

---

# Тема 5. Структурные преобразования

---

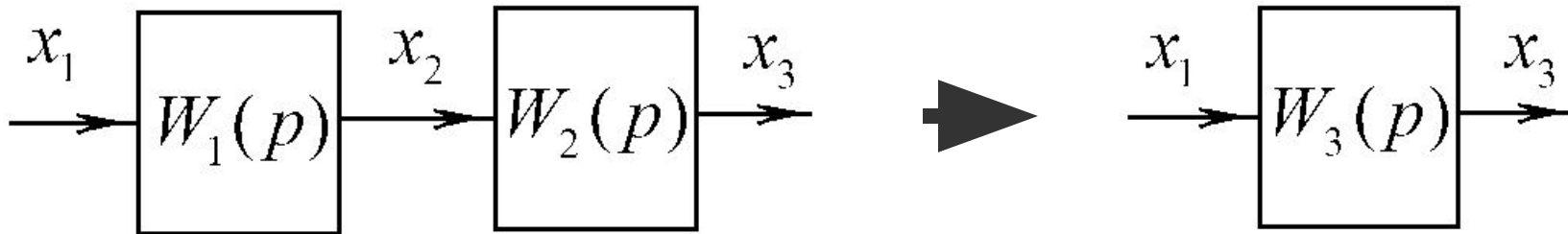
# Структурные преобразования

---

- 1. Последовательное соединение звеньев*
- 2. Параллельное соединение звеньев*
- 3. Перенос узла*
- 4. Перенос сумматора*
- 5. Преобразование схем с обратной связью*
- 6. Перестановка сумматоров*

## Последовательное соединение звеньев

---



$$x_2 = W_1(p)x_1 \quad x_3 = W_2(p)x_2$$

---

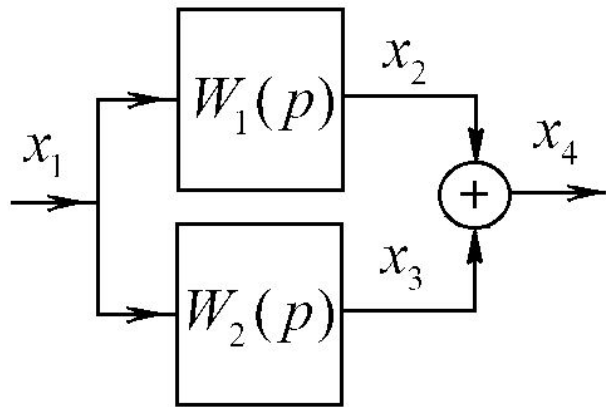
$$x_3 = W_2(p)W_1(p)x_1$$

$$x_3 = W_3(p)x_1 \quad W_3(p) = W_1(p)W_2(p)$$

---

**Передаточная функция для последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций этих звеньев**

## Параллельное соединение звеньев



$$x_2 = W_1(p)x_1 \quad x_3 = W_2(p)x_1$$

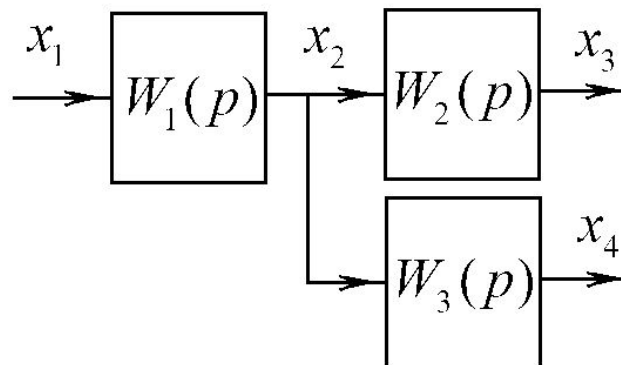
$$x_4 = x_2 + x_3$$

$$x_4 = W_1(p)x_1 + W_2(p)x_1 = [W_1(p) + W_2(p)]x_1$$

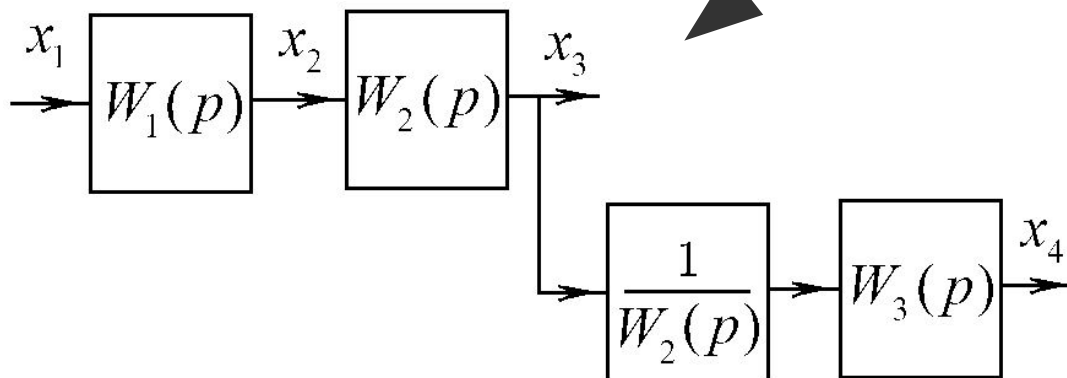
$$x_4 = W_3(p)x_1 \quad \blacktriangleright \quad W_3(p) = W_1(p) + W_2(p)$$

