

5. Структурные схемы

5.1. Структурные преобразования

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.

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.

Передаточные функции параллельного и последовательного соединений равны соответственно сумме и произведению исходных передаточных функций.

В изображениях по Лапласу для параллельного соединения имеем:

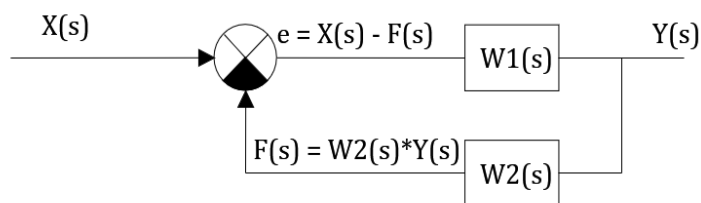
$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) = W_1(s)X(s) + W_2(s)X(s) = [W_1(s) + W_2(s)]X(s) \quad (5.1)$$

для последовательного –

$$Y(s) = W_2(s) Y_1(s) = W_1(s) W_2(s) X(s). \quad (5.2)$$

Для контура с отрицательной обратной связью

Контур с отрицательной обратной связью



Имеем $Y(s) = W_1(s)E(s)$;

$E(s) = X(s) - F(s) = X(s) - W_2(s)Y(s) \Rightarrow$

$$Y(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)} X(s) \quad (5.3)$$

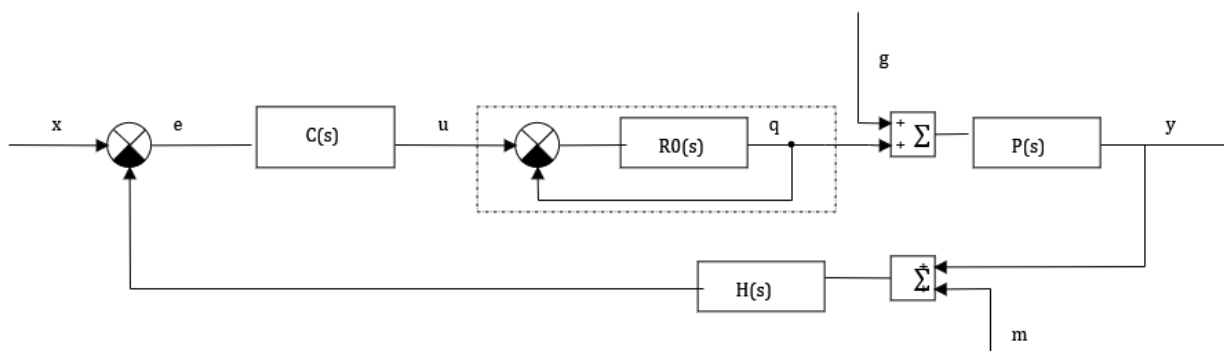
На практике наиболее распространенными являются системы с отрицательной обратной связью, к ним относятся, например, все одноконтурные системы автоматического регулирования, причем в прямой цепи расположен объект, а в обратной – регулятор.

5.2. Пример формирования передаточной функции системы

Рассмотрим схему управления объектом. На входе x – заданный курс, выход y – фактический курс. Сигналы e , u и q обозначают соответственно ошибку регулирования, сигнал управления и управляющее воздействие привода на объект. Сигнал g – это возмущение, а m – шум измерений.

Звено с передаточной функцией $C(s)$ – регулятор, $R0(s)$ – привод, звено с передаточной функцией $H(s)$ – измерительная система.

В этой системе кроме «большого» контура управления (регулятор – привод – объект) есть еще внутренний контур привода (звено с передаточной функцией $R0(s)$ охвачено отрицательной обратной связью).



В системе 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.

