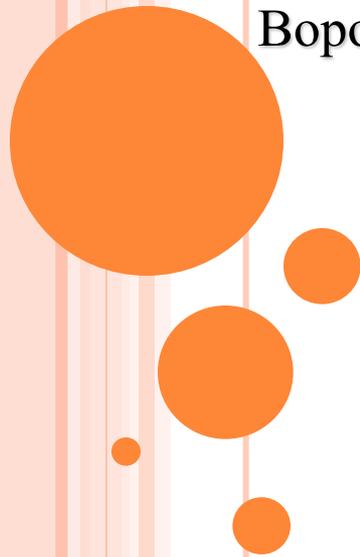


Дисциплина «Математическое моделирование в электротехнике»

Лектор:

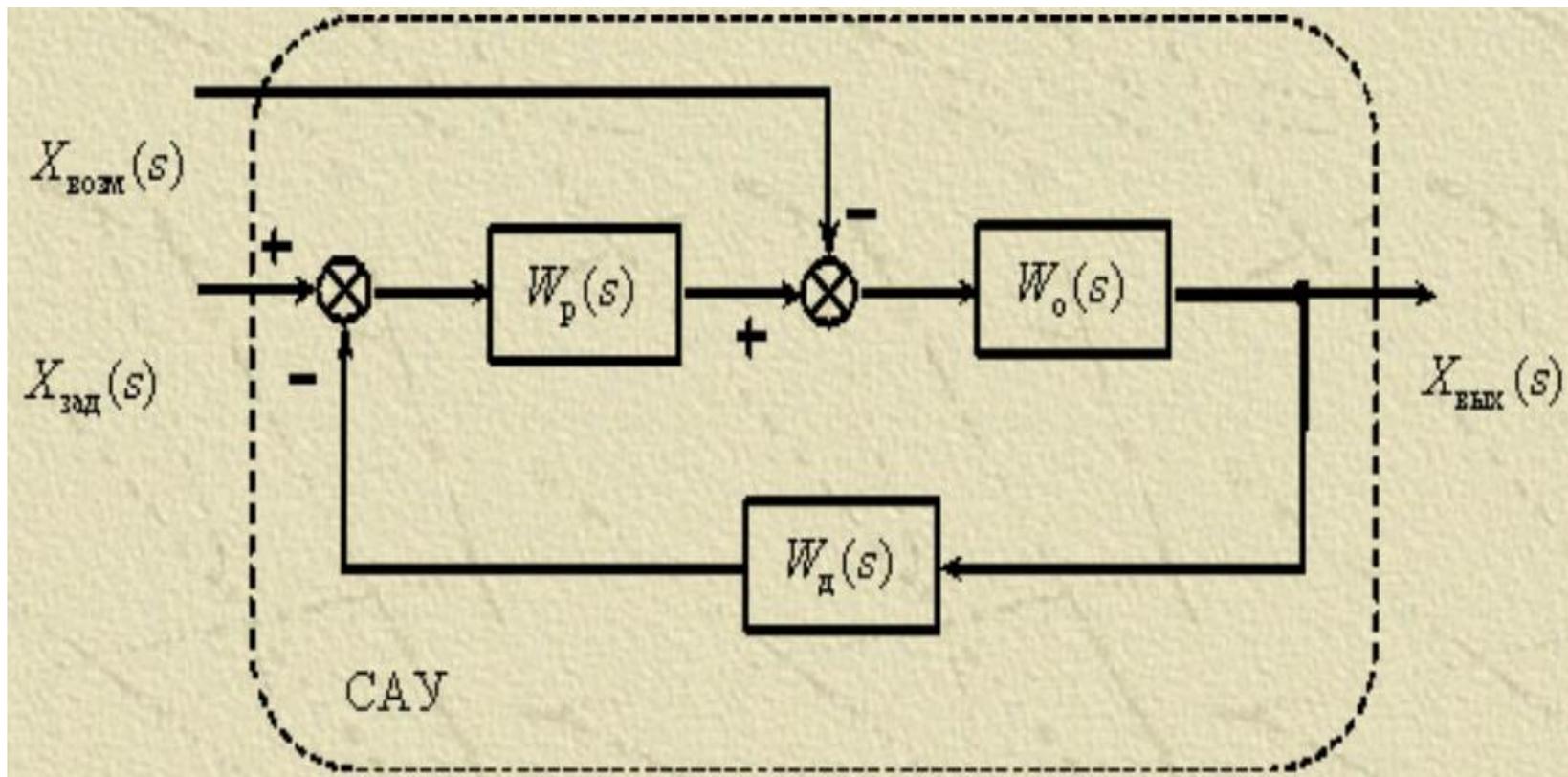
К.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Воронина Наталья Алексеевна



Правила эквивалентных преобразований структурных схем систем автоматического управления

САУ представляет собой систему, состоящую из функциональных элементов, каждый из которых может быть представлен в виде динамического звена. То есть САУ можно представить в виде совокупности динамических звеньев с известными математическими моделями.



где $W_o(s)$, $W_d(s)$, $W_p(s)$

передаточные функции соответственно объекта, датчика и регулятора,

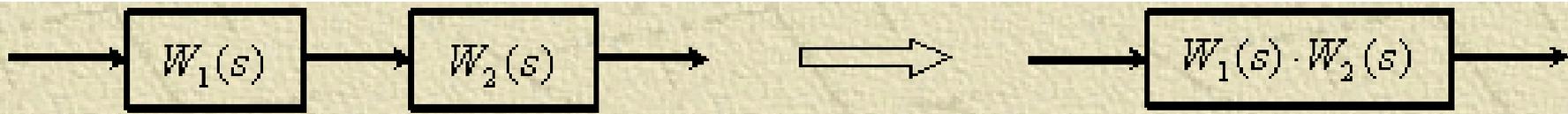
$X_{\text{зад}}(s)$, $X_{\text{возм}}(s)$, $X_{\text{вых}}(s)$ – изображения задающего, возмущающего и выходного сигналов.

- В процессе анализа и синтеза САУ необходимо получать передаточные функции САУ, которые связывают выходную переменную с заданием и возмущением в САУ, по известным структурной схеме и передаточным функциям динамических звеньев, входящих в состав САУ.
- Аналогичная задача возникает в том случае, когда известны частотные характеристики динамических звеньев, а необходимо определить частотные характеристики САУ, характеризующие связи между выходом и входом САУ.

