

Передаточная функция регулятора положения с FFW

1. Из теории автоматического управления

Рассмотрим замкнутую систему автоматического управления с корректирующим звеном типа предупредления (Feedforward) :

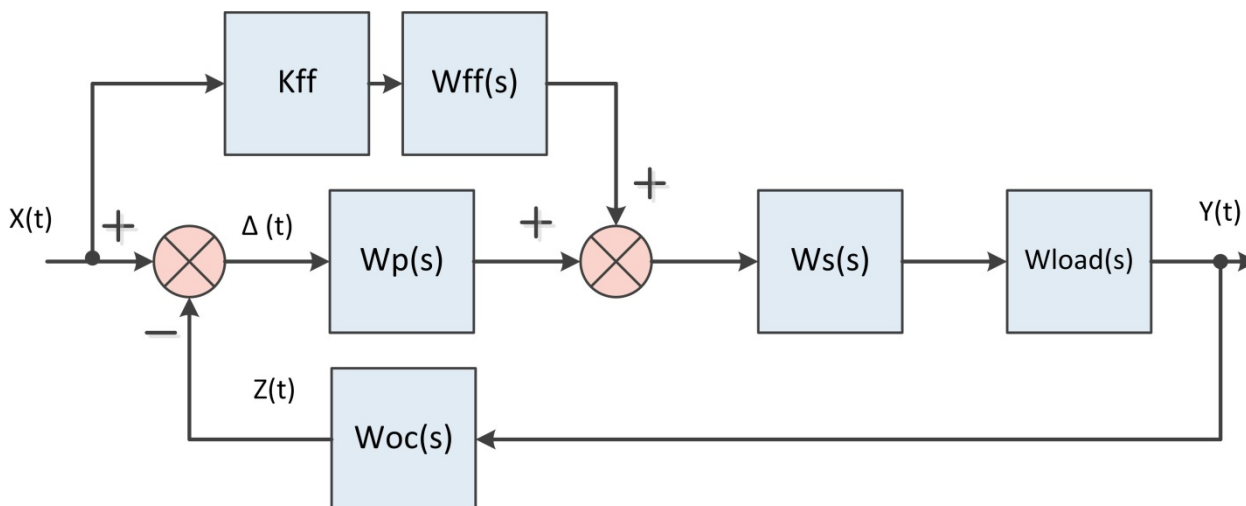


Рисунок 1

$X(t)$ – управляющее воздействие (входной сигнал)
 $Y(t)$ – управляемое воздействие (выходной сигнал)
 $Z(t)$ – сигнал обратной (отрицательной) связи
 $\Delta(t)$ – сигнал ошибки (рассогласования)
 K_{ff} – коэффициент предупредления
 W_{ff} – передаточная функция предупредления
 W_p – передаточная функция регулятора положения
 W_s – передаточная функция регулятора скорости
 W_{load} – передаточная функция ЭП, ЭД и нагрузке
 W_{oc} – передаточная функция обратной связи

Передаточная функция замкнутой системы по воздействию :

$$W_z(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{[K_{ff}W_{ff}(s) + W_p(s)]W_s(s)W_{load}(s)}{1 + W_p(s)W_s(s)W_{load}(s)W_{oc}(s)} \quad (1.1)$$

При единичной обратной связи ($W_{oc}(s)=1$) и $W_s(s) = 1$, а так же условия, что выходной сигнал равен входному получаем :

$$W_z(s) = \frac{[K_{ff}W_{ff}(s) + W_p(s)]W_{load}(s)}{1 + W_p(s)W_{load}(s)} = 1 \quad (1.2)$$

Таким образом :

$$[K_{ff}W_{ff}(s) + W_p(s)]W_{load}(s) = 1 + W_p(s)W_{load}(s)$$

Если $K_{ff}=1$ получаем, что **передаточная функция предупредления обратно равна передаточной функции ЭП, ЭД и нагрузке** :

$$W_{ff}(s) = \frac{1}{W_{load}(s)} \quad (1.3)$$

Аналогичный вывод можно получить, если рассмотреть передаточную функцию по рассогласованию (при единичной обратной связи $W_{oc}(s)=1$):

$$W_{\Delta}(s) = \frac{\Delta(s)}{X(s)} = \frac{1 - K_{ff}W_{ff}(s)W_s(s)W_{load}(s)}{1 + W_p(s)W_s(s)W_{load}(s)} \quad (1.4)$$

При рассогласовании равно нулю $W_{\Delta}(s) = 0$ и $K_{ff} = 1$, получаем формулу (1.3).