Передаточная функция привода (на схеме обведена рамкой), согласно (5.3)

$$R(s) = \frac{R0(s)}{1 + R0(s)}$$

Положим все входы, кроме входа x нулевыми. Передаточная функция верхней части схемы $W_d(s) = C(s) \cdot R(s) \cdot P(s)$. Используя формулу для контура с отрицательной обратной связью, имеем

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

Аналогично строятся передаточные функции по управлению $W_u(s)$ и передаточная функция по ошибке $W_e(s)$

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

$$W_e(s) = \frac{1}{1 + H(s) \cdot C(s) \cdot R(s) \cdot P(s)}.$$

5.3. Правила преобразования структурных схем

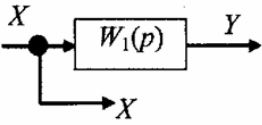
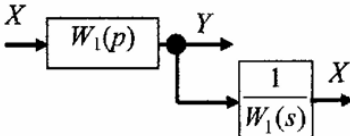
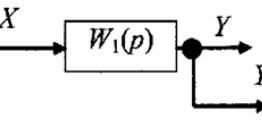
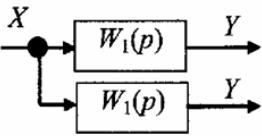
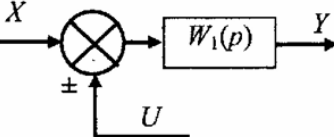
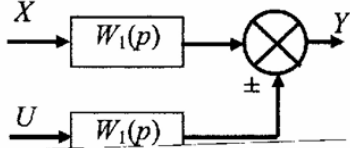
Реальные объекты обладают сложной структурой. Упрощение вывода передаточных функций сложных объектов в схемах достигается за счет преобразования их структурных схем к трем основным типам соединений.

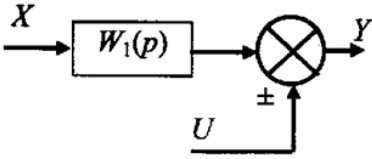
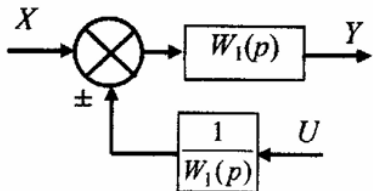
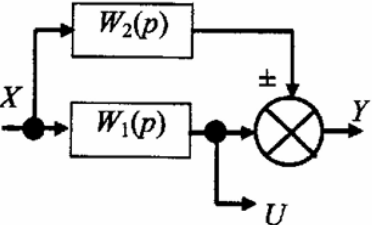
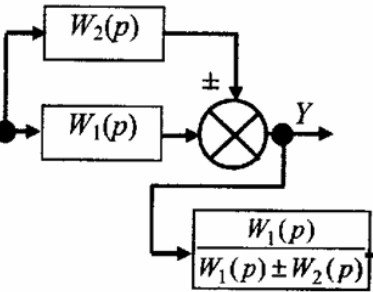
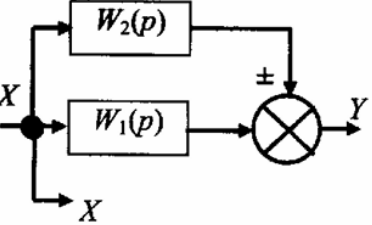
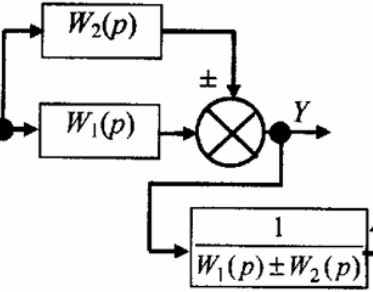
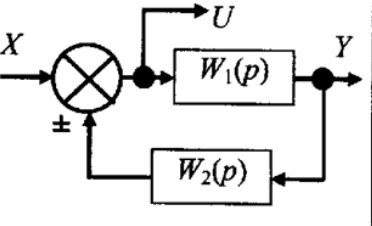
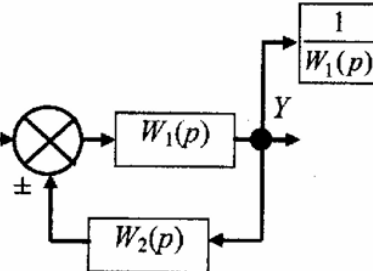
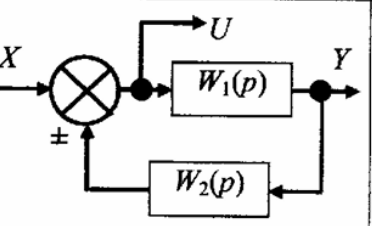
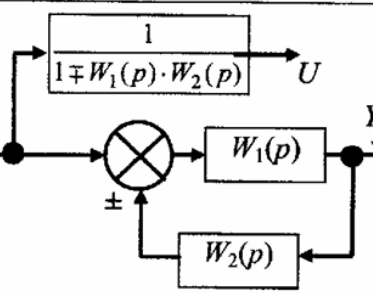
Критерий правильности преобразования структурной схемы заключается в том, чтобы входные и выходные сигналы преобразуемого участка до и после преобразования были одинаковы. На практике редко встречаются схемы, в которых можно сразу же выделить тот или иной тип соединений, как правило, имеются, так называемые, перекрестные связи. В этом случае возникает необходимость перестановки и переноса сумматоров и узлов.

