

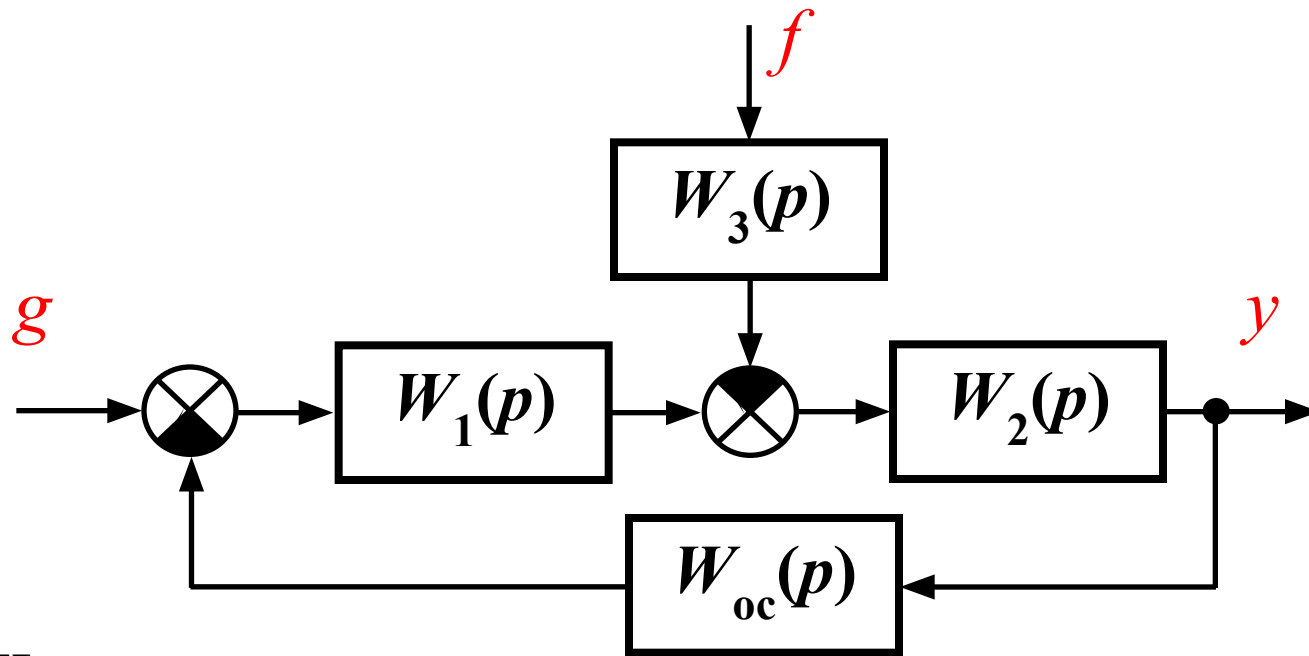
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Показатели качества управления в статическом режиме работы САУ

Различают статический и динамический режимы работы САУ

В статическом режиме, при котором все внешние воздействия и параметры системы не меняются, качество управления характеризуется **статической точностью**

Рассмотрим одноконтурную САУ



Пусть

$$g(t) = g_{\max} \cdot 1(t)$$

$$f(t) = f_{\max} \cdot 1(t)$$

В соответствии с принципом суперпозиции, линейная непрерывная САУ в операторной форме описывается уравнением динамики

$$Y(p) = G(p) \cdot W_{zg}(p) - F(p) \cdot W_{zf}(p)$$

где $G(p) = \mathbf{L}\{g(t)\} = \frac{g_{\max}}{p}$, $F(p) = \mathbf{L}\{f(t)\} = \frac{f_{\max}}{p}$

$$W_{3g}(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_{oc}(p)}$$

$$W_{3f}(p) = \frac{W_2(p)W_3(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_{oc}(p)}$$

Теорема о конечном значении оригинала

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pY(p)$$

Поэтому в статическом режиме (при $t = \infty$) в уравнении динамики в передаточных функциях и изображениях нужно принять $p = 0$

