



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА**

Кафедра Автоматизации и
управления

АДАПТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по образовательным программам 7М07105 – Автоматизация и управление, 7М07113 – Автоматизация и управление

Алматы 2025 г.

СОСТАВИТЕЛИ: С.С. Жусупбеков, А.Б. Сабырова. Адаптивные технологии идентификации. Методические указания к выполнению лабораторных работ по образовательным программам 7М07105 – Автоматизация и управление, 7М07113 – Автоматизация и управление. – Алматы: АУЭС, 2025. – 45 с.

Методические указания соответствует государственному общеобязательному стандарту образования по направлению подготовки магистрантов, обучающиеся по образовательной программе «Автоматизация и управление».

Методические указания содержат материалы по подготовке к проведению лабораторных работ, описание выполнения каждой лабораторной работы, схемы экспериментальных установок, методику анализа и обработки данных, список рекомендуемой литературы и контрольные вопросы по защите лабораторных работ.

Рецензент: профессор-практик

А.С. Баймаганов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» им. Гумарбека Даукеева на 2025 г.

Лабораторная работа № 1. Идентификация технологических объектов управления

Цель работы:

1. Овладение процедурой определения по кривой разгона коэффициентов дифференциального уравнения объекта второго порядка.
2. Определение передаточной функций объекта управления.

1 Теоретическое введение

В основе современных методов анализа, проектирования и расчета автоматических систем регулирования (АСР) лежит использование моделей, которые описывают свойства и характеристики систем, существенные для решаемых задач управления. Традиционными являются аналитические методы построения моделей. Однако усложнение решаемых задач, расширение круга и увеличение размерности объектов, процессов и систем явились объективными стимулами развития идентификации как специальной методики построения моделей реальных объектов и систем по результатам их экспериментального исследования. Идентификацией называется определение параметров и структуры математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных координат модели и процесса при одинаковых входных воздействиях. Отсюда следует, что процедура идентификации распадается на следующие три этапа:

1. Выбор структуры модели на основании имеющейся априорной информации об исследуемом процессе и некоторых эвристических соображений.
2. Выбор критерия близости объекта и модели, основанный на специфике задачи.
3. Определение параметров модели, оптимальных с точки зрения выбранного критерия близости. Идентификация предполагает, во-первых, использование априорной информации об объекте при определении структуры модели (структурная идентификация), и, во-вторых, обработку данных измерения для получения необходимой апостериорной информации (параметрическая идентификация).

Определение динамических характеристик по переходным функциям. Переходной функцией объекта $h(t)$ называется кривая изменения выходной величины $x(t)$, то есть когда

$$x(t) = \begin{cases} x_0 + A, & \text{при } t \geq 0; \\ x_0, & \text{при } t < 0; \end{cases}$$

где A – постоянная величина;

x_0 – начальное значение входной величины при $t = 0$.

Если объект линейный, то выбор начальных значений x_0 и y_0 не влияет на его динамические свойства и поэтому принимают $x_0 = y_0 = 0$ и ступенчатую функцию определяют как изменение входной величины по закону

$$x(T) = \begin{cases} A, & \text{при } t \geq 0; \\ x_0, & \text{при } t < 0; \end{cases}$$

а переходную функцию $h(t)$ рассматривают как решение независимого дифференциального уравнения, описывающего динамические свойства объекта при нулевых начальных условиях и ступенчатом возмущении. Переходная функция $h(t)$ связана интегральным соотношением с импульсной (весовой) функцией $g(t)$:

$$h(t) = \int_0^{\infty} g(t) dt.$$

Импульсная функция $g(t)$ объекта – это кривая изменения во времени выходной величины $y(t)$ при входном возмущении типа дельта-функции $\delta(t)$:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & \text{при } t=0 \\ 0, & \text{при } t \neq 0 \end{cases}$$

Преобразование по Лапласу дельта-функции $L\{\delta(t)\} = 1$, поэтому $L\{g(t)\} = W(p)$, то есть является передаточной функцией объекта. Экспериментально $g(t)$ найти невозможно, но ее можно вычислить путем дифференцирования переходной функции:

$$g(t) = \frac{dh(t)}{dt}.$$

Наиболее распространенными типовыми воздействиями являются: ступенчатое, импульсное и гармоническое воздействия. Любой сигнал $u(t)$, имеющий сложную форму, можно разложить на сумму типовых воздействий $u_i(t)$ и исследовать реакцию системы на каждую из составляющих, а затем, пользуясь принципом суперпозиции, получить результирующее изменение выходной величины $y(t)$, суммируя полученные таким образом составляющие выходного сигнала $y_i(t)$. Особенно важно ступенчатое воздействие

$$1(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t \geq 0; \\ 0, & \text{при } t < 0. \end{cases}$$

Идентификация объекта управления.

Для обеспечения устойчивой работы САУ с удовлетворительными показателями качества управления требуется рассчитать оптимальные значения параметров регулирующего устройства. Для этого, в первую очередь, необходимо определить статические и динамические характеристики объекта управления. /1/

Типовые модели объектов управления.

В общем виде объект управления рассматривается как звено, имеющее выходную координату $y(t)$, которая является управляемой переменной, и входную переменную $x(t)$, которая является управляющим воздействием. Математической моделью объекта является выражение, определяющее зависимость между выходной и входной переменными:

$$y(t)=F[x(t)];$$

иначе модель объекта может быть представлена его передаточной функцией /2/:

$$W_0(s) = \frac{Y(s)}{X(s)},$$

где s – оператор Лапласа;

$X(s)$ – изображение входной переменной в операторной форме;

$Y(s)$ – изображение выходной координаты в операторной форме.

На практике объект управления обычно аппроксимируется звеном с передаточной функцией не выше 2-го порядка с запаздыванием /3/.

Типовые уравнения, описывающие объект управления с самовывравниванием, могут быть представлены в виде дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами /1, 3/.

Для объекта 1-го порядка с запаздыванием:

$$T_0 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 x(t - \tau_0) \quad (1.1)$$

где T_0 – постоянная времени;

τ_0 – время запаздывания;

k_0 – коэффициент передачи объекта по каналу управления.

Для объекта 2-го порядка с разными постоянными времени:

$$T_{01} \cdot T_{02} \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (T_{01} + T_{02}) \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 x(t - \tau_0) \quad (1.2)$$

где T_{01} и T_{02} – постоянные времени.

Для объекта 2-го порядка с одинаковыми постоянными времени:

$$T_0^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2T_0 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 x(t - \tau_0). \quad (1.3)$$

Передаточные функции, соответствующие уравнениям (1.1)÷(1.3) имеют вид:

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-\tau_0 s}}{T_0 s + 1}; \quad (1.4)$$

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-\tau_0 s}}{(T_{01} s + 1)(T_{02} s + 1)}; \quad (1.5)$$

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-\tau_0 s}}{(T_0 s + 1)^2} \quad (1.6)$$

Поскольку объект в диапазоне отклонений выходной и входной переменных от их программных значений рассматривается как линейный, его статическая характеристика задается коэффициентом передачи k_0 , а параметрами динамических характеристик объекта являются значения постоянных времени T_0 , T_{01} , T_{02} и времени запаздывания τ_0 /1/. При отсутствии запаздывания в выражениях (1.1)÷(1.6) $\tau_0=0$.

Определение характеристик объекта управления.

Наиболее распространенным и эффективным способом определения статических и динамических характеристик объекта является исследование реакции объекта управления на скачкообразное изменение входной переменной. /3/

Пример реакции объекта управления на скачкообразное изменение входной переменной приведен на рис. 1.1.

Как правило, реальный объект описывается уравнением достаточно высокого порядка, но относительно больших (доминирующих) постоянных времени – одна или две. Поэтому, получив реакцию объекта на скачок управляющего воздействия, можно аппроксимировать полученную кривую переходного процесса уравнением 1-го или 2-го порядка с запаздыванием и определить его коэффициенты.

Порядок определения параметров динамических характеристик объекта управления по экспериментальным переходным функциям.

1. Задается скачок управляющего воздействия на входе объекта управления с фиксацией начального значения $x(t_0)$ и конечного значения $x(\infty)$. Скачок подается в момент, когда объект находится в стационарном состоянии. Величина скачка подбирается экспериментально таким образом, чтобы реакция на него выходной переменной составляла 80÷90%, но не выходила из его диапазона измерения.

2. Регистрируется реакция объекта $y(t)$ на скачок $\Delta x = x(\infty) - x(t_0)$. При этом необходимо зафиксировать момент подачи скачка Δx . Переходный процесс получается в виде графика. Размер получившегося графика должен быть таким, чтобы обеспечивалась приемлемая погрешность (2÷3%) измерений. Обычно для этого достаточно длины графика 300÷500 мм. Процесс регистрируется до достижения установившегося режима.

3. Определяется "чистое" запаздывание τ_0 из условия, что при $(t - t_0) \leq \tau$, $y(t) \cong y(t_0)$.

4. Определяется коэффициент передачи объекта k_0 по значениям входной и выходной переменных в установившихся режимах:

$$k_0 = \frac{y(\infty) - y(t_0)}{x(\infty) - x(t_0)} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y(\infty) - y(t_0)}{\Delta x} \quad (1.7)$$

5. Определяется значение времени t_7 , при котором $y(t) = y_7 = 0,7k_0 \Delta x + y(t_0)$, а затем определяют $\Theta_7 = t_7 - t_0 - \tau$.

6. Находится значение $y(t) = y_2$ в момент времени $t_2 = t_0 + \tau + \Theta_7/3$ и определяется значение $\bar{y}_2 = \frac{y_2 - y(0)}{k_0 \Delta x}$. Если $\bar{y}_2 > 0,33$, то объект управления

аппроксимируется уравнением 1-го порядка (1.1) и дальнейший порядок определения характеристик изложен в п. 7. Если $0,19 < \bar{y}_2 \leq 0,33$, то объект аппроксимируется уравнением 2-го порядка с разными постоянными времени (1.2) и порядок определения характеристик изложен в п. 8. Если $\bar{y}_2 \leq 0,19$, то объект аппроксимируется уравнением 2-го порядка с одинаковыми постоянными времени и порядок определения характеристик изложен в п. 9.

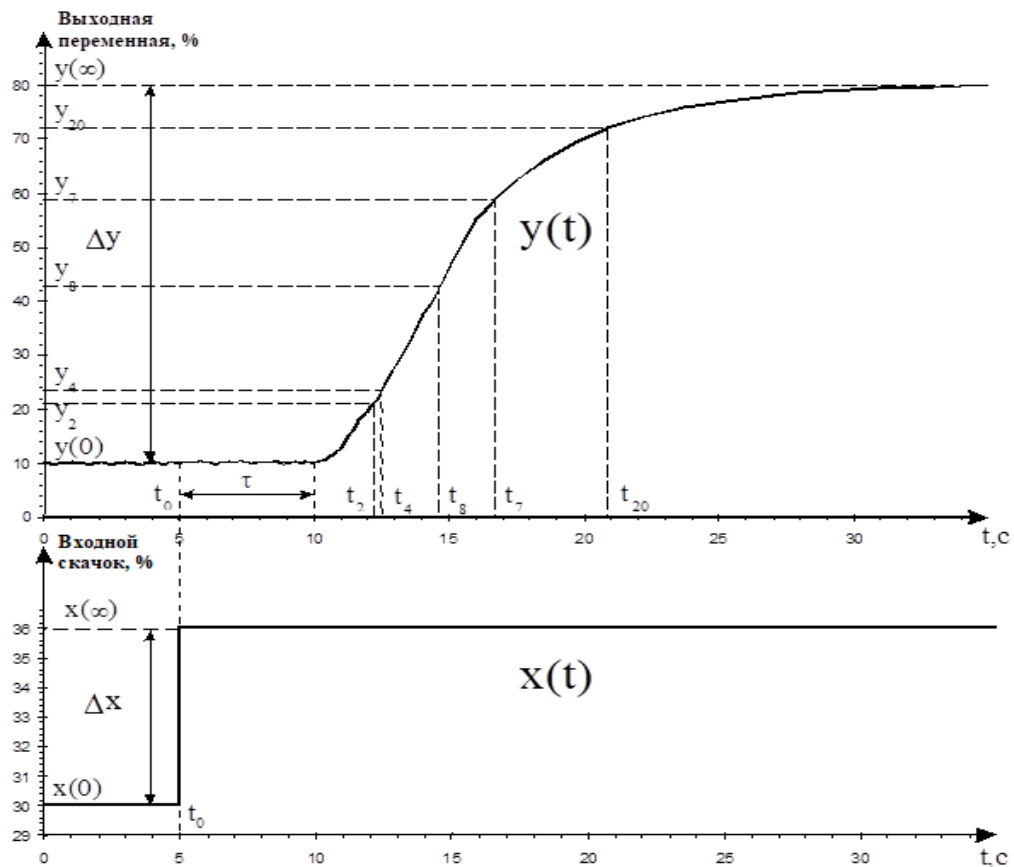


Рисунок 1.1 – Переходная характеристика

7. Объект при $\bar{y}_2 > 0,33$ аппроксимируется уравнением 1-го порядка (1.1), решение которого для переходного процесса при подаче скачкообразного воздействия величины Δx имеет вид /1/:

$$y(t) = y(t_0) + k_0 \cdot \Delta x (1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{T_0}}), \quad t \geq t_0, \quad t_0 = 0; \quad (1.8)$$

здесь k_0 определяется в соответствии с п. 4.