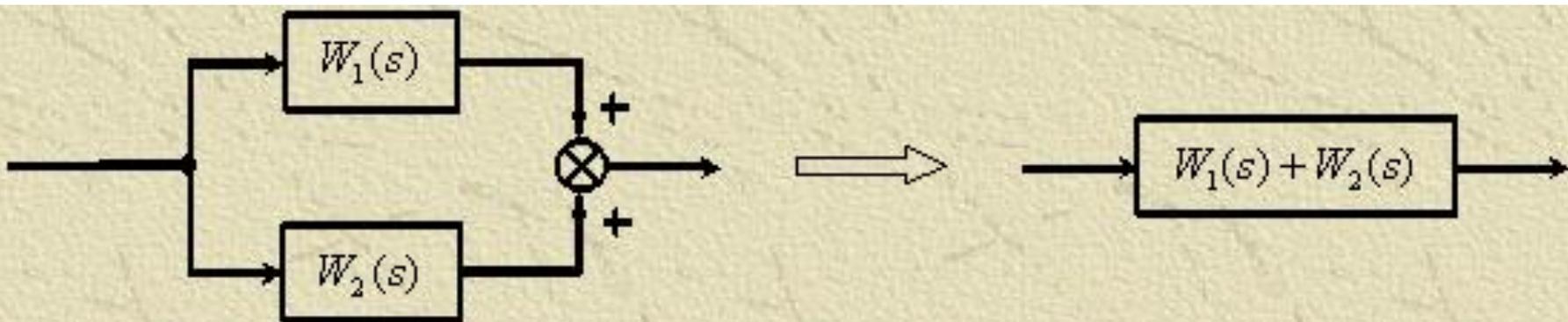
- Эта задача решается путем преобразования (сворачивания) структурной схемы к одному динамическому звену с искомой передаточной функцией на основе использования правил эквивалентных преобразований структурных схем и принципа суперпозиции (наложения).
- Правила эквивалентных преобразований позволяют найти необходимую передаточную функцию САУ, свернув структурную схему к одному динамическому звену с искомой передаточной функцией.

Рассмотрим правила эквивалентных преобразований, не изменяющих свойств систем и необходимых для нахождения передаточной функции:

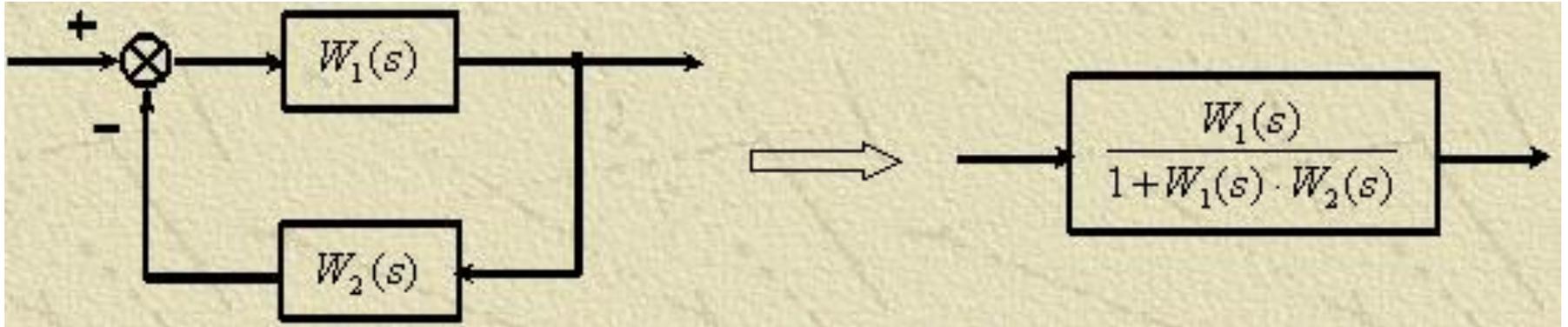
1. Последовательное соединение динамических звеньев.



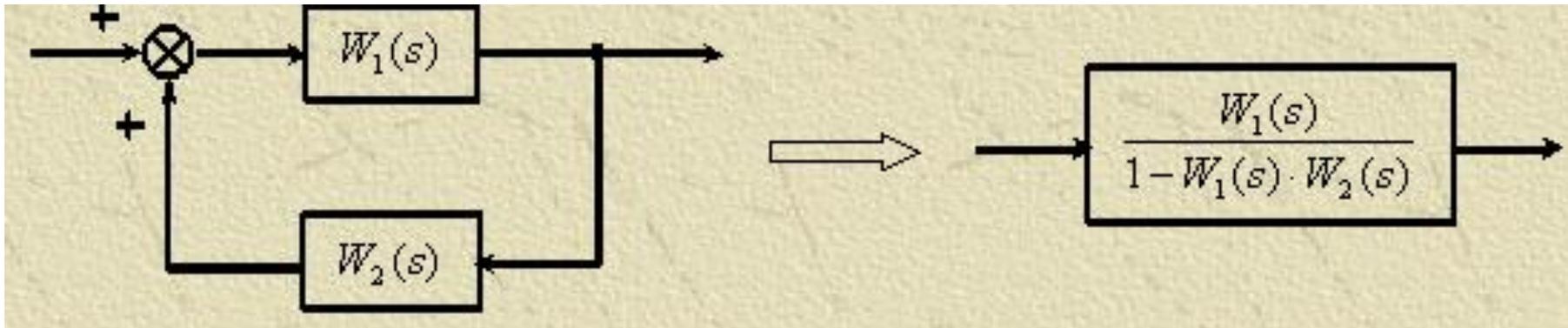
2. Параллельное соединение динамических звеньев.



