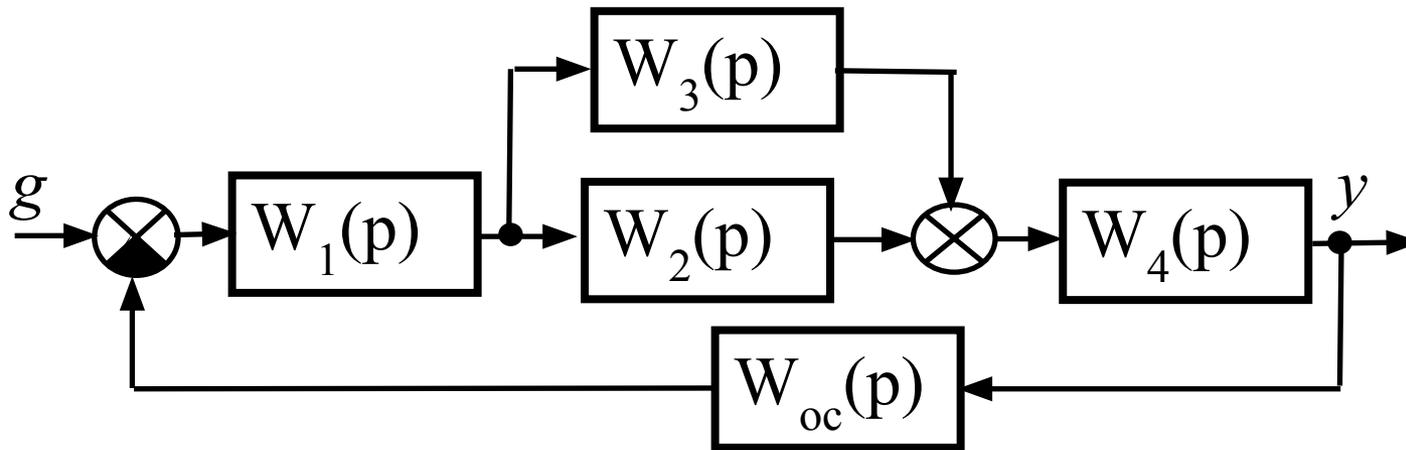


Структурные схемы САУ. Основные правила преобразования структурных схем

Структурная схема САУ – это графическое изображение её математического описания

Пример структурной схемы



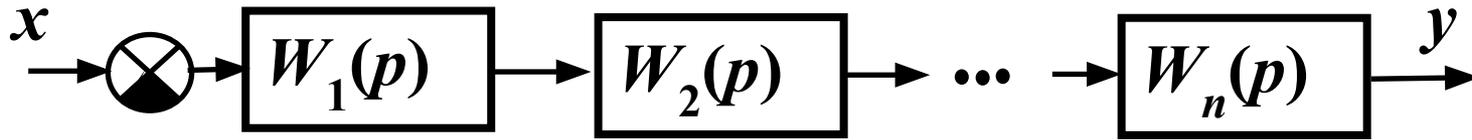
Структурная схема содержит:

- **Звенья направленного действия** (изображаются прямоугольниками, внутри которых записываются их передаточные функции);
- **Линии связи**, на которых изображается направление распространения сигнала;
- **Сумматоры**, предназначенные для суммирования (вычитания) сигналов;
- **Узлы**, обозначающие распространение сигналов по различным направлениям.