Для определения динамических характеристик находят значение времени t_3 , при котором $y(t) = y_3 = 0,33k_0 \cdot \Delta x + y(t_0)$, и вычисляют значение $\Theta_3 = t_3 - t_0 - \tau$. Затем определяют динамические характеристики /3/:

$$\tau_0 = \tau + 0,5 \cdot (3\Theta_3 - \Theta_7);$$

$$\text{и } T_0 = 1,25 \cdot (\Theta_7 - \Theta_3),$$

где τ – "чистое" запаздывание, определенное в п. 3, Θ_7 определено в п. 5.

Таким образом, для объекта 1 порядка найдены все необходимые характеристики: k_0 , T_0 и τ_0 .

Для проверки правильности определения характеристик можно сравнить кривые переходного процесса и кривую, вычисленную по выражению (1.8). При расчете необходимо учесть условия по времени и соответствующий сдвиг по этой координате.

8. Объект при $0,19 < y_2 \leq 0,33$ аппроксимируется уравнением 2-го порядка (1.2), решение которого для переходного процесса при подаче скачкообразного воздействия величины Δx имеет вид /1/:

$$y(t) = y(t_0) + k_0 \Delta x \left(1 - \frac{T_{01}}{T_{01} - T_{02}} e^{-(t - \tau_0) / T_{01}} + \frac{T_{02}}{T_{01} - T_{02}} e^{-(t - \tau_0) / T_{02}} \right) \quad (1.9)$$

где k_0 определяется в соответствии с п. 4;

$\tau_0 = \tau$, где τ определяется в соответствии с п. 3;

$$T_{01} = \frac{\Theta_7}{2,4} \left(1 + 2,54 \sqrt{\bar{y}_2 - 0,19} \right);$$

$$T_{02} = \frac{\Theta_7}{2,4} \left(1 - 2,54 \sqrt{\bar{y}_2 - 0,19} \right);$$

Θ_7 – определенное в п. 5; \bar{y}_2 – определенное в п. 6.

Для проверки правильности определения характеристик сравнивают значения кривой переходного процесса и значений аппроксимирующей кривой, полученной по выражению (1.9), при значении времени $t_8 = t_0 + \tau_0 + 0,8(T_{01} + T_{02})$ и $t_{20} = t_0 + \tau_0 + 2(T_{01} + T_{02})$. При правильном определении характеристик значения должны совпадать в пределах допустимой погрешности.

9. Объект при $\bar{y}_2 \leq 0,19$ аппроксимируется уравнением 2-го порядка с одинаковыми постоянными времени с запаздыванием (1.3). Решение этого уравнения для переходного процесса при подаче скачкообразного воздействия величины Δx имеет вид /1/:

$$y(t) = y(t_0) + k_0 \cdot \Delta x \left(1 - \left(1 + \frac{t - \tau_0}{T_0} \right) e^{-\frac{(t - \tau_0)}{T_0}} \right), \quad t > \tau_0, \quad t_0 = 0; \quad (1.10)$$

где k_0 определяется в соответствии с п. 4.

Для определения динамических характеристик находят значение времени t_4 , при котором

$$y(t) = y_4 = 0,19k_0 \cdot \Delta x + y(t_0),$$

и вычисляют значение $\Theta_4 = t_4 - t_0 - \tau$. Затем определяют время запаздывания:

$$\tau_0 = \tau + 0,5(3\Theta_4 - \Theta_7);$$

где τ – определено по п. 3; Θ_7 – определено по п. 4 и постоянную времени:

$$T_0 = 0,625(\Theta_7 - \Theta_4).$$

Для проверки правильности определения характеристик сравнивают значения кривой переходного процесса и значений аппроксимирующей кривой, полученной по выражению (1.10) для значений времени $t_8 = t_0 + \tau_0 + 1,6T_0$ и $t_{20} = t_0 + \tau_0 + 4T_0$. При правильном определении характеристик значения должны совпадать в пределах допустимой погрешности.

Пример определения характеристик технологического объекта управления по экспериментальной переходной функции (кривой разгона).

На рис. 1.1 приведен пример реакции объекта управления на скачок входного воздействия. В данном случае входным воздействием является значение, отображаемое на подключенном к входу объекта управления измерительном приборе, шкала которого проградуирована в процентах (%). Выходной переменной является значение, отображаемое на подключенном к выходу объекта измерительном приборе, шкала которого также проградуирована в процентах (%). Таким образом, коэффициент передачи идентифицируемого объекта будет величиной безразмерной.

В соответствии с методикой определим параметры объекта управления.

1. Скачок входного воздействия подан в момент t_0 , когда объект находится в стационарном состоянии.

2.. Момент подачи скачка $t_0 = 5$ с.

3. Определим чистое запаздывание τ . В соответствии с рис. 1.1 $\tau = 5$ с.

4. Определим коэффициент передачи объекта k_0 :

$$k_0 = \frac{y(\infty) - y(t_0)}{x(\infty) - x(t_0)} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{80 - 10}{36 - 30} = 11,7.$$

5. Определим значение t_7 для значения

$$y_7 = 0,7 \cdot 11,7 \cdot 6 + 10 = 59,14 [с].$$

t_7 для этого значения в соответствии с рис. 1.1 соответствует 16,7с.

$$\Theta_7 = t_7 - t_0 - \tau = 16,7 - 5 - 5 = 6,7 [с].$$

6. Определим значение y_2 в момент времени:

$$t_2 = t_0 + \tau + \Theta/3 = 5 + 5 + 6,7/3 = 12,23[\text{с}].$$

По рис. 1.1 находим $y_2 = 21,15\%$,

$$\bar{y}_2 = \frac{y_2 - y(0)}{k_0 \Delta x} = \frac{21,15 - 10}{11,7 \cdot 6} = 0,159.$$

$\bar{y}_2 < 0,19$, поэтому объект аппроксимируем уравнением 2-го порядка (1.3) с одинаковыми постоянными времени в соответствии с п. 9 методики.

Находим значение t_4 , при котором

$$y(t) = y_4 = 0,19 \cdot k_0 \Delta x + y(t_0) = 0,19 \cdot 11,7 \cdot 6 + 10 = 23,34[\%].$$

По рис. 1.1 находим $t_4 = 12,5[\text{с}]$. Вычисляем Θ_4 :

$$\Theta_4 = t_4 - t_0 - \tau = 12,5 - 5 - 5 = 2,5[\text{с}].$$

Определим время запаздывания объекта:

$$\tau_0 = \tau + 0,5(3\Theta_4 - \Theta_7) = 5 + 0,5(3 \cdot 2,5 - 6,7) = 5,4[\text{с}].$$

Определим постоянную времени объекта:

$$T_0 = 0,625(\Theta_7 - \Theta_4) = 0,625(6,7 - 2,5) = 2,625[\text{с}].$$

Таким образом по экспериментальной кривой определили, что объект управления может быть описан передаточной функцией

$$W_0 = \frac{11,7 \cdot e^{-5,4 \cdot s}}{(2,63 \cdot s + 1)^2}.$$

Проведем проверку правильности определения характеристик. Для этого определим значение $y(t)$ для значений t_8 и t_{20} . Находим:

$$t_8 = t_0 + \tau_0 + 1,6T_0 = 5 + 5,4 + 1,6 \cdot 2,63 = 14,61[\text{с}];$$

$$t_{20} = t_0 + \tau_0 + 4T_0 = 5 + 5,4 + 4 \cdot 2,63 = 20,93[\text{с}].$$

По рис.1.1 находим

$$y_8=42,5[\%],$$

$$y_{20}=72[\%].$$

С учетом требуемых начальных условий, по выражению (1.10) находим y'_8 для $t'_8=\tau_0+1,6T_0=5,4+1,6\cdot 2,63=9,61$ [с] и y'_{20} для $t'_{20}=\tau_0+4T_0=5,4+4\cdot 2,63=15,92$ [с]. t'_8 и t'_{20} определены из условия $t_0=0$.

В этом случае

$$y(t) = y(t_0) + k_0 \cdot \Delta x \left(1 - \left(1 + \frac{t - \tau_0}{T_0} \right) e^{-\frac{t - \tau_0}{T_0}} \right),$$

$$y'_8 = 10 + 11,7 \cdot 6 \cdot \left[1 - \left(1 + \frac{9,61 - 5,4}{2,63} \right) e^{-\frac{9,61 - 5,4}{2,63}} \right] = 43,37 [\%],$$

$$y'_{20} = 10 + 11,7 \cdot 6 \cdot \left[1 - \left(1 + \frac{15,92 - 5,4}{2,63} \right) e^{-\frac{15,92 - 5,4}{2,63}} \right] = 73,6 [\%].$$

Величина ошибки в первом случае:

$$\delta y_8 = \frac{|y_8 - y'_8|}{\Delta y} \cdot 100\% = \frac{|42,25 - 43,37|}{70} \cdot 100\% = 1,6\% ,$$

во втором случае:

$$\delta y_{20} = \frac{|72 - 73,6|}{70} \cdot 100\% = 2,3\% .$$

Таким образом, можно утверждать, что погрешность адекватности модели объекту управления не превышает 2,5%, что для практического использования является хорошим результатом.

2 Задание и порядок выполнения работы

1. По заданным преподавателем экспериментальным данным $x(t)$, указанным в таблице 1, строить кривую разгона объекта.

2. Вычислить ординаты переходной функции.

3. Провести идентификацию модели объекта управления.

Содержание отчета

1. Наименование и цель лабораторной работы.

2. Исходные данные $x(t)$ в виде таблицы и графика кривой разгона.

3. Результаты выполнения вычислительной процедуры; ординаты переходной функции $y(t)$, рассчитанные по математической модели, в виде таблицы и графика в той же системе координат, что и кривая разгона $x(t)$.

3 Контрольные вопросы

1. Что понимается под идентификацией?

2. Какой вид имеет дифференциальное уравнение объекта второго порядка?

3. Какой критерий оптимальности используется при оценке коэффициентов уравнения второго порядка?

4. Какой физический смысл имеет показатель адекватности математической модели объекта?

5. Что понимается под адекватностью модели объекта?

6. Как производится получение кривой разгона экспериментальным методом (активный эксперимент)?

7. Как осуществляется приведение кривой разгона к нормированной?

| № п/п | Время t, с | Варианты заданий и ординаты кривой разгона | | | | | | |
|-------|------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 0,5 | 0,055 | 0,050 | 0,055 | 0,070 | 0,055 | 0,050 | 0,147 |
| 3 | 1,0 | 0,155 | 0,145 | 0,150 | 0,185 | 0,150 | 0,135 | 0,323 |
| 4 | 1,5 | 0,270 | 0,255 | 0,265 | 0,310 | 0,265 | 0,245 | 0,484 |
| 5 | 2,0 | 0,385 | 0,365 | 0,380 | 0,430 | 0,380 | 0,355 | 0,620 |
| 6 | 2,5 | 0,500 | 0,470 | 0,480 | 0,535 | 0,480 | 0,460 | 0,725 |
| 7 | 3,0 | 0,596 | 0,565 | 0,575 | 0,625 | 0,575 | 0,555 | 0,805 |
| 8 | 3,5 | 0,680 | 0,645 | 0,655 | 0,700 | 0,655 | 0,640 | 0,863 |
| 9 | 4,0 | 0,755 | 0,745 | 0,720 | 0,760 | 0,720 | 0,710 | 0,905 |
| 10 | 4,5 | 0,810 | 0,775 | 0,775 | 0,810 | 0,775 | 0,770 | 0,935 |
| 11 | 5,0 | 0,860 | 0,820 | 0,820 | 0,850 | 0,820 | 0,820 | 0,955 |
| 12 | 5,5 | 0,895 | 0,860 | 0,860 | 0,885 | 0,860 | 0,860 | 0,970 |

| | | | | | | | | |
|----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 13 | 6,0 | 0,925 | 0,890 | 0,885 | 0,910 | 0,885 | 0,895 | 0,979 |
| 14 | 6,5 | 0,945 | 0,915 | 0,910 | 0,930 | 0,910 | 0,920 | 0,987 |
| 15 | 7,0 | 0,965 | 0,935 | 0,930 | 0,945 | 0,930 | 0,940 | 0,992 |
| 16 | 7,5 | 0,975 | 0,950 | 0,945 | 0,955 | 0,945 | 0,955 | 0,995 |
| 17 | 8,0 | 0,985 | 0,960 | 0,955 | 0,965 | 0,955 | 0,965 | 0,997 |
| 18 | 8,5 | 0,990 | 0,970 | 0,965 | 0,975 | 0,965 | 0,975 | 0,998 |
| 19 | 9,0 | 0,995 | 0,980 | 0,975 | 0,980 | 0,975 | 0,985 | 0,999 |
| 20 | 9,5 | 0,997 | 0,985 | 0,980 | 0,985 | 0,980 | 0,990 | 1,000 |
| 21 | 10,0 | 1,000 | 0,985 | 0,985 | 0,990 | 0,985 | 0,992 | |
| 22 | 10,5 | | 0,990 | 0,990 | 0,995 | 0,990 | 0,995 | |
| 23 | 11,0 | | 0,995 | 0,992 | 0,998 | 1,000 | 1,000 | |
| 24 | 11,5 | | 0,998 | 0,993 | 0,999 | | | |
| 25 | 12,0 | | 1,000 | 0,995 | 1,000 | | | |
| 26 | 12,5 | | | 0,996 | | | | |
| 27 | 13,0 | | | 0,997 | | | | |
| 28 | 13,5 | | | 1,000 | | | | |