Уравнение динамики превратится в **уравнение статики**

$$y(g, f) = g \cdot W_{zg}(0) - f \cdot W_{zf}(0)$$

Рассмотрим пример. Пусть

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1} \quad W_3(p) = k_3$$

$$W_{oc}(p) = k_{oc}$$

тогда

$$\begin{aligned} W_{zg}(p) &= \frac{\frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1}}{1 + \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1} \cdot k_{oc}} = \\ &= \frac{k_1 k_2}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + k_1 k_2 k_{oc}} \end{aligned}$$

$$W_{\text{cf}}(p) = \frac{\frac{k_2}{T_2 p + 1} \cdot k_3}{1 + \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1} \cdot k_{\text{oc}}} =$$

$$= \frac{k_2 k_3 (T_1 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + k_1 k_2 k_{\text{oc}}}$$

При $p = 0$ получим

$$W_{\text{zg}}(0) = \frac{k_1 k_2}{1 + k_1 k_2 k_{\text{oc}}} = \frac{K_p}{k_{\text{oc}}(1 + K_p)} \quad W_{\text{cf}}(0) = \frac{k_2 k_3}{1 + K_p}$$

Здесь

$K_p = k_1 k_2 k_{\text{oc}}$ – коэффициент передачи разомкнутой цепи САУ

Уравнение статики для рассмотренной САУ

$$y(g, f) = g \cdot \frac{K_p}{k_{oc}(1 + K_p)} - f \cdot \frac{k_2 k_3}{1 + K_p}$$

Пусть $g = \text{var}$ $f = \text{const} = 0$, тогда

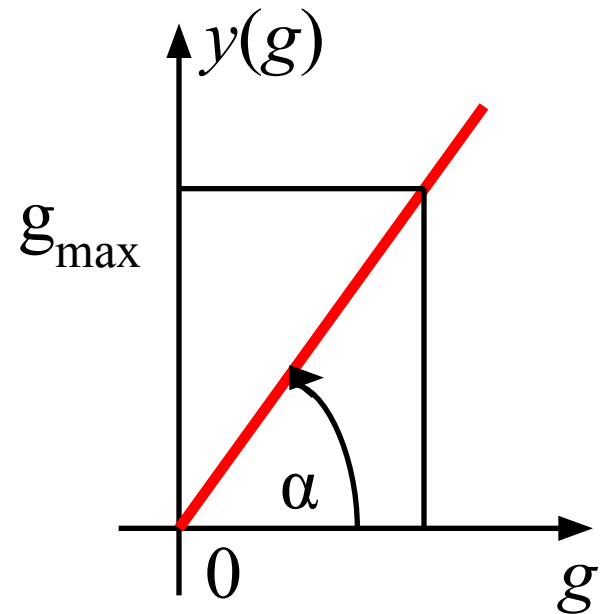
$$y(g) = g \cdot \frac{K_p}{k_{oc}(1 + K_p)}$$

Это уравнение

регулировочной характеристики

САУ

$$\text{arctg } \alpha = \frac{K_p}{k_{oc}(1 + K_p)}$$



- **Регулировочная** статическая характеристика САУ определяет изменение значения выходной величины при изменении величины задающего воздействия и при постоянном возмущающем воздействии

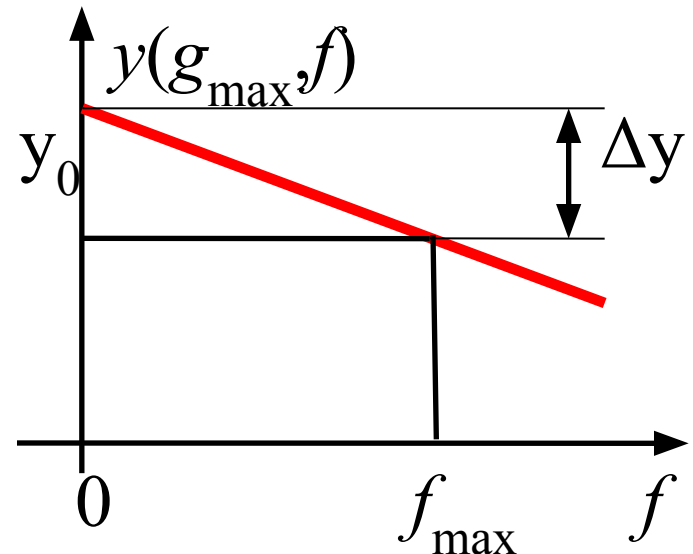
Пусть $g = \text{const} = g_{\text{max}}$ $f = \text{var}$, тогда

$$y(g, f) = g_{\text{max}} \cdot \frac{K_p}{k_{\text{ос}}(1 + K_p)} - f \cdot \frac{k_2 k_3}{1 + K_p} = y_0 - f \cdot K_f$$