Для удобства проведения расчётов структурные схемы подвергают преобразованиям

Основные правила преобразования структурных схем

- Последовательное соединение звеньев

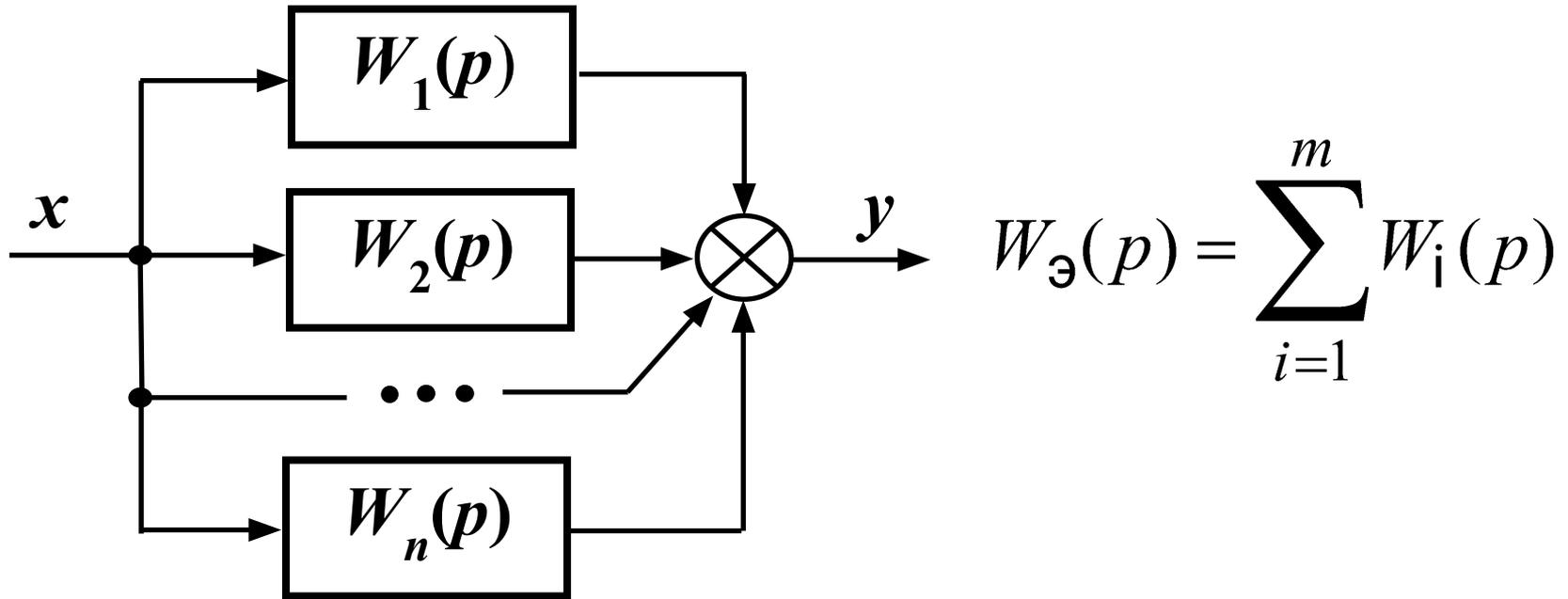


Эквивалентная передаточная функция

$$W_{\text{э}}(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p)$$

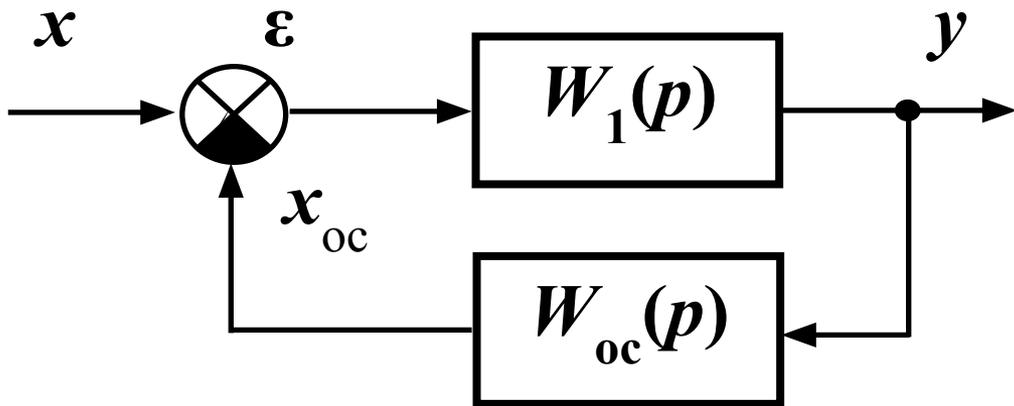
При последовательном соединении звеньев их передаточные функции **перемножаются**

- Параллельное соединение звеньев



При параллельном соединении звеньев их передаточные функции **суммируются**

- Охват звена обратной связью



$\varepsilon(t) = x(t) - x_{oc}(t)$ —
сигнал рассогласования (ошибки)

Если $X(p) = \mathbf{L}\{x(t)\}$ $Y(p) = \mathbf{L}\{y(t)\}$ $E(p) = \mathbf{L}\{\varepsilon(t)\}$
 $X_{oc}(p) = \mathbf{L}\{x_{oc}(t)\}$

то $Y(p) = E(p) \cdot W_1(p) =$
 $= [X(p) - X_{oc}(p)] \cdot W_1(p) =$
 $= [X(p) - Y(p) \cdot W_{oc}(p)] \cdot W_1(p),$