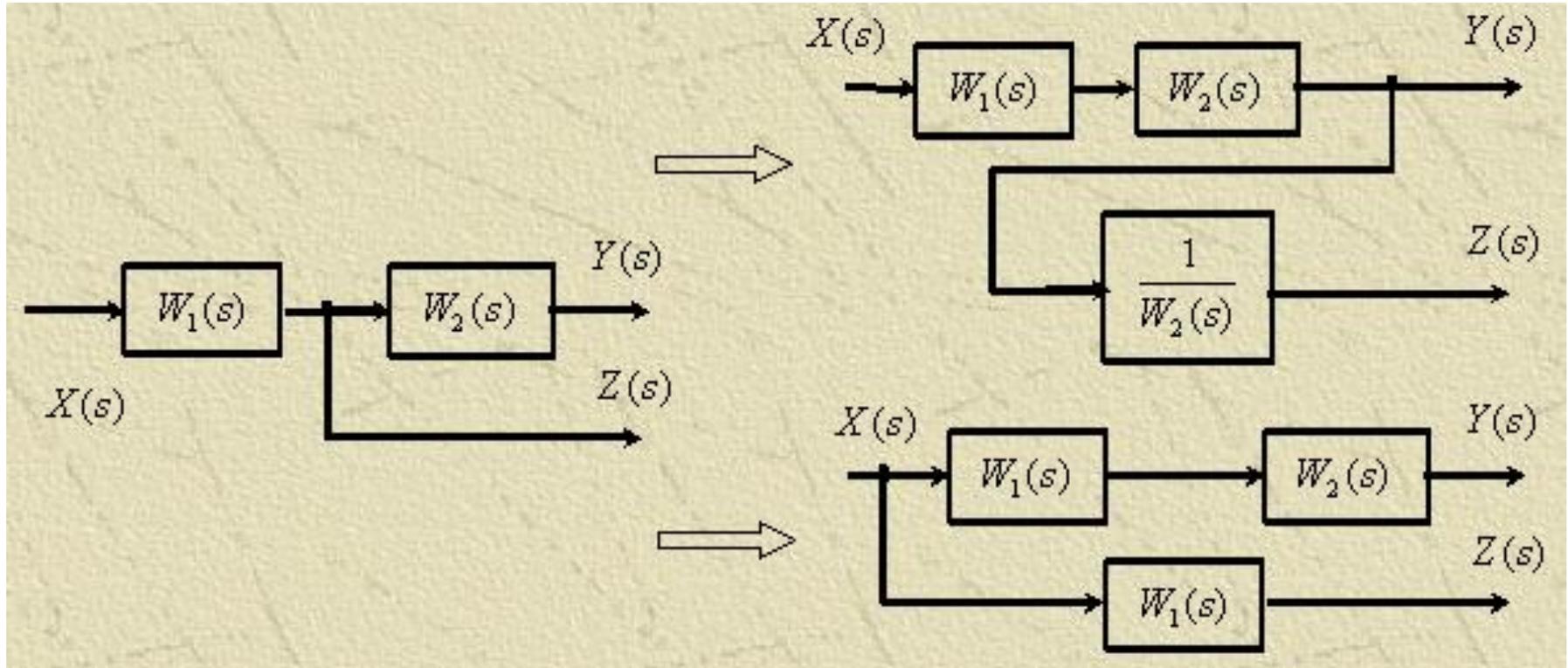
3. Замкнутый контур с отрицательной обратной связью.



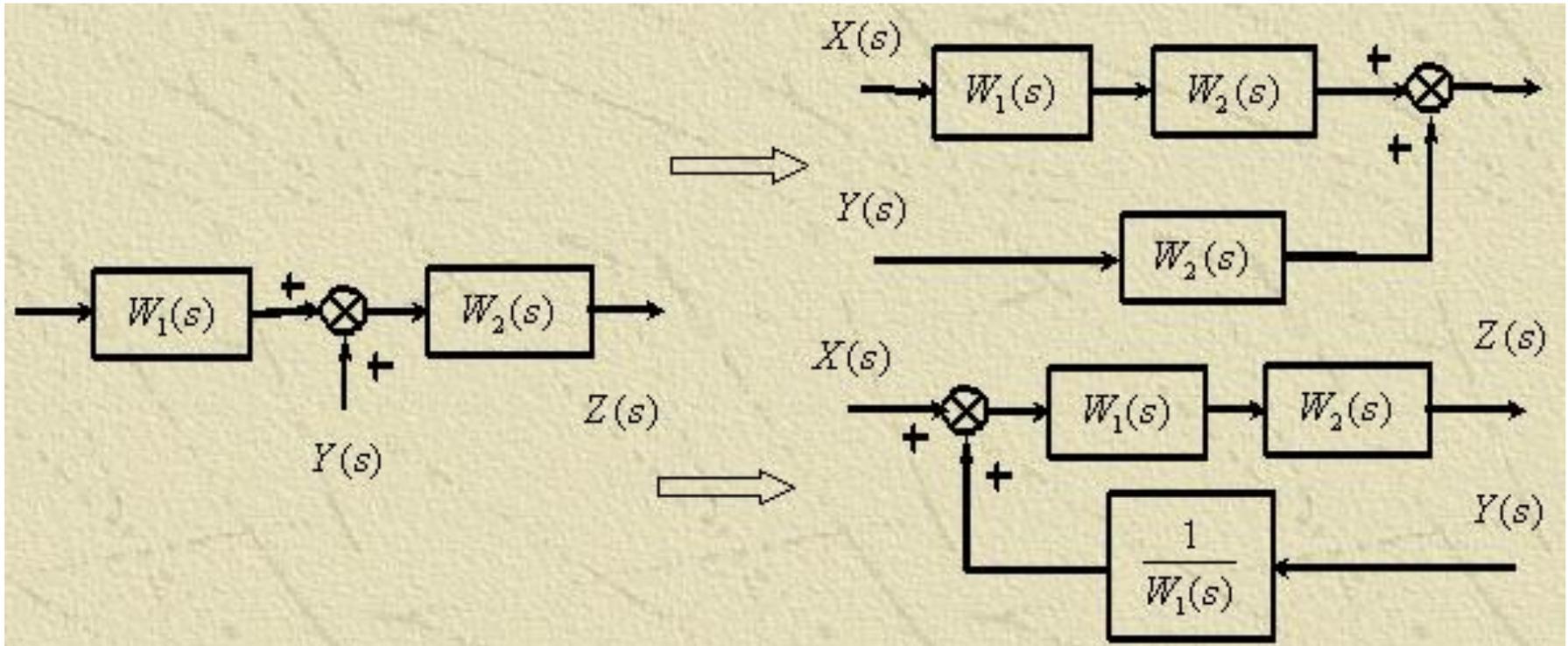
4. Замкнутый контур с положительной обратной связью.



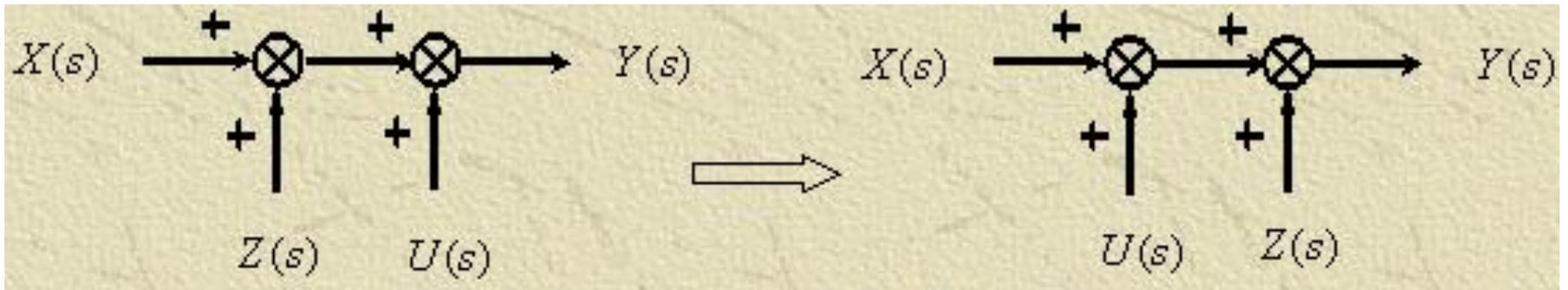
5. Перенос точки ветвления через динамическое звено.



