КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ

Структурные схемы систем автоматического управления

Теория линейных систем автоматического управления

Лекция 6 • Нұрғалиев М.К. • Алматы

Цель и план лекции

Цель

Изучить построение структурных схем и преобразование их в эквивалентную передаточную функцию.

Основные объекты

Динамические звенья, сумматоры, точки разветвления и цепи обратной связи.

Результат

Уметь сворачивать типовые соединения и анализировать сложную схему.

ДЕСЯТЬ ПУНКТОВ ПЛАНА — ДЕСЯТЬ ОТДЕЛЬНЫХ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫХ СЛАЙДОВ

01 Понятие структурной схемы САУ

02 Динамическое звено и его передаточная функция

03 Сумматоры и точки разветвления

04 Последовательное соединение динамических звеньев

05 Параллельное соединение динамических звеньев

06 Соединение звеньев с обратной связью

07 Отрицательная обратная связь

08 Положительная обратная связь

09 Основные правила преобразования структурных схем

10 Практическое значение структурных схем

Понятие структурной схемы системы автоматического управления

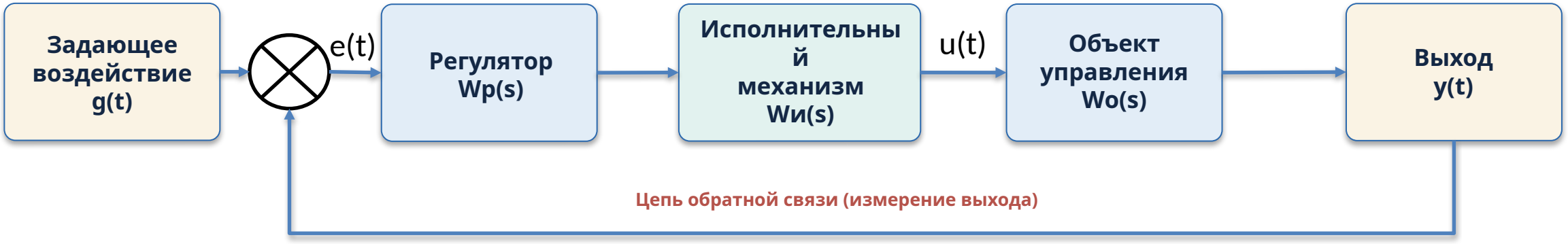
Определение

Графическое представление математической модели САУ: блоки обозначают элементы с передаточными функциями, линии — направления передачи сигналов.

Назначение

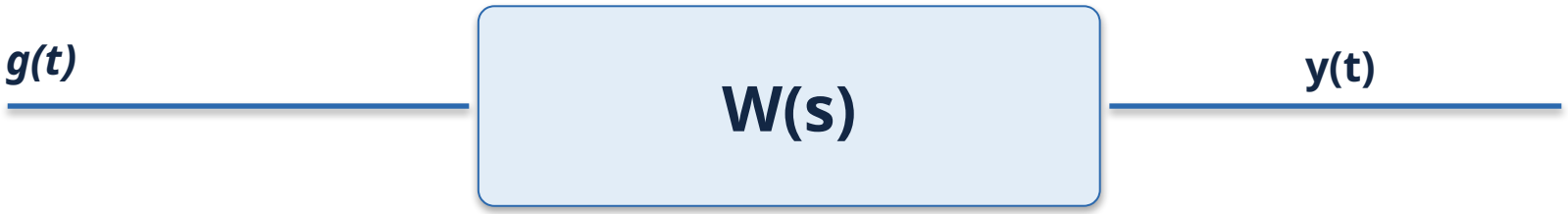
Показать взаимодействие элементов, зависимость выхода от входа, влияние обратных связей и общую передаточную функцию.