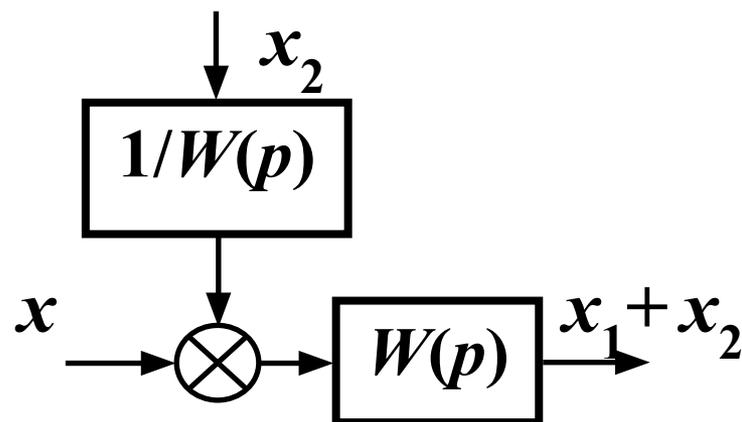
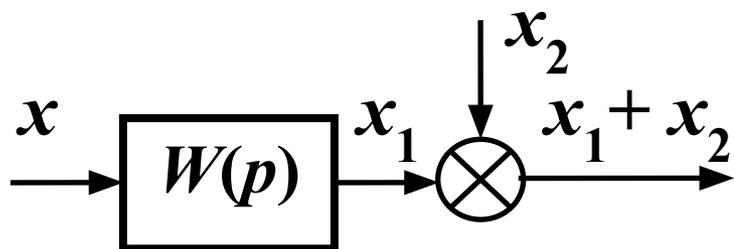
или $Y(p) + Y(p) \cdot W_{oc}(p) \cdot W_1(p) = X(p) \cdot W_1(p)$

отсюда
$$W_{\text{э}}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{W_1(p)}{1 + W_{\text{ос}}(p) \cdot W_1(p)}$$

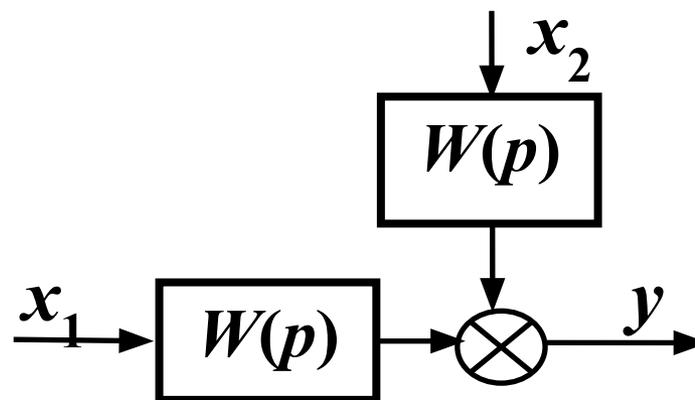
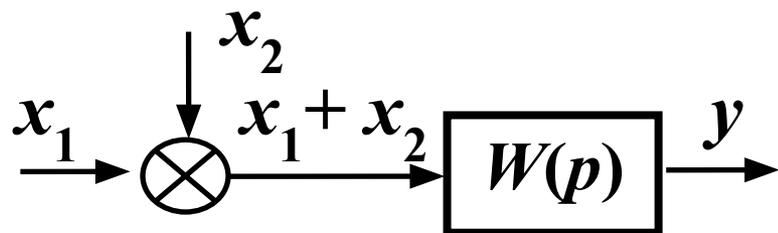
При **положительной** обратной связи знак “**плюс**” в знаменателе меняется на “**минус**”, т.е.

$$W_{\text{э}}(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_{\text{ос}}(p) \cdot W_1(p)}$$