| № п/п | Время t,с | Варианты заданий и ординаты кривой разгона | | | | | | |
|----------|--------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 1,0 | 0,065 | 0,143 | 0,138 | 0,139 | 0,165 | 0,113 | 0,160 |
| 3 | 2,0 | 0,175 | 0,314 | 0,306 | 0,300 | 0,544 | 0,403 | 0,343 |
| 4 | 3,0 | 0,295 | 0,474 | 0,465 | 0,452 | 0,785 | 0,640 | 0,508 |
| 5 | 4,0 | 0,415 | 0,608 | 0,598 | 0,582 | 0,906 | 0,796 | 0,642 |
| 6 | 5,0 | 0,525 | 0,714 | 0,705 | 0,687 | 0,960 | 0,888 | 0,745 |
| 7 | 6,0 | 0,615 | 0,794 | 0,786 | 0,769 | 0,984 | 0,940 | 0,820 |
| 8 | 7,0 | 0,695 | 0,854 | 0,847 | 0,831 | 0,993 | 0,968 | 0,875 |
| 9 | 8,0 | 0,760 | 0,897 | 0,893 | 0,878 | 0,997 | 0,983 | 0,914 |
| 10 | 9,0 | 0,815 | 0,928 | 0,924 | 0,913 | 0,998 | 0,991 | 0,941 |
| 11 | 10,0 | 0,855 | 0,950 | 0,948 | 0,938 | 0,999 | 0,995 | 0,959 |
| 12 | 11,0 | 0,890 | 0,966 | 0,963 | 0,956 | 1,000 | 0,997 | 0,972 |
| 13 | 12,0 | 0,915 | 0,976 | 0,975 | 0,969 | | 0,998 | 0,981 |
| 14 | 13,0 | 0,940 | 0,984 | 0,983 | 0,978 | | 0,999 | 0,987 |
| 15 | 14,0 | 0,955 | 0,989 | 0,989 | 0,985 | | 1,000 | 0,991 |
| 16 | 15,0 | 0,970 | 0,992 | 0,993 | 0,989 | | | 0,994 |
| 17 | 16,0 | 0,985 | 0,995 | 0,996 | 0,993 | | | 0,996 |
| 18 | 17,0 | 0,990 | 0,997 | 0,997 | 0,996 | | | 0,997 |
| 19 | 18,0 | 0,995 | 0,998 | 0,998 | 0,997 | | | 0,998 |
| 20 | 19,0 | 1,000 | 0,999 | 0,999 | 0,998 | | | 0,999 |
| 21 | 20,0 | | 1,000 | 1,000 | 0,999 | | | 1,000 |
| 22 | 21,0 | | | | 1,000 | | | |

Лабораторная работа № 2. Изучение метода Циглера – Никольса

Цель работы. Целью работы является изучение метода Циглера – Никольса для расчета параметров П-, ПИ- и ПИД-регуляторов и сравнительное исследование системы автоматического регулирования (САР) с различными типами регуляторов.

1 Типовые регуляторы

Операторно-структурная схема САР показана на рис. 2.1.

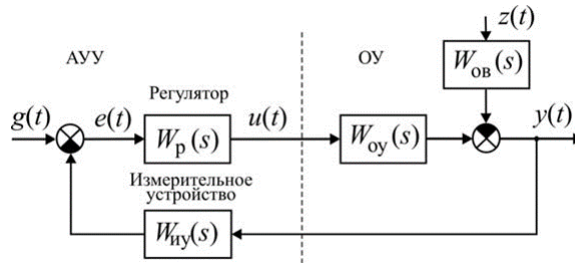


Рисунок 2.1 – Операторно-структурная схема САР

Одномерный объект управления с одним управляющим $u(t)$ и одним возмущающим $z(t)$ воздействиями описывается уравнением

$$y(t) = W_{Oy}(p) u(t) - W_{Oz}(p) z(t),$$

где $y(t)$ – регулируемая величина;

$W_{Oy}(p)$ – оператор, совпадающий с передаточной функцией $W_{Oy}(s)$ объекта по управляющему воздействию;

$W_{Oz}(p)$ – оператор, совпадающий с передаточной функцией $W_{Oz}(s)$ объекта по возмущающему воздействию.

Автоматическое управляющее устройство состоит из измерительного устройства, элемента сравнения и регулятора. Измерительное устройство осуществляет преобразование регулируемой переменной $y(t)$ в переменную, удобную для сравнения с задающим воздействием $g(t)$. Измерительное устройство может обладать инерционными свойствами, поэтому в общем случае описывается передаточной функцией $W_{иу}(s)$.

Если измерительное устройство является безынерционным, то ошибка

$$e(t) = g - k_{иу} y(t),$$

$k_{иу}$ коэффициент передачи измерительного устройства.

Регулятор, на вход которого поступает сигнал ошибки $e(t)$, формирует управляющее воздействие $u(t)$ непосредственно на объект управления (регулирующий орган объекта управления) в соответствии с заданным алгоритмом (законом) управления. Алгоритм управления описывается передаточной функцией $W_p(s)$.

Выбор алгоритма управления является основной задачей в процессе проектирования САУ. Синтез регуляторов, дающих наилучшие показатели качества управления, как правило, представляет собой сложную задачу. С другой стороны, ввиду сложности и реализация таких регуляторов часто оказывается экономически неоправданной. Во многих случаях для автоматизации производственных процессов используются простейшие и наиболее распространенные типы линейных регуляторов.

Пропорциональный регулятор (П-регулятор).

Управляющее воздействие $u(t)$, формируемое в регуляторе, пропорционально сигналу ошибки $e(t)$:

$$u(t) = k_{\text{п}} \cdot e(t),$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент передачи регулятора.

Передаточная функция регулятора равна:

$$W(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_{\text{п}}.$$

Если объект управления не содержит интегрирующих звеньев, то система с П-регулятором является статической. Регулирование в этом случае характеризуется наличием статической ошибки, уменьшение которой ограничено условиями устойчивости.

Пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор).

Управляющее воздействие $u(t)$, формируемое на выходе регулятора, содержит пропорциональную и интегральную составляющие:

$$u(t) = k_{\text{п}} \cdot e(t) + k_{\text{и}} \int_0^t e(\tau) d\tau.$$

Здесь $k_{\text{и}}$ – коэффициент передачи для интегральной составляющей.

Передаточная функция регулятора равна:

$$W(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_{\text{п}} + \frac{k_{\text{и}}}{s} = \frac{k_{\text{п}}s + k_{\text{и}}}{s}.$$

Достоинством ПИ-регулятора является то, что он устраняет статическую ошибку, обусловленную возмущением. Однако введение интегральной составляющей в регулятор ухудшает условия устойчивости.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор).

Управляющее воздействие $u(t)$, формируемое регулятором, содержит, кроме пропорциональной и интегральной составляющих, третью составляющую, пропорциональную производной сигнала ошибки

Метод Циглера – Никольса настройки параметров регулятора

Этот метод, предложенный в 1943 г., относится к эмпирическим и основан на использовании данных, полученных экспериментально на реальном объекте. Наибольшую известность получили два варианта настройки параметров регулятора по методу Циглера – Никольса.

Первый вариант основан на использовании запасов устойчивости. В этом варианте процедура настройки начинается с экспериментального исследования системы, состоящей из П-регулятора и заданного объекта регулирования.

Коэффициент передачи k_p П-регулятора увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой колебаний, то есть система не окажется на границе устойчивости. Фиксируется и обозначается через k_p^* значение коэффициента передачи регулятора, при котором система находится на границе устойчивости. Измеряется период T^* установившихся в системе колебаний.

Значения параметров регулятора выбранного типа рассчитываются по формулам, приведенным в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры типовых регуляторов

| Регулятор | k_p | k_i | k_d |
|---------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| П-регулятор | $0,50 \cdot k_p^*$ | | |
| ПИ-регулятор | $0,45 \cdot k_p^*$ | $0,54 \cdot k_p^* / T^*$ | |
| ПИД-регулятор | $0,60 \cdot k_p^*$ | $1,2 \cdot k_p^* / T^*$ | $0,075 \cdot k_p^* / T^*$ |

Недостатком этого варианта метода Циглера – Никольса является необходимость выводить систему на границу устойчивости, что для многих объектов управления делать не рекомендуется.

Во *втором варианте* метода Циглера – Никольса используется реакция объекта на ступенчатое изменение управляющего воздействия. Эту характеристику объекта обычно называют кривой разгона. Объекты управления, имеющие апериодическую кривую разгона, как на рис. 2.2, представляются в виде последовательного соединения апериодического и запаздывающего звеньев.

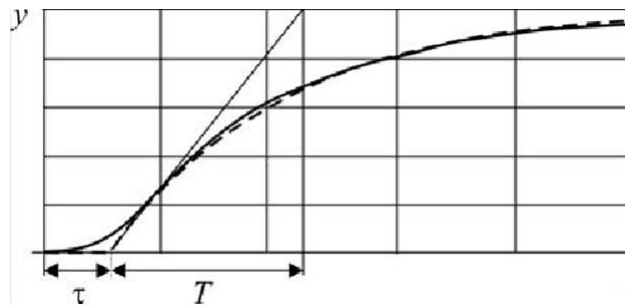


Рисунок 2.2 – Реакция объекта управления на ступенчатое воздействие

В этом случае передаточная функция объекта имеет вид:

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

Где k – коэффициент передачи,

T – постоянная времени,

τ – время запаздывания. Значения параметров регулятора рассчитываются

Таблица 2.2 – Регуляторы

| Регулятор | k_{Π} | k_{Π} | $k_{\text{Д}}$ |
|---------------|---------------|-----------------|----------------|
| П-регулятор | $T/k\tau$ | | |
| ПИ-регулятор | $0,9 T/k\tau$ | $0,3T/ k\tau^2$ | |
| ПИД-регулятор | $1,2 T/k\tau$ | $0,6T/ k\tau^2$ | $0,6T/ k$ |

непосредственно по значениям параметров k , T , τ . Формулы для расчета параметров регулятора приведены в табл. 2.2. Метод дает удовлетворительные результаты, если $0,15 < \tau/T < 0,6$.

Регуляторы, параметры которых рассчитаны по методу Циглера – Никольса, не всегда обеспечивают требуемое качество процесса регулирования. Как правило, требуется дополнительная подстройка их параметров. Несмотря на это, метод Циглера – Никольса и некоторые его модификации весьма популярны и многие производители регуляторов рекомендуют их для настройки регуляторов.

Основное внимание в лабораторной работе уделяется оценке качества подавления возмущающего воздействия, а именно статической ошибке и прямым показателям качества при ступенчатом изменении возмущения $z(t)$.

Для исследования предлагаются два варианта объекта управления.

1. Первый вариант объекта управления описывается передаточными функциями:

$$W_{oy}(s) = \frac{k_{oy}}{(T_1s+1)^2(T_2s+1)}; W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$$

2. Второй вариант объекта управления содержит запаздывающее звено, его передаточные функции записываются в следующем виде:

$$W_{oy}(s) = \frac{k_{oy}}{(Ts+1)} e^{-\tau s}; W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(Ts+1)} e^{-\alpha \tau s},$$

где α – постоянный коэффициент ($0 < \alpha < 1$).

Передаточная функция измерительного устройства $W_{иу}(s) = k_{иу} = 1$.

На рис. 2.3 приведена схема модели системы со вторым вариантом объекта управления. Если исследуется система управления с первым вариантом объекта, в схему требуется внести соответствующие изменения.

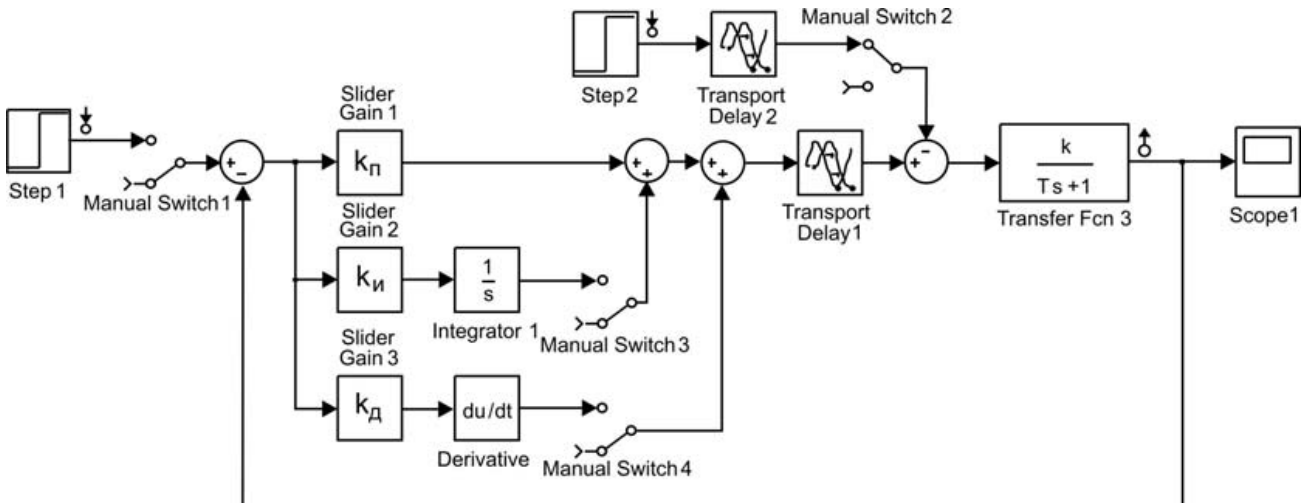


Рисунок 2.3 – Схема моделирования

Для удобства исследования системы с различными типами регуляторов и различными видами внешних воздействий в схему моделирования введены ручные переключатели Manual Switch. Однако при желании для каждого варианта исследования можно создать и свою модель.

Примечание. Вариант объекта управления и параметры передаточных функций для выполнения лабораторной работы приведены в таблице 2.1.

Программа 1.

1. Составить в среде моделирования MatLab+Simulink модель системы с типовыми регуляторами согласно схеме на рис. 2.3.