Другими словами, принцип действия системы состоит в следующем : входной сигнал $X(t)$ поступает на вход объекта регулирования через блок предупреждения , минуя цепь обратной связи. Передаточная функция блока предупреждения выбирается таким образом, чтобы выходной сигнал $Y(t)$ точно соответствовал входному $X(t)$, т.е. сигнал ошибки был равен 0. Это , в идеальном случае, достигается при коэффициенте предупреждения $K_{ff}=1$ и , если передаточная функция предупреждения обратна передаточной функции объекта регулирования.

Пример. Простейшая система управления 1-го порядка с FFW .

Рассмотрим систему автоматического управления, включающую в себя : систему ЧПУ - регулятор положения (пропорциональный , P – регулятор), электропривод (ЭП) и электродвигатель (ЭД) (пропорциональный , P – регулятор) , а также датчик положения ротора ЭД (ДПР) :

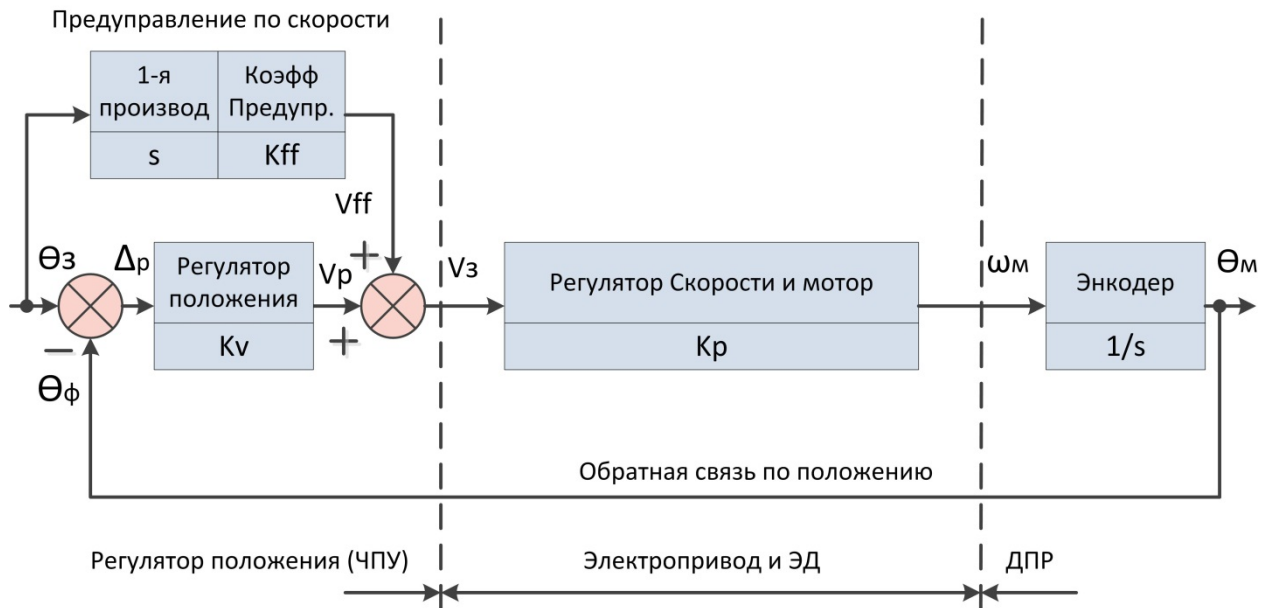


Рисунок 2 Система автоматического управление 1-го порядка

- Θз – заданное положение (ротора ЭД). Размерность – радиан.
- Θφ – фактическое положение ротора ЭД, приведенное ко входу. Размерность – радиан.
- Θм – фактическое (механическое) положение ротора ЭД. Размерность – радиан.
- Δp - сигнал ошибки (рассогласования). Размерность – радиан.
- Vз – заданное значение скорости. Размерность – радиан/сек.
- Vff – заданное значение скорости по предупреждению. Размерность – радиан/сек.
- Vφ – фактическое значение скорости. Размерность – радиан/сек.
- ωм – фактическое значение частоты вращения ЭД . Размерность – радиан в секунду.
- Kv – пропорциональный коэффициент регулятора положения (Kv-фактор). размерность s^{-1} .
- Kp – пропорциональный коэффициент регулятора скорости.