- Перенос сумматора влево

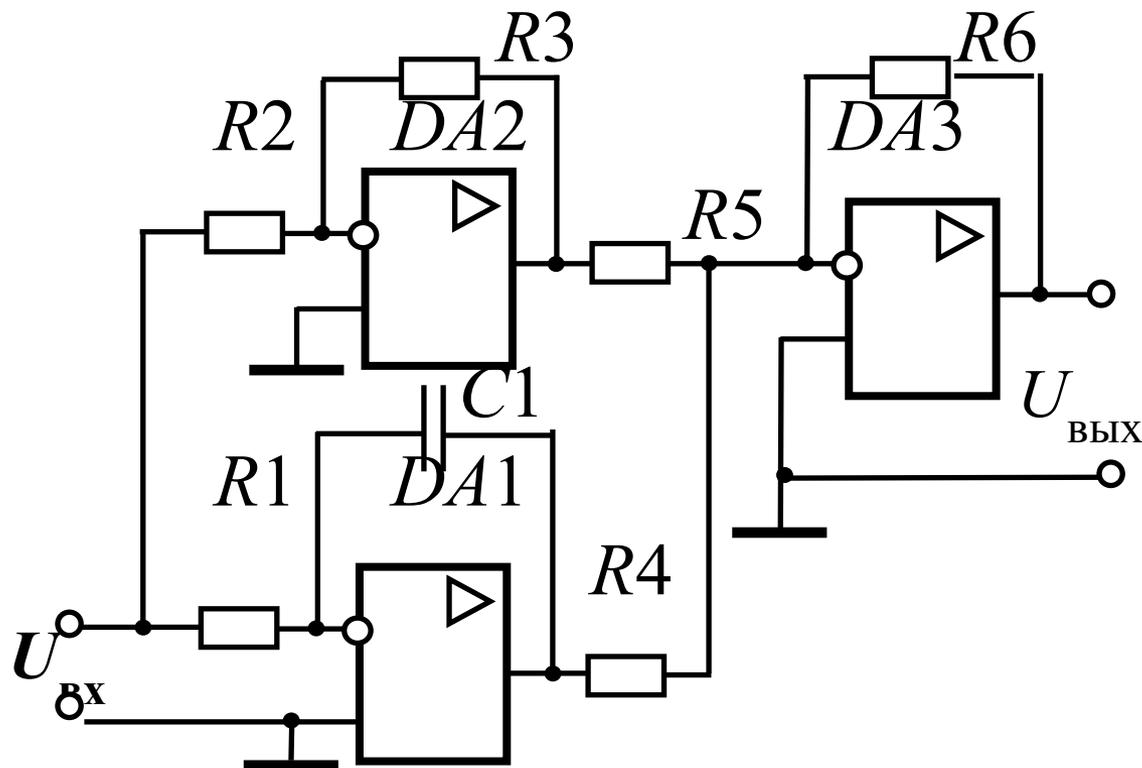


- Перенос сумматора вправо

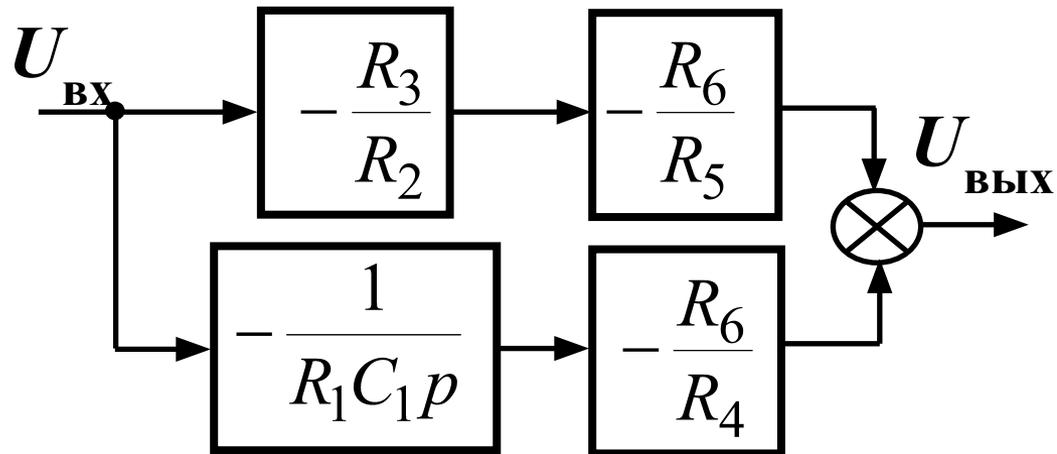


Вывод передаточных функций устройств на активных четырёхполюсниках

Пример 1. Электрическая схема четырёхполюсника



Структурная схема четырехполюсника



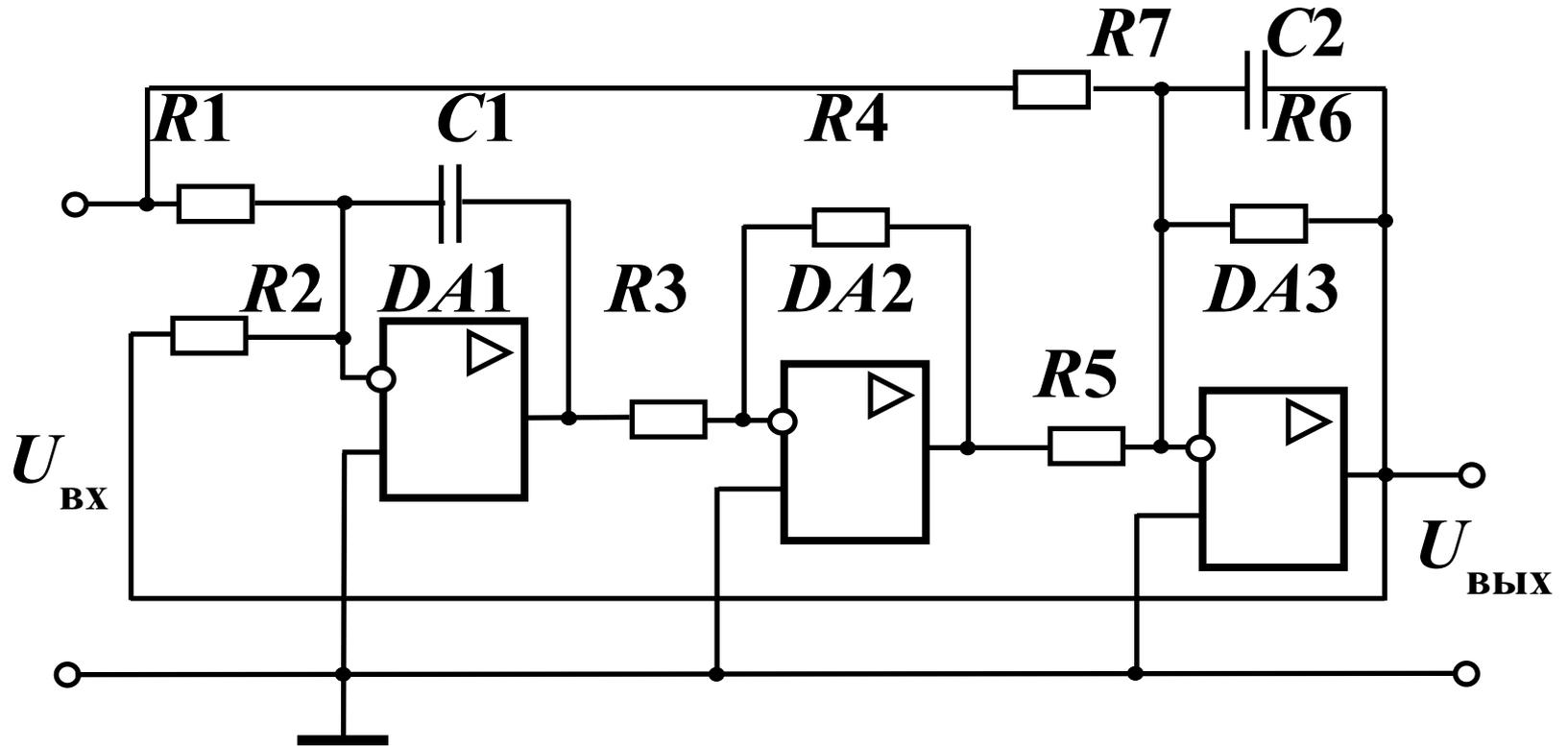
Вывод передаточной функции

$$\begin{aligned} W(p) &= \left(-\frac{R_3}{R_2} \right) \left(-\frac{R_6}{R_5} \right) + \left(-\frac{1}{R_1 C_1 p} \right) \left(-\frac{R_6}{R_4} \right) = \\ &= R_6 \cdot \frac{R_1 R_3 R_4 C_1 p + R_2 R_5}{R_1 R_2 R_4 R_5 C_1 p} = \frac{R_6}{R_1 R_4 C_1 p} \left(\frac{R_1 R_3 R_4 C_1}{R_2 R_5} p + 1 \right) \end{aligned}$$