ПРИМЕР ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКИ САУ



Динамическое звено и его передаточная функция

СТРУКТУРНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ



$$W(s) = \frac{Y(s)}{G(s)}$$

Определение при нулевых начальных условиях

$$Y(s) = W(s)X(s)$$

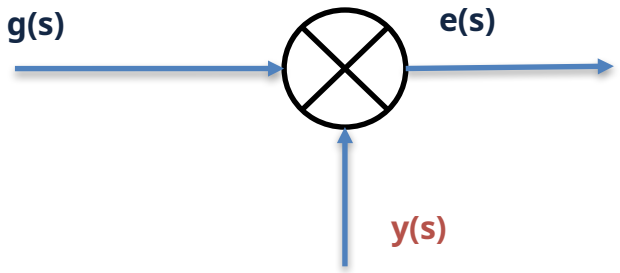
Выход в операторной области

Блок описывает динамическую зависимость между входным и выходным сигналами.

Передаточная функция характеризует свойства звена независимо от конкретного входного воздействия.

Сумматоры и точки разветвления

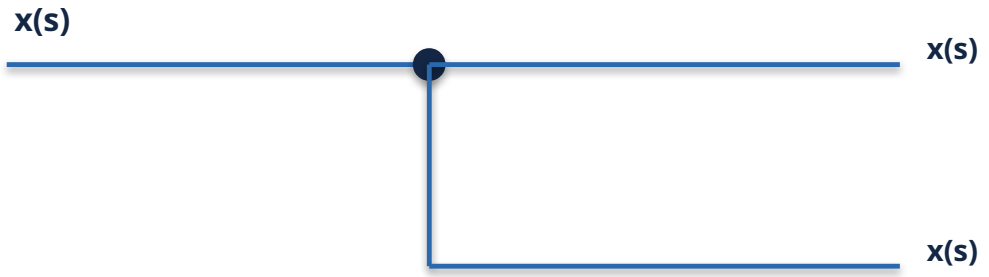
СУММАТОР — АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ СЛОЖЕНИЕ



$$e(s) = g(s) - u(s)$$

Знак входа задаёт сложение или вычитание

ТОЧКА РАЗВЕТВЛЕНИЯ — КОПИРОВАНИЕ СИГНАЛА



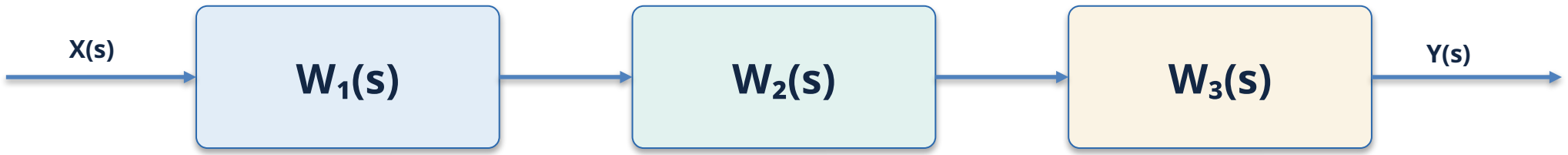
$$x_1(s) = x_2(s) = x(s)$$

Значение сигнала на ветвях не меняется

Сумматор изменяет сигнал по заданным знакам; точка разветвления только распределяет один и тот же сигнал по нескольким направлениям.