Таким образом, $W_{load}(s) = \frac{Kp}{s}$, из (1.1) получаем $Wз(s) = \frac{KffKpS + KvKp}{S + KvKp}$ (1.5)

при $Kp = 1$, $Wз(s) = \frac{KffS + Kv}{S + Kv}$ (1.6)

Ниже приведены графики частотных характеристик вышеуказанной функции при разных Kff и

$$Kv = 1 \frac{m/min}{mm} = 16,667s^{-1}$$

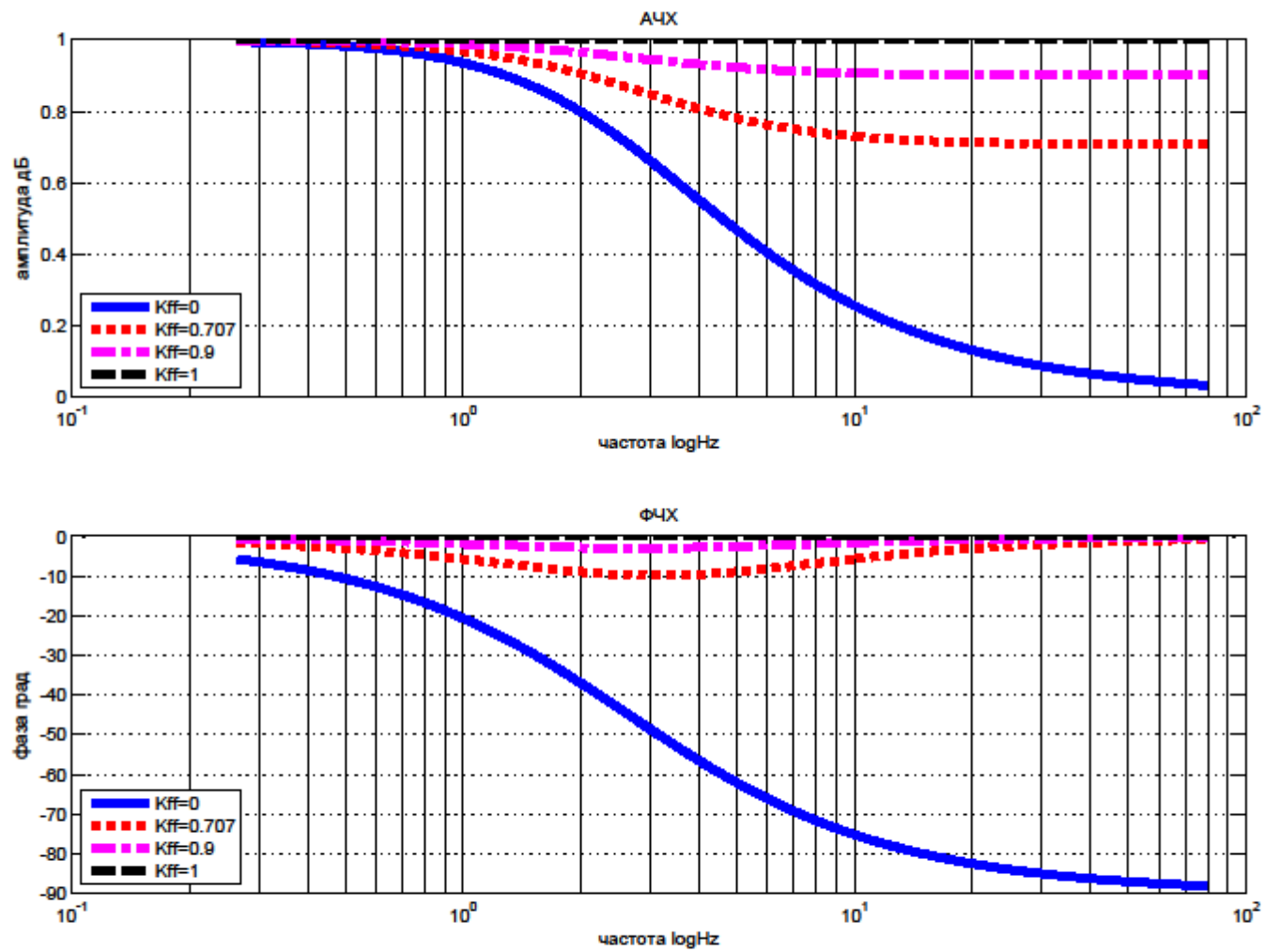


Рисунок 3 частотные характеристики

Обращаем внимание, что при $W_{ff}(s) = \frac{1}{W_{load}(s)} = \frac{1}{Kp} S$ передаточная функция замкнутой системы равна 1 :

$$W_{z}(s) = \frac{[S/Kp + Kv] Kp/S}{1 + Kv Kp/S} = \frac{S + KpKv}{S + KpKv} = 1$$

Рассматривая данную схему, мы видим что звено предупреждения добавляет на вход регулятора скорости величину, пропорциональную скорости заданного значения. Поэтому такое предупреждение называется *скоростной компенсацией (предупреждение по скорости)*.

2. Передаточная функция системы 3-го порядка

