

## АДАПТИВНОЕ НЕЧЕТКОЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО С АМПЛИТУДНЫМ ПОДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ САР

Фам Ван Дай

Научный руководитель: Скороспешкин В.Н.

Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30

Email: [phamvandaibk@gmail.com](mailto:phamvandaibk@gmail.com)

В системах автоматического регулирования (САР) для получения желаемых динамических характеристик целесообразно использовать корректирующие устройства. Среди этих корректирующих устройств выделяют класс псевдолинейных корректирующих устройств (ПКУ), эквивалентные частотные амплитудные и фазовые характеристики которых не зависят от значения амплитуды сигнала на входе. Эти корректоры позволяют изменять амплитудно-частотную (АЧХ) и фазо-частотную (ФЧХ) характеристики в широких пределах независимо друг от друга[1]. Наиболее распространение нашли следующие виды ПКУ:

- ПКУ с амплитудным подавлением;
- ПКУ с фазовым опережением;
- ПКУ с отдельными каналами для фазы и амплитуды.

В настоящей работе предлагается адаптивное корректирующее устройство с амплитудным подавлением. Структурная схема ПКУ с амплитудным подавлением приведена на рис. 1.

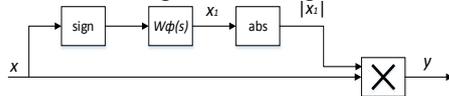


Рис. 1. Структурная схема ПКУ с амплитудным подавлением

В этой схеме использованы следующие обозначения: *sign* – блок выделения знака,  $W_{\phi}(s)$  – низкочастотный фильтр первого порядка с передаточной функцией  $W_{\phi}(s) = \frac{1}{Ts + 1}$ , *abs* – блок выделения модуля и *X* – блок умножения.

Сигнал на входе в корректоре поступает в два канала. Коэффициент передачи гармонического сигнала верхнего канала корректора будет меньше единиц, а по нижнему каналу сигнал проходит без изменения и, следовательно, коэффициент передачи корректора в целом будет меньше единицы. Данное ПКУ позволяет получить амплитудное ослабление колебаний высоких частот без заметного изменения фазового сдвига[2].

Схема системы автоматического регулирования с применением предлагаемого адаптивного ПКУ приведена на рис. 2. Данное корректирующее устройство включается последовательно с ПИД-регулятором. В схеме использованы дополнительные обозначения: *БАК* – блок анализа качества переходного процесса, *БНП* – блок нечетких преобразований, который состоит из трех последовательно-соединенных блоков: *ФФ* – блока фазификации, *ФЛ* – блока фаззи-логики и *ДФ* – блока дефазификации. *K* – коэффициент передачи средней ветви корректора, *БГПС* – блок генерации пробных сигналов.

Рис. 2. Схема системы автоматического регулирования с нечетким адаптивным корректирующим устройством

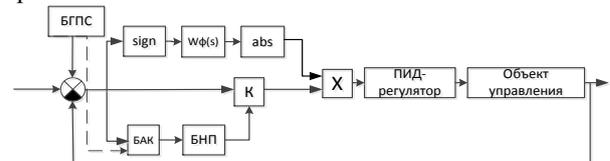


Рис. 2. Схема системы автоматического регулирования с нечетким адаптивным корректирующим устройством

Работа системы следующим образом: перед запуском системы, параметры ПИД-регулятора были настроены, чтобы обеспечить требуемые качества регулирования. В процессе работы системы в заданное время *БГПС* посылает на вход системы пробный ступенчатый импульс заданной амплитуды  $A_{имп}$  и заданной длительности  $T_{имп}$ . За это время *БАК* определяет качество регулирования, и если оно недопустимо из-за нестационарности параметров объекта управления, то *БНП* автоматически подстраивает коэффициент передачи корректора. В случае, когда не произошло изменение параметров объекта управления, данный корректор не оказал влияние на качество регулирования САР. При этом параметры настройки ПИД-регулятора остаются неизменными. В системе используется следующий критерий для оценки качества регулирования, который определяется в *БАК*:

$$J = \frac{\int_{t_2}^{t_1} |\varepsilon(t)| dt}{A_{имп} \cdot T_{имп}} \quad (1).$$

Где  $\varepsilon(t)$  – значение ошибки регулирования, которое поступает на вход корректора,  $t_1$ ,  $t_2$  – начальный и конечный моменты пробного импульса. В случае, когда появится колебание в следствие нестационарности параметров объекта управления, это соотношение будет больше.

Условием необходимости подстройки параметра корректора по критерию (1) является превышение амплитуды колебания выходной величины, вызванной пробным импульсом, заданного значения. Если амплитуда колебания выше чем заданное значение, то *БНП* автоматически уменьшает коэффициент передачи корректора, в результате чего уменьшается амплитуда колебания.