Правила:

1. Перенос узла через звено с передаточной функцией $W(s)$ по направлению распространения сигнала сопровождается появлением в боковой цепи звена, имеющего передаточную функцию $1/W(s)$.
2. Перенос узла через узел осуществляется без дополнительных преобразований.
3. Перенос сумматора через сумматор производится без дополнительных преобразований.
4. При переносе узла через сумматор по направлению сигнала в боковой ветви преобразованного участка появляется дополнительное звено с передаточной функцией (-1) .
5. При переносе сумматора через узел по направлению сигнала в боковой ветви появляется звено с передаточной функцией $+1$.
6. Перенос узла через звено по направлению сигнала приводит к появлению дополнительного звена с передаточной функцией $1/W(s)$.
7. При переносе узла через звено против направления сигнала появляется дополнительное звено с передаточной функцией $W(s)$.
8. Перенос сумматора через звено по направлению сигнала сопровождается появлением дополнительного звена с передаточной функцией $W(s)$.
9. Перенос сумматора через звено против направления сигнала приводит к появлению дополнительного звена с передаточной функцией $1/W(s)$.
10. Вынесение элемента из прямой связи приводит к появлению дополнительных звеньев, в прямой цепи $1/W(s)$ и в дополнительной $W_2(s)$

Таблица преобразований схем.

Преобразова- ние	Структурная схема	
	Исходная	Эквивалентная
Перенос точки разветвления через элемент вперед		
Перенос точки разветвления через элемент назад		
Перенос сумматора через элемент вперед		

Преобразование	Структурная схема	
	Исходная	Эквивалентная
Перенос сумматора через элемент назад		
Вынос точки разветвления из параллельного соединения		
Перенос вперед точки через параллельное соединение		
Вынос точки разветвления вперед из контура обратной связи		
Вынос точки разветвления назад из контура обратной связи		

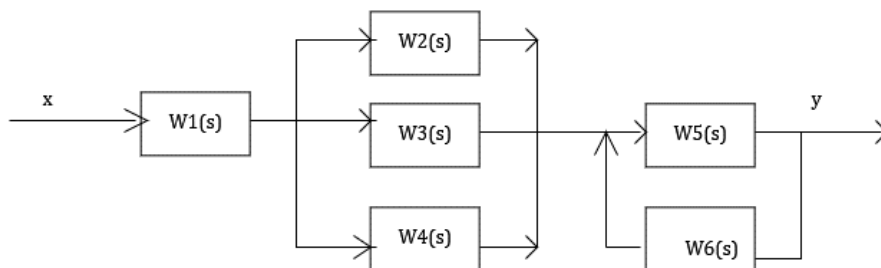
5.4. Задания

№ 5.4.1. По передаточной функции системы найти ее реакцию на единое ступенчатое воздействие (переходную функцию)

