

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ФАЗОВЫМ ОПЕРЕЖЕНИЕМ В ПРОМЫШЛЕННОМ УПРАВЛЕНИИ

Ли Чжэньбэй.¹, Скороспешкин М.В.²

¹Томский политехнический университет, ИШИТР, 8ТМ21 e-mail: chzhenbey1@tpu.ru

²Томский политехнический университет, ИШИТР, Доцент, e-mail: smax@tpu.ru

Аннотация

Рассматривается подход к повышению качества управления нестационарным объектом путем включения в систему автоматического регулирования псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением. Псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением позволяет получить фазовое опережение без заметного изменения амплитуды. Корректирующему устройству можно придать свойство адаптивности – меняя параметры настройки корректирующего устройства, можно повысить качество управления нестационарным объектом в режиме реального времени. Показан пример программной реализации псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением в виде функционального блока на языке FBD на платформе CoDeSys 2.3.

Ключевые слова: псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением, нестационарный объект управления, качество регулирования

Введение

В настоящее время ПИД-регуляторы широко используются в большинстве автоматических систем управления. Однако существуют системы, где параметры меняются со временем, и для них необходимо использовать ПИД-регуляторы, способные адаптивно подстраивать свои параметры в процессе работы. Однако этот подход требует значительного времени на настройку, что может быть проблематично при реализации таких систем.

Вместо этого можно использовать корректирующие устройства (КУ), которые способствуют улучшению качества управления нестационарными объектами и обеспечивают необходимую степень устойчивости в соответствии с требованиями системы. Одним из таких КУ является псевдолинейное корректирующее устройство, которое способно адаптивно увеличивать амплитудный и фазовый запас системы.

Теория псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Псевдолинейное корректирующее устройство с фазовым опережением позволяет получить фазовое опережение без заметного изменения амплитуды. Схема такого корректирующего устройства показана на рисунке 1 [1].

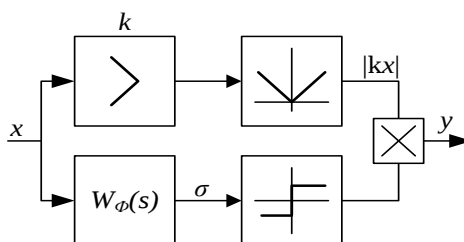


Рис. 1. Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Входной сигнал проходит через 2 канала. Верхний канал состоит из усилителя k и блока выделения модуля. Нижний канал включает в себя линейный фильтр и блока определения знака. Выхода двух каналов проходят через блок умножения. На рисунке 2 приведены нелинейные характеристики этой схемы при разных значениях опережения α , получаемых выбором параметров схемы [2].

$$\text{При } 0 < \alpha < \pi/2 \text{ имеем } OC_1 = a, \quad \frac{OC_1}{OC_2} = \sin \alpha;$$

а при $\pi/2 < \alpha < \pi$ $OC_1 = a$, $\frac{OC_1}{OC_2} = \cos \alpha$,

где, a – амплитуда входных колебаний.

При $\alpha = \pi/2$ точки C_1 и C_2 сливаются. Если нелинейная часть фильтра имеет вид

$$W_\phi(s) = \frac{Ts + 1}{T_1s + 1}, \quad (1)$$

то опережение

$$\alpha = \arctg \frac{\omega T(1 - \gamma)}{1 + \omega^2 T^2 \gamma};$$

$$\gamma = \frac{T_1}{T}. \quad (2)$$

Коэффициенты гармонической линеаризации определяются по формулам:

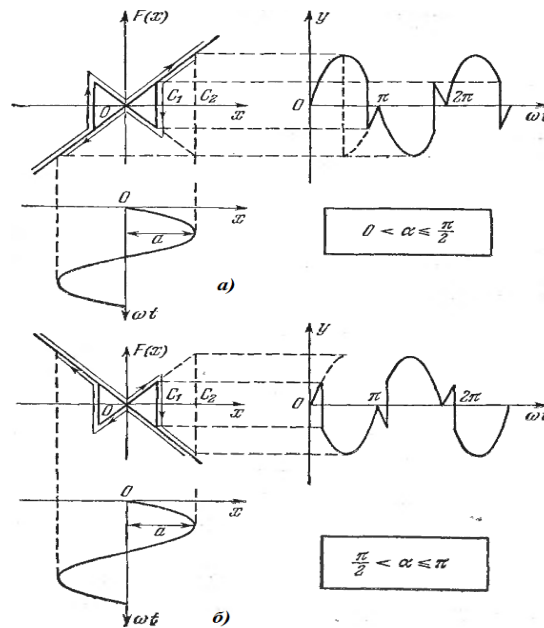


Рис. 2. Нелинейные характеристики ПКУ с фазовым опережением

Интегралы разбиваются на два с пределами соответственно $(0, \alpha)$ и (α, π) . В результате получаем

$$q = \frac{k}{\pi} (\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha);$$

$$q' = \frac{k}{\pi} (1 - \cos 2\alpha), \quad (3)$$

где $\alpha = \alpha(\omega)$ выражается формулой (3).

Получаемое фазовое опережение показано на рисунке 3,4, при различных значениях γ в зависимости от частоты ω . При этом амплитудное искажение $Q(\omega)$, определяемое величиной оказывается незначительным [3].

$$Q(\omega) = \sqrt{q^2(\omega) + q'^2(\omega)} \quad (4)$$

На рисунке 3 приведены АЧХ и ФЧХ ПКУ с фазовым опережением при $T_1 = 0.1c$ с различными значениями T . Кривые 1, 2, 3, 4 и 5 соответствуют значениям T равным 1, 2, 3, 5 и $10c$. На рисунке 4 приведены АЧХ и ФЧХ ПКУ с фазовым опережением при $T_1 = 0.5c$ с различными значениями T . Кривые 1, 2, 3, 4 и 5 соответствуют значениям T равным 1, 2, 3, 5 и $10c$.

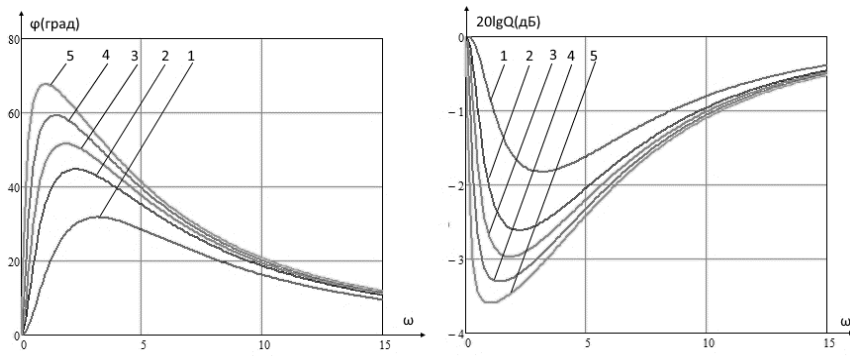


Рис. 3. ФЧХ и АЧХ ПКУ с фазовым опережением при $T_1=0.1c$

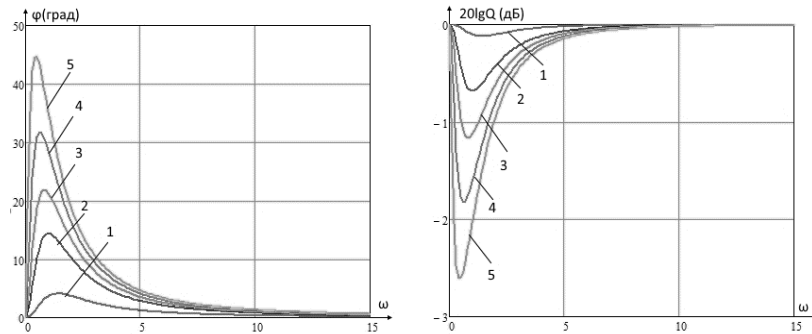


Рис. 4. ФЧХ и АЧХ ПКУ с фазовым опережением при $T_1=0.5c$

По графикам видно, что ПКУ с фазовым опережением имеет незначительным амплитудным ослаблением, значение которого увеличивается с ростом T , и значительным фазовым опережением, значение которого увеличивается с ростом T .