Последовательное соединение динамических звеньев

ВЫХОД ОДНОГО ЗВЕНА ЯВЛЯЕТСЯ ВХОДОМ СЛЕДУЮЩЕГО

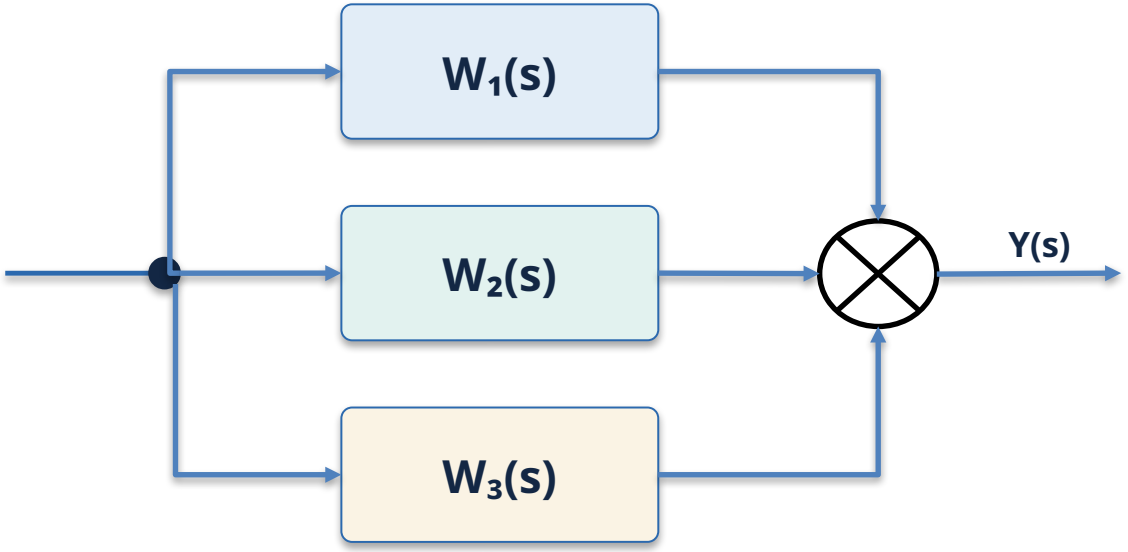


$$W_{экв}(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s)$$

Эквивалентная передаточная функция последовательной цепи

Параллельное соединение динамических звеньев

ОДИН ВХОД ПОСТУПАЕТ НА НЕСКОЛЬКО ВЕТОК, ВЫХОДЫ СУММИРУЮТСЯ



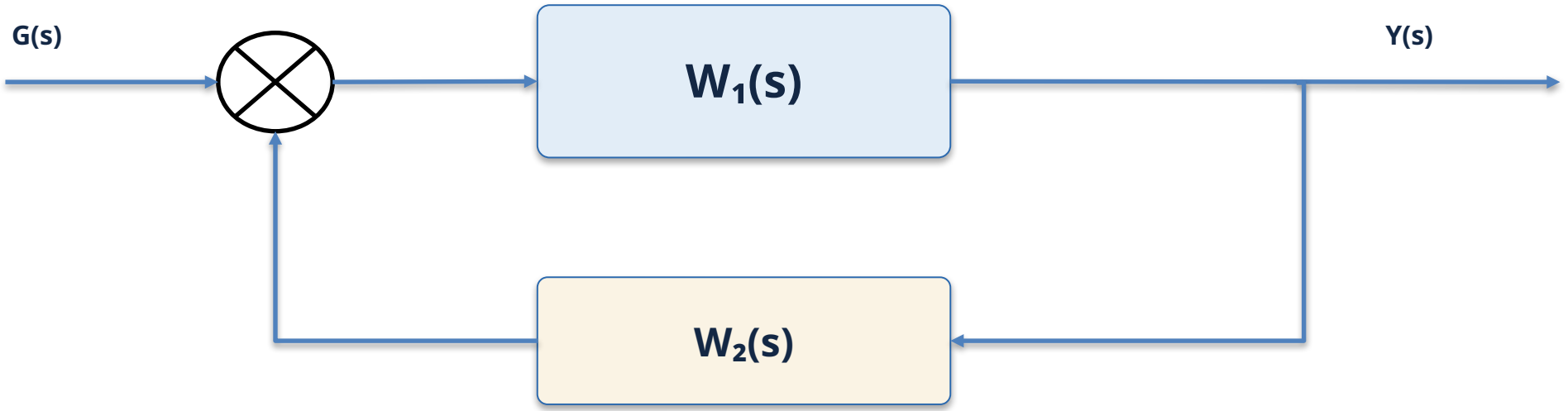
$$W_{экв} = W_1 + W_2 + W_3$$

При сложении всех выходов

При параллельном соединении передаточные функции складываются алгебраически с учётом знаков сумматора.