2. Найти экспериментально значение $k_{п}^*$, при котором система с пропорциональным регулятором находится на колебательной границе устойчивости. Измерить период T^* установившихся в системе колебаний.

Примечание. Данный пункт программы выполняется при условии, что в лабораторной работе исследуется система с первым вариантом объекта управления и используется первый вариант метода Циглера – Никольса.

3. Рассчитать по методу Циглера – Никольса и установить на модели значение коэффициента передачи П-регулятора. Пронаблюдать и зафиксировать распределение полюсов и нулей системы и реакцию системы на ступенчатое изменение возмущения $z(t)=I(t)$. Определить степень устойчивости системы. Определить показатели качества:

- 1) статическую ошибку;
- 2) максимальное отклонение регулируемой величины;
- 3) время регулирования.

4. Рассчитать по методу Циглера – Никольса и установить на модели значения коэффициентов передачи ПИ-регулятора. Пронаблюдать и зафиксировать распределение полюсов и нулей и реакцию системы на ступенчатое изменение возмущения системы $z(t)=I(t)$. Определить степень устойчивости системы. Определить показатели качества:

- 1) статическую ошибку;
- 2) максимальное отклонение регулируемой величины;
- 3) время регулирования.

5. Рассчитать по методу Циглера – Никольса и установить на модели значения коэффициентов передачи ПИД-регулятора. Пронаблюдать и зафиксировать распределение полюсов и нулей, а также реакцию системы на ступенчатое изменение возмущения $z(t)=I(t)$. Определить степень устойчивости системы. Определить показатели качества:

- 1) статическую ошибку;
- 2) максимальное отклонение регулируемой величины;
- 3) время регулирования.

6. Сравнить показатели качества процессов регулирования в П-, ПИ- и ПИД-регуляторах и сделать выводы.

7. Изменяя значения коэффициентов передачи ПИД-регулятора в сторону уменьшения и увеличения, найти такие их значения, которые обеспечивают лучшее качество процесса управления. Объяснить полученный результат.

2 Варианты заданий

Виды передаточных функций:

$$W_{oy}(s) = \frac{k_{oy}}{(T_1s+1)^2(T_2s+1)}; W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$$

Таблица 2.3 – Варианты заданий

| № варианта | k_{OB} | T | k_{Oy} | T_2 | T_1 |
|------------|----------|-----|----------|-------|-------|
| 1 | 1 | 2 | 2 | 9 | 2 |
| 2 | 1 | 7 | 1.5 | 6 | 1 |
| 3 | 1.7 | 9 | 1.3 | 7 | 2 |
| 4 | 2 | 4 | 1 | 14 | 3 |
| 5 | 1 | 12 | 1.5 | 12 | 2 |
| 6 | 2 | 3 | 0.8 | 10 | 2.5 |
| 7 | 2 | 8 | 4 | 21 | 4 |
| 8 | 2.2 | 6 | 1 | 19 | 3 |
| 9 | 3 | 4 | 2.5 | 11 | 4 |
| 10 | 1.5 | 8 | 1 | 10 | 3 |
| 11 | 1.3 | 6 | 3 | 13 | 1.5 |
| 12 | 2.5 | 1 | 2 | 16 | 2.7 |

Виды передаточных функций:

$$W_{Oy}(s) = \frac{k_{Oy}}{(Ts+1)} e^{-\tau s}; W_{OB}(s) = \frac{k_{OB}}{(Ts+1)} e^{-\alpha \tau s}$$

$$K = k_{Oy} = k_{OB}, T = T_1, \alpha = 0,5.$$

| Номер варианта | Параметры передаточной функции $W_0(p) = \frac{Ke^{-p\tau}}{T_1 p + 1}$ | | |
|----------------|---|-------|--------|
| | K | T_1 | τ |
| 1 | 1 | 3,14 | 0,5 |
| 2 | 1 | 3,15 | 1,0 |
| 3 | 1 | 2,88 | 0,5 |
| 4 | 1 | 3,16 | 0,5 |
| 5 | 1 | 1,92 | 0,5 |
| 6 | 1 | 2,88 | 0,5 |
| 7 | 1 | 5,73 | 0,5 |
| 8 | 1 | 3,95 | 1,0 |
| 9 | 1 | 4,02 | 2,0 |
| 10 | 1 | 4,18 | 2,0 |
| 11 | 1 | 3,69 | 1,5 |
| 12 | 1 | 3,99 | 1,5 |

3 Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняет регулятор в системе автоматического регулирования?

2. С какой целью в регулятор вводится интегрирующее звено (интегральная составляющая в управляющее воздействие)?

3. С какой целью в регулятор вводится дифференцирующее звено (воздействие по производной в управление)?

4. Каков результат увеличения (уменьшения) значения коэффициента k_{Π} регулятора?

5. Каков результат увеличения (уменьшения) значения коэффициента $k_{\text{И}}$ регулятора?

6. Каков результат увеличения (уменьшения) значения коэффициента $k_{\text{Д}}$ регулятора?

Лабораторная работа № 3. Исследование адаптивной САР с эталонной моделью объекта

Цель работы:

- получить представление о принципах функционирования адаптивных систем автоматического регулирования (САР) с эталонной моделью объекта;
- путем реализации серии имитационных экспериментов осуществить настройку адаптивной САР с эталонной моделью объекта.

1 Основные понятия теории адаптивных систем автоматического регулирования

К адаптивным относят лишь такие системы, которые автоматически приспособляются к непредвиденным изменениям параметров объекта и внешней среды.

В обычных системах управления параметры объекта либо считались неизменными (стационарные объекты), либо изменялись во времени по известным заранее законам (нестационарные объекты). В данной работе речь идет о системах, в которых параметры объекта изменяются неизвестным образом. Изменения параметров могут приводить к существенным изменениям качества процесса управления и даже к потере устойчивости.

Восстановление нормального режима в некоторых адаптивных системах осуществляется изменением параметров системы путем поиска либо путем анализа ситуации и принятия решения на основе этого анализа. Такого рода системы управления, получившие название самонастраивающихся, появились первоначально для управления летательными аппаратами, совершающими полет на больших высотах.

Цепь адаптации у самонастраивающихся систем обычно сама по себе представляет замкнутую систему.

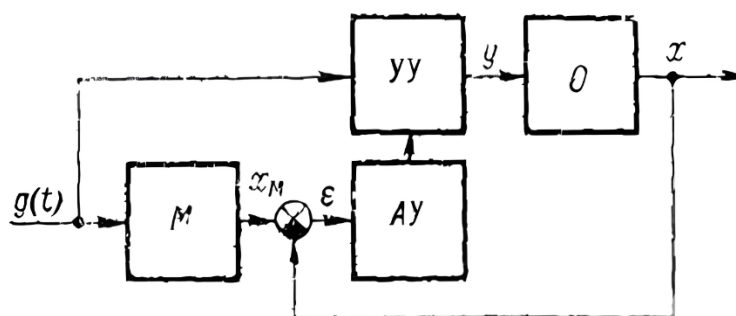


Рисунок 3.1 – Самонастраивающаяся система с моделью

На рисунке 3.1 показана одна из возможных схем самонастраивающейся системы с моделью. В схеме имеется (в явном или неявном виде) модель M , параметры которой установлены так, чтобы обеспечивались некоторые желаемые свойства системы. Входное воздействие $g(t)$ подается одновременно на входы управляющего устройства $УУ$ системы и модели, выходные координаты x объекта O и модели x_M сравниваются и, как в обычной системе с обратной связью, определяется ошибка e . Далее сигнал ошибки поступает в анализирующее устройство $АУ$, которое анализирует сигнал ошибки, определяет происшедшие изменения параметров системы (т.е. выполняет автоматическую идентификацию объекта) и вырабатывает команды на изменение некоторых настраиваемых параметров системы, обычно управляющего устройства $УУ$.

К преимуществам самонастраивающихся систем с моделью относятся: независимость контура самонастройки от основной цепи управления, что обеспечивает возможность работы системы некоторое время при выходе из строя контура самонастройки; это же обстоятельство дает возможность сравнительно легко добавлять контур самонастройки к существующим системам без их радикального изменения; одновременность действия помех (аналогом которых на рисунке 1 является $g(t)$) на систему и на модель приводит к тому, что их действие на сигнал ошибки значительно ослабляется и влияние помех слабо сказывается на процессе оптимизации системы. В подобных системах не возникает необходимости вводить запаздывания в вычислительное устройство, что приходится делать в схемах, где модель заменена вычислительным устройством.

Процесс определения параметров или характеристик объекта гораздо сложнее, чем простейшее пропорциональное или функциональное преобразование. Он состоит из ряда вычислительных операций и выполняется универсальными или специализированными вычислительными устройствами. В литературе этот процесс определения параметров или характеристик объекта на основе наблюдения за процессом получил название идентификации.

Одним из возможных способов построения самонастраивающихся систем с моделью является использование структур, допускающих весьма большие коэффициенты усиления.

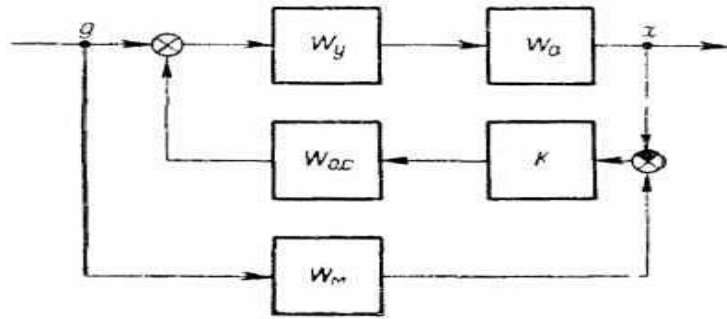


Рисунок 3.2 – Схема с обратной связью

На рисунке 3.2 изображена схема, в которой в цепь обратной связи $W_{o.c.}$ основного контура, состоящую из управляющего устройства W_y и объекта W_o , включено звено с большим коэффициентом усиления K . Для этой системы имеем:

$$\frac{X(p)}{G(p)} = \frac{W_o W_y (K W_{o.c.} W_M)}{1 + K W_o W_y W_{o.c.}} \quad (3.1)$$

В той области частот, где $K W_o W_y W_{o.c.} \gg 1$ и $K W_{o.c.} W_M \gg 1$, имеет место приближенное равенство:

$$\frac{X(p)}{G(p)} \approx W_M(p), \quad (3.2)$$

т. е. передаточная функция системы, несмотря на изменения параметров объекта, приблизительно равна передаточной функции модели, и, следовательно, реакция системы на задающее воздействие приблизительно совпадает с реакцией модели.

Другой пример использования системы с большим коэффициентом усиления показан на рисунке 3.3.

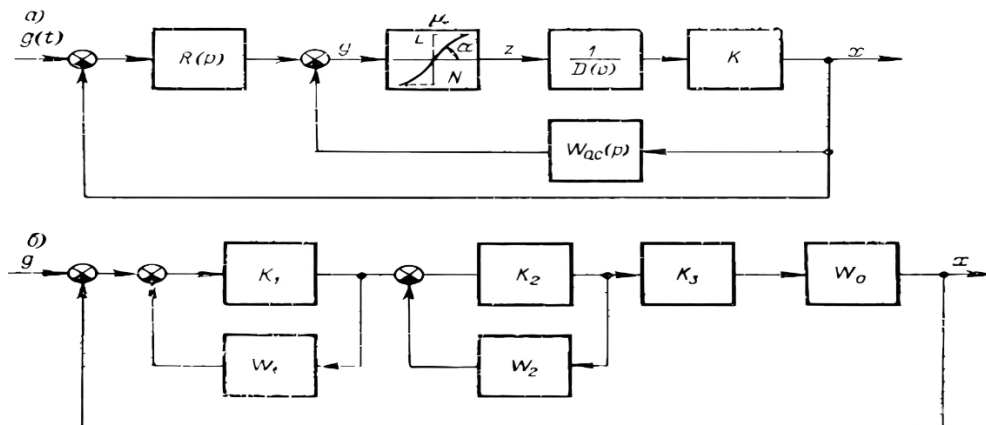


Рисунок 3.3 – Система с большим коэффициентом усиления

В практике регулирования было известно, что автоколебательные системы способны в довольно широких пределах противостоять влиянию изменения коэффициента усиления объекта. Это свойство также можно трактовать как свойство адаптации.

В системе имеется объект с изменяющимся непредвиденным образом в широких пределах коэффициентом усиления K . Для компенсации этих изменений в схему вводится последовательно элемент с искусственно изменяемым коэффициентом усиления m так, чтобы произведение mK оставалось постоянным. Схема представляет интерес тем, что в ней не используются сложные вычислительные устройства и используется метод поиска. Поисковыми воздействиями являются искусственно создаваемые во вспомогательном контуре обратной связи автоколебания. В контур входят: ограничивающий усилитель N с большим коэффициентом усиления и линейная цепь с обратной связью, имеющая передаточную функцию $W_{o.c.}(p)$. Характеристика усилителя N выбрана так, чтобы при отсутствии сигнала у среднее значение z равнялось нулю. При появлении постоянного u нарушится симметрия выходных колебаний усилителя и появится среднее значение z , которое при надлежащем выборе b , L и $W_{o.c.}(p)$ будет приблизительно пропорционально u : $z \approx mu$. Вычислив значение m по методу гармонического баланса, можем убедиться, что m можно сделать примерно обратно пропорциональным K и тем самым решить поставленную задачу.