$$W(s) = \frac{k_1}{s} + k_2$$

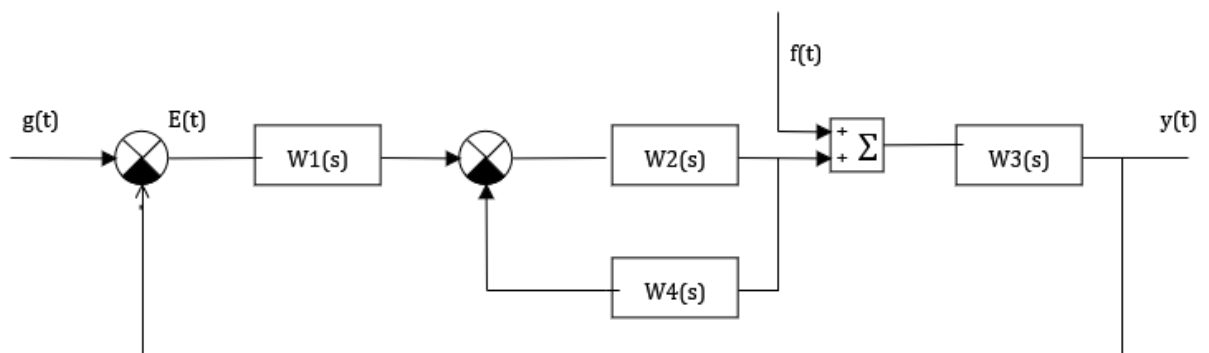
№ 5.4.2.

Записать передаточную функцию объекта, структурная схема которого представлена на рисунке.



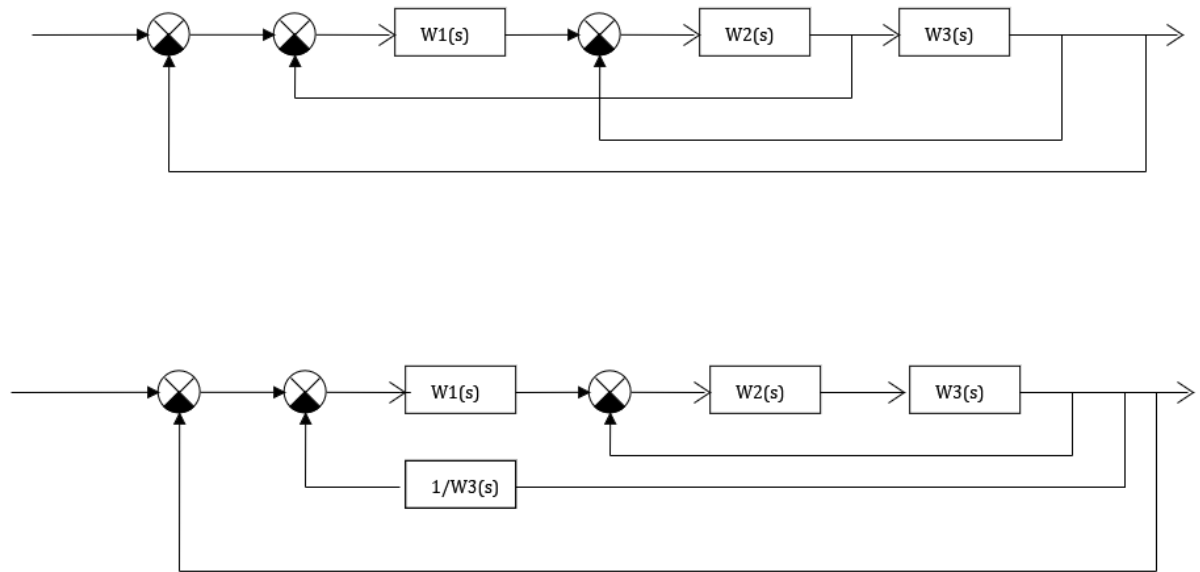
№ 5.4.3.