Рассмотрим систему автоматического управления, включающую в себя : систему ЧПУ - регулятор положения (пропорциональный , P – регулятор), электропривод (ЭП) регулятор скорости (пропорционально – интегральный , PI – регулятор) , электродвигатель (ЭД) и датчик положения ротора ЭД (ДПР) :

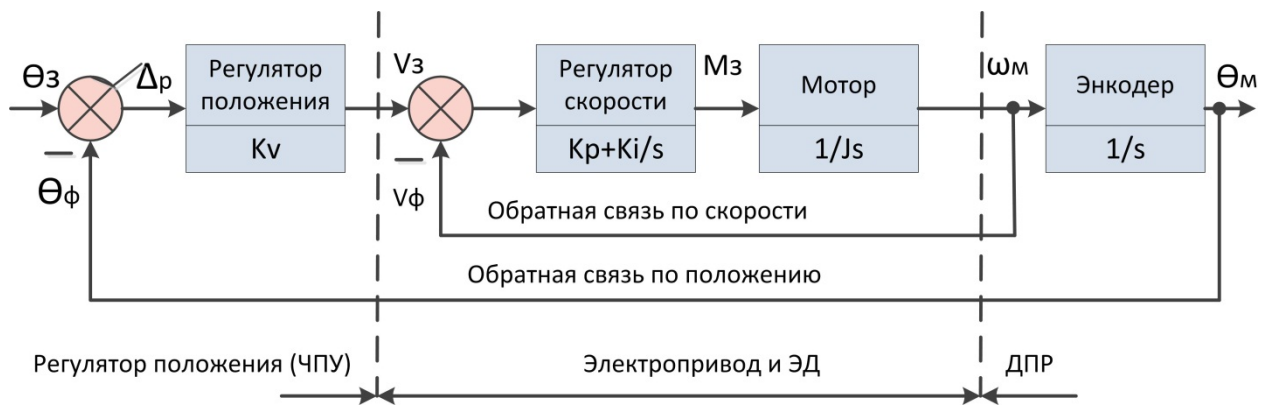


Рисунок 4 Система автоматического управление 3-го порядка

Θ_z – заданное положение (ротора ЭД). Размерность – радиан.

Θ_ϕ – фактическое положение ротора ЭД, приведенное ко входу. Размерность – радиан.

Θ_m – фактическое (механическое) положение ротора ЭД. Размерность – радиан.

Δp - сигнал ошибки (рассогласования). Размерность – радиан.

V_z – заданное значение скорости. Размерность – радиан/сек.

V_ϕ – фактическое значение скорости. Размерность – радиан/сек.

M_z – заданное значение момента на ЭД. Размерность – Ньютон*метр.

ω_m – фактическое значение частоты вращения ЭД. Размерность – радиан в секунду.