Иное решение этой задачи представлено на рисунке 3.3, б. Последовательно с объектом, передаточная функция которого $W_o(p)$ равнялась $K/D(p)$, были включены три линейных усилителя с достаточно большими коэффициентами усиления K_1 , K_2 и K_3 . Два из этих усилителей охватывались обратными связями с передаточными функциями:

$$W_1(p) = \frac{1}{T_1 p + 1} \text{ и } W_2(p) = \frac{1}{T_2 p + 1}.$$

Передаточная функция системы:

$$\frac{X(p)}{G(p)} = \frac{K(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{P_1}, \quad (3.3)$$

где

$$P_1 = \{m^3(1 + \Phi_1 p)(1 + T_2 p) + m^2[(T_1 + T_2)p + 2] + m\}D(p) + K(1 + T_1 p)(1 + T_2 p), \quad (3.4)$$

где

$$m = 1/K_6,$$

$K_0 = K_1 = K_2 = K_3$ — большой коэффициент усиления. При $m \rightarrow 0$ имеем

$$\lim_{m \rightarrow 0} \frac{X(p)}{G(p)} = 1, \quad (3.5)$$

т. е. влияние переменного коэффициента K практически исключается. Исследование вспомогательного уравнения вида $G(p) = a_{00}q^n + a_{10}q^{n-1} + \dots + a_n = 0$ (так как убывание степеней стоящих рядом полиномов уравнения равно единице) позволит найти условия устойчивости системы [1].

Так, если $D(p) = (1 + 0,2p)^2(1 + 0,05p)$, то характеристическое уравнение имеет вид:

$$m^3(1 + T_1p)(1 + T_2p)(1 + 0,2p)^2(1 + 0,005p) + m^2[(T_1 + T_2)p + 2](1 + 0,2p)^2(1 + 0,005p) + m(1 + 0,2p)^2(1 + 0,005p) + K(1 + T_1p)(1 + T_2p) = 0.$$

Раскрывая скобки, после вычисления получим вспомогательное уравнение в виде

$$0,0002T_1T_2q^3 + 0,0002(T_1 + T_2)q^2 + 0,0002q + KT_1T_2 = 0.$$

Условие устойчивости

$$K < \frac{0,0002(T_1 + T_2)}{T_1^2 * T_2^2} \quad (3.6)$$

Естественно, что в данной схеме проявляются недостатки, связанные с повышенным уровнем широкополосных шумов.

В рассматриваемой схеме модели в явном виде нет, так как в ней требовалось просто с наименьшими искажениями воспроизвести задающее воздействие (программное управление). В том случае, когда хотим, чтобы выход объекта совпадал с выходом модели, мы просто можем включить модель на входе системы, приложив $g(t)$ на ее вход.

Применение модели в качестве корректирующего устройства позволяет изменять характеристики системы в желаемом направлении, а в качестве датчика динамического состояния объекта — получать действительное или желаемое динамическое состояние системы в настоящем или будущем времени и использовать эти данные для установления оптимальных параметров управления.

Примером применения модели как датчика динамического состояния объекта является использование ее для компенсации вредного влияния запаздывания в объекте управления на устойчивость процесса регулирования (рисунок 3.4). Параллельно объекту с запаздыванием включается его

динамическая модель и элемент запаздывания ЭЗ; выходы объекта и модели с запаздыванием при этом взаимно компенсируются, а для замыкания системы используется выход модели до элемента запаздывания. Устойчивость системы обеспечивается при выполнении условий $W_M(p) = W_{OB}(p) = W_1(p)e^{-p\phi_1}$ при равенстве запаздываний $\phi_{об}$ объекта и ϕ_1 модели.

При изменении характеристик объекта $W_{OB}(p)$ необходимо подстраивать модель для обеспечения $W_M(p) = W_{OB}(p)$.

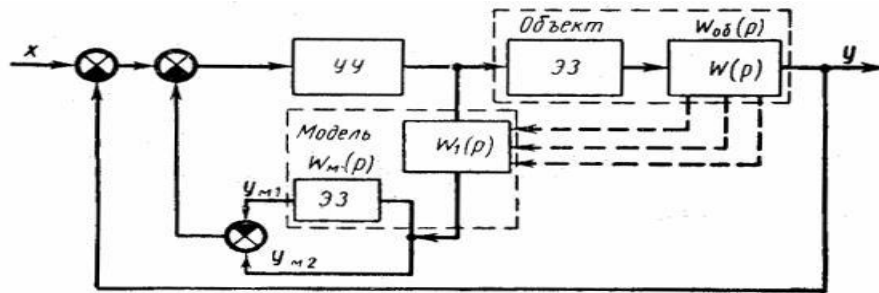


Рисунок 3.4 – Влияние запаздывания на устойчивость процесса регулирования

Рассмотрим систему с автоматической настройкой коэффициента усиления корректирующего устройства КУ (рисунок 3.5).

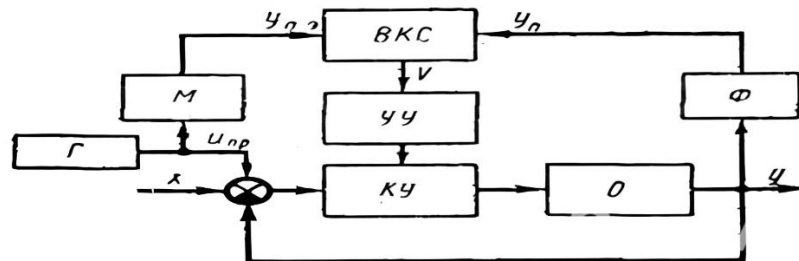


Рисунок 3.5 – Система с корректирующим устройством

В системе для настройки используется пробный сигнал $u_{ПР}$ незначительной амплитуды, создаваемый генератором Γ и изменяющийся по синусоидальному закону

$$u_{ПР} = U_m \sin \omega_0 t, \quad (3.7)$$

где U_m — амплитуда пробного сигнала ω_0 — частота пробного сигнала.

Сигнал подается одновременно на замкнутую САУ и в модель M объекта. На выходе замкнутой САУ включен резонансный фильтр Φ , который выделяет из выходной величины реакцию системы на изучающий сигнал (поисковую составляющую) в виде

$$u_{П} = Y_m \sin(\omega_0 t + \psi), \quad (3.8)$$

где ψ — сдвиг фазы;

Y_m – амплитуда выходного сигнала.

На выходе модели-эталона также появится сигнал вида

$$y_{п.э.} = Y_{mэ} \sin(\omega_0 t + \varphi_э). \quad (3.9)$$

Вычислитель критерия соответствия – ВКС в данном случае формирует управляющее коэффициентом усиления замкнутой САУ воздействие v , пропорциональное разности

$$v = y_{п.э.} - y_{п.э.} \quad (3.10)$$

2 Содержание лабораторной работы

1. Первый имитационный эксперимент проводится с САР, имеющей структурную схему, изображенную на рисунке 3.2. Варианты параметров САР приведены в таблице 3.1.

2. Последовательно проводится 3 эксперимента с различными значениями $K = \{K_1, K_2, K_3\}$. На экран монитора выводятся зависимости на выходе объекта — $x(t)$ и модели $W_M(p)$ — $x_M(t)$.

3. Проводится сравнительный анализ кривых $x(t)$ и $x_M(t)$, полученных при различных значениях $K = \{K_1, K_2, K_3\}$. Если результаты имитационных экспериментов не обеспечивают удовлетворительного совпадения $x(t)$ и $x_M(t)$, то рекомендуется провести эксперименты при $K \gg K_3$.

4. Проводится анализ переходных процессов в самонастраивающейся САР при различных параметрах закона управления.

Таблица 3.1 – Параметры адаптивной САР с большим коэффициентом усиления (по схеме рис. 3.2)

| № п/п | $W_y = K_y$ | $W_{oc} = K_{oc}$ | $W_0 = \frac{K_0}{T_0 p + 1}$ | | $W_M = \frac{K_M}{T_M p + 1}$ | | K | | |
|----------|-------------|-------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| | K_y | K_{oc} | K_0 | T_0 | K_M | T_M | $K=K_1$ | $K=K_2$ | $K=K_3$ |
| 1 | 2 | 1 | 1 | 0.5 | 3.7 | 0.5 | 10 | 100 | 1000 |
| 2 | 1 | 1 | 2.5 | 0.6 | 2.2 | 0.6 | 15 | 30 | 1000 |
| 3 | 1.5 | 1.2 | 1 | 1.5 | 4.0 | 1.4 | 10 | 60 | 1000 |
| 4 | 2.5 | 1.4 | 1.5 | 0.6 | 2.5 | 1.3 | 15 | 80 | 1000 |
| 5 | 3 | 1.5 | 1.5 | 0.9 | 2.2 | 0.5 | 10 | 100 | 1000 |
| 6 | 3 | 2 | 3 | 1.2 | 1.8 | 0.8 | 10 | 60 | 1000 |
| 7 | 2 | 1.8 | 1.5 | 1.4 | 3.3 | 1.0 | 15 | 70 | 1000 |
| 8 | 1.5 | 1.1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 10 | 40 | 1000 |
| 9 | 1 | 1.5 | 1 | 1.3 | 1.9 | 1.3 | 15 | 50 | 1000 |

Продолжение таблицы 3.1

| | | | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|
| 10 | 3 | 1 | 1 | 0.5 | 3.7 | 1.4 | 15 | 60 | 1000 |
| 11 | 1 | 1.9 | 1.5 | 0.8 | 3.5 | 0.5 | 10 | 70 | 1000 |
| 12 | 2.5 | 1 | 3 | 1.5 | 1.6 | 0.8 | 15 | 80 | 1000 |
| 13 | 1.5 | 1.4 | 0.5 | 1.0 | 1.9 | 1.0 | 15 | 80 | 1000 |
| 14 | 2.5 | 1.4 | 0.5 | 1.2 | 2.1 | 0.9 | 10 | 90 | 1000 |
| 15 | 2 | 1.2 | 2 | 0.5 | 2.5 | 0.7 | 15 | 80 | 1000 |
| 16 | 2 | 1.2 | 2.5 | 1.4 | 2.8 | 0.6 | 10 | 70 | 1000 |
| 17 | 1.5 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 15 | 30 | 1000 |
| 18 | 2 | 1.8 | 1.5 | 1.2 | 3.8 | 0.5 | 10 | 60 | 1000 |
| 19 | 2.5 | 1.2 | 2 | 0.9 | 3.5 | 1.0 | 15 | 40 | 1000 |
| 20 | 3.0 | 1 | 0.5 | 1.5 | 1.7 | 1.5 | 10 | 100 | 1000 |

3 Контрольные вопросы

1. Какие изменения параметров объекта могут приводить к изменениям системы управления? К каким именно?
2. Какие системы управления называется самонастраивающимися?
3. Какие схемы самонастраивающейся системы существует?
4. Какие преимущества имеют самонастраивающиеся системы с моделью?
5. Приведите структурную схему системы управления с большим коэффициентом усиления.
6. Приведите структурную схему систему с автоматической настройкой коэффициента усиления корректирующего устройства.

Лабораторная работа № 4. Нечеткий адаптивный ПИД-регулятор

Цель работы. Целью лабораторной работы является построение нечеткого адаптивного ПИД-регулятора на базе ПИД-алгоритма. Изучение нечеткого правила управления.

1 Введение

В промышленном управлении ПИД-регулирование является наиболее часто используемым методом управления. Однако, у него есть определенные ограничения: когда объект управления является нестационарным и его параметры меняются с течением времени, то ПИД-регулятор может не обеспечить приемлемого качества регулирования. Для управления таким объектом можно использовать метод нечеткого управления.

Теоретическая часть

Нечеткое управление позволяет формализовать и моделировать человеческий опыт с помощью нечеткой логики и методов приближенного рассуждения. Нечеткие рассуждения осуществляются по полученным языковым правилам управления; задается нечеткая формула суждения о выходе и преобразуется в точное значение в качестве управляющего воздействия, подаваемого на управляемый объект. Таблица нечеткого управления является выражением алгоритма нечеткого управления в вычислительной машине, который определяется количеством входов и выходов, функцией принадлежности и правилами управления [1]. Нечеткие правила управления обычно имеют следующий вид: если $\{e=A_i \text{ и } de/dt = B_i\}$, то $u = C_i$, $i = 1, 2, \dots$, где e , de/dt и u – лингвистические переменные: ошибки, производной от ошибки и управляющего воздействия соответственно, и A_i , B_i , C_i – значение соответствующей функции принадлежности. Для управления нестационарным объектом предлагается использовать адаптивный нечеткий ПИД-регулятор, который построен на базе ПИД-алгоритма. Структурная схема регулятора представлена на рисунке 4.1.

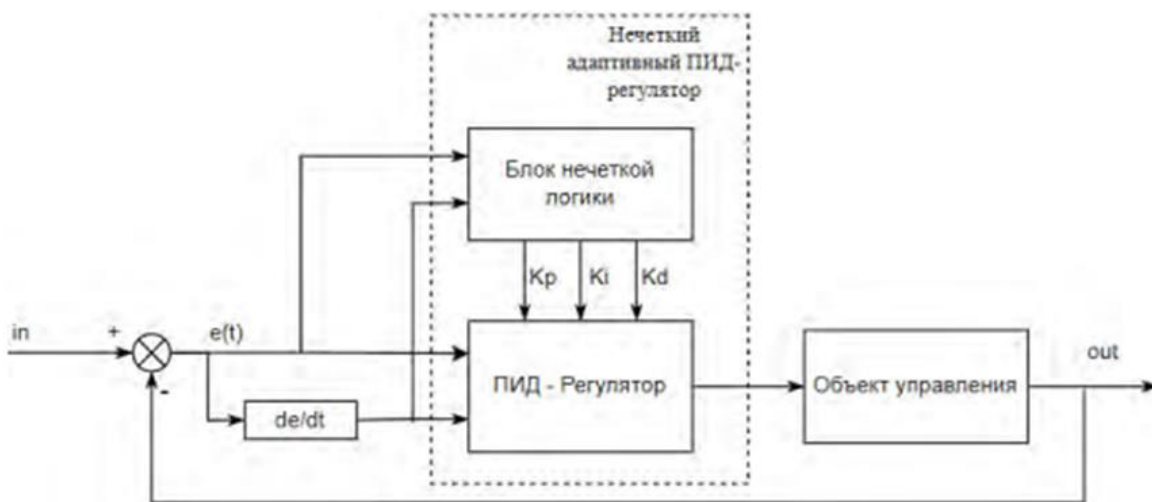


Рисунок 4.1 – Структурная схема адаптивного нечеткого ПИД-регулятора

Регулятор работает следующим образом: в блок нечеткой логики поступают лингвистические переменные: ошибка регулирования e и производная от ошибки de/dt . Далее в соответствии со значениями функций принадлежности лингвистических переменных и применения базы правил формируются значения коэффициентов ПИД-регулятора (K_p , K_i , K_d).

