

Модифицированный ПИД-регулятор

М.В. Скороспешкин, В.Н. Скороспешкин, Г.П. Цанко

ФГБОУ ВПО НИ ТПУ

Аннотация. Показана возможность создания модифицированного ПИД-регулятора на базе классического ПИД-регулятора, дополненного псевдолинейным звеном с амплитудным подавлением и псевдолинейным звеном с фазовым опережением. Установлено, что применение такого модифицированного ПИД-регулятора позволяет существенно улучшить качество переходных процессов в системах автоматического регулирования нестационарными объектами. На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что данный регулятор целесообразно применять в системах, у которых параметры объекта управления меняются в широком диапазоне. И в этой связи такой регулятор можно рассматривать как робастный.

Ключевые слова: Модифицированный ПИД-регулятор, псевдолинейное звено с амплитудным подавлением, псевдолинейное звено с фазовым опережением, качество регулирования, нестационарный объект регулирования.

ВВЕДЕНИЕ

Классический ПИД-регулятор обладает рядом недостатков, основными из которых являются наличие фазового запаздывания и высокая чувствительность к помехам в измерительном канале, поэтому он не всегда может дать хорошее качество регулирования [1].

Для устранения данных недостатков используют различные способы, например, в регулятор вводят фазопередающий фильтр [2], а также осуществляют коррекцию свойств ПИД-регулятора [4].

В данной работе приведены результаты исследования работы системы автоматического регулирования (САР) объектом управления (ОУ) второго порядка с использованием модифицированного ПИД-регулятора.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ СТРУКТУРА РЕГУЛЯТОРА

В состав данного регулятора включены следующие звенья: псевдолинейное звено с амплитудным подавлением, пропорциональное звено, интегрирующее звено, дифференцирующее звено, и псевдолинейное фазопередающее звено. Структурная схема модифицированного ПИД-регулятора представлена на рис. 1.

На рис.1 приведены следующие обозначения: ПА – псевдолинейное звено с амплитудным

подавлением; П – пропорциональное звено; И – интегрирующее звено; Д – дифференцирующее звено; ПФ – псевдолинейное звено с фазовым опережением.

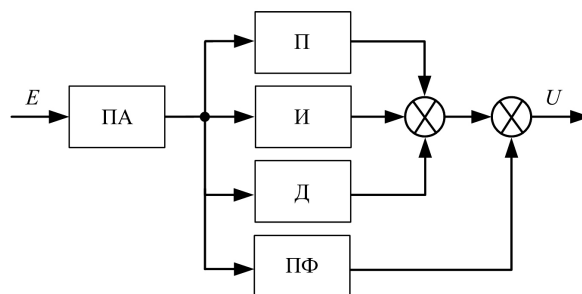


Рис.1. Структурная схема модифицированного ПИД-регулятора

Структурная схема псевдолинейного звена с амплитудным подавлением представлена на рис. 2.

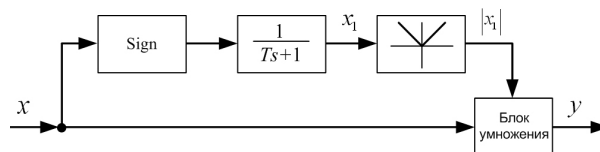


Рис.2. Структурная схема псевдолинейного звена с амплитудным подавлением

Звено состоит из оператора *Sign*, низкочастотного фильтра, блока определения модуля и перемножающего устройства. Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) звена, полученная в результате гармонической линеаризации, имеет вид:

$$W(j\omega) = a + jb,$$

$$\text{где } a = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1+T^2\omega^2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \cos(2\theta)\right);$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1+T^2\omega^2}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \sin(2\theta)\right); \quad \theta = -\arctg \omega T;$$

ω – угловая частота гармонических колебаний.

Анализируя представленную выше АФЧХ, можно показать, что при изменении частоты амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) данного звена меняется от значения, равного 1 до нуля. А изменение фазовой частотной характеристики (ФЧХ) при различных параметрах низкочастотного фильтра происходит не более чем на -20° , в то время как максимальный фазовый сдвиг обычного апериодического звена первого порядка, может достигать -90° . Работает

звено следующим образом. При возникновении в САР колебаний выходной величины объекта управления автоматически производится уменьшение коэффициента передачи звена.

Структурная схема псевдолинейного звена с фазовым опережением представлена на рис. 3.

Звено состоит из блока определения модуля, фазоопережающего звена, оператора *Sign* и перемножающего устройства.