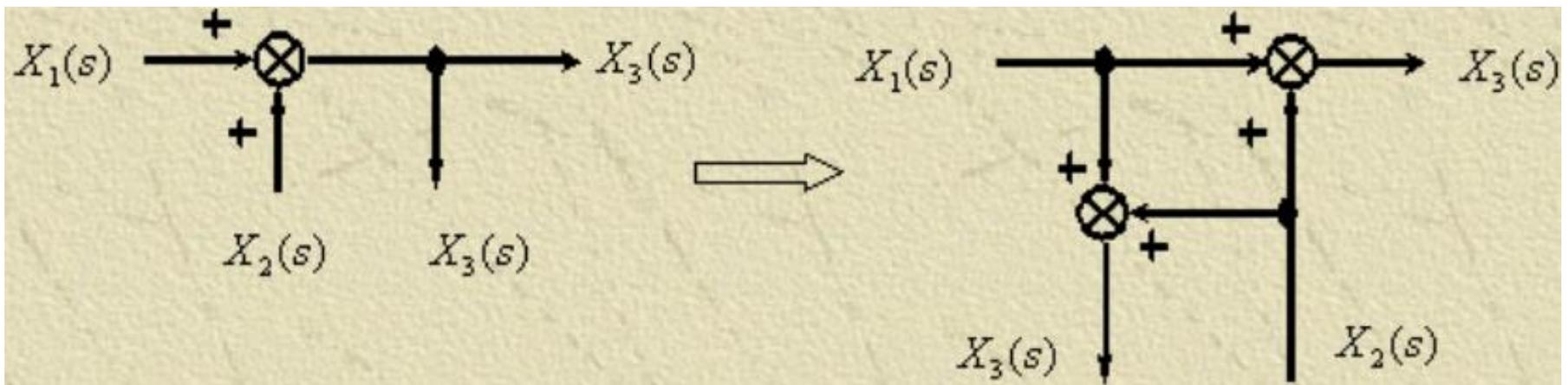
6. Перенос суммирующего звена через динамическое звено.



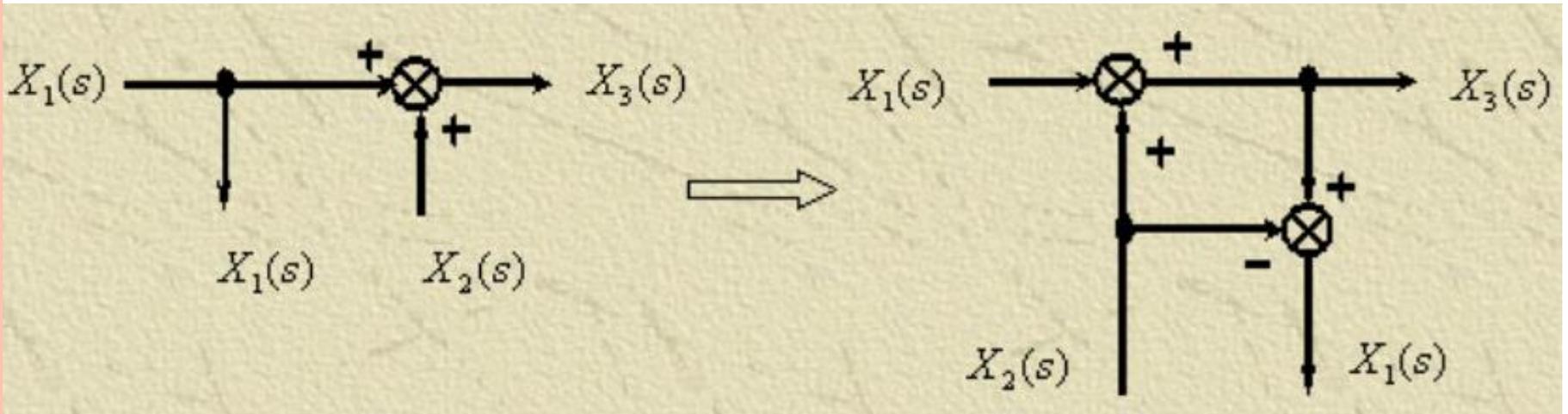
7. Перестановка суммирующих звеньев.



8. Перенос точки ветвления с выхода на вход суммирующего звена.