Нечеткая самонастройка ПИД-регулятора заключается в соответствии нечеткой зависимости между параметрами ПИД (K_p , K_i , K_d) и e , de/dt . Во время работы в блок нечеткой логики в режиме реального времени поступают текущие значения e и de/dt , и в соответствии с заданными типами и значениями функций принадлежности входных и выходных переменных и заданной базой правил,

происходит формирование четких значений параметров ПИД-регулятора (K_p , K_i , K_d). Функции принадлежности и база правил заданы таким образом, что при изменении параметра объекта управления в определенных пределах система автоматического управления остается устойчивой и имеет приемлемое качество. Суть нечеткого управления состоит в том, чтобы обобщить теоретический и практический опыт инженеров-проектировщиков, чтобы создать подходящую базу нечетких правил и получить таблицу нечетких правил, которая задается для трех параметров ПИД-регулятора K_p , K_i , K_d соответственно [2].

Экспериментальная часть

Для того чтобы сравнить эффективность работы адаптивного нечеткого ПИД-регулятора и классического ПИД-регулятора, была разработана модель в системе MatLab, представленная на рисунке 4.2. На модели системы управления, представленной на рисунке 4.2, объект управления в системах с классическим ПИД-регулятором и адаптивным нечетким ПИД-регулятором является одинаковым и задается передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{1}{Ts^2 + s + 1} \quad (4.1)$$

При первоначальном включении системы в работу параметр T объекта управления в обеих системах равен 1. Параметры классического ПИД-регулятора имеют следующие значения: $K_p=2$, $K_i=0.7$, $K_d=5$ и остаются неизменными.

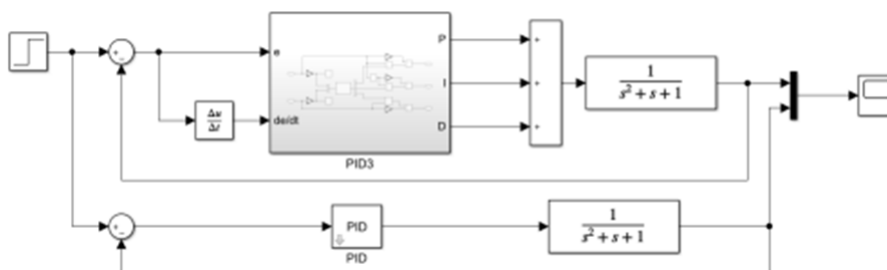


Рисунок 4.2 – Модель системы управления в MatLab

Модель подсистемы управления PID3 представлена на рисунке 4.3.

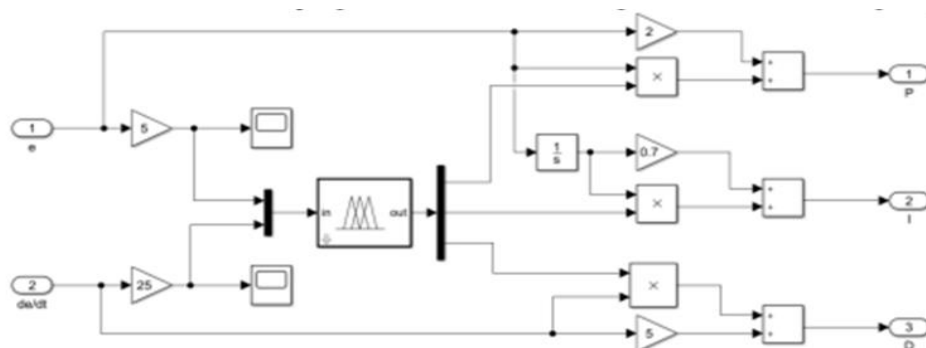


Рисунок 4.3 – Модель подсистемы управления (PID3)

Модель подсистемы управления PID представлена на рисунке 4.4.

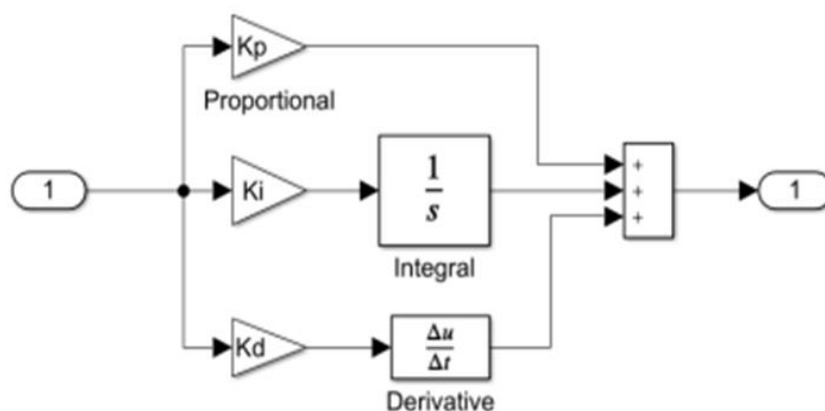


Рисунок 4.4 – Модель подсистемы управления (PID)

Кривые переходных процессов при $T=1$ представлены на рисунке 4.5. Из рисунка видно, что качество управления обеих систем примерно одинаковое и удовлетворительное. При изменении параметра объекта управления T в диапазоне от 1 до 100 с. классический ПИД-регулятор уже не обеспечивает удовлетворительного качества переходного процесса и на значении параметра объекта управления $T=26$ с. система с классическим ПИД-регулятором становится неустойчивой. При этом, адаптивный нечеткий ПИД-регулятор является устойчивым и обеспечивает удовлетворительное качество управления даже на значении параметра объекта управления $T=100$ с., что можно увидеть на рисунках 4.6, 4.7.

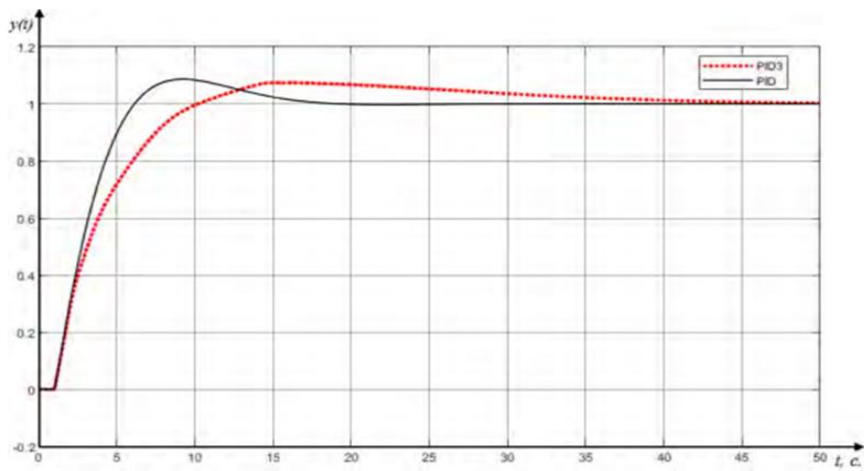


Рисунок 4.5 – Кривые переходных процессов при $T = 1$ с

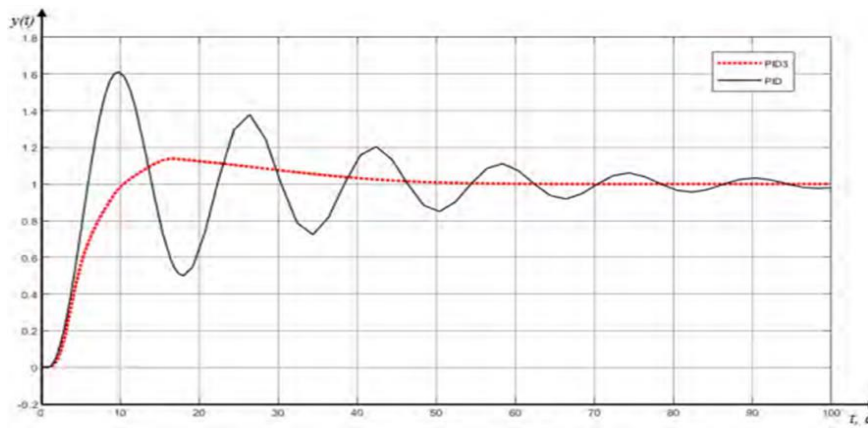


Рисунок 4.6 – Кривые переходных процессов при $T = 20$ с

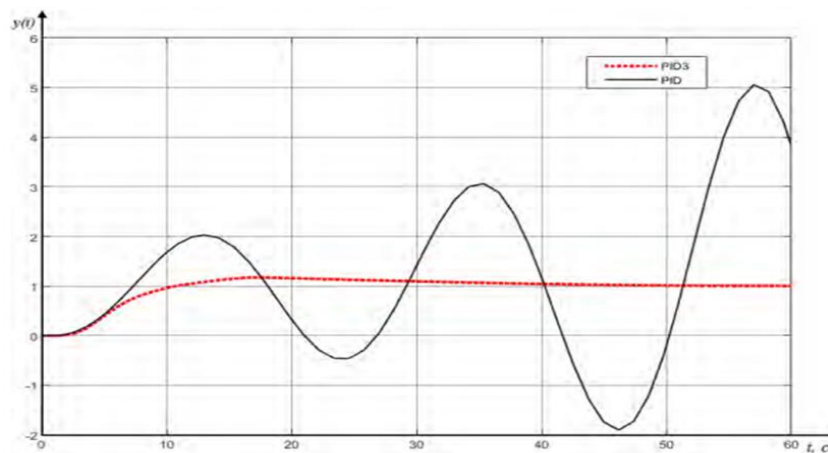


Рисунок 4.7 – Кривые переходных процессов при $T = 45$ с

По результатам моделирования можно сделать вывод что адаптивный нечеткий регулятор является работоспособным при изменении параметра T объекта управления в широких пределах и обеспечивает удовлетворительное

качество регулирования. При этом классический ПИД-регулятор работает лишь в небольшом диапазоне изменения параметра T объекта управления.

2 Варианты заданий

Вид передаточной функции:

$$1. W(p) = \frac{b_1 p + b_0}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0};$$

$$2. W(p) = \frac{b_2 p^2 + b_1 p + b_0}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0};$$

$$3. W(p) = \frac{b_2 p^2 + b_1 p + b_0}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_1 p + a_0};$$

$$4. W(p) = \frac{b_2 p^2 + b_0}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0};$$

Таблица 4.1 – Варианты заданий

| Вид передаточной функции | № | Коэффициенты полиномов | | | | | | |
|--------------------------|----|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | b_0 | b_1 | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 |
| 1 | 1. | 0 | 3 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 |
| | 2. | 2 | 6 | 4 | 0 | 1 | 5 | 1 |
| | 3. | 0 | -3 | 5 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| | 4. | 4 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 1 |
| | 5. | 0 | 1 | -2 | -2 | -3 | -2 | 0 |
| 2 | | b_0 | b_1 | b_2 | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 |
| | 1. | 0 | -3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 9 |
| | 2. | 8 | 0 | -3 | -4 | -6 | -4 | -1 |
| | 3. | -4 | 6 | -2 | 5 | 5 | 0 | 1 |
| | 4. | 6 | -8 | -7 | 0 | -6 | -3 | -1 |
| 3 | 5. | 2 | -1 | -3 | -1 | 0 | -7 | -2 |
| | | b_0 | b_1 | b_2 | a_0 | a_1 | a_3 | a_4 |
| | 1. | 0 | 2 | 8 | -3 | 7 | -7 | 1 |
| | 2. | -5 | 0 | 3 | -8 | -2 | -1 | -6 |
| | 3. | -7 | 1 | 2 | 0 | 5 | 2 | 9 |
| | 4. | -6 | 4 | -4 | 1 | 0 | 6 | 3 |

| | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|---|---|---|---|
| | 5. | 2 | -2 | -1 | 5 | 3 | 0 | 9 |
| 4 | 1. | 0 | -5 | 4 | 3 | 7 | 9 | 1 |
| | 2. | 7 | -6 | 0 | 5 | 8 | 2 | 2 |
| | 3. | -2 | -8 | 2 | 0 | 4 | 3 | 3 |

3 Контрольные вопросы

1. Для управления какими объектами используется метод нечеткого управления?
2. С помощью какой логики и методов строится нечеткое управление?
3. Приведите структурную схему адаптивного нечеткого ПИД-регулятора.
4. Объясните принцип работы нечеткого регулятора.
5. Как осуществляется нечеткая самонастройка ПИД-регулятора?

Лабораторная работа № 5. Самонастраивающееся управление

Цель работы. Целью лабораторной работы является изучение самонастраивающейся системы управления при неизвестном изменении параметров объекта управления.

1 Теоретическое введение

Самонастраивающееся управление относится к управлению с неизвестным изменением параметров.

