

## Исследование динамических нелинейностей

**Цель лабораторной работы** – исследование влияния типовых динамических нелинейностей на качество переходных процессов в системах автоматического управления.

### *Краткие теоретические сведения.*

У динамических нелинейных элементов выходная величина зависит как от текущей входной величины, так и от ее производной.

Некоторые из типовых динамических нелинейностей показаны на рис. 13.

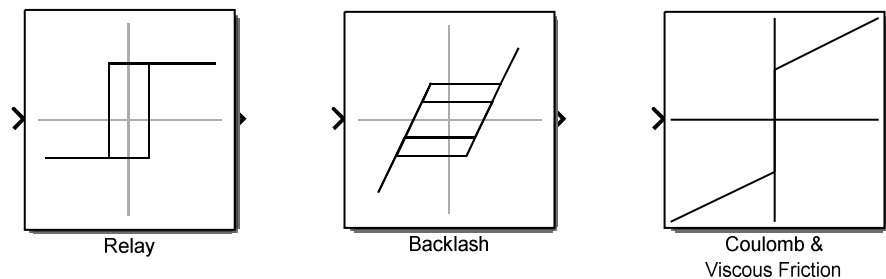


Рис. 13. Нелинейности: реле с гистерезисом (relay), люфт (backlash), сухое (кулоновское) и вязкое трение (coulomb and viscous friction)

Реле с гистерезисом описывается следующим уравнением:

$$y(x, \dot{x}) = \begin{cases} \dot{x} > 0: & \begin{cases} c, & x > b \\ -c, & x < b \end{cases} \\ \dot{x} < 0: & \begin{cases} c, & x > -b \\ -c, & x < -b \end{cases} \end{cases} .$$

Реле с гистерезисом может быть использовано, например, в качестве регулятора температуры. Диапазон  $\pm b$  в этом случае будет описывать границы изменения ошибки по температуре – условия включения/выключения нагревательного элемента.

Характеристика «люфт» характерна для механической передачи от вала двигателя к отработывающему валу следящей системы, которые соединяются с помощью редуктора. Редуктор не может быть описан пропорциональным звеном, потому что при изменении направления вращения имеет место холостой ход.

Уравнение нелинейности типа «Люфт» имеет вид:

$$y(x, \dot{x}) = \begin{cases} \dot{x} > 0: k(x - c), \\ \dot{x} < 0: k(x + c), \\ \dot{x} = 0: const. \end{cases}$$

Нелинейность типа «Сухое трение» описывает силу сопротивления  $F$  при движении груза по неидеальной поверхности со скоростью  $v$ .

Существуют разные модели трения.

Сухое трение:

$$F_1 = k_1 \operatorname{sgn}(v).$$

Вязкое трение:

$$F_2 = k_2 \operatorname{sgn}(v)|v|.$$

Блок *Coulomb and viscous friction* позволяет описать оба эти варианта вместе или по отдельности.

### Задания на лабораторную работу

**Задание 2.1.** На рис. 14 приведена схема управления комнатной температурой, в которой используется реле с гистерезисом (константа 25 описывает заданную температуру, константа 75 – температуру нагревателя, апериодическое звено – динамику процесса нагрева).

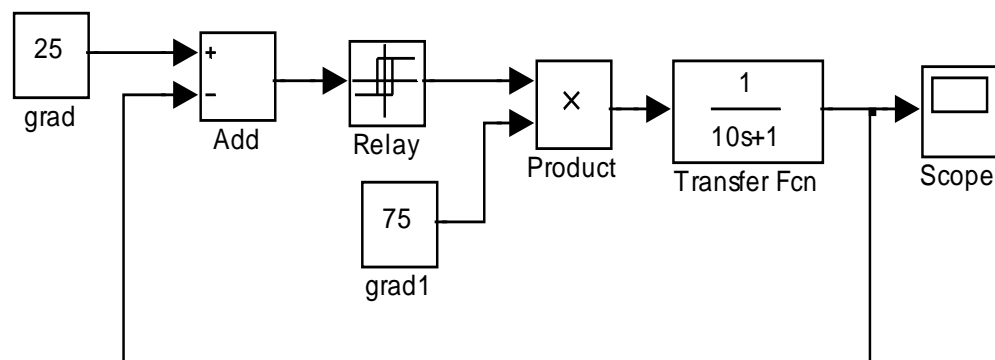


Рис. 14. Использование реле в качестве органа управления

Выполнить моделирование системы управления при различных параметрах зоны гистерезиса реле. Задать переменную желаемую температуру. Процесс охлаждения комнаты должен происходить при выключенном нагревателе.