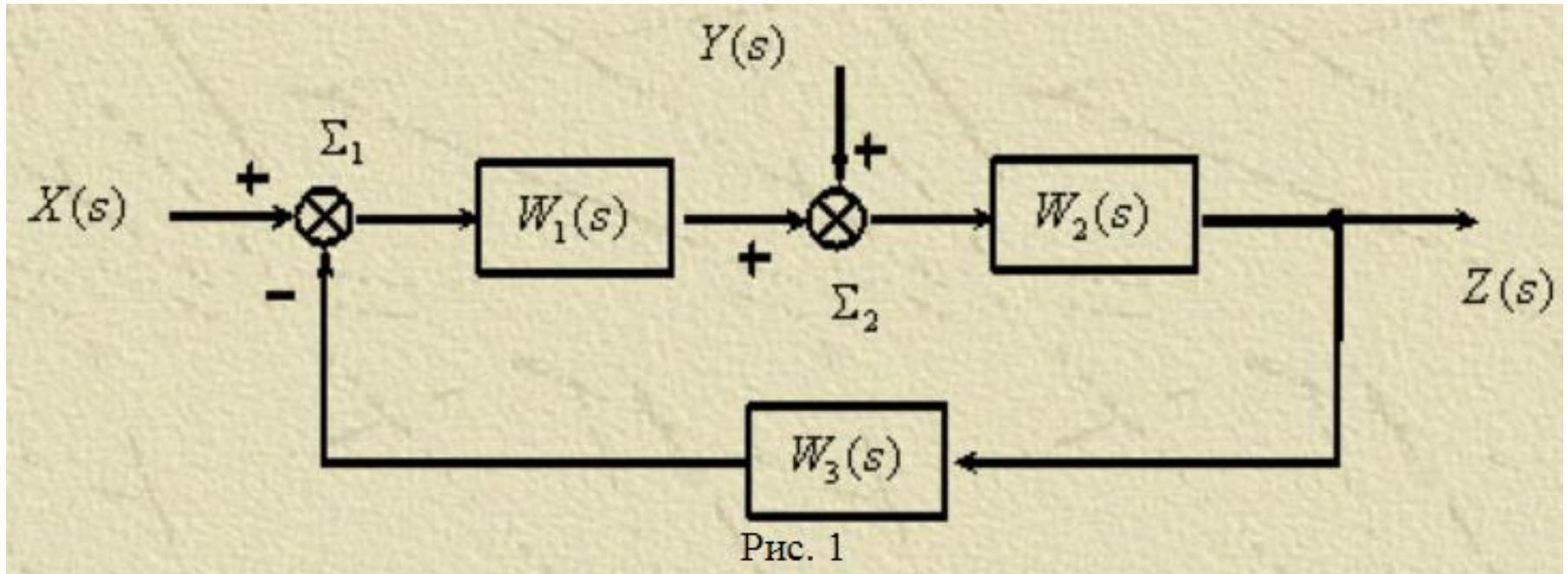


9. Перенос точки ветвления с входа на выход суммирующего



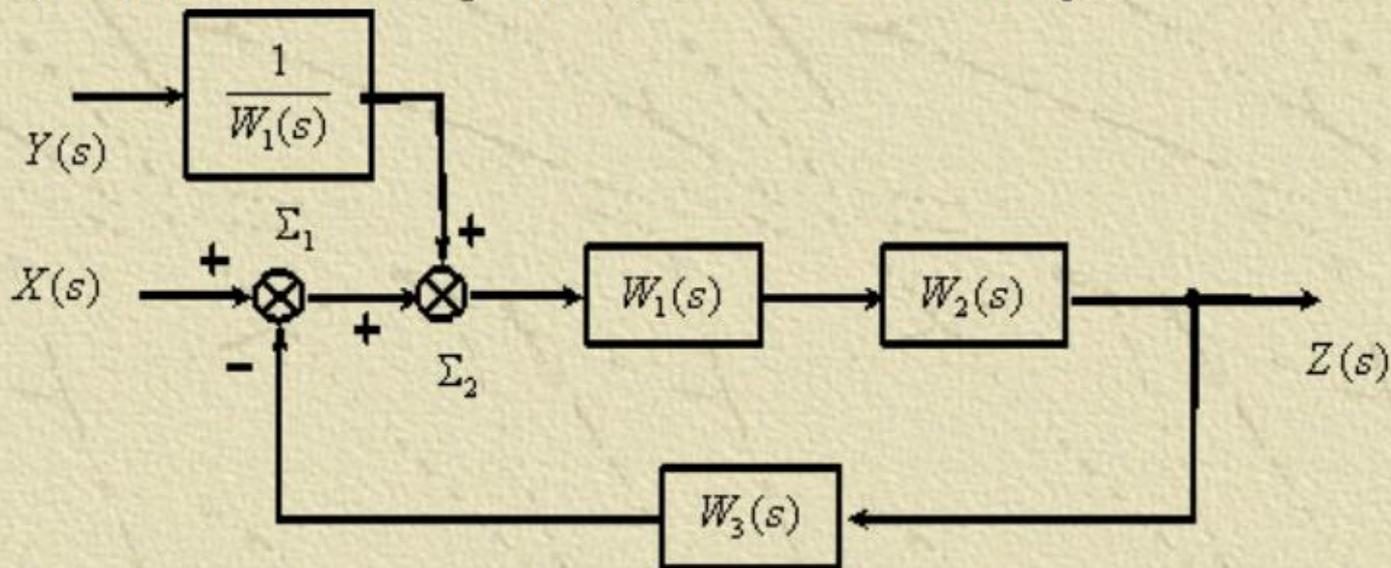
Принцип суперпозиции (наложения)

Применим рассмотренные правила для упрощения структурной схемы

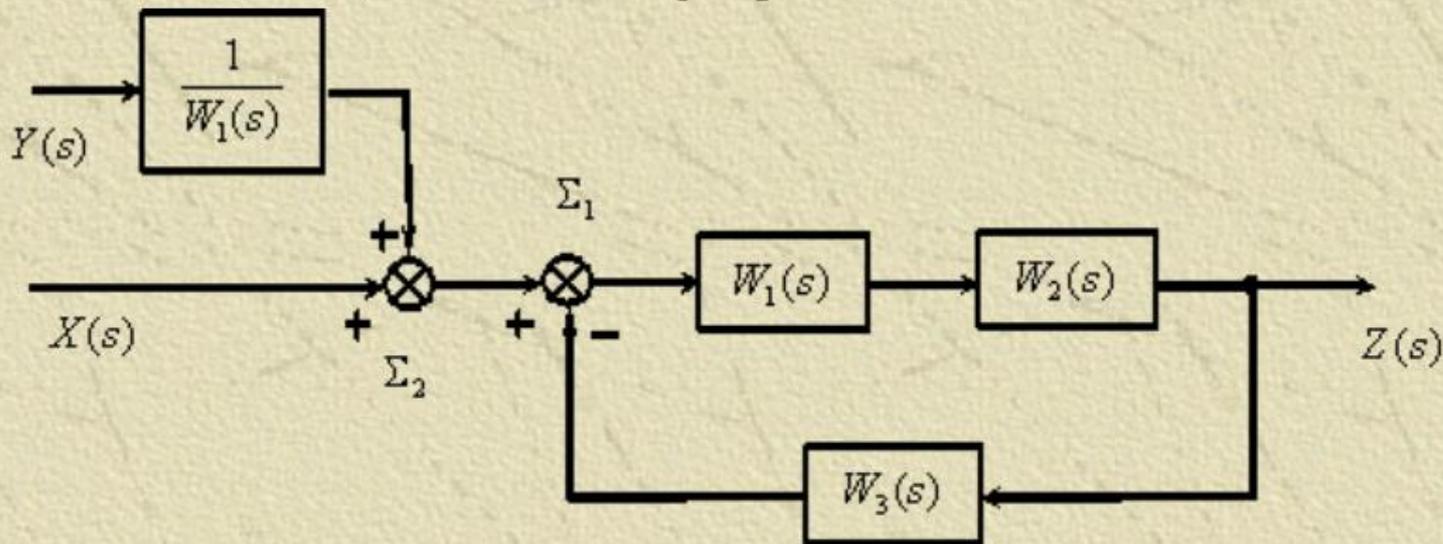


Процесс преобразования, который часто называют свертыванием структурной схемы, выглядит следующим образом.