Динамика многих процессов такова, что их параметры неизвестны, хотя и постоянны во времени. В других случаях параметры изменяются во времени очень медленно. Трубопроводные системы постепенно засоряются, и это влияет на расход и теплоотдачу. При управлении воздушно-топливной смесью в двигателе внутреннего сгорания чувствительность датчика меняется со временем непредсказуемым образом. В биологических ферментаторах или установках очистки сточных вод могут появиться новые организмы, изменяющие характер потребления кислорода.

Простые системы с динамикой низкого порядка легко управляются, если их параметры известны и постоянны. В большинстве подобных случаев достаточно использовать ПИД-регуляторы. Однако если параметры системы медленно изменяются во времени, качество управления при фиксированной настройке регулятора будет степенно снижаться. Одно из решений этой проблемы – автоматическая настройка параметров ПИД-регулятора с помощью так называемого автонастройщика (*auto-tuner*). Первоначальная настройка осуществляется оператором. Затем автонастройщик вносит небольшие

возмущения в процесс для определения его динамики. Далее регулятор вычисляет параметры ПИД-управления по реакциям системы, которые запоминаются и используются до тех пор, пока оператор не инициирует проведение новой настройки.

Следующий логический шаг – это непрерывное обновление параметров регулятора. Процедура непрерывной автоматической настройки параметров регулятора называется адаптивным управлением (*adaptive control*). Адаптивные регуляторы включают в себя две различные подсистемы, одну для оценки (*estimation*) и вторую для управления (*control*), как показано на рис. 5.1. Оценивающая часть регулятора непрерывно измеряет входной и выходной сигналы процесса. По этим данным алгоритм настройки вычисляет и обновляет параметры регулятора. В сущности, адаптивный регулятор состоит из двух контуров управления – быстрого контура для непосредственного управления и более медленного, осуществляющего настройку параметров.

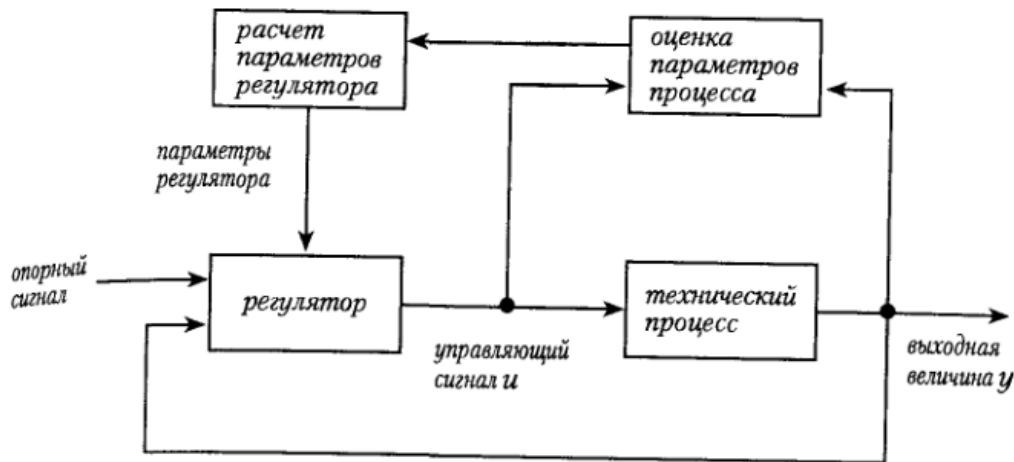


Рис 5.1 – Основные элементы адаптивного регулятора

Существует несколько вариантов этой общей схемы, например выход процедуры оценки может непосредственно поступать на вход регулятора, минуя процедуру пересчета его параметров. Даже если основные алгоритмы достаточно просты с точки зрения программирования, адаптивное управление должно быть ограничено целым набором правил безопасности, позволяющих предотвратить его неправильное применение. Распространено совершенно необоснованное убеждение, что адаптивное управление является панацеей при решении сложных задач. Однако если адаптивное управление применять с осторожностью и пониманием, оно открывает широкие возможности. Управляющей частью адаптивного регулятора может быть обобщенный дискретный регулятор, рассмотренный в следующем разделе. Несколько типов адаптивных регуляторов выпускаются серийно.

При управлении сложными объектами, функционирующими в условиях нестационарности, широкое применение нашли адаптивные регуляторы, реализующие типовые ПИ-или ПИД-законы регулирования. Адаптивные контроллеры зарубежных и отечественных производителей: Ремиконт, Овен, Сименс, Микрол и т. д., как правило, реализуют метод Зиглера – Николса [1]. Следует отметить, что данный метод предполагает вывод объекта в область автоколебаний за счет перехода на П-закон и грубого варьирования коэффициента усиления K_p . Однако значительный ряд технологических процессов по условиям эксплуатации не допускают автоколебательного режима. Таким образом, задача нахождения оптимального метода адаптации остается открытой.

Вместе с тем, в последнее время широкую популярность находят нечеткие модели и алгоритмы управления [2, 3, 5]. Известно, что нечеткое управление основано на использовании не столько аналитических или теоретических моделей, сколько на практическом применении знаний квалифицированных специалистов, представленных в форме лингвистических баз правил. Нечеткое управление эффективно в случаях недетерминированности параметров объектов, когда существует определенный опыт экспертов по управлению и настройке автоматизированной системы регулирования (АСР). Теория нечеткой логики позволяет использовать знания специалистов – наладчиков с целью улучшения процессов управления и оказания помощи (супервизорный режим) по настройке типовых регуляторов. Исходя из вышесказанного, задача создания метода адаптации ПИД-регулятора, реализующего опыт наладчиков, становится актуальной.

Целью работы является разработка нечеткой экспертной системы, определяющей оптимальные настройки ПИД-регулятора, для его адаптации к объекту управления, и ее апробация в пакете Matlab (Simulink). Разобьем научную задачу на ряд этапов.

На первом этапе определим структуру адаптивной АСР (рис.5.2):

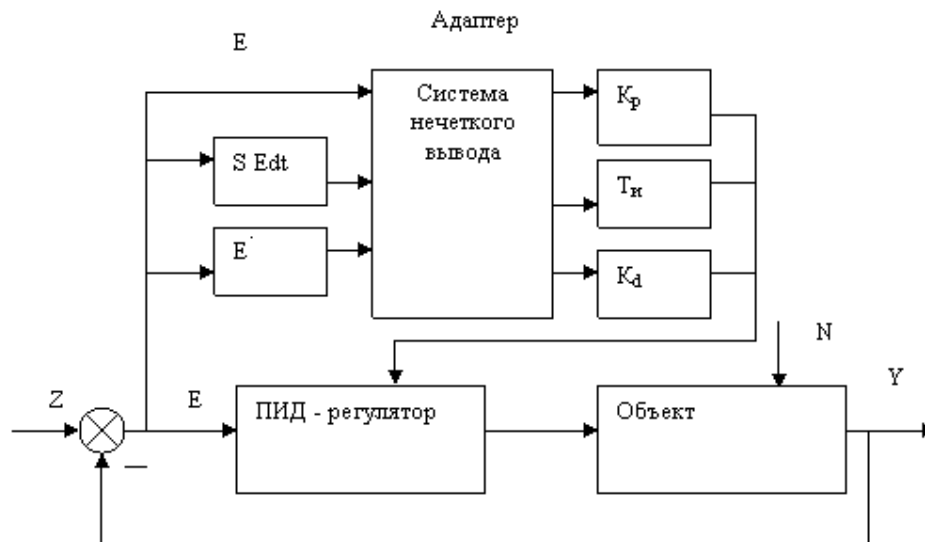


Рисунок 5.2 – Структура адаптивного нечеткого управления

где E – ошибка;
 Z – задание;
 Y – выходное значение;
 N – возмущение;
 K_p, T_i, K_d – настройки ПИД-регулятора.

На втором этапе в программе Matlab (FLT) производится создание системы нечеткого вывода или адаптера (рис. 5.3)



Рисунок 5.3 – Графический интерфейс редактора FIS

На третьем этапе проводится фаззификация входных и выходных лингвистических переменных (ЛП). Фаззификация входных значений (ошибки регулирования (E), ее интеграла и производной) производится согласно рекомендациям [4]. Графики функций принадлежности входных ЛП представлены на рис. 5.4–5.6.

Функцию принадлежности Z-вида, представляющую терм – «отрицательная ошибка “otr”» можно представить в виде: $f_z(x, -0.6, -0.1) = [1, x < -0.6; -0.1 - x / 0.5; 0, -0.1 < x]$.

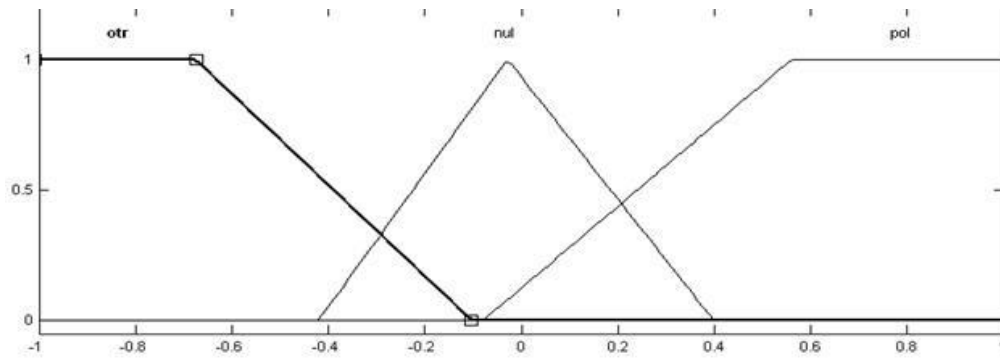


Рисунок 5.4 – Функции принадлежности ЛП «ошибка»: otr – отрицательная, nul – нулевая, pol – положительная

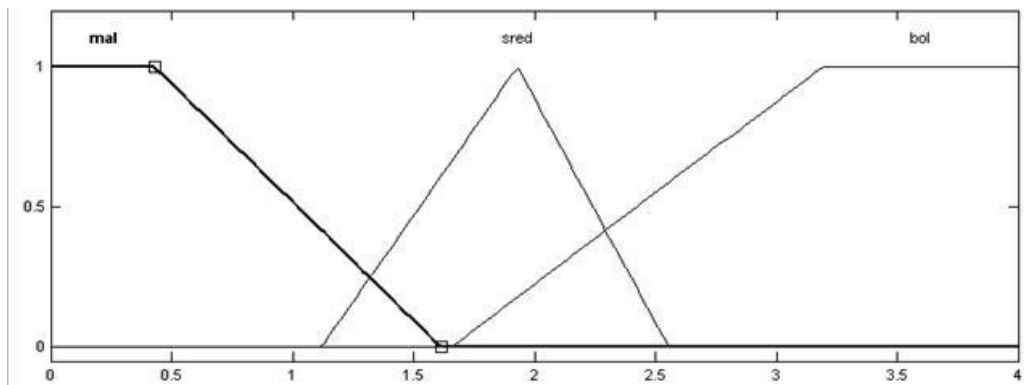


Рисунок 5.5 – Функции принадлежности ЛП «интеграл ошибки»: mal – маленький, sred – средний, bol – большой

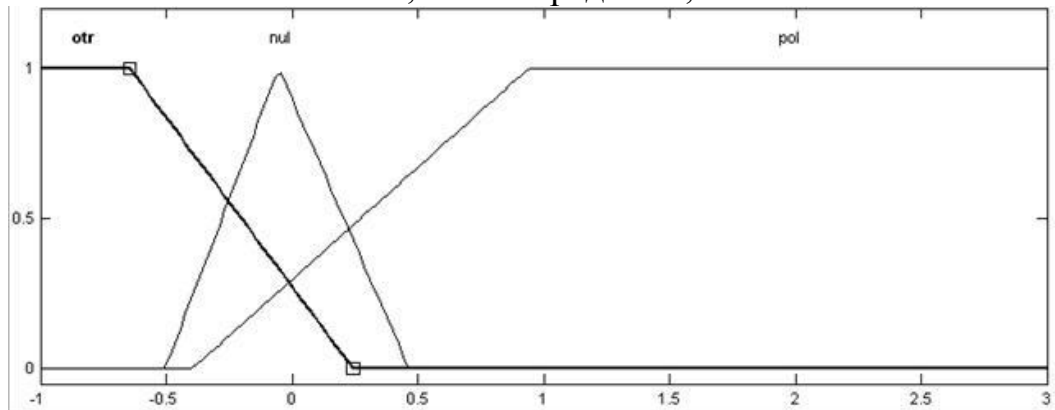


Рисунок 5.6 – Функции принадлежности ЛП «производная ошибки»

Этап фаззификации выходных ЛП «настройки ПИД-регулятора» проведен с учетом рекомендаций [4,5] и представлен на рис. 5.7.

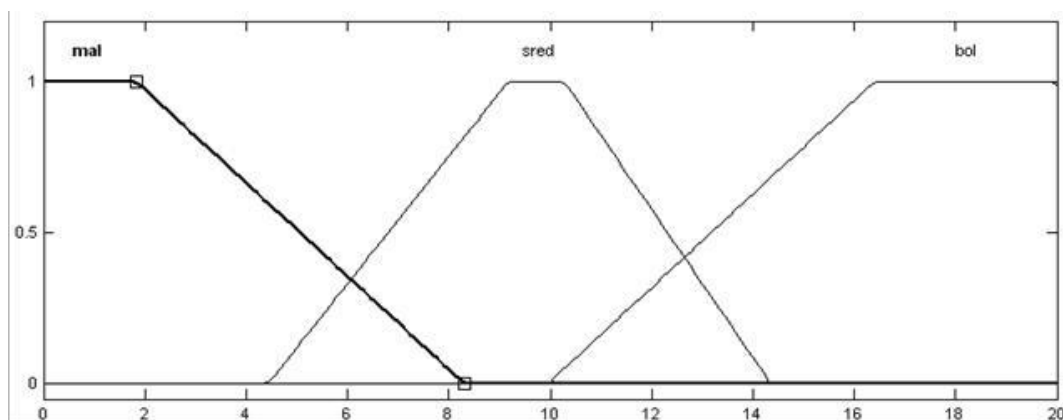


Рисунок 5.7 – Функции принадлежности ЛП «коэффициент усиления K_p »: mal – маленький, sred – средний, bol – большой

Функции принадлежности ЛП « T_n » и « K_d » также отображаются Z- и S-образными графическими видами. Следует отметить, что T_n лежит на универсуме [0-5], а $K_d = [0-15]$.