Соединение звеньев с обратной связью

ЧАСТЬ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ВОЗВРАЩАЕТСЯ НА ВХОД



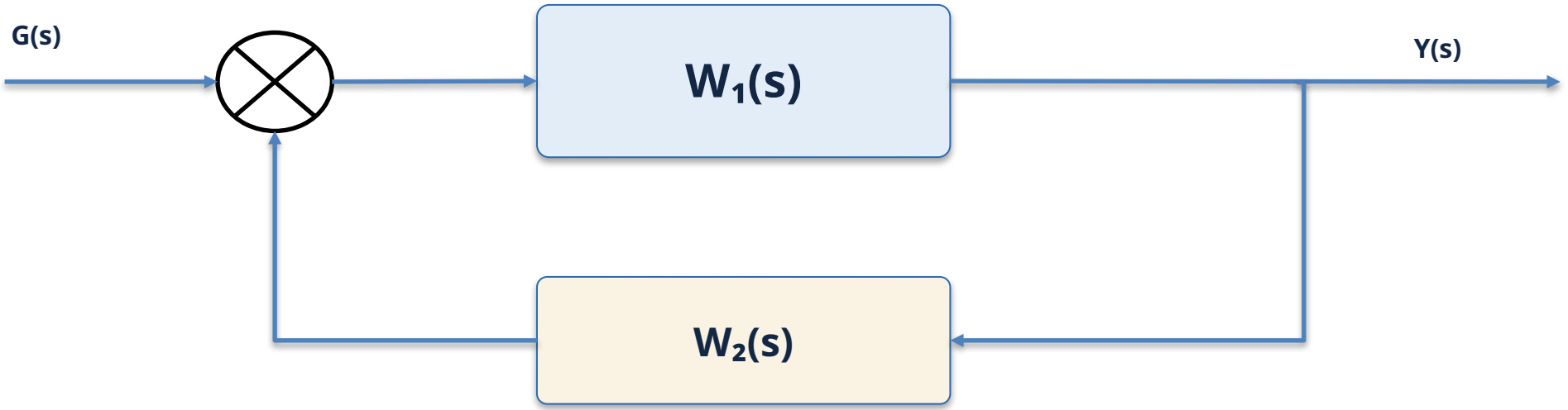
Прямая цепь

Передаёт сигнал от точки сравнения к выходу.

Цепь обратной связи

Передаёт выход или его преобразованную величину обратно на вход.

Отрицательная обратная связь



Эквивалентная передаточная функция

$$W(s) = \frac{Y(s)}{G(s)} = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)}$$

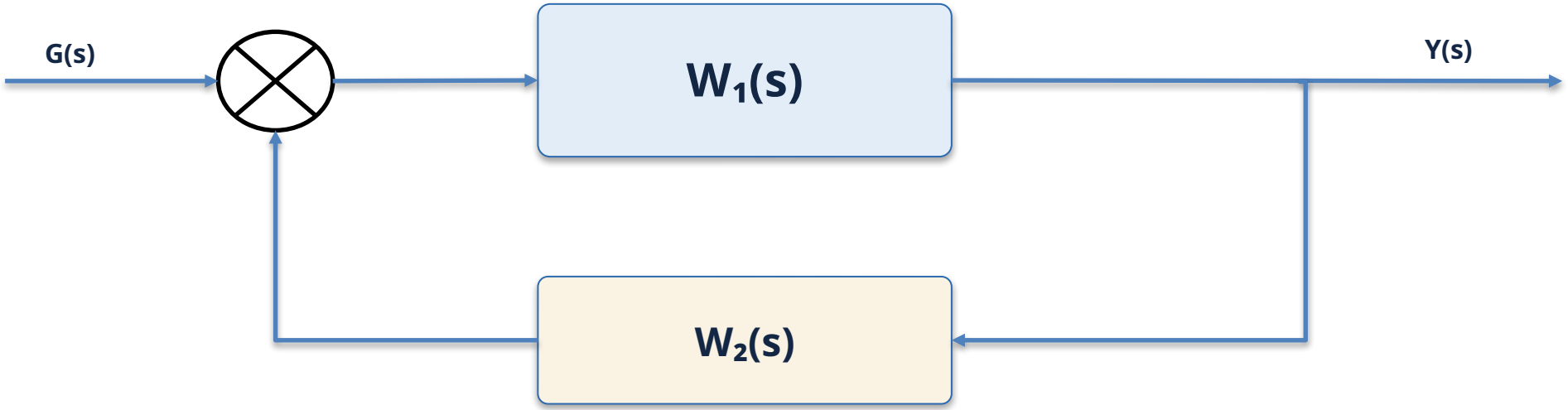
Сигнал обратной связи вычитается из задающего воздействия.