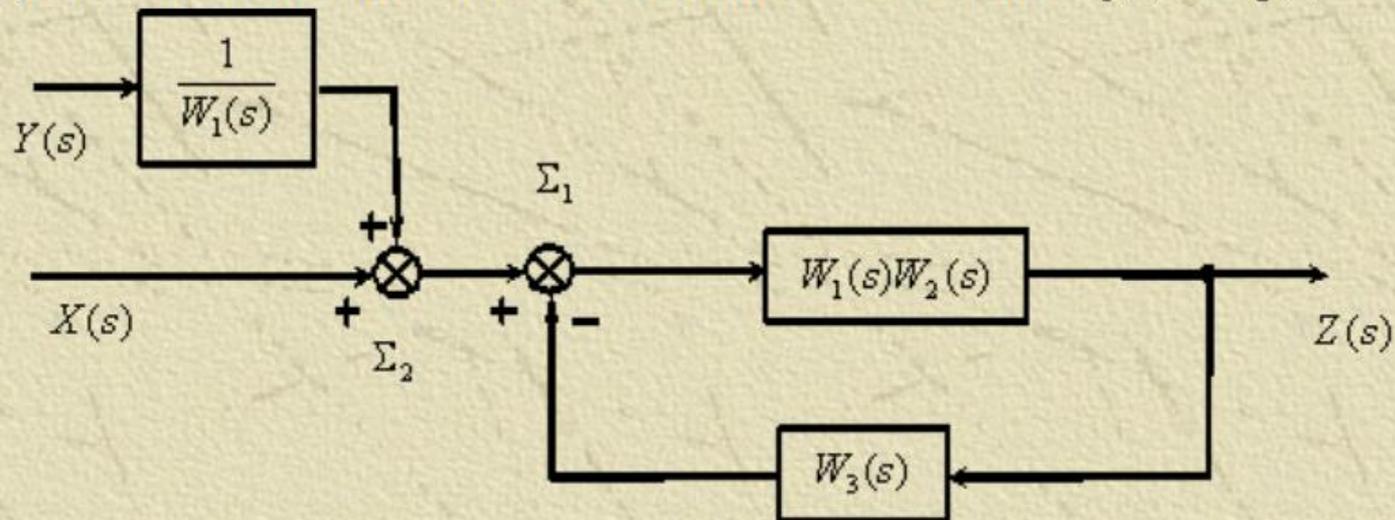
1. Перенесем суммирующее звено Σ_2 через динамическое звено $W_1(s)$.



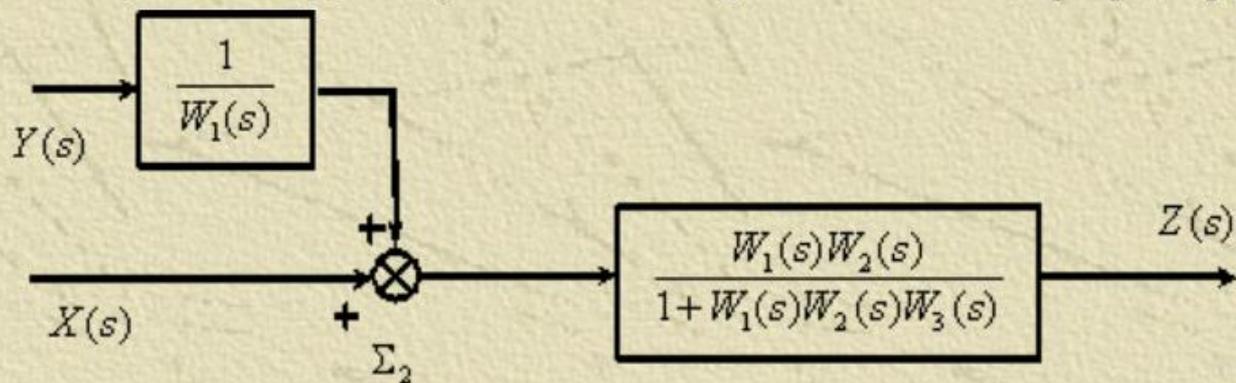
2. Поменяем местами суммирующие звенья Σ_1 и Σ_2 .



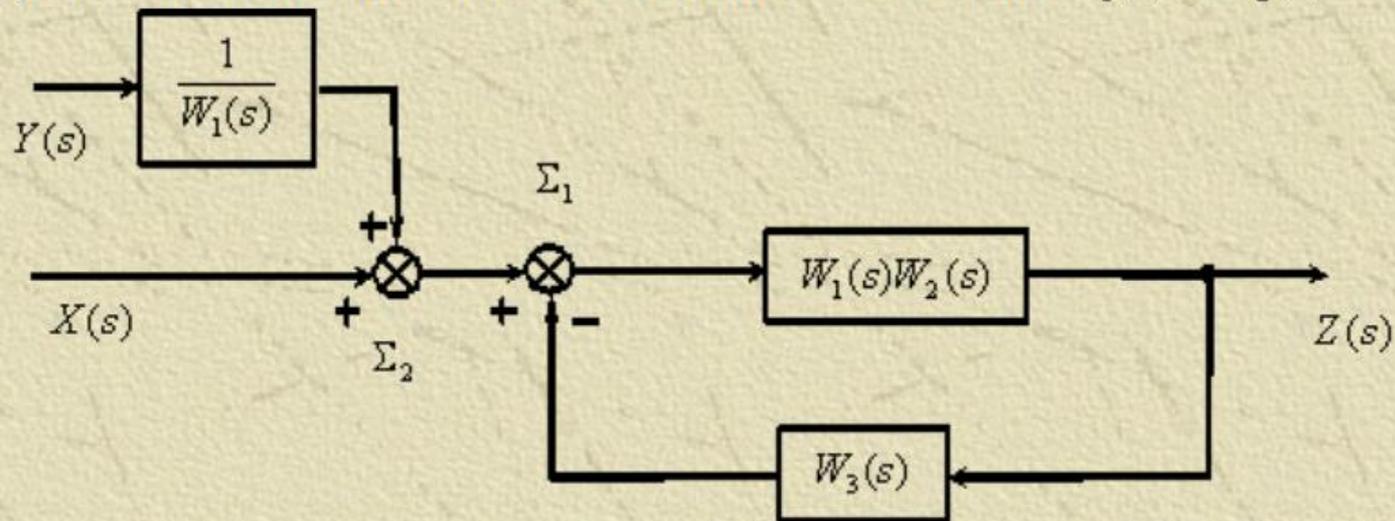
3. Преобразуем последовательно включенные динамические звенья $W_1(s)$ и $W_2(s)$.



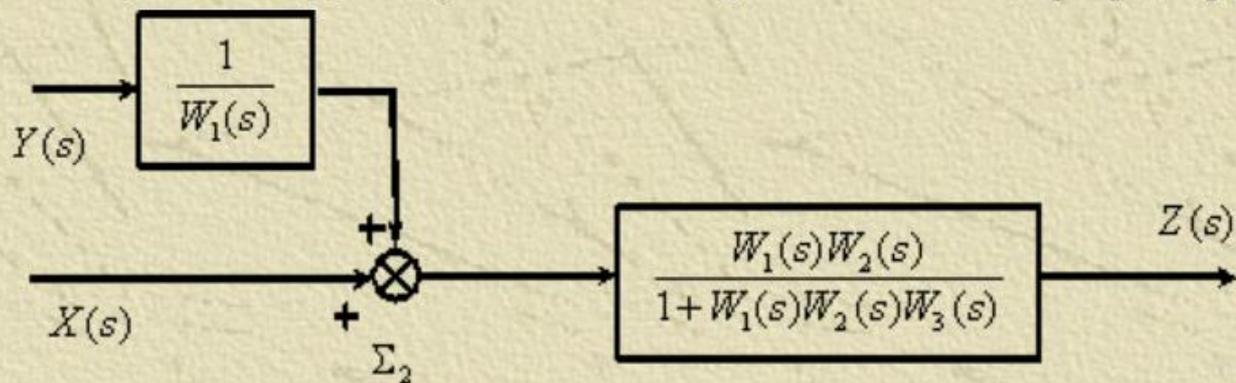
4. Преобразуем замкнутый контур с отрицательной обратной связью ($\Sigma_1, W_1(s)W_2(s), W_3(s)$).