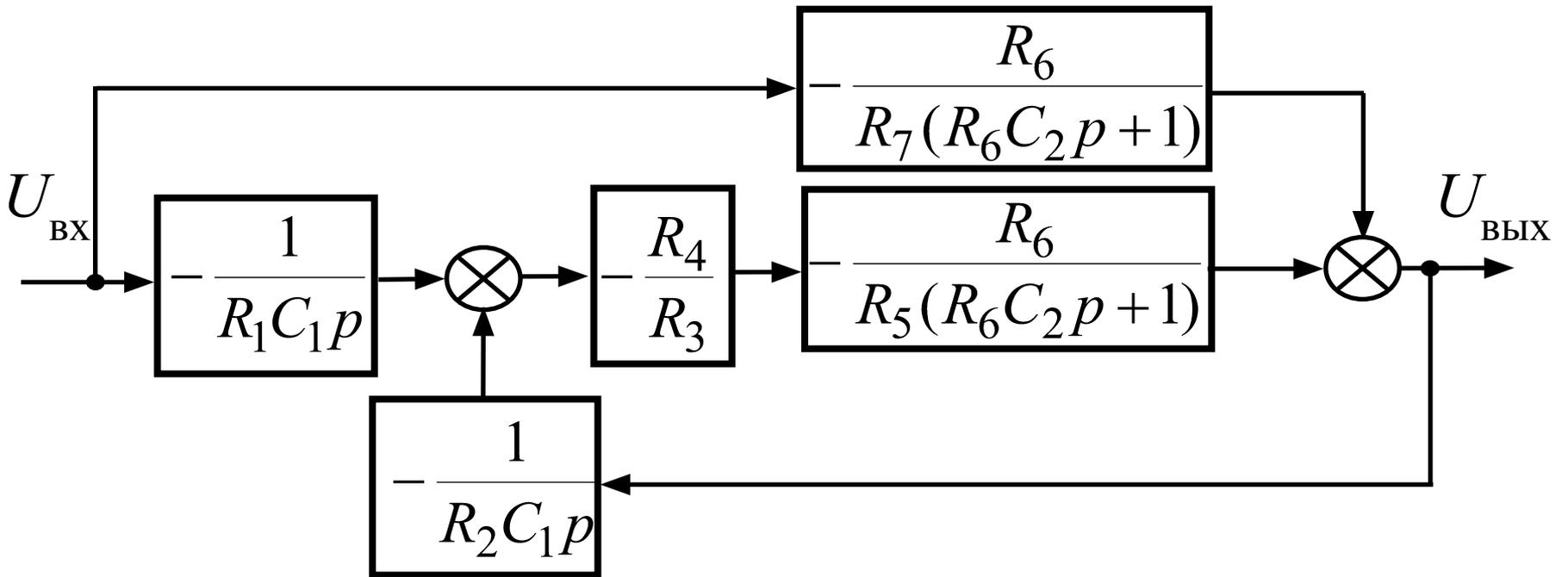
Передаточная функция устройства

$$W(p) = \frac{k(\tau p + 1)}{p} \quad \text{— изодромное звено, где} \quad k = \frac{R_6}{R_1 R_4 C_1}$$
$$\tau = \frac{R_1 R_3 R_4 C_1}{R_2 R_5}$$