Четвертый этап заключается в создании базы правил вида «ЕСЛИ ...ТО». Исходя из рекомендаций из специализированной литературы [5], проведенных экспериментов в редакторе FLT, а также опыта экспертов-наладчиков систем автоматизации, предлагаются следующие правила: ЕСЛИ «ошибка есть отрицательная» И «интеграл ошибки есть маленький» И «производная ошибки есть отрицательная» ТО « K_p есть большой», « T_n есть большой», « K_d есть большой» и т.д. (рис. 5.8).

```

1. If (oshibka is otr) and (integ is mal) and (proizvod is otr) then (Kp is bol)(Ti is bol)(Kd is bol) (1)
2. If (oshibka is otr) and (integ is sred) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is sred)(Kd is sred) (1)
3. If (oshibka is otr) and (integ is bol) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is mal)(Kd is sred) (1)
4. If (oshibka is nul) and (integ is sred) and (proizvod is nul) then (Kp is sred)(Ti is sred)(Kd is sred) (1)
5. If (oshibka is pol) and (integ is bol) and (proizvod is pol) then (Kp is mal)(Ti is mal)(Kd is mal) (1)
6. If (oshibka is pol) and (integ is mal) and (proizvod is pol) then (Kp is mal)(Ti is bol)(Kd is mal) (1)
7. If (oshibka is otr) and (integ is bol) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is mal)(Kd is sred) (1)

```

Рисунок 5.8 – Фрагмент базы правил

На следующем этапе проводится компьютерное апробирование нечеткой модели. В первоначальном эксперименте использовалась АСР с ПИД-регулятором, функционирующим по каналу задания $Z=1$, при влиянии на объект канала возмущения при этом: $W_{об}(S) = 2.5/(5S^2+3S+1)$; $W_N(S) = 0.5/(5S+1)$. Настройка регулятора проводилась методом Зиглера – Николса. Значения настроек равны $K_p=1.3$; $T_n=0.15$; $K_d=10.3$, а переходный процесс удовлетворяет основным показателям качества. Предположим, что в связи с неопределенностью условий эксплуатации объекта произошло изменение значений ключевых параметров такового. Например, $W_{об}(S) = 2.5/(15S^2+2S+1)$; $W_N(S) = 3.5/(15S+1)$. При известных настройках регулятора переходный

процесс с новыми значениями передаточных функций обладает перерегуливанием $G=80\%$, что недопустимо (рис. 5.9).

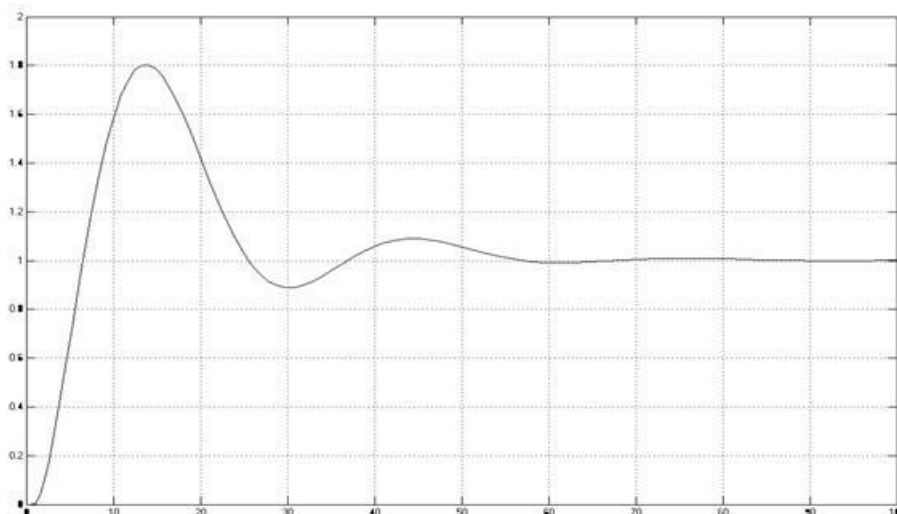


Рисунок 5.9 – Переходный процесс по каналу задания

Таким образом, необходима временная остановка сложного технологического процесса и перенастройка значений настроек ПИД-регулятора. Произведем проверку нечеткого адаптера при известных условиях (рис. 9). Нечеткая система выдала следующие результаты: $K_p=10$; $T_i=2.5$.

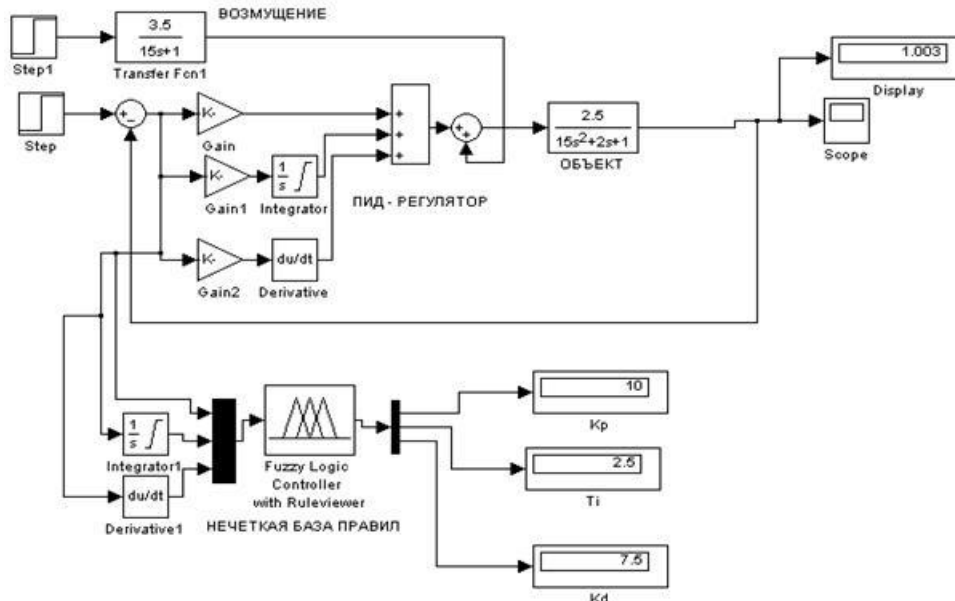


Рисунок 5.10 – Экспериментальная схема, выполненная в программе (Simulink)

$K_d=7.5$, а переходный процесс регулирования при данных настройках для ПИД-регулятора показан на рис. 5.11.

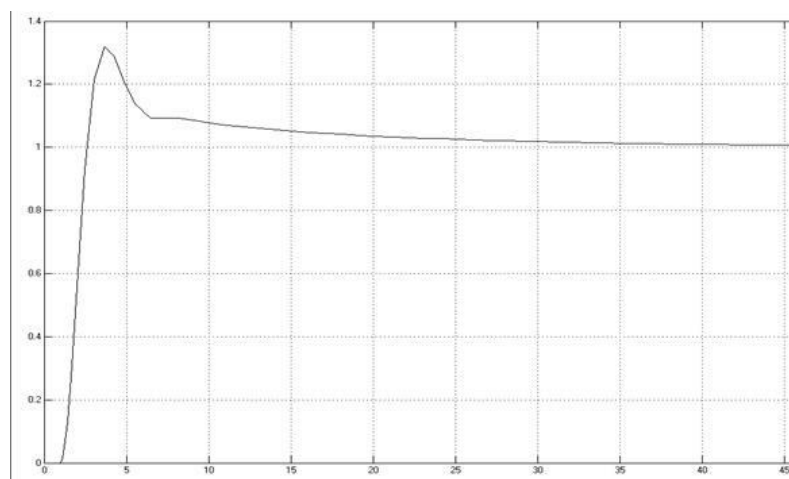


Рисунок 5.11 – Переходный процесс, полученный при адаптивных настройках

Как видно из рис. 5.11, перерегулирование G не превышает 30%, что допустимо, а время регулирования T_p уменьшилось по сравнению с предыдущим на 30 секунд. Результат работы нечеткого адаптера в программе Matlab (FTL) показан на рис. 5.12.

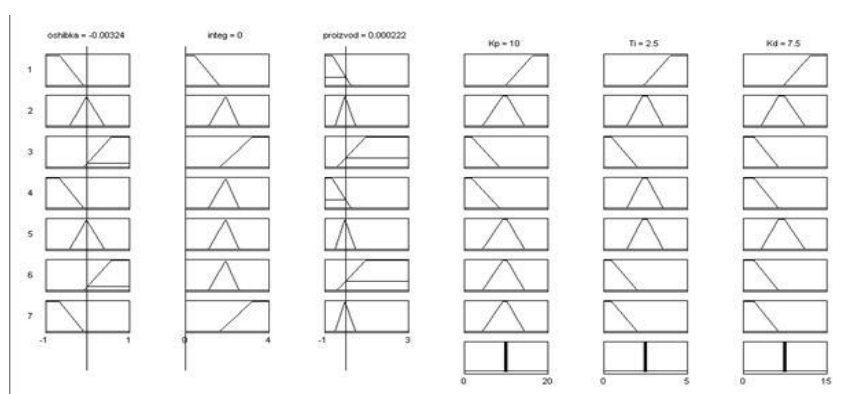


Рисунок 5.12 – Результат работы нечеткого адаптера

Таким образом, использование нечетких адаптивных ПИД-регуляторов позволит эффективно управлять технологическими процессами без их остановов, а дальнейшее введение нейрокомпьютера может привести к самообучающейся адаптации по определению оптимальных настроек без корректировки базы правил.

2 Варианты заданий

Вид передаточной функции:

$$1. W(p) = \frac{k}{T_{p+1}};$$

$$2. W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1};$$

Таблица 5.1 – Варианты заданий

| № варианта | k | T | T ₁ | T ₂ |
|------------|-----|----|----------------|----------------|
| 1. | 1 | 2 | 9 | 2 |
| 2. | 3 | 7 | 7 | 2 |
| 3. | 2 | 9 | 6 | 1 |
| 4. | 6 | 4 | 6 | 4 |
| 5. | 3.5 | 12 | 1.5 | 2 |
| 6. | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 7. | 2 | 8 | 4 | 3 |
| 8. | 2.2 | 6 | 3 | 2 |
| 9. | 3 | 4 | 2.5 | 2 |
| 10. | 1.5 | 8 | 1 | 4 |
| 11. | 1.3 | 6 | 1.8 | 3 |
| 12. | 1 | 1 | 8 | 3 |

3 Контрольные вопросы

1. Объясните динамику технологических процессов.
2. В каких условиях применяется автоматическая настройка параметров регулятора?
3. Как осуществляется автоматическая настройка параметров регулятора?
4. Приведите структурную схему адаптивного регулятора.
5. Приведите структурную схему адаптивного нечеткого управления.
6. Дайте определение функции принадлежности.
7. Преимущество использование нечетких адаптивных ПИД-регуляторов.

Список литературы

1. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. – М.: Энергоиздат. 1991. – 234 с.
2. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7 Самоучитель. – М.: ДМК, 2008 – 781с.
3. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. – С.-Птб.: БХВ, 2003. – 720 с.
4. Мелихов А.Н. и др. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. Подробные шаги моделирования системы нечеткой логики (Simulink) // сайт«jingyan.baidu.com».–2021. URL: <https://jingyan.baidu.com/article/851fbc37ef05463e1f15ab20.html> (дата обращения: 19.03.2022).
6. Ротач В.Я., Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления. – М.: Энергоиздат, 1984. – 272 с.
7. Теория автоматического управления Inc. 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [URL:https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TRIGUB/academic/Tab/INK_VADUTOV_TRIGUB.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TRIGUB/academic/Tab/INK_VADUTOV_TRIGUB.pdf) (дата обращения: 19.03.2022).
8. Что такое нечеткая логика? // сайт «MathWorks». – 2021. – URL: <https://ww2.mathworks.cn/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html> (дата обращения: 19.03.2022).

Содержание

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Лабораторная работа № 1. Идентификация технологических объектов управления (2 часов) | 3 |
| 2 | Лабораторная работа № 2. Изучение метода Циглера – Никольса (2 часа) | 15 |
| 3 | Лабораторные работы № 3 Исследование адаптивной САР с эталонной моделью объекта (4 часов) | 22 |
| 4 | Лабораторные работы № 4. Нечеткий адаптивный ПИД-регулятор (4 часа) | 29 |
| 5 | Лабораторная работа № 5. Самонастраивающееся управление (3 часа) | 3 |

Жусупбеков Сарсенбек Сейтбекович
Сабырова Аружан Бағытжанқызы

АДАПТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по образовательным программам 7М07105 – Автоматизация и управление, 7М07113 – Автоматизация и управление

Редактор:
Специалист по стандартизации:

Жанабаева Е.Б.
Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать 24.02.2025
Тираж 50 экз.
Объем 2, 8 п. л

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская № 1
Заказ ____ . Цена 1400 тг.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013 Алматы, Байтурсынова, 126/1