

5. Структурные схемы

5.1. Условные обозначения

Систему управления можно разбить на блоки, имеющие вход и выход (объект, регулятор, привод, измерительная система). Для того, чтобы показать взаимосвязи этих блоков, используют структурные схемы. На них каждый элемент изображается в виде прямоугольника, внутри которого записывается его передаточная функция. Вход и выход блока показываются соответственно «входящей» и «выходящей» стрелками.

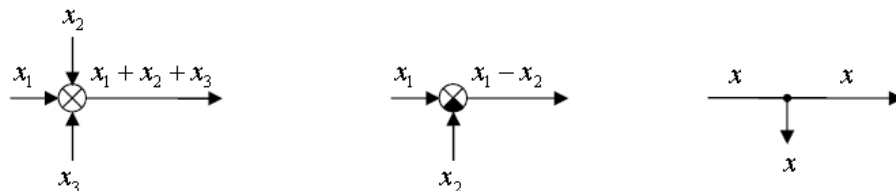


Строго говоря, есть две формы записи:

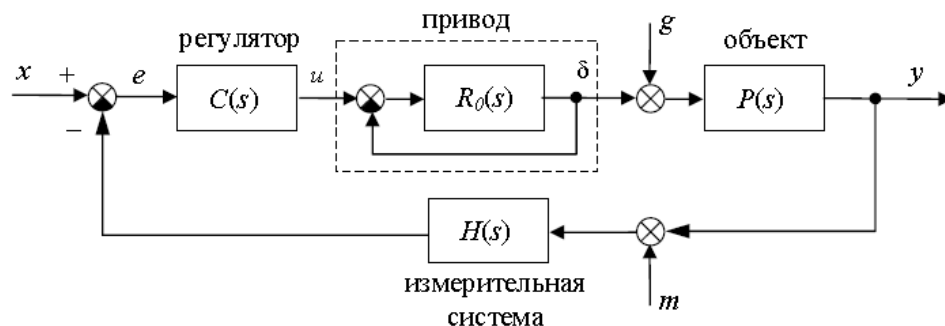
- *операторная запись*, когда передаточная функция записывается как функция оператора дифференцирования p , входы и выходы блоков – функции времени;
- *запись в изображениях*, когда передаточная функция записывается как функция комплексной переменной s , а для обозначения входов и выходов используют их изображения по Лапласу.

Однако суть дела от этого не меняется. Поэтому дальше при обозначении сигналов мы, несколько жертвуя строгостью ради простоты записи, будем обозначать сигналы строчными буквами, не указывая независимую переменную (t или s), а в записи передаточных функций будем использовать переменную s , как принято в литературе.

Для суммирующих элементов используют специальное обозначение – круг, разбитый на сектора. Если сектор залит черным цветом, поступающий в него сигнал вычитается, а не складывается с другими. Разветвление сигнала обозначается точкой, как и радиотехнике.



На следующем рисунке показана типичная схема системы управления кораблем по курсу. Здесь вход x – заданный курс, выход y – фактический курс. Сигналы e , u и δ обозначают соответственно ошибку регулирования, сигнал управления и управляющее воздействие привода на объект (угол поворота руля). Сигнал g – это возмущение (влияние ветра и морского волнения), а m – шум измерений.

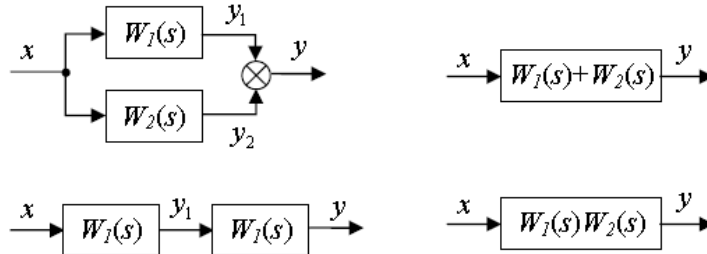


В этой системе кроме «большого» контура управления (регулятор – привод – объект) есть еще внутренний контур привода (звено с передаточной функцией $R_0(s)$ охвачено *отрицательной обратной связью*).