где $K_f = \frac{k_2 k_3}{1 + K_p}$
 – коэффициент передачи

замкнутой САУ по

возмущающему воздействию



- Это **внешняя** статическая характеристика САУ, она определяет изменение значения выходной величины при изменении величины возмущающего воздействия при постоянном задающем воздействии

Величина $\Delta y = f \cdot \frac{k_2 k_3}{1 + K_p} = f \cdot K_f$ называется

статической ошибкой системы и является основной величиной, определяющей точность САУ

Точность в установившемся режиме чаще всего принято характеризовать **статизмом** внешней статической характеристики

$$S = \frac{\Delta y}{y_0} \cdot 100$$

где y_0 – значение выходной величины на холостом ходу
(при $f = 0$)

Для полного устранения статической ошибки, согласно формуле

$$\Delta y = f \cdot \frac{k_2 k_3}{1 + K_p} = f \cdot \frac{k_f}{1 + K_p}$$

требуется до бесконечности увеличивать коэффициент передачи , а это, чаще всего, невозможно по условию обеспечения устойчивости системы.

- Системы, в которых нельзя полностью устранить статическую ошибку, называются **статическими**

Астатические системы

Пусть в системе присутствует интегрирующее звено

$$W_1(p) = \frac{k_1}{p} \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1} \quad W_3(p) = k_3$$

$$W_{oc}(p) = k_{oc}$$

тогда

$$W_{3g}(p) = \frac{\frac{k_1}{p} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1}}{1 + \frac{k_1}{p} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1} \cdot k_{oc}} = \frac{k_1 k_2}{p(T_2 p + 1) + k_1 k_2 k_{oc}}$$

$$W_{3g}(0) = \frac{1}{k_{oc}}$$

$$W_{\text{cf}}(p) = \frac{\frac{k_2}{T_2 p + 1} \cdot k_3}{1 + \frac{k_1}{p} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1} \cdot k_{\text{oc}}} = \frac{k_2 k_3 p}{p(T_2 p + 1) + k_1 k_2 k_{\text{oc}}}$$

$$W_{\text{cf}}(0) = 0$$

Следовательно, статическая ошибка $\Delta y = f \cdot W_{\text{cf}}(0) = 0$

- Системы, в которых при стремлении возмущающего воздействия к постоянной величине отклонение выходной величины стремится к нулю и не зависит от величины приложенного воздействия, называются **астатическими**.

Вывод:

- Система будет астатической только в том случае, если интегрирующее звено будет включено на участке структурной схемы САУ между точками приложения задающего и возмущающего воздействий.
- Включение интегрирующего звена после точки приложения возмущающего воздействия не делает систему астатической
- Введение интегрирующего звена в цепь обратной связи делает систему неработоспособной
- Порядок астатизма r САУ определяется количеством интегрирующих звеньев, включенных между точками приложения задающего и возмущающего воздействий

В системах с астатизмом **второго** порядка, помимо статической, также будет равна нулю и ошибка по производной (**скоростная ошибка**). В системах с астатизмом **третьего** порядка, помимо статической и скоростной, нулю будет равна и **ошибка по ускорению**. Это свойство широко используется в следящих системах