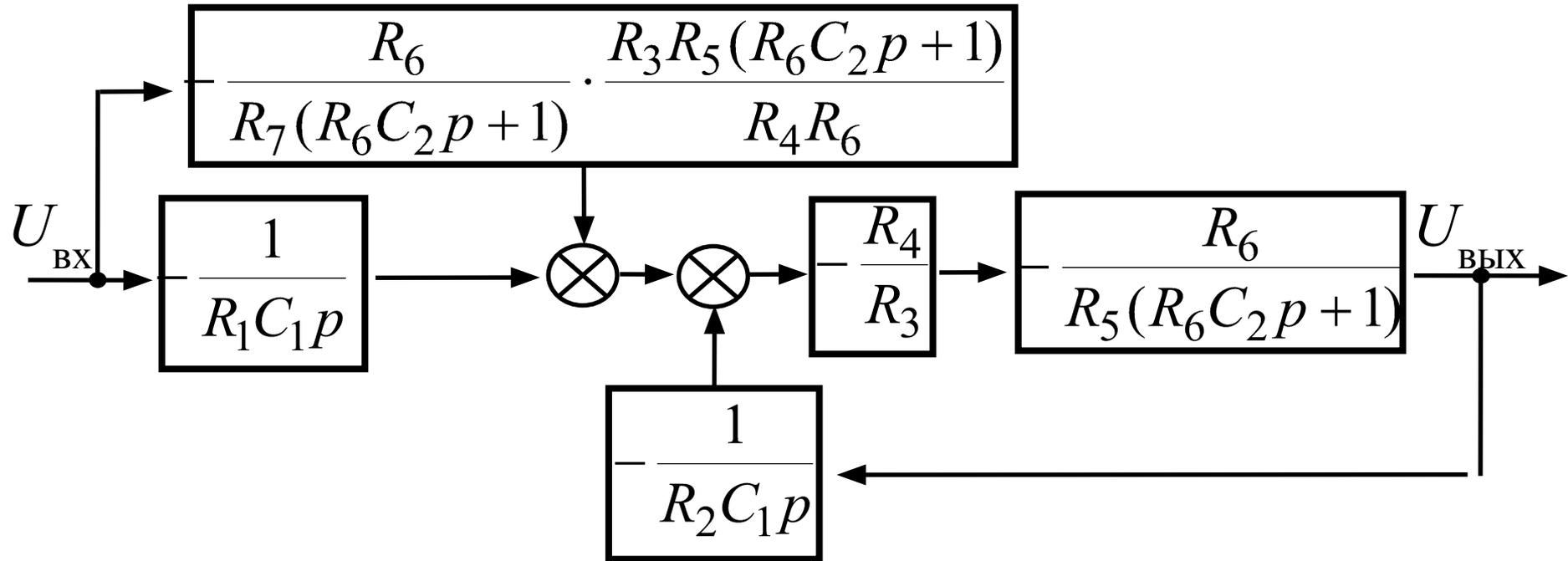
• **Пример 2. Электрическая схема четырехполюсника**

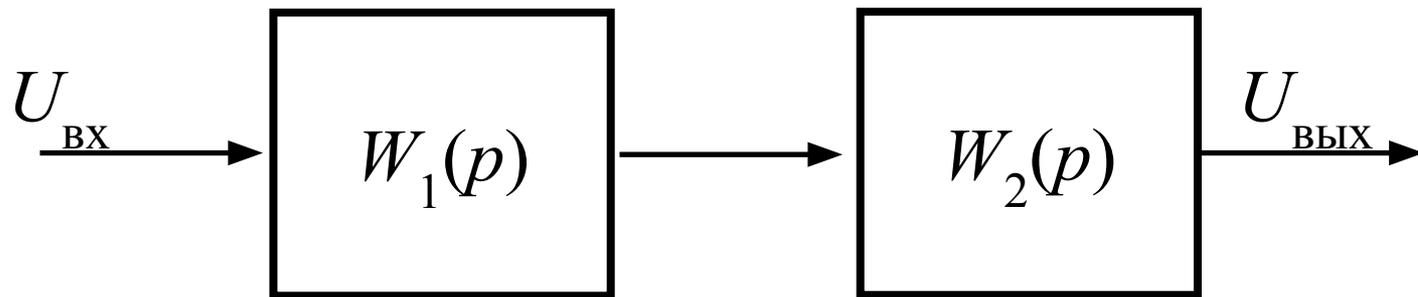
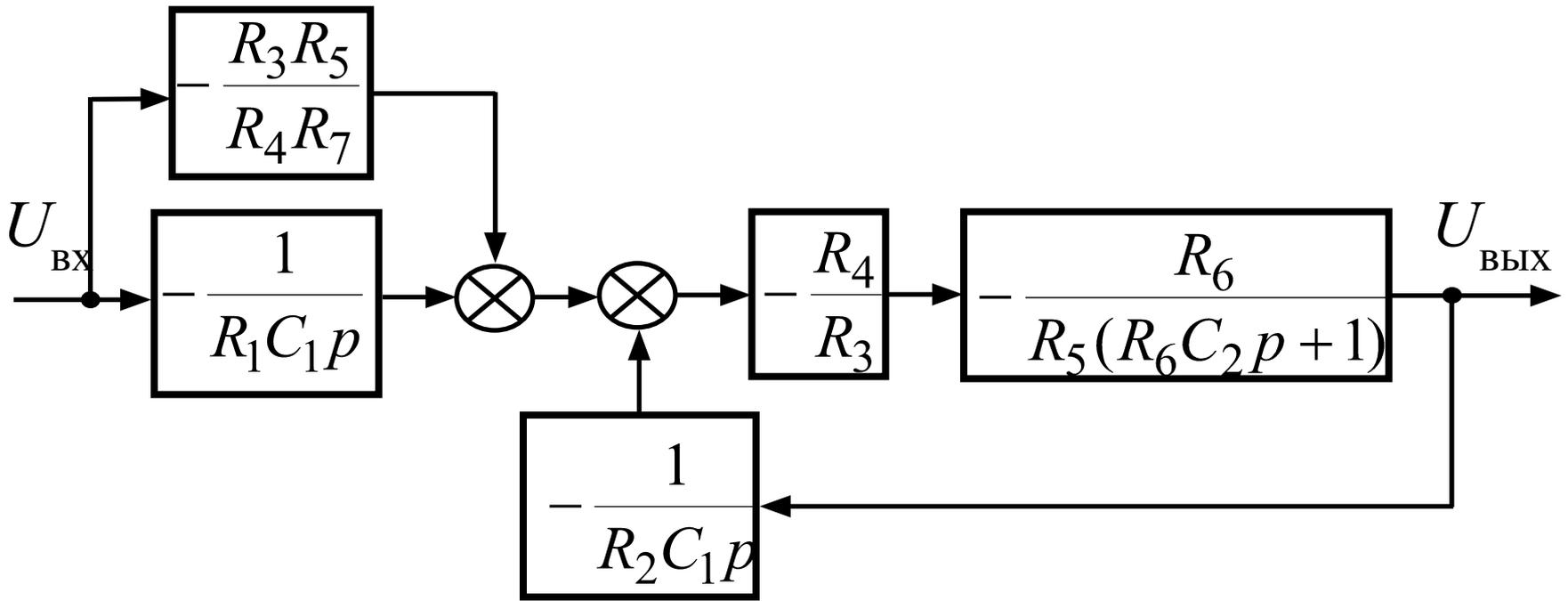