В блоке  $\Phi\Phi$  формируются функции принадлежности входной переменной, в нашем случае переменной является  $J$ . Для данной переменной задаются две функции принадлежности типа «треугольник» с названиями «small» и «med» и одна функция принадлежности типа «трапеция» с названием «big». Задаются функции принадлежности выходной переменной, которые используются в блоке  $D\Phi$ . Выходной переменной является делитель коэффициента передаточной функции корректора  $D = 1/K$ . Для этой переменной задаются также две функции принадлежности типа «треугольник» с названиями «small» и «med» и одна функция принадлежности типа «трапеция» с названием «big». После задания функций принадлежности входной и выходной переменных создается база правил, по которым будет осуществляться принятие решения о значении выходной переменной. В данной работе использована следующая база правил:

- ЕСЛИ ( $J$ =small) ТО ( $D$ =small);
- ЕСЛИ ( $J$ =med) ТО ( $D$ =med);
- ЕСЛИ ( $J$ =big) ТО ( $D$ =big).

Для дефазификации использован метод центра тяжести.

Проверка работоспособности адаптивного корректора проводилась в среде Simulink на примере САР с объектом второго порядка. Схема САР представлена на рис. 3. Передаточная функция объекта управления, используемая при моделировании работ САР, имеет вид:

$$W_{OY}(s) = \frac{K_{OY}}{T_1 s^2 + T_2 s + 1}.$$

В процессе моделирования постоянная времени  $T_1$  менялась в диапазоне от 0.1 до 1 сек,  $T_2$  менялась от 5 до 8 сек, а статический коэффициент передачи  $K_{OY}$  менялся от 1 до 10. Постоянная времени фильтра  $T$  равна 0.5 сек. В процессе моделирования, параметры настройки ПИД-регулятора остаются неизменными:  $K_n=9.8$ ,  $K_u=1.8$  и  $K_d=-2.5$ . Изменение параметров объекта управления приводило к уменьшению запаса устойчивости и ухудшению качества САР.

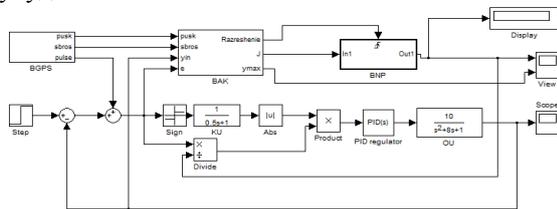


Рис. 3. Схема САР в среде Simulink

Определение критерия оценки качества регулирования  $J$  проводилось после подачи на вход системы прямоугольного импульса длительностью, равной 10 сек, и амплитудой, равной 1. Условие для подстройки параметра корректора является превышением максимальной амплитуды колебания значения, равного 6.2.

На рис. 4 представлена кривая переходного процесса в САР, в состав которой входит адаптивное нечеткое корректирующее устройство.

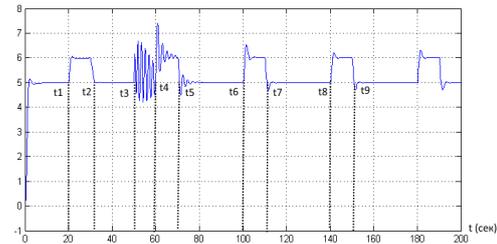


Рис. 4. Кривая переходного процесса в САР с нечетким адаптивным ПКУ

В момент  $t_1=20$  сек был подан пробный импульс, который оканчивает в момент  $t_2=30$  сек. Параметры объекта управления в данное время еще не менялись. Так как качество регулирования оказалось хорошим, то подстройка параметра корректора не происходила.

В момент  $t_3=50$  сек произошло изменение параметров ОУ и появилось колебание регулируемой величины. В период от  $t_4=60$  до  $t_5=70$  сек на вход САР был подан пробный импульс. После этого БАП вычислил максимальную амплитуду колебания и сравнил ее с допустимым значением, равным 6.2, вычислил  $J$  и принял решение подстройки корректора. БНП вычислил значение корректора  $D=1.79$  и осуществил подстройку корректора.

Аналогично, в период от  $t_6=100$  сек до  $t_7=110$  сек был подан импульс, после окончания которого, происходила подстройка корректора до значения  $D$ , равного 5.4. Качество регулирования стало лучшим, и поэтому со следующих импульсов нет необходимости подстройки корректора, и значение  $D$  осталось неизменным.

В САР, в состав которой входит ПКУ с амплитудным подавлением без адаптации, при постоянной времени фильтра  $T=0.5$ , после изменения свойства объекта управления, перерегулирование составило 73%, время регулирования и частота собственных колебаний оказались большими. В САР, в состав которой не входит корректирующее устройство, после изменения параметров объекта управления, система стала уже неустойчивой.

Таким образом, результаты моделирования САР показали, что предложенное адаптивное нечеткое псевдолинейное корректирующее устройство с амплитудным подавлением может быть успешно использовано для обеспечения заданного качества регулирования в условии, когда изменение параметров объекта управления происходит в широких пределах.

#### Литература

1. Топчиев Ю.И. Нелинейные корректирующее устройства в системах автоматического управления. М.: Изд. Машиностроение, 1971. 462с.
2. Скороспешкин М.В. Адаптивные псевдолинейные корректоры динамических систем автоматического регулирования. // Известия Томского