5.2. Правила преобразования

Многие инженерные (классические) методы исследования систем управления основаны на использовании передаточных функций. Для построения передаточной функции системы между заданными входом и выходом нужно преобразовать структурную схему так, чтобы в конечном счете остался один блок с известной передаточной функцией. Для этого используют *структурные преобразования*.

Легко показать, что передаточные функции параллельного и последовательного соединений равны соответственно сумме и произведению исходных передаточных функций:



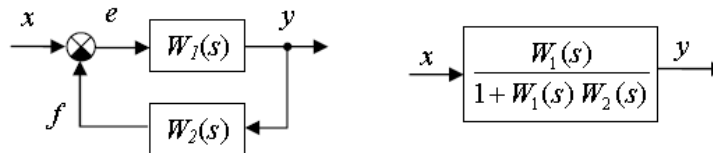
Действительно, в изображениях по Лапласу для параллельного соединения получаем

$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) = W_1(s)X(s) + W_2(s)X(s) = [W_1(s) + W_2(s)]X(s),$$

а для последовательного

$$Y(s) = W_2(s)Y_1(s) = W_1(s)W_2(s)X(s).$$

Для контура с отрицательной обратной связью имеем



Для доказательства заметим, что $Y(s) = W_1(s)E(s)$, а изображение ошибки равно

$$E(s) = X(s) - F(s) = X(s) - W_2(s)Y(s).$$

Поэтому

$$Y(s) = W_1(s)[X(s) - W_2(s)Y(s)].$$

Переносим $X(s)$ в левую часть, получаем

$$Y(s)[1 + W_1(s)W_2(s)] = W_1(s)X(s) \Rightarrow Y(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)}X(s).$$

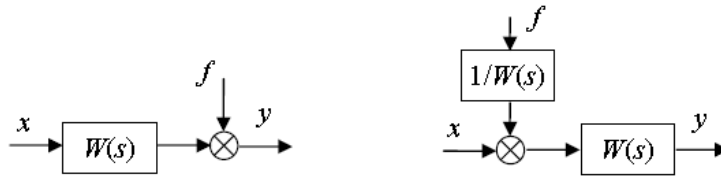
Если обратная связь – положительная (сигналы x и f складываются), в знаменателе будет стоять знак «минус»:

$$W(s) = \frac{W_1(s)}{1 - W_1(s)W_2(s)}.$$

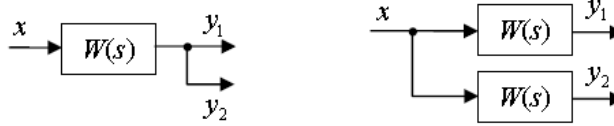
Звено можно переносить через сумматор как вперед, так и назад. Чтобы при этом передаточные функции не изменились, перед сумматором нужно поставить дополнительное звено:



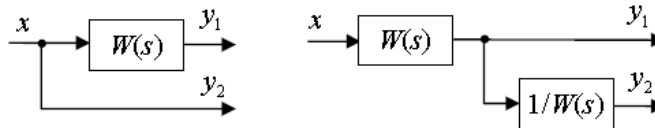
Обратите внимание, что передаточные функции от обоих входов к выходу на двух схемах одинаковые. Для следующей пары это условие тоже выполняется:



Звено можно переносить также через точку разветвления, сохраняя все передаточные функции:

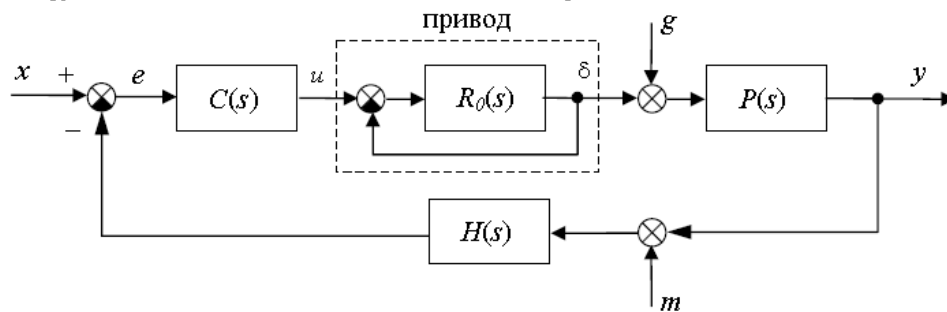


Эти две схемы тоже равносильны:



5.3. Типовая одноконтурная система

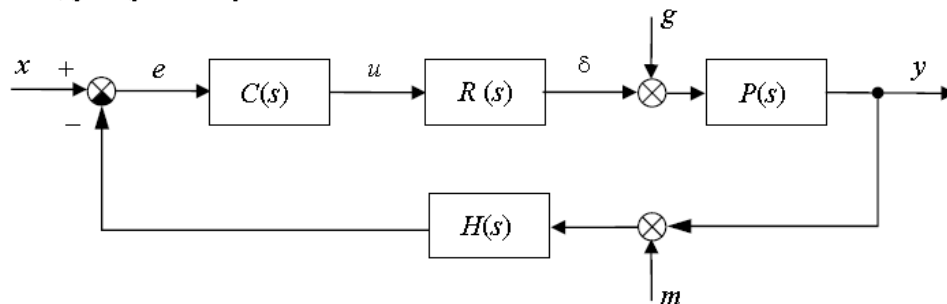
Применим показанные выше приемы для вычисления передаточных функций рассмотренной выше системы. Здесь три входа (x , g и m), а в качестве выходов обычно рассматривают выход системы y , сигнал управления u и ошибку e . Таким образом, всего можно записать 9 передаточных функций, соединяющих все возможные пары вход-выход.



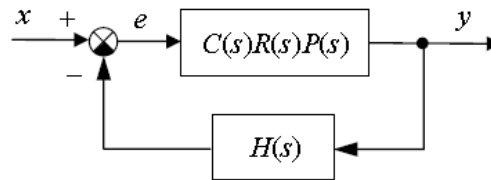
Сначала найдем полную передаточную функцию привода (обведенного штриховой рамкой), используя формулу для контура с отрицательной обратной связью:

$$R(s) = \frac{R_0(s)}{1 + R_0(s)}$$

Получаем следующую схему:



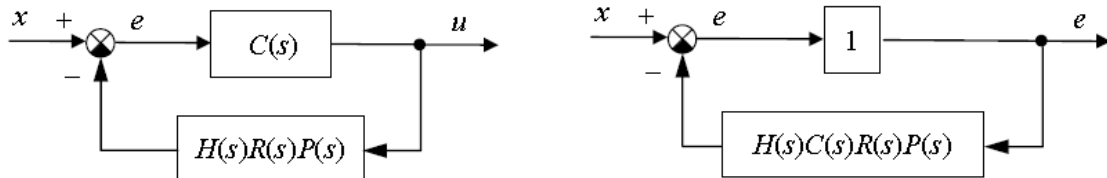
Теперь найдем передаточные функции от входа x ко всем выходам. Для этого все остальные входы будем считать нулевыми и удалим со схемы. Кроме того, заменим последовательное соединение звеньев с передаточными функциями $C(s)$, $R(s)$ и $P(s)$ на одно звено:



Для получения окончательного результата снова используем формулу для контура с отрицательной обратной связью:

$$W(s) = \frac{C(s)R(s)P(s)}{1 + H(s)C(s)R(s)P(s)}$$

Принимая в качестве выходов управление u и ошибку e , получим похожие схемы:



Первая из этих схем дает передаточную функцию по управлению $W_u(s)$, а вторая – передаточную функцию по ошибке $W_e(s)$ (здесь блок с передаточной функцией, равной единице, можно было вообще не рисовать). Снова применяя формулу для контура с отрицательной обратной связью, получаем:

$$W_u(s) = \frac{C(s)}{1 + H(s)C(s)R(s)P(s)}, \quad W_e(s) = \frac{1}{1 + H(s)C(s)R(s)P(s)}$$

Используя этот подход, легко найти передаточные функции для других входов. Теперь вы вполне можете сделать это самостоятельно.