

## §12. Обозначения в структурных схемах. Передаточные функции типовых соединений звеньев

В ТАУ при анализе САУ самое широкое применение получили так называемые структурные схемы. При этом под структурной схемой САУ подразумевается условное графическое изображение математической модели системы в виде совокупности отдельных звеньев с указанием связей между ними.

Эта схема в сущности представляет собой графическое изображение системы уравнений, описывающих поведение элементов и устройств САУ.

Структурная схема может также рассматриваться как схема прохождения и преобразования сигналов в САУ. Поэтому ее иногда называют также алгоритмической схемой.

Рассмотрим правила изображения элементов САУ на структурных схемах. 1. Звено обозначается в виде прямоугольника с указанием входных и выходных величин

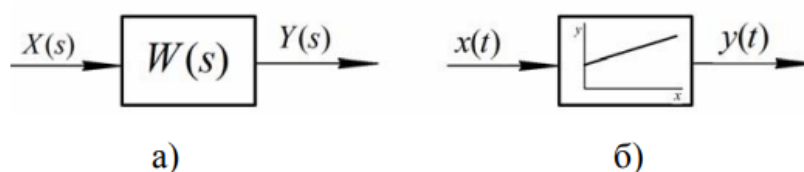


Рис. 2.9. Изображения звеньев

Внутри прямоугольника указывается передаточная функция (рис.2.9,а). Допускается вместо  $W(s)$  указывать уравнение или характеристику звена (рис.2.9,б). Обозначения входных и выходных величин записывают в виде изображений или оригиналов в зависимости от обозначения в прямоугольнике. Допускается также звенья нумеровать, а их передаточные функции, уравнения или характеристики представлять вне схемы.

2. Цепь передачи сигнала изображается прямой линией на которой стрелкой указывается направление прохождения сигнала, а также приводится буквенное обозначение этого сигнала.
3. Элемент сравнения изображается в виде, приведенном на рис. 2.10.

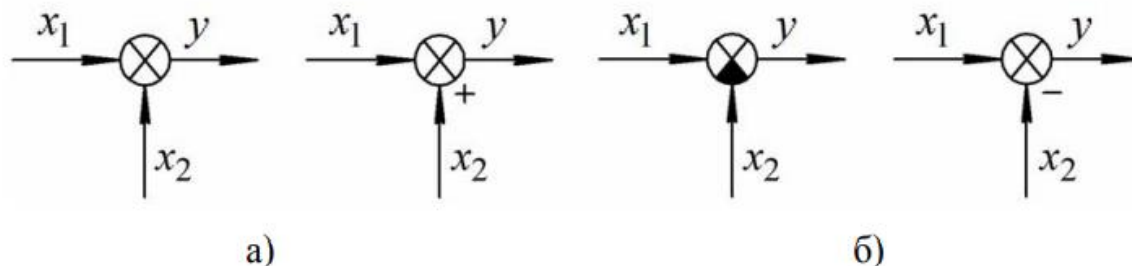


Рис. 2.10. Изображения элементов сравнения при реализации функций:

а)  $y = x_1 + x_2$  ; б)  $y = x_1 - x_2$

### Передаточные функции типовых соединений звеньев

Структурная схема реальной САУ обычно может быть представлена в виде комбинации трех типов соединений звеньев: последовательного, параллельного и встречно-параллельного. Каждое из этих соединений может быть заменено по определенным правилам одним звеном, свойства которого будут эквивалентными свойствам соединения. Установим эти правила.

**Последовательное соединение.** При таком соединении выходная величина предыдущего звена является входной величиной последующего звена (см. рис.2.11,а).

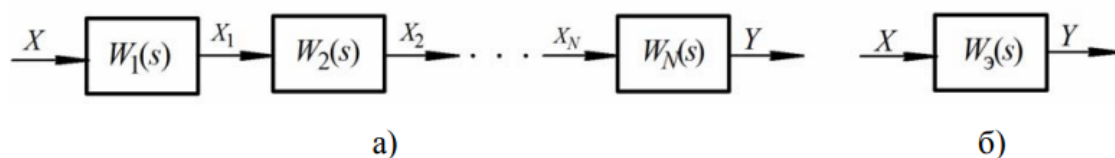


Рис. 2.11. Структурная схема последовательного соединения звеньев:

а) исходная; б) эквивалентная

Запишем уравнения звеньев в операционной форме:

$$X_1(s) = W_1(s)X(s); \quad X_2(s) = W_2(s)X_1(s); \quad \dots; \quad Y(s) = W_N(s)X_{N-1}(s).$$

Исключив промежуточные переменные  $X_1(s), X_2(s), \dots, X_{N-1}(s)$  получим:

$$Y(s) = W_1(s)W_2(s) \dots W_N(s)X(s).$$

Откуда можно получить выражение для определения эквивалентной передаточной функции соединения  $W_3(s)$  по каналу  $X(s) \rightarrow Y(s)$  - (см. рис.2.11,б):

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \prod_{i=1}^N W_i(s). \quad (2.54)$$

**Параллельное соединение.** При таком соединении на вход всех звеньев подается одна и та же величина, а выходная величина равна сумме выходных величин отдельных звеньев (см. рис. 2.12,а).