Ошибка: $E(s)=G(s)-W_2(s)Y(s)$.

При соответствующем выборе параметров может уменьшать влияние возмущений и повышать точность.

Отрицательная связь сама по себе не гарантирует устойчивость.

Положительная обратная связь



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

Эквивалентная передаточная функция

Возвращаемый сигнал складывается с задающим воздействием.

В знаменателе эквивалентной функции появляется знак минус.

Может увеличивать коэффициент усиления.

Одновременно способна снижать запас устойчивости и приводить к неустойчивости.

Основные правила преобразования структурных схем

Вид соединения	Эквивалентная передаточная функция
Последовательное	$W_{экв} = W_1 W_2 \ldots W_n$
Параллельное, сложение	$W_{экв} = W_1 + W_2 + \ldots + W_n$
Параллельное, вычитание	$W_{экв} = W_1 - W_2 + \ldots$
Отрицательная обратная связь	$W_{экв} = W_1/(1 + W_1 W_2)$
Положительная обратная связь	$W_{экв} = W_1/(1 - W_1 W_2)$

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

1. Выделить простейшие группы звеньев.
2. Заменить каждую группу эквивалентным звеном.
3. Учесть знаки сумматоров и направление обратной связи.
4. Повторять преобразования до одного эквивалентного блока.

Основные выводы

Структурная схема наглядно показывает элементы САУ и направления передачи сигналов.

Последовательное соединение эквивалентно произведению передаточных функций.

Параллельное соединение эквивалентно алгебраической сумме передаточных функций с учётом знаков.

Для отрицательной обратной связи знаменатель содержит $1+W_1W_2$; для положительной — $1-W_1W_2$.

Сложную схему преобразуют поэтапно, заменяя простейшие группы эквивалентными блоками.

Полученная эквивалентная функция используется для последующего анализа динамики, точности и устойчивости.

Контрольные вопросы

- Что представляет собой структурная схема САУ?
- Какие основные элементы используются при её построении?
- Как определяется передаточная функция динамического звена?
- Что делает сумматор и как учитываются знаки входов?
- Как определяется передаточная функция последовательного соединения?
- Как определяется передаточная функция параллельного соединения?
- Что называется обратной связью?
- Чем отличается отрицательная обратная связь от положительной?
- Как определяется функция замкнутой системы с отрицательной обратной связью?
- Почему положительная обратная связь может привести к потере устойчивости?
- В какой последовательности преобразуют сложную схему?
- Для каких задач анализа и проектирования САУ используют структурные схемы?

Список использованной литературы

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. — М.: Наука, 1975.

2. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. — М.: Физматлит, 2003.

3. Кузовков Н. Т. Теория автоматического управления. — М.: Высшая школа, 1990.

4. Ogata K. Modern Control Engineering. — 5th ed. — Prentice Hall, 2010.

5. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. — 13th ed. — Pearson, 2017.

6. Nise N. S. Control Systems Engineering. — 8th ed. — Wiley, 2019.