**Передаточная функция для параллельно соединенных звеньев равна сумме передаточных функций этих звеньев**

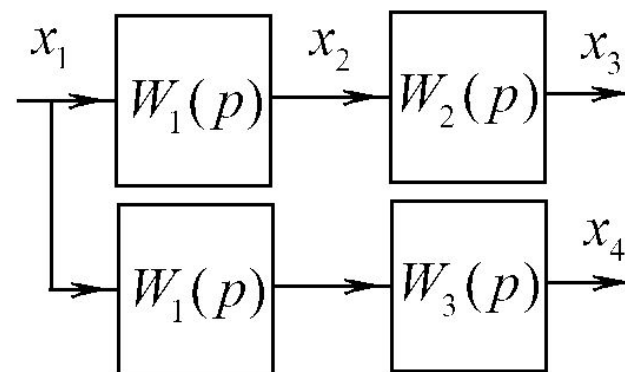
# Перенос узла



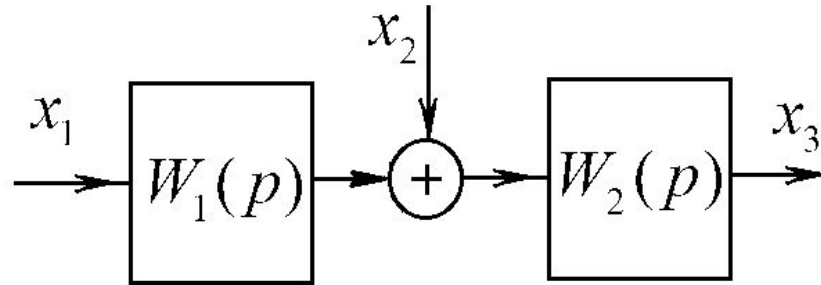
**Перенос узла  
на выход звена:**



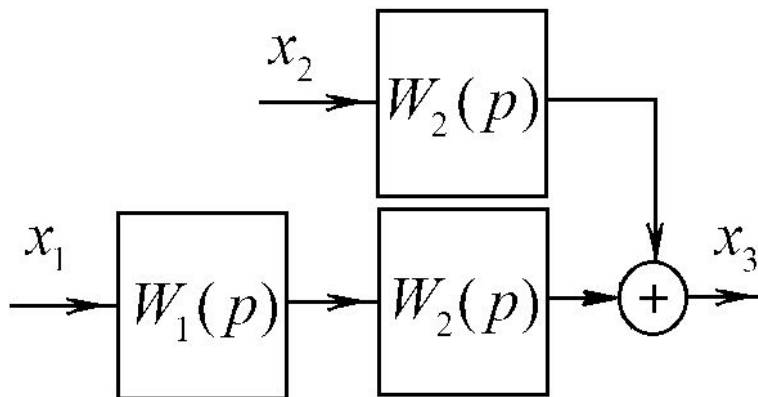
**Перенос узла  
на вход звена:**



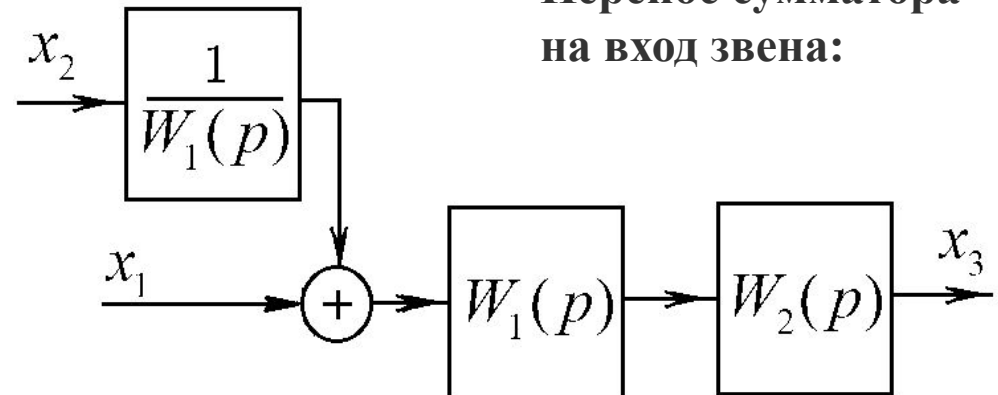
# Перенос сумматора



Перенос сумматора  
на выход звена:

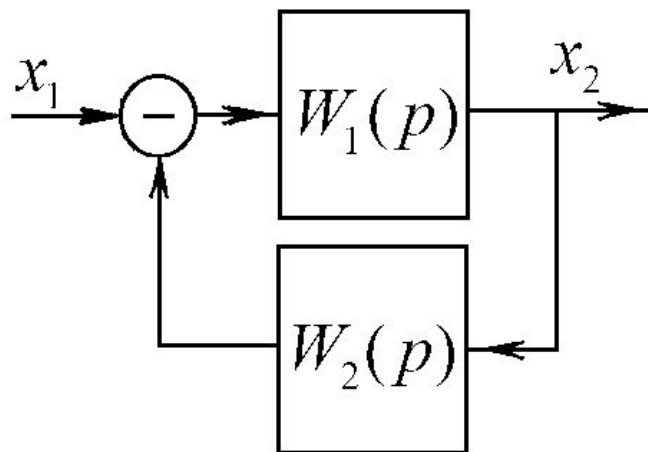


Перенос сумматора  
на вход звена:



# Преобразование схемы с отрицательной обратной связью

---



$$x_2 = W_1(p)[x_1 - W_2(p)x_2]$$

$$x_2 = W_1(p)x_1 - W_1(p)W_2(p)x_2$$

$$x_2 + W_1(p)W_2(p)x_2 = W_1(p)x_1$$

$$[1 + W_1(p)W_2(p)]x_2 = W_1(p)x_1$$

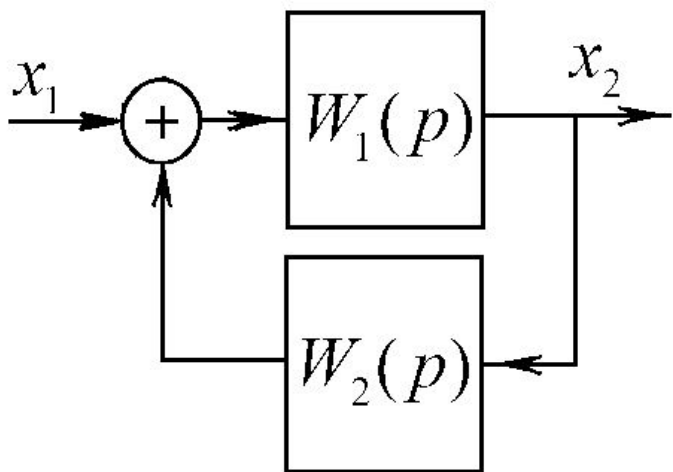
---

$$x_2 = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)} x_1$$

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}$$

---

# Преобразование схемы с положительной обратной связью



$$x_2 = W_1(p)[x_1 + W_2(p)x_2]$$

$$x_2 = W_1(p)x_1 + W_1(p)W_2(p)x_2$$

$$x_2 - W_1(p)W_2(p)x_2 = W_1(p)x_1$$

$$[1 - W_1(p)W_2(p)]x_2 = W_1(p)x_1$$

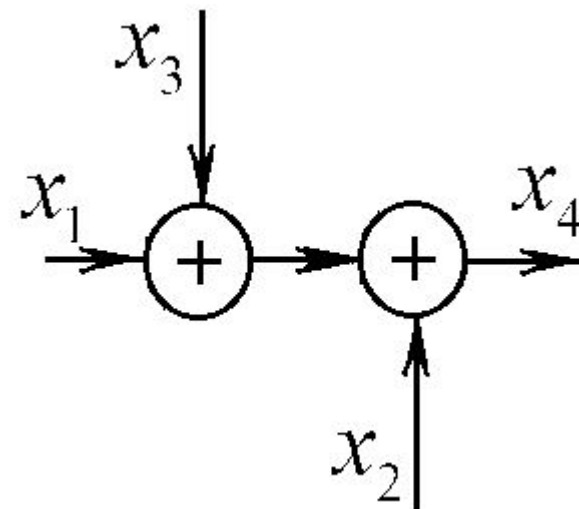
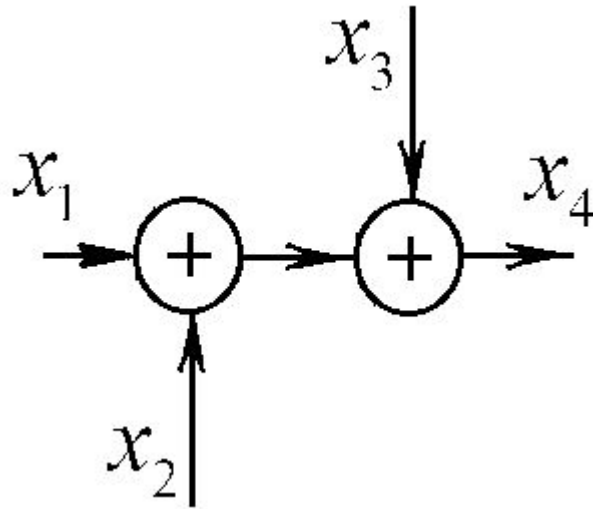
$$x_2 = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)W_2(p)} x_1$$