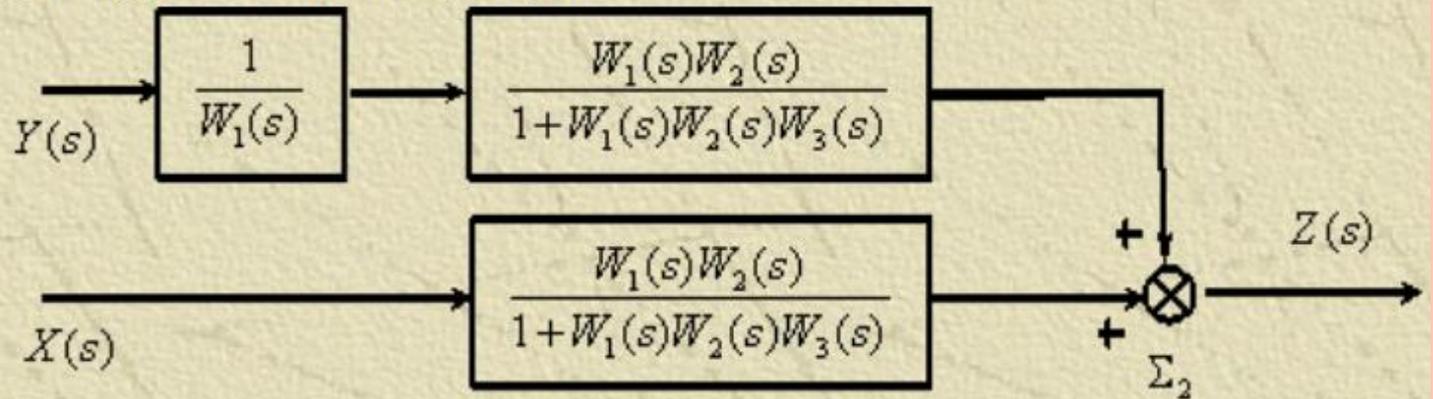
3. Преобразуем последовательно включенные динамические звенья $W_1(s)$ и $W_2(s)$.



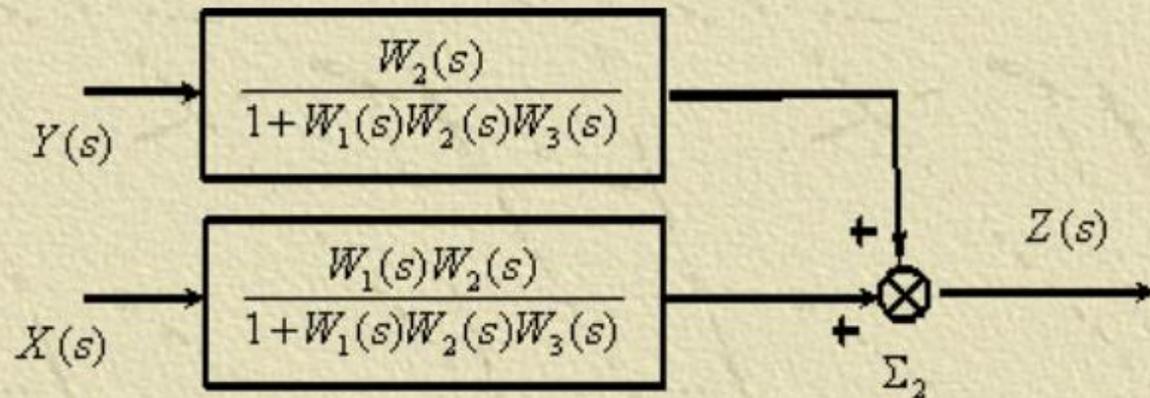
4. Преобразуем замкнутый контур с отрицательной обратной связью ($\Sigma_1, W_1(s)W_2(s), W_3(s)$).



5. Перенесем суммирующее звено Σ_2 вправо.



6. Преобразуем последовательно включенные звенья..



В соответствии с полученной структурной схемой запишем операторное уравнение (1):

$$Z(s) = X(s) \frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)} + Y(s) \frac{W_2(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)} = \\ = X(s)W_{zx}(s) + Y(s)W_{zy}(s).$$

Уравнение показывает, что $Z(s)$ является линейной комбинацией изображений входных сигналов, взятых с коэффициентами $W_{zx}(s)$ и $W_{zy}(s)$. Выясним смысл этих коэффициентов на примере $W_{zx}(s)$ коэффициента. Для этого положим в (1) $Y(s) = 0$, тогда получим (2):

$$W_{zx}(s) = \frac{Z(s)}{X(s)} = \frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)}$$

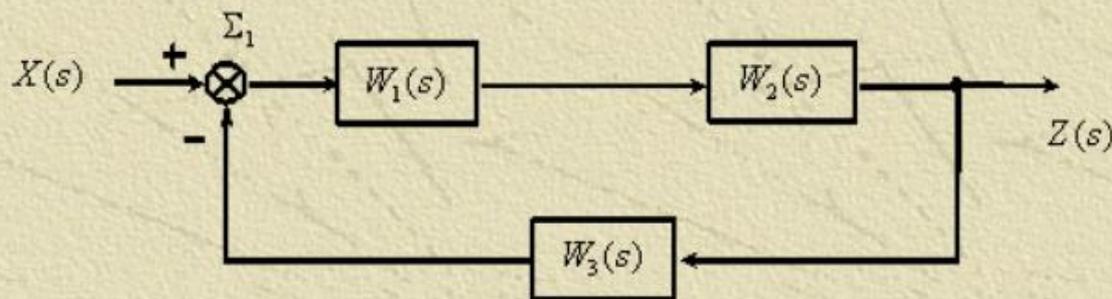
Таким образом, из (2) следует, $W_{zx}(s)$ – это передаточная функция динамического звена, к которому свернута структурная схема в предположении, что изображения всех входных сигналов, кроме $X(s)$, равны нулю.

Теперь становится ясным смысл и самого операторного уравнения (1), описывающего систему. Он заключается в том, что *реакция линейной системы на совместно действующие входные сигналы может быть определена в виде суммы частичных реакций, каждая из которых вычисляется в предположении, что на систему действует только один входной сигнал, а остальные равны нулю.*

По сути – это формулировка фундаментального принципа, который называют *принципом наложения или суперпозиции*. Этот принцип можно рассматривать как дополнение к правилам эквивалентных преобразований структурных схем и активно использовать на практике.