Найти передаточную функцию системы по ее структурной схеме.



№ 5.4.4.

Преобразовать структурную схему и записать передаточную функцию.

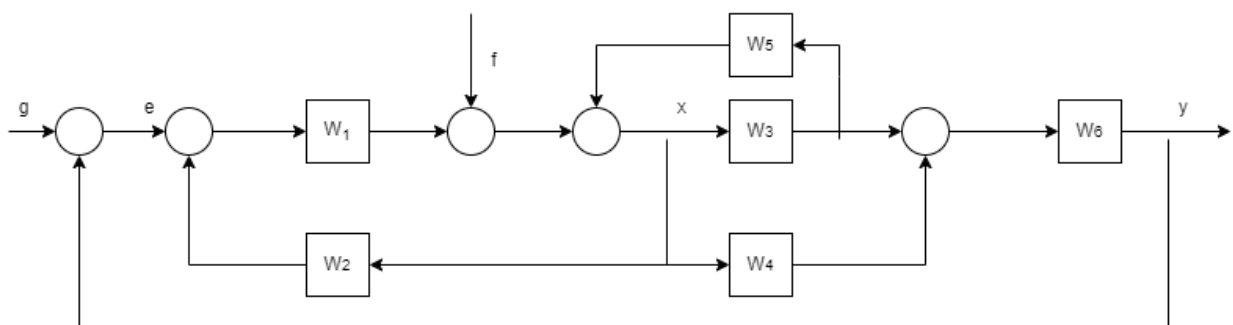


Преобразованная схема представлена на втором рисунке.
Передаточная функция?

№ 5.4.5.

Для системы, представленной на рисунке, определить следующие передаточные функции (ПФ), используя таблицу преобразования схем:

- 1) W_{yg} — ПФ относительно входа g и выхода y ;
- 2) W_{yf} — ПФ относительно входа f и выхода y .



5.5. Ответы

№ 5.4.1. Как следует из условия, звенья с передаточными функциями k_1/s и k_2 соединены параллельно. По принципу суперпозиции, для переходной функции всей системы $h(t)$ имеем (линейная система)

$$h(t) = h_1(t) + h_2(t) = k_1 \cdot t + k_2 \cdot 1(t)$$

№ 5.4.2.

Ответ: $W(s) = W1(s) \cdot [W2(s) + W3(s) + W4(s)] \cdot W5(s) / [1 - W5(s) \cdot W6(s)]$

№ 5.4.3.

Ответ: $W24(s) = W2(s) / [1 - W2(s) \cdot W4(s)]$

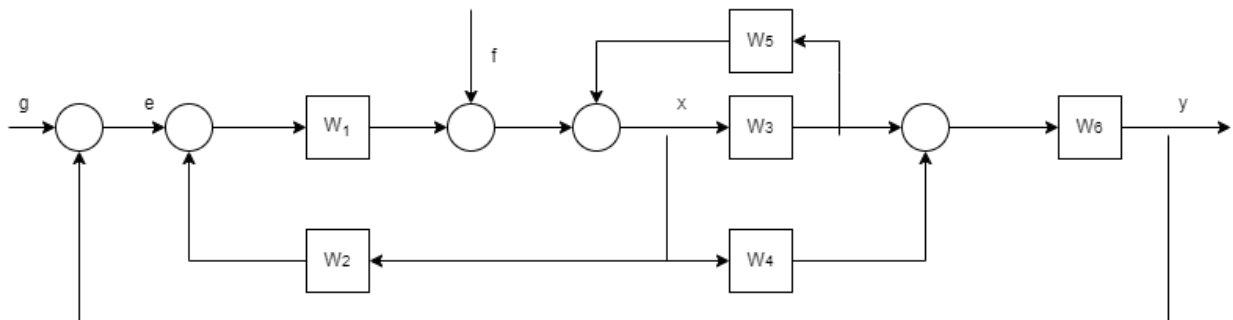
$W(s) = W1(s) W24(s) \cdot W3(s) / [1 + W1(s) \cdot W24(s) \cdot W3(s)]$

№ 5.4.5.