Программная реализация псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

С помощью билинейного преобразования можно получить дискретную передаточную функцию системы, которая описывает ее поведение в дискретном времени. Дискретная передаточная функция может быть использована для получения разностного уравнения, описывающего поведение системы в дискретном времени.

Преобразование имеет следующий вид:

$$s \Leftrightarrow \frac{2}{\Delta t} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}, \quad (5)$$

где « Δt » период дискретизации сигнала.

Фильтр псевдолинейного корректирующего устройства для фазы описывается переходной функцией **Ошибка! Источник ссылки не найден..** Подставив данное преобразование в вышеуказанную переходную функцию, можем собрать полином, содержащий отрицательные степени переменной:

$$W(z) = \frac{1+T \cdot \frac{2}{\Delta t} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}}{1+\frac{2}{\Delta t} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}} = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (6)$$

После этого производится умножение числителя и знаменателя между собой:

$$\left(\frac{\Delta t+2}{\Delta t}\right) \cdot Y(z) + \left(\frac{\Delta t-2}{\Delta t}\right) \cdot Y(z) \cdot z^{-1} = \left(\frac{\Delta t+T \cdot 2}{\Delta t}\right) \cdot X(z) + \left(\frac{\Delta t-T \cdot 2}{\Delta t}\right) \cdot X(z) \cdot z^{-1} \quad (7)$$

В преобразовании, « z^{-1} » представляет задержку на один отсчет в дискретном временном домене $(t - \Delta t)$. Если входной сигнал $X(z)$ задерживается на один отсчет, то его преобразование $X(z)$ будет умножено на « z^{-1} ».

В результате изложенного получена модель временной области данного выражения:

$$Y(t) = \frac{(\Delta t + T \cdot 2)}{(\Delta t + 2)} \cdot X(t) + \frac{(\Delta t - T \cdot 2)}{(\Delta t + 2)} \cdot X(t - \Delta t) - \frac{\Delta t - 2}{(\Delta t + 2)} \cdot Y(t - \Delta t) \quad (8)$$

Уравнение показывает текущее значение выходного сигнала Y , выраженное через текущие и прошлые значения входного сигнала X , $X1$ и прошлые значения выходного сигнала $Y1$.

$$Y = \frac{(\Delta t + T \cdot 2)}{(\Delta t + 2)} \cdot X + \frac{(\Delta t - T \cdot 2)}{(\Delta t + 2)} \cdot X1 - \frac{\Delta t - 2}{(\Delta t + 2)} \cdot Y1 \quad (9)$$

Согласно формуле **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, реализация фильтра псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением приведена на рисунке 5.