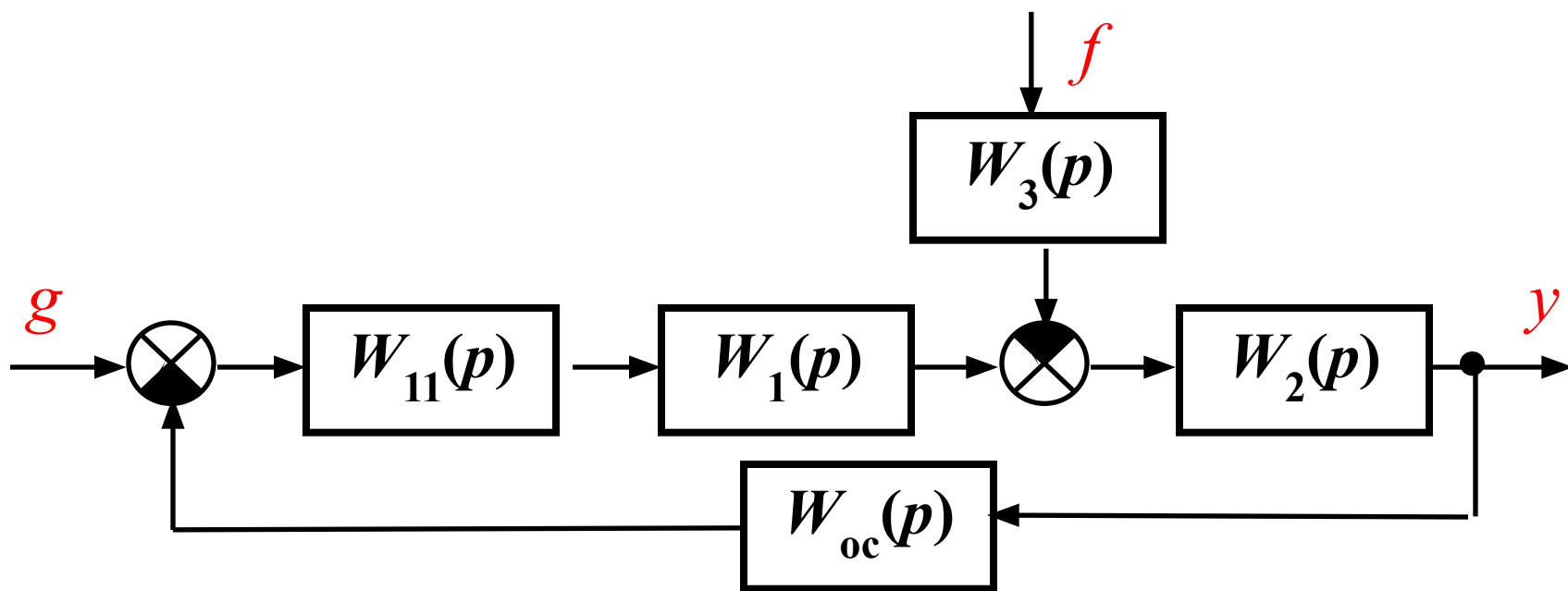
Недостатки астатических САУ

- САУ, порядок которых выше второго, характеризуются **низким быстродействием** за счёт уменьшения частоты среза и сужения полосы пропускания.
- Увеличение порядка астатизма приводит **к снижению устойчивости**

Введём в рассмотренную систему ещё одно интегрирующее звено с передаточной функцией

$$W_{11}(p) = \frac{k_{11}}{p}$$

и выведем для неё передаточную функцию разомкнутой цепи



$$W_{\text{рц}}(p) = W_{11}(p)W_1(p)W_2(p)W_{\text{ос}}(p) =$$

$$= \frac{k_{11}k_1k_2k_{\text{ос}}}{p^2(T_2p + 1)}$$

Характеристический полином САУ

$$A(p) = p^2(T_2p + 1) + k_{11}k_1k_2k_{\text{ос}} = a_3p^3 + a_2p^2 + a_1p + a_0$$