Решение:

1) Для определения W_{yg} полагаем $f = 0$.

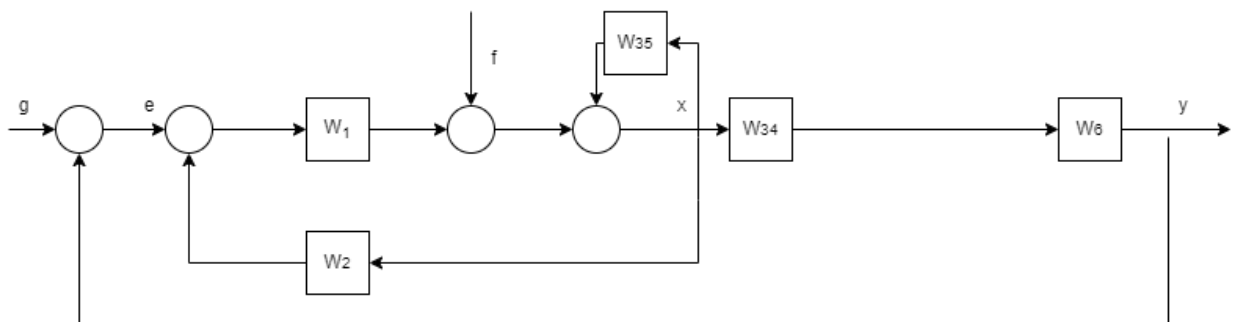
Преобразовываем исходную схему, учитывая правила преобразования, –



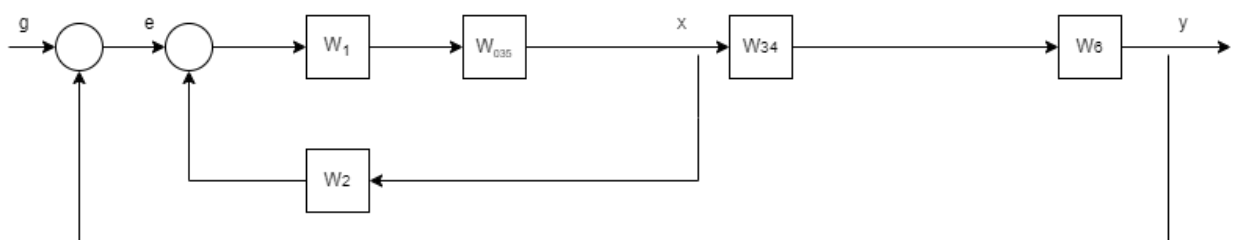
а) Переносим точку разветвления через элемент W_3 назад.

Последовательное соединение элементов заменяем $W_{35} = W_3 \cdot W_5$.

б) Параллельное соединение W_3 W_4 заменяем $W_{34} = W_3 + W_4$.



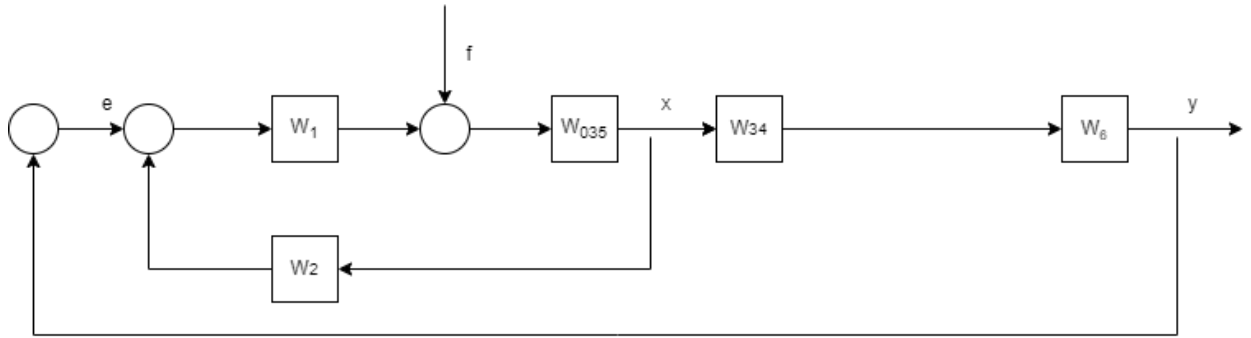
Положительную обратную связь W_{35} заменяем $W_{035} = 1/(1 - W_{35})$