Практически принцип суперпозиции для нахождения конкретной передаточной функции используют следующим образом. Полагают равными нулю все входные сигналы, кроме необходимого сигнала, а затем выполняют преобразование структурной схемы в одно динамическое звено. Рассмотрим использование принципа суперпозиции на примере показанной на рис. 1 структурной схемы.

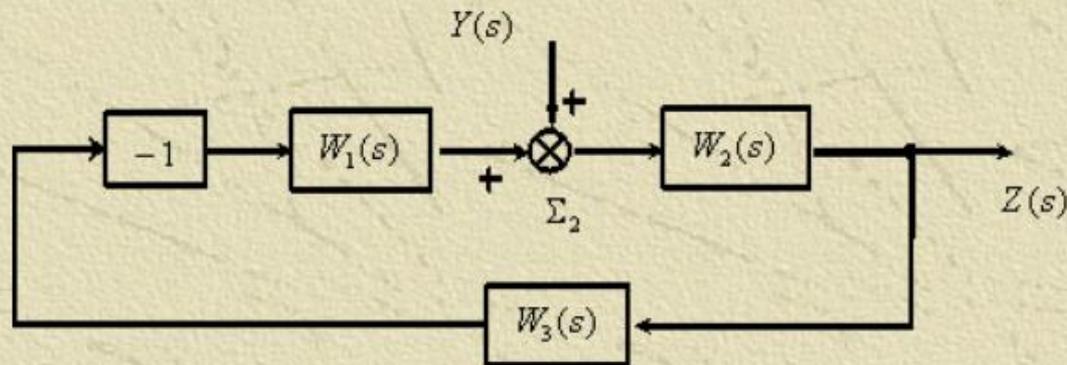
1. Полагаем $Y(s) = 0$ и изобразим соответствующую этому случаю структурную схему.



Используя эквивалентные преобразования, получим –

$$W_{zx}(s) = \left. \frac{Z(s)}{X(s)} \right|_{Y(s)=0} = \frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)}$$

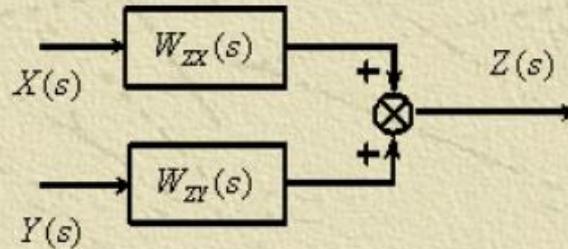
2. Полагаем $X(s) = 0$ и изобразим соответствующую этому случаю структурную схему.



Используя эквивалентные преобразования, получим –

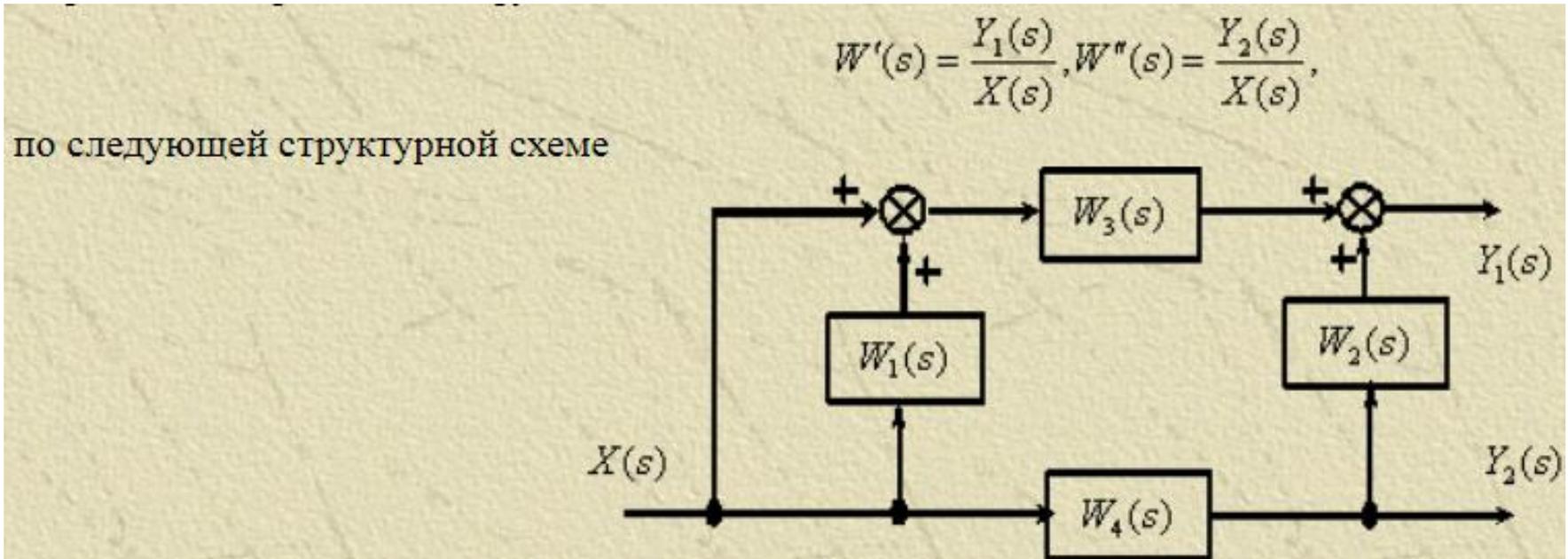
$$W_{ZY}(s) = \frac{Z(s)}{Y(s)} \Big|_{X(s)=0} = \frac{W_2(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)}$$

3. Имея $W_{ZX}(s), W_{ZY}(s)$, в соответствии с принципом суперпозиции получим "свернутую" структурную схему САУ.



Контрольные вопросы и задачи

1. Какие задачи позволяют решать правила эквивалентных преобразований структурных схем?
2. Дайте определение принципа суперпозиции применительно к структурным схемам систем автоматического управления.
3. Как используют принцип суперпозиции на практике?
4. Определите передаточные функции



Ответ:

$$W'(s) = (1 + W_1(s))W_3(s) + W_2(s)W_4(s), \quad W''(s) = W_4(s).$$

Список рекомендуемой литературы, имеющейся в НТБ ТПУ

Андык В. С. Теория автоматического управления: учебное пособие к практическим занятиям / В. С. Андык. — Томск: Изд-во ТПУ, 2000. — 108 с.

Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. — 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Профессия, 2004. — 747 с.

Ерофеев А. А. Теория автоматического управления: учебник / А. А. Ерофеев. — 2-е изд., доп. и перераб. — СПб.: Политехника, 2005. — 302 с.

Теория автоматического управления: учебник для вузов / С. Е. Душин [и др.]; под ред. В. Б. Яковлева. — 2-е изд., перераб. — М.: Высшая школа, 2005. — 567 с.

Спасибо за внимание!