Структурная схема четырехполюсника



Преобразования структурной схемы





Вывод передаточной функции

- 1.
$$W_1(p) = -\frac{R_3 R_5}{R_4 R_7} - \frac{1}{R_1 C_1 p} = -\frac{R_1 R_3 R_5 C_1 p + R_4 R_7}{R_1 R_4 R_7 C_1 p} =$$
$$= -\frac{\frac{R_1 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_7} p + 1}{R_1 C_1 p}$$

• 2.

$$\begin{aligned} W_2(p) &= \frac{\left(-\frac{R_4}{R_3}\right)\left(-\frac{R_6}{R_5(R_6C_2p+1)}\right)}{1 - \left(-\frac{1}{R_2C_1p}\right)\left(-\frac{R_4}{R_3}\right)\left(-\frac{R_6}{R_5(R_6C_2p+1)}\right)} = \\ &= \frac{R_2R_4R_6C_1p}{R_2R_3R_5C_1p(R_6C_2p+1) + R_4R_6} = \\ &= \frac{R_2C_1p}{\frac{R_2R_3R_5C_1C_2}{R_4}p^2 + \frac{R_2R_3R_5C_1}{R_4R_6}p + 1} \end{aligned}$$

• 3 (окончательно)

$$W(p) = W_1(p)W_2(p) =$$

$$= -\frac{\frac{R_1 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_7} p + 1}{R_1 C_1 p} \cdot \frac{R_2 C_1 p}{\frac{R_2 R_3 R_5 C_1 C_2}{R_4} p^2 + \frac{R_2 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_6} p + 1} =$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{\frac{R_1 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_7} p + 1}{\frac{R_2 R_3 R_5 C_1 C_2}{R_4} p^2 + \frac{R_2 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_6} p + 1} = -\frac{k(\tau p + 1)}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}$$

- Таким образом, рассмотренный четырёхполюсник представляет собой последовательное соединение **форсирующего звена** и **звена второго порядка** (без инвертора) со следующими параметрами:

$$k = \frac{R_2}{R_1} \quad \tau = \frac{R_1 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_7} \quad T_1 = \sqrt{\frac{R_2 R_3 R_5 C_1 C_2}{R_4}} \quad T_2 = \frac{R_2 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_6}$$

коэффициент демпфирования

$$\xi = \frac{T_2}{2T_1} = \frac{\frac{R_2 R_3 R_5 C_1}{R_4 R_6}}{2 \sqrt{\frac{R_2 R_3 R_5 C_1 C_2}{R_4}}} = \frac{1}{2R_6} \sqrt{\frac{R_2 R_3 R_5 C_1}{R_4 C_2}}$$

При $R_7 = \infty$ звено становится апериодическим или колебательным в зависимости от величины ξ