


Рис. 11-проходный процесс в системе с ПИД-регулятором

Заключение

В статье проведен сравнительный анализ методов настройки регуляторов системы автоматического управления непрерывным динамическим объектом. Настрой коэффициентов методом Циглера-Никольса без дополнительной интуитивной подстройки даёт очень посредственный результат и для ПИ, и для ПИД-регуляторов (колебательный переходный процесс). Методы настройки коэффициентов на основе генетического алгоритма и релейной обратной связи, хоть и являются более сложными и не всегда реализуемыми на реальном объекте, дают результаты, качественно значительно лучшие, чем первый метод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006. — 383 с.
2. Åström, K.J. Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control [Text] / K.J. Åström, T. Hägglund // Journal of process control. – 2004. – Vol. 14. – N 6. – P. 1163-1175.
3. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. СТА №1/2008, стр. 87-99.
4. Ziegler JG, Nichols NB. Optimum setting for automatic controllers. Trans ASME 1942; 64:759–768.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТАБЛЕТКЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

О. Мендоса

Научный руководитель: Шаманин Игорь Владимирович, д.ф.-м.н. ТПУ
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет

Введение. При эксплуатации энергетического ядерного реактора одной из основных характеристик, определяющей его безаварийную работу, является максимальная температура топлива, достигающаяся при использовании композиционного материала. Высокая температура