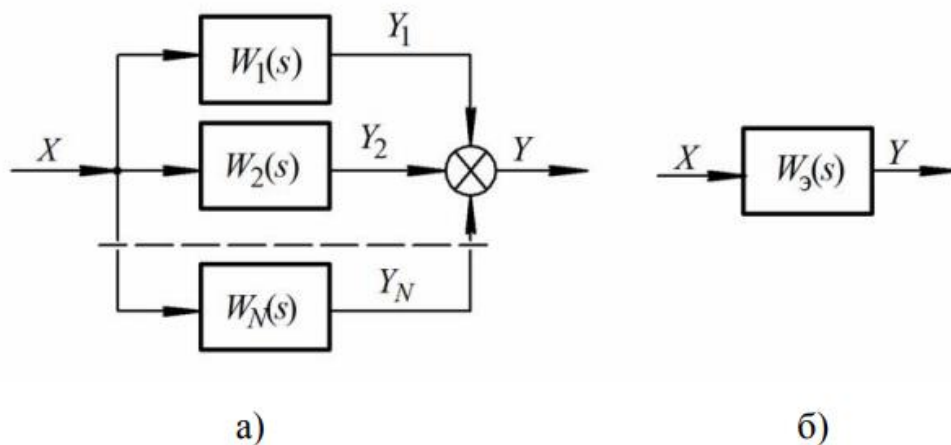


Рис. 2.12. Структурная схема параллельного соединения звеньев:  
а) исходная; б) эквивалентная

Запишем уравнения звеньев:

$$Y_1(s) = W_1(s)X(s); \quad Y_2(s) = W_2(s)X(s); \quad \dots; \quad Y_N(s) = W_N(s)X(s).$$

Просуммировав эти уравнения, получим:

$$\sum_{i=1}^N Y(s) = Y(s) = [W_1(s) + W_2(s) + \dots + W_N(s)]X(s).$$

Откуда:

$$W_3(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \sum_{i=1}^N W_i(s). \quad (2.55)$$

**Встречно-параллельное соединение (охват звена обратной связью).**

В этом случае структурная схема имеет вид, приведенный на рис. 2.13,а, где обратная связь может быть как отрицательной, так и положительной.

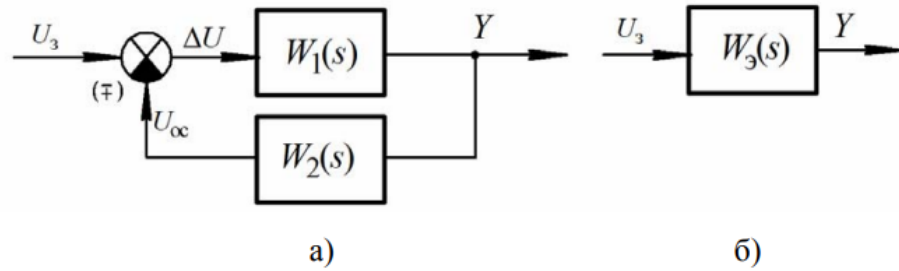


Рис. 2.13. Структурная схема встречно-параллельного соединения звеньев:

а) исходная; б) эквивалентная

Запишем уравнения звеньев и уравнение замыкания контура:

$$\left. \begin{aligned} Y(s) &= W_1(s)\Delta U(s); \\ U_{oc}(s) &= W_2(s)Y(s); \\ \Delta U(s) &= U_3(s) \mp U_{oc}(s) \end{aligned} \right\} \square$$

Решив эту систему относительно  $U_3(s)$  и  $Y(s)$ , получим:

$$Y(s) = W_1(s)[U_3(s) \mp U_{oc}(s)] = W_1(s)[U_3(s) \mp W_2(s)Y(s)] = W_1(s)U_3(s) \mp W_1(s)W_2(s)Y(s).$$

Последнее уравнение можно записать в виде:

$$Y(s)[1 \pm W_1(s)W_2(s)] = W_1(s)U_3(s).$$

Откуда окончательно имеем:

$$W_3(s) = \frac{Y(s)}{U_3(s)} = \frac{W_1(s)}{1 \pm W_1(s)W_2(s)}. \quad (2.56)$$

Знак “+” в последней формуле ставится в случае отрицательной обратной связи, а “-” – положительной.

**Пример 2.6.**

Найдем эквивалентную передаточную функцию системы, структурная схема которой приведена на рис. 2.14.

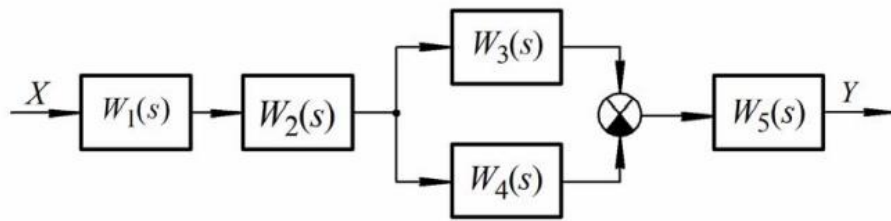


Рис. 2.14

**Решение.**

Воспользовавшись формулами (2.55) и (2.54) для параллельного и последовательного и параллельного соединений звеньев, запишем

$$W_3(s) = W_1(s)W_2(s)[W_3(s) - W_4(s)]W_5(s)$$