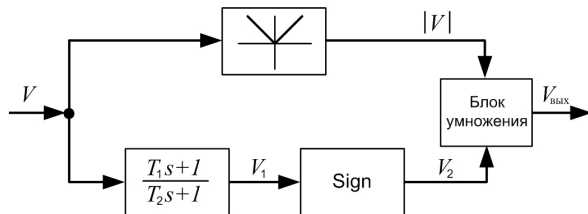


Рис.3. Структурная схема псевдолинейного звена с фазовым опережением

Коэффициенты гармонической линеаризации данного звена имеют вид:

$$a = \frac{1}{\pi} (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha); \quad b = \frac{1}{\pi} (1 - \cos 2\alpha),$$

$$\text{где } \alpha = \arctg \frac{\omega T_1(1-v)}{1 + \omega^2 T_1^2 v}; \quad v = \frac{T_2}{T_1}.$$

Анализ частотных характеристик звена показывает, что при изменении частоты и варьировании постоянных времени звена T_2 от 1 до 0,01 с, T_1 от 1 до 10 с, ФЧХ претерпевает изменения в пределах от 0 до 78°, а логарифмическая АЧХ изменяется в пределах от 0 до -4 дБ [5].

Такое изменение АЧХ не оказывает существенного влияния на запас устойчивости САР. Данное псевдолинейное звено с фазовым опережением осуществляет фазовый сдвиг, величина которого зависит от значений постоянных времени T_1 и T_2 . Данное звено применяется для коррекции сигнала путем внесения в САР положительного фазового сдвига и тем самым улучшает качество регулирования.

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Для исследования работы модифицированного ПИД-регулятора была реализована модель САР в среде MATLAB 7.12, которая показана на рис. 4.

В модели есть две подсистемы с одинаковыми ОУ. В первой подсистеме применяется традиционный ПИД-регулятор. Во второй подсистеме применяется описанный выше модифицированный ПИД-регулятор, структурная схема которого показана на рис. 1.

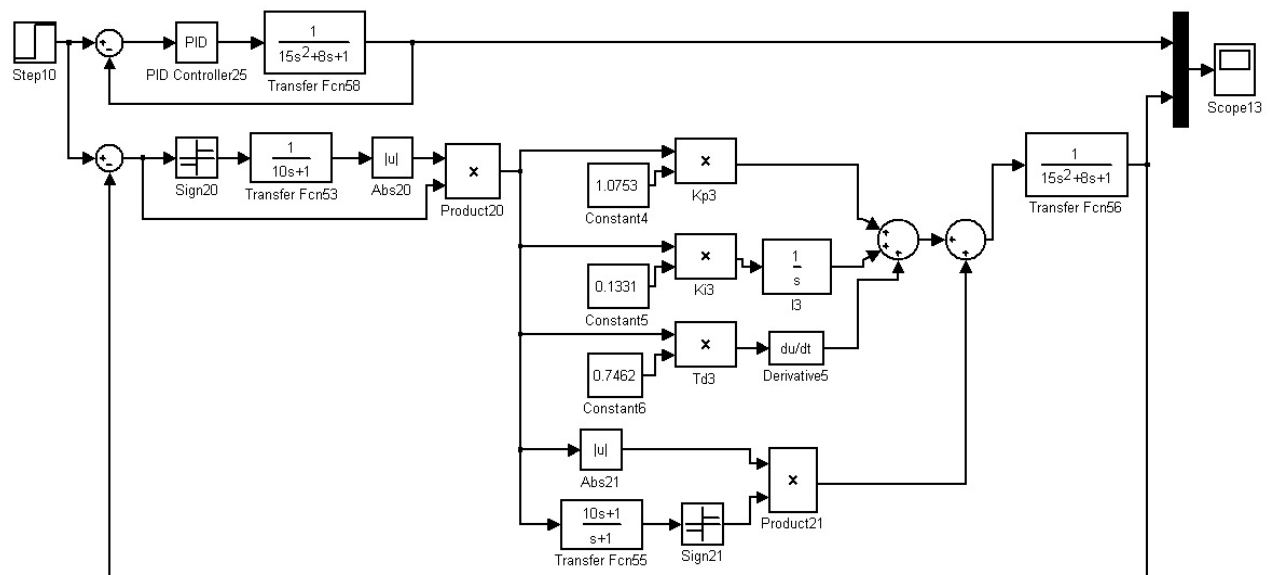


Рис.4. Модель САР в среде MATLAB

В системе используются ОУ второго порядка, имеющие передаточную функцию вида:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{T_{o2}^2 s^2 + T_{o1} s + 1}, \quad (1)$$

где K_o – статический коэффициент передачи ОУ, T_{o1} и T_{o2} – постоянные времени.

Параметры ОУ имеют следующие значения: $K_o=1$, $T_{o2}=3,87298$ с, $T_{o1}=8$ с.

Для данного объекта управления методом Циглера-Никольса были рассчитаны параметры

классического ПИД-регулятора для обеспечения апериодического переходного процесса. Коэффициенты регулятора имеют следующие значения: $K_p = 1.0753$; $K_i = 0,1331$; $K_d = 0,7462$.

Для исследования свойств системы регулирования была проведена настройка модифицированного ПИД-регулятора: значения пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих были приняты равными значениям классического ПИД-

регулятора. Постоянная времени фильтра псевдолинейного звена с амплитудным подавлением $T = 10$ с. Параметры настройки фазопережающего звена были приняты равными: $T_1 = 10$ с, $T_2 = 1$ с.

На рис. 5 приведены кривые переходных процессов для двух систем с параметрами ОУ и настройками регуляторов описанными выше.