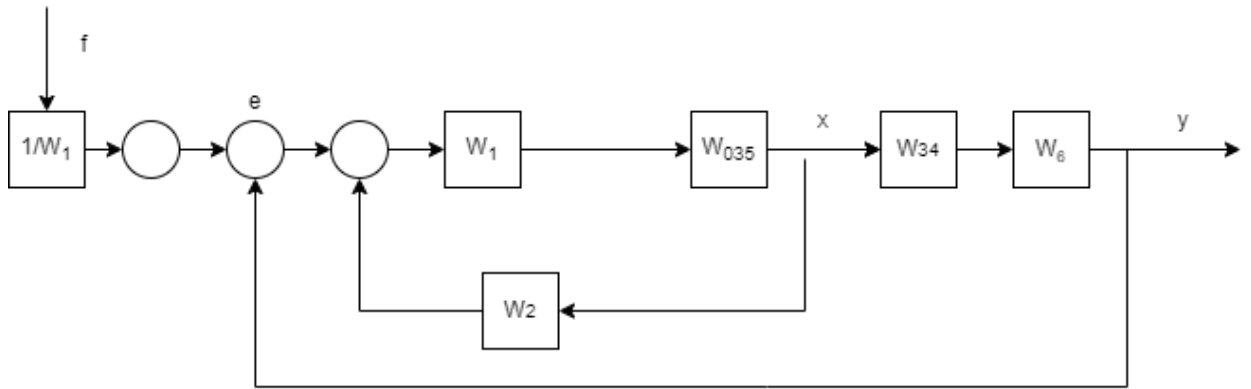
Положительную обратную связь W_2 заменяем $W_A = W_1 \cdot W_{035} / (1 - W_2 W_1 W_{035})$

Результат: $W_{yg} = W_A * W_{34} * W_6 / (1 - W_A * W_{34} * W_6)$

2) Для ПФ относительно входа f и выхода y - W_{yf} полагаем $g = 0$.
Выполняя аналогичные преобразования, имеем:



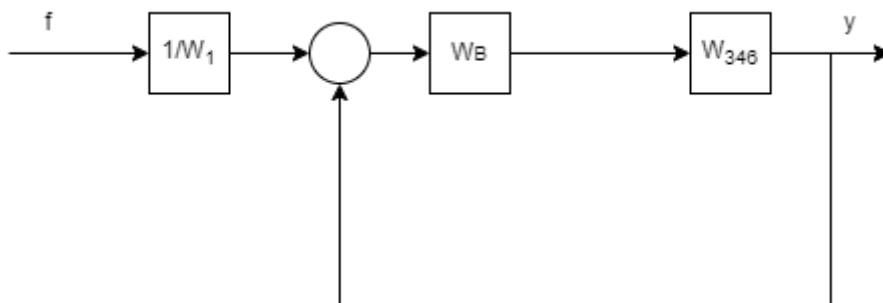
Переносим точку приложения воздействия f через элемент W_1 назад имеем:



Заменяя внутренний контур с положительной обратной связью, имеем –

$$W_B = W_1 * W_{035} / (1 - W_2 W_1 W_{035})$$

$$W_{346} = W_{34} * W_6$$



$$W_C = W_B * W_{346} / (1 - W_B * W_{346})$$

Результат: $W_{yf} = \frac{1}{W_1} * W_C$