где $a_3 = T_2$ $a_2 = 1$ $a_1 = 0$ $a_0 = k_{11}k_1k_2k_{\text{ос}}$

По критерию Гурвица система будет устойчива, если

$$a_1a_2 - a_3a_0 > 0$$

В нашем случае $a_1a_2 - a_3a_0 = 0 - a_3a_0 < 0$

Вывод: система стала **структурно неустойчивой**

Выход: введение в САУ не интегрирующих, а **изодромных** звеньев

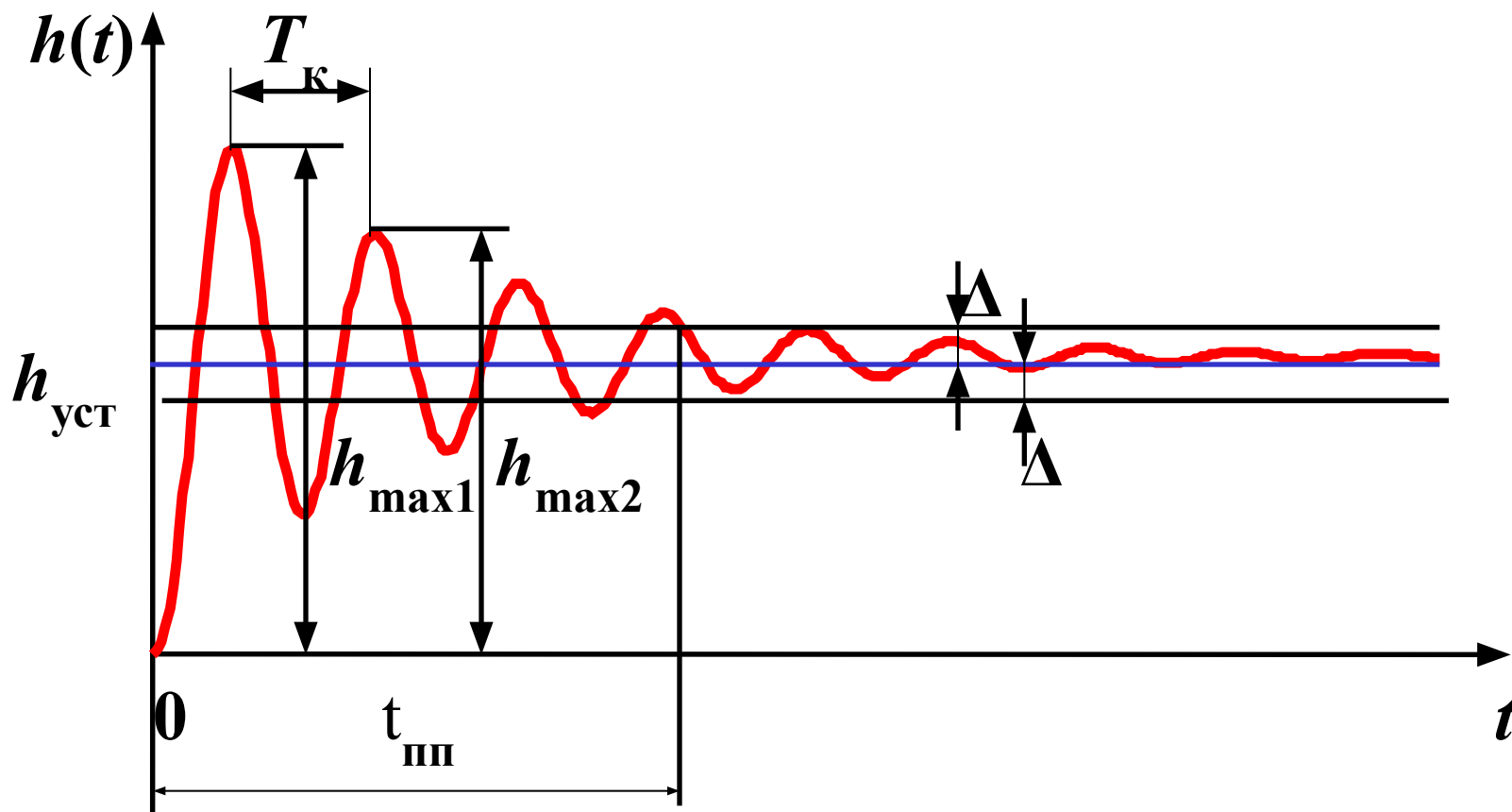
- Подача возмущающего воздействия **сопровождается большими бросками выходной величины**

$$W_{zf}(p) = \frac{k_2 k_3 p}{p(T_2 p + 1) + k_1 k_2 k_{oc}}$$

Присутствие в числителе передаточной функции оператора Лапласа p означает **дифференцирование возмущающего воздействия** и при его скачкообразном изменении производная – это δ -функция (в идеальном варианте). Реально – большой бросок выходной величины.

Показатели качества в динамических режимах работы САУ

Переходная характеристика САУ



Основные показатели качества регулирования

- **Время переходного процесса** $t_{пп}$ характеризует быстродействие системы. Определяется как интервал времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины от ее нового установившегося значения $h_{уст}$ становится меньше определенной достаточно малой величины Δ . Для общепромышленных систем $\Delta = 0,05 \cdot h_{уст}$
- **Перерегулирование** σ – это максимальное отклонение выходной величины h_{max1} от её установившегося значения после окончания переходного процесса, выраженное в процентах

$$\sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100$$

Дополнительные показатели качества

- **Период собственных колебаний** T_k – это расстояние между двумя соседними максимумами на переходной характеристике САУ
- **Колебательность** μ . Характеризует степень затухания переходного процесса

$$\mu = \frac{h_{\max 1}}{h_{\max 2}}$$

Чем больше μ , тем быстрее затухает переходный процесс

Косвенные методы оценки качества переходного процесса

Оценку показателей качества регулирования можно осуществить без построения переходной характеристики косвенными методами, которые называются **критериями качества** переходного процесса. Различают:

- Частотные критерии оценки качества
- Корневые критерии оценки качества
- Интегральные критерии оценки качества

Первые две группы критериев – **на самостоятельное изучение**