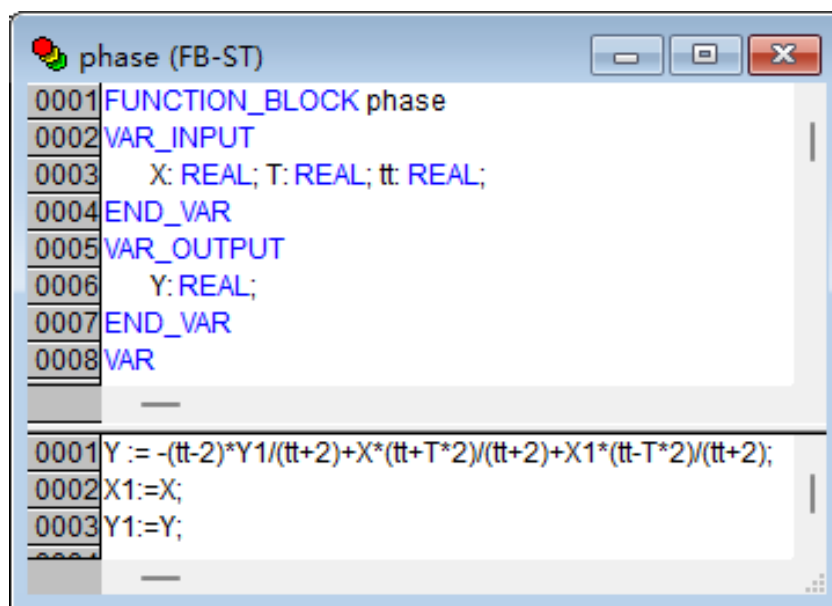


Рис. 5. Реализация фильтра псевдолинейного корректирующего устройства для фазы на языке ST

Данный код на языке ST представляет собой функциональный блок с именем phase, который имеет три входных параметра: X (Входной сигнал), T (Коэффициент постоянной времени ПКУ) и tt (период дискретизации сигнала). Также он имеет один выходной параметр Y (Выходной сигнал).

Программная реализация псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

В соответствии со структурой, приведенной на рисунке 1, можно построить функциональный блок псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением на языке FBD, показанной на рисунке 6.

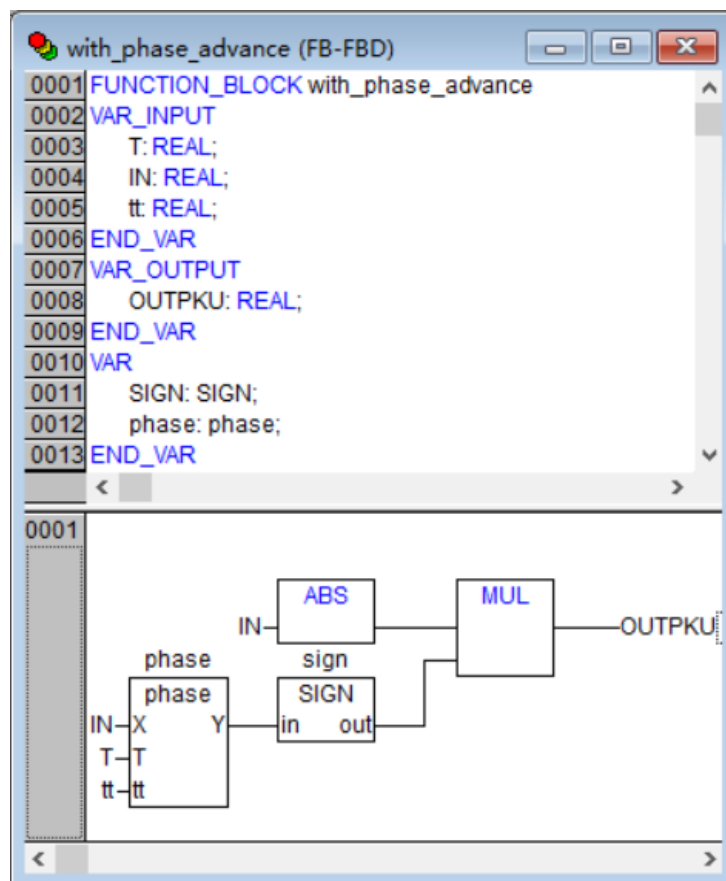


Рис. 6. Реализация псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением на языке FBD

Заключение

В данной работе была рассмотрена реализация псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением в промышленных системах управления. Программная реализация данного устройства на платформе CoDeSys 2.3 показала, что оно может быть легко интегрировано в существующие системы управления. Использование как стандартных, так и пользовательских функциональных блоков на языках FBD и ST обеспечивает гибкость и простоту в настройке и эксплуатации.

Этот подход к управлению нестационарными объектами имеет большой потенциал в промышленности, и дальнейшее развитие и исследования в этой области могут привести к созданию более эффективных и устойчивых систем управления.

Список использованных источников

1. Топчиев Ю.И. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления. – М.: Машиностроение. – 1971. – 466 с.
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. Адаптивное двухканальное корректирующее устройство для систем автоматического регулирования // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 5. – С. 52–57.