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



## Перестановка сумматоров

---

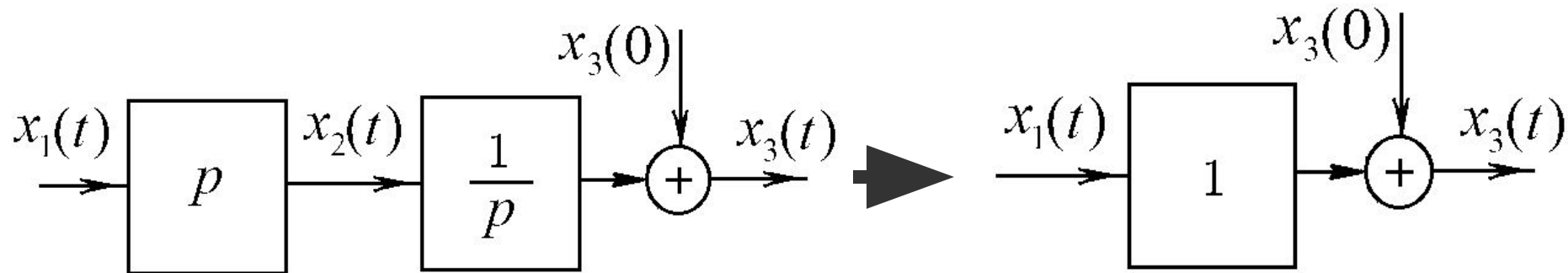


---

**Замечание: Аппарат передаточных функций совместно с правилами преобразований структурных схем может быть использован только в предположении, что в системе имеют место нулевые начальные условия.**

---

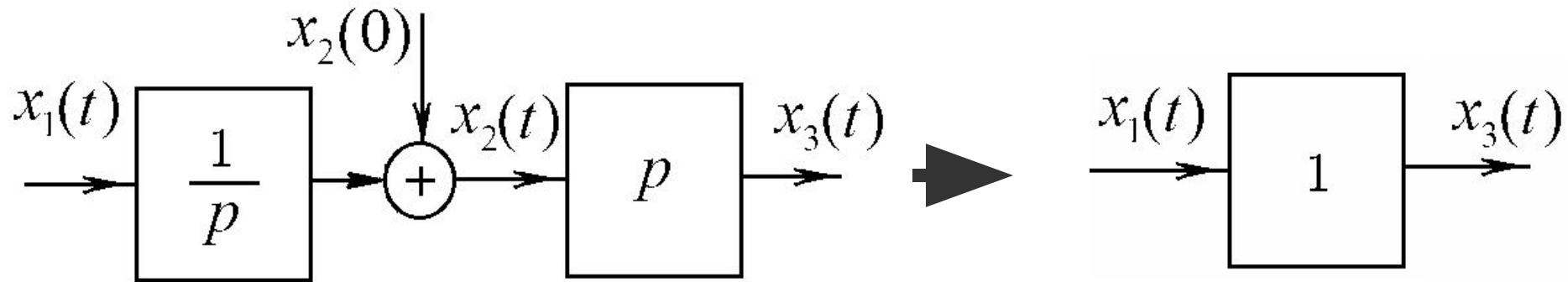
## Пример (ненулевые начальные условия)



$$x_3(t) = x_3(0) + \int_0^t x_2(\tau) d\tau$$

$$= x_3(0) + \int_0^t \left[ \frac{d x_1(\tau)}{d\tau} \right] d\tau = x_3(0) + x_1(t)$$

## Пример (ненулевые начальные условия)



$$\begin{aligned}
 x_3(t) &= \frac{d x_2(t)}{dt} \\
 &= \frac{d}{dt} \left[ x_2(0) + \int_0^t x_1(\tau) d\tau \right] = \frac{d}{dt} \left[ \int_0^t x_1(\tau) d\tau \right] = x_1(t)
 \end{aligned}$$

**Вывод:** При ненулевых начальных условиях перестановка звеньев может изменить результат преобразования сигналов в системе.

---

# Тема 6. Анализ устойчивости линейных непрерывных систем

---