**Задание 2.2.** На рис. 15 представлена схема управления мотором с нелинейностью типа «люфт».

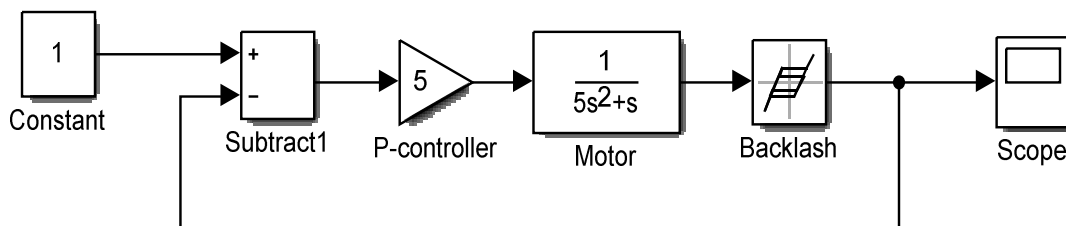


Рис. 15. Система управления с люфтом

Выполните моделирование системы управления при различных значениях ширины люфта. Показать, при какой величине люфта возникает потеря устойчивости.

Нелинейность типа «люфт» может быть компенсирована обратной нелинейностью, которую можно описать следующим образом:

$$y(x, \dot{x}) = \begin{cases} x + c, & \text{if } x(t) > x(t - \Delta t), \\ x - c, & \text{if } x(t) < x(t - \Delta t), \\ x, & \text{if } x(t) = x(t - \Delta t). \end{cases}$$

На рис. 16 представлен вариант реализации этой формулы в *Simulink MatLab*.