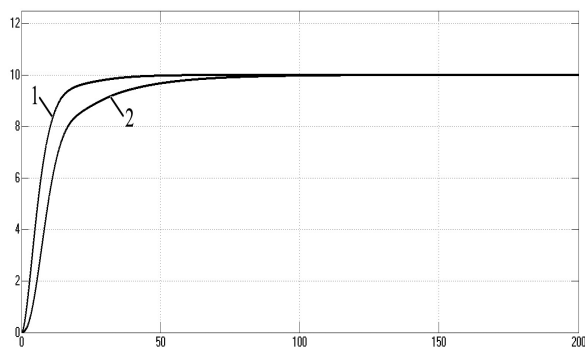


Рис. 5. Кривые переходных процессов

Кривая 1 соответствует системе с классическим ПИД-регулятором, а кривая 2 – системе с модифицированным ПИД-регулятором.

Как видно из рисунка характер переходных процессов является апериодическим. В системе с модифицированным ПИД-регулятором время регулирования немного больше, чем в системе с ПИД-регулятором.

На рис. 6 приведены кривые переходных процессов для этих же САР, с изменившимися параметрами ОУ. Значения изменившихся параметров ОУ являются следующими: $K_0 = 1$; $T_{02} = 7,0710$ с; $T_{01} = 8$ с. При этом параметры ПИД-регулятора и модифицированного ПИД-регулятора остались неизменными.

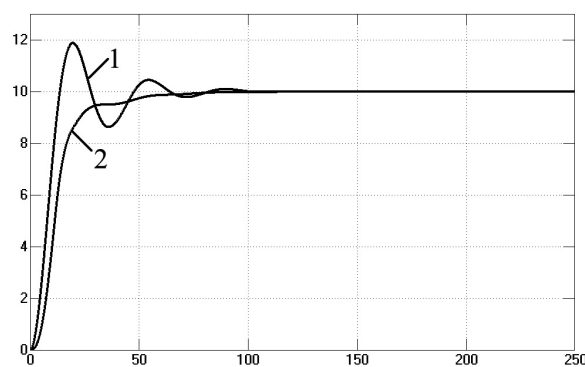


Рис. 6. Кривые переходных процессов

Кривая 1 соответствует системе с классическим ПИД-регулятором, а кривая 2 – системе с модифицированным ПИД-регулятором.

Как видно из рисунка качество регулирования САР с ПИД-регулятором при изменившихся параметрах ОУ является намного хуже, чем качество САР с модифицированным ПИД-регулятором.

Проведенные исследования систем

регулирования с предложенным регулятором показывают, что псевдолинейный ПИД-регулятор эффективно работает в условиях, когда параметры объекта управления меняются в широком диапазоне. И в этой связи такой регулятор можно рассматривать как робастный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрено псевдолинейное фазопережающее звено, фазовая характеристика которого претерпевает изменения в пределах от 0 до 78° . При необходимости подъема фазо-частотной характеристики на большую величину можно использовать псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением [3]. Данное звено обеспечивает подъем фазо-частотной характеристики до 175° .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Изд. Наука, 1975.
- [2] Скороспешкин М.В. Адаптивные псевдолинейные корректоры динамических характеристик систем автоматического регулирования // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – №7. – С. 172 – 176.
- [3] Скороспешкин М.В., Скороспешкин В.Н. Псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением // Патент на полезную модель №104332 (RU 104332 U1) По заявке №2010149922/08 от 03.12.2010. Опубликовано: 10.05.2011 RU БИПМ №13.
- [4] Хлыпало Е.И. Нелинейные корректирующие устройства и автоматических системах. Лен.: Изд. Энергия, 1973.

Скороспешкин Максим Владимирович – доцент кафедры автоматизации и компьютерных систем Института кибернетики ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, к.т.н.,
e-mail: smax@tpu.ru.

Скороспешкин Владимир Николаевич – доцент кафедры автоматизации и компьютерных систем Института кибернетики ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, к.т.н.,
e-mail: shedar@tpu.ru.

Цапко Геннадий Павлович – заведующий кафедрой автоматизации и компьютерных систем Института кибернетики ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, д.т.н., профессор.
e-mail: tsapko@aics.ru.

Modified PID-Regulator

Maxim SKOROSPESHKIN,
Vladimir SKOROSPESHKIN,
Gennadiy TSAPKO

Abstract: The paper demonstrates the possibility

of creation of modified PID-regulator on the base of classical PID-regulator supplemented with pseudo-linear chain with amplitude suppression and with the phase forestalling. It is established that the use of such modified PID-regulator allows increasing of the quality of transient processes in systems of automatic control of non-stationary objects. On the base of the fulfilled researches the conclusion has been stated

that the said regulator is useable for the systems in which the parameters are changing in wide range. Therefore said regulator can be treated as robust one.

Key words: Modified PID-regulator, pseudo-linear chain with amplitude suppressing, pseudo linear chain with phase forestalling, quality of control, non-stationary controlled object.