K_v – пропорциональный коэффициент регулятора положения (K_v -фактор). размерность s^{-1} .

K_p – пропорциональный коэффициент регулятора скорости.

K_i – интегральный коэффициент регулятора скорости.

J – момент инерции ЭД.

Проведем преобразование в вид :



Рисунок 5 Система автоматического управление 3-го порядка преобразованная

Тогда передаточная функция замкнутой системы в относительных единицах будет :

$$Wз(s) = \frac{\Theta_m(s)}{\Theta_z(s)} = \frac{Kv(KpS + Ki)}{JS^3 + KpS^2 + (KvKp + Ki)S + KvKi} \quad (2.1)$$

3. Передаточная функция системы 3-го порядка с FFW

Рассмотрим предыдущую систему автоматического управления (п.2) и добавим в нее корректирующее звено типа *предупреждение по скорости* :

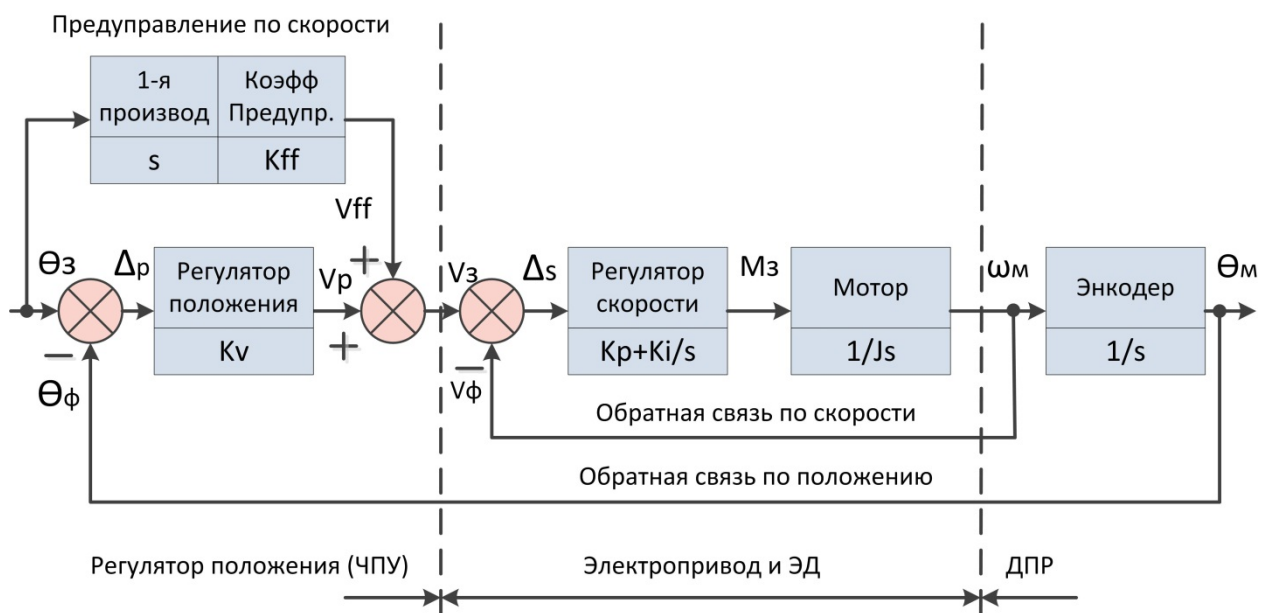


Рисунок 6 Система автоматического управление 3-го порядка с FFW

Тогда передаточная функция замкнутой системы в относительных единицах будет :

$$Wз(s) = \frac{\Theta_m(s)}{\Theta_z(s)} = \frac{KpKffs^2 + (KvKp + KiKff)S + KvKi}{JS^3 + KpS^2 + (KvKp + Ki)S + KvKi} \quad (2.2)$$

Поскольку регулятор скорости имеет интегральный коэффициент , то в установившемся режиме , справедливо :

$$VзKff + Kv\Delta p - V\phi = 0$$

Откуда , при Kff=1 и Vз=Vφ , получаем KvΔр = 0. Таким образом, **при любых Kv-факторах, рассогласование всегда будет равно 0.**