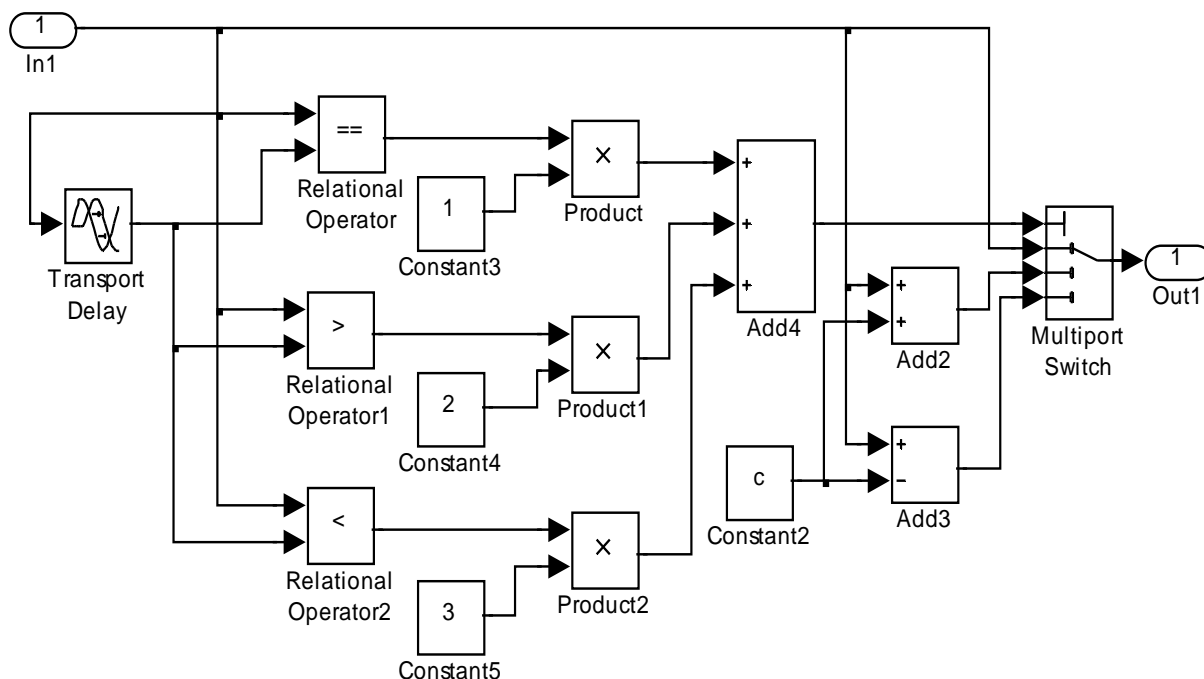


Рис. 16. Блок-схема нелинейности «Антилюфт»

Выполнить моделирование системы управления при включении «антилюфта» перед люфтом. Подобрать параметры схемы, при которых влияние люфта практически устраняется.

**Задание 2.3.** Моделирование движения механической системы с одной степенью свободы (рис. 17).

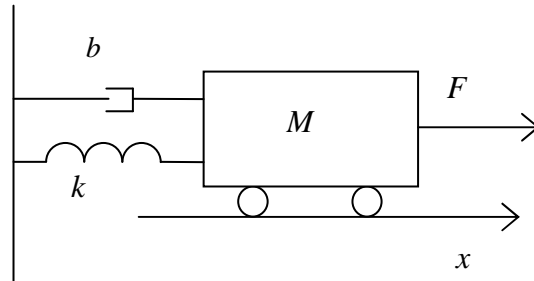


Рис. 17. Тележка с пружиной и демпфером

На рис. 17  $b$  – коэффициент демпфирования (коэффициент вязкого трения),  $k$  – коэффициент жесткости пружины,  $F$  – внешняя сила (вход объекта),  $x$  – горизонтальная координата (выход),  $M$  – масса тележки).

В соответствии со 2-м законом Ньютона можно записать уравнения динамики:

$$M\ddot{x} = F - kx - F_T\dot{x},$$

$$\ddot{x} = \frac{F}{M} - \frac{k}{M}x - \frac{F_T}{M}\dot{x}.$$

На рис. 18 показан вариант схемы моделирования при  $M = 1$  и  $F = \sin(t)$ .

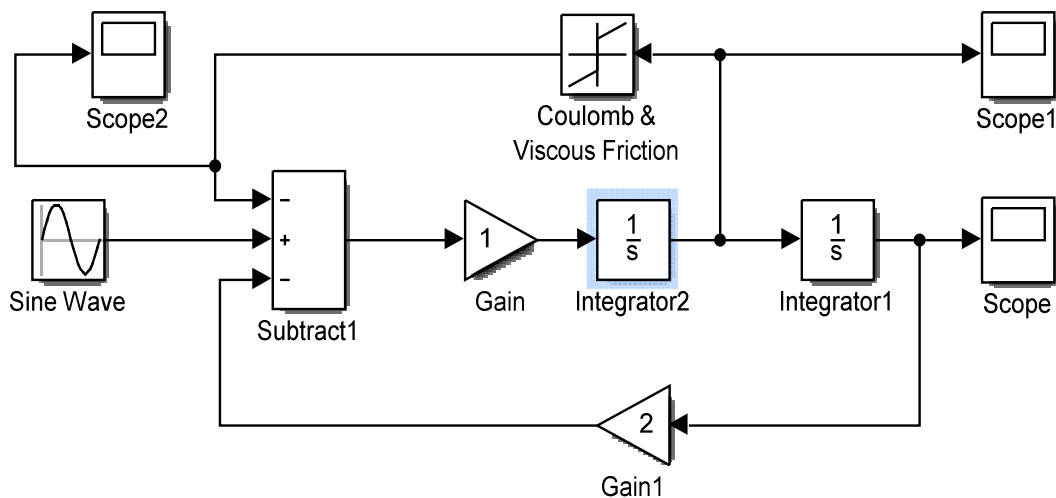


Рис. 18. Блок-схема уравнений динамики тележки с пружиной и демпфером

Выполните моделирование системы управления при различных параметрах сухого и вязкого трения. Показать, при каких параметрах трения в системе возникают установившиеся колебания, и при каких параметрах колебания носят хаотический (несинусоидальный) характер.