

---

Тема 17.  
Типовые последовательные  
корректирующие звенья  
( типовые регуляторы )

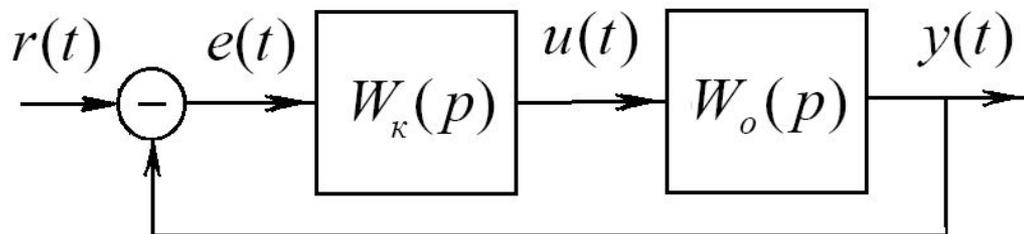
---

## Обсуждаемые вопросы

---

1. *Пропорциональный регулятор (П-регулятор)*
2. *Пропорционально-дифференциальный регулятор (ПД-регулятор)*
3. *Интегральный регулятор (И-регулятор)*
4. *Пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор, изотропное корректирующее звено)*
5. *Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор)*
6. *Настройка параметров ПИ, ПИД-регуляторов по методу Циглера - Никольса*

# Пропорциональный регулятор (П-регулятор):

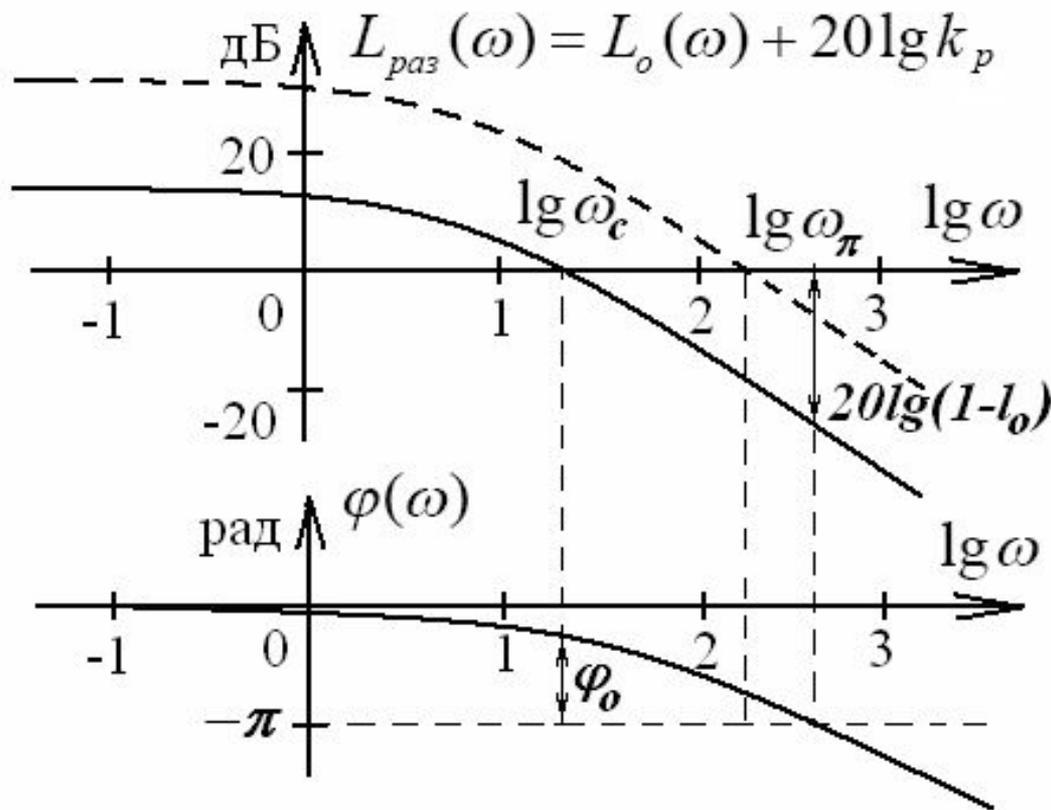
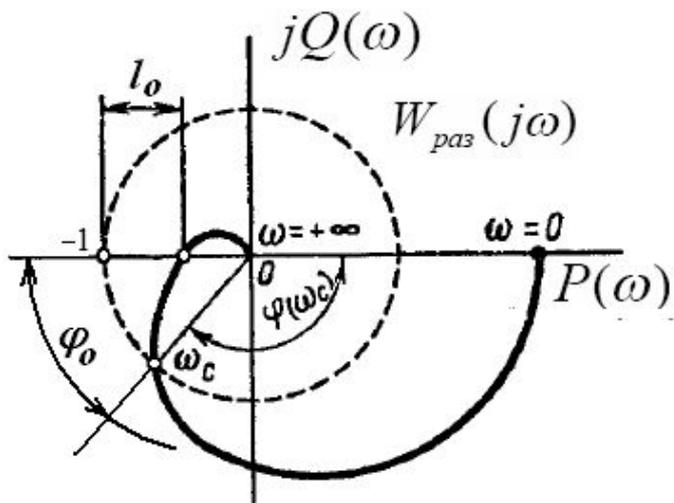


$$u(t) = W_{\kappa}(p)e(t)$$

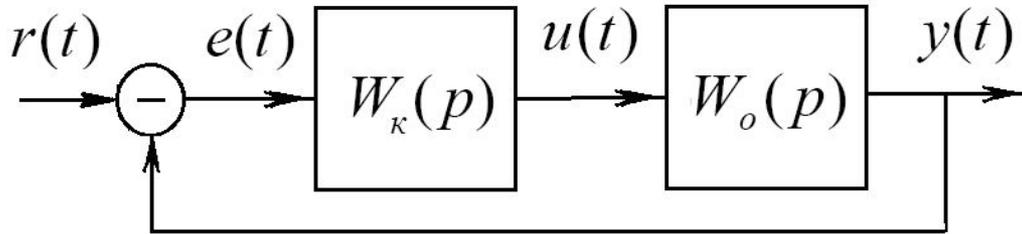
$$W_{\kappa}(p) = k_p$$

$$u(t) = k_p e(t)$$

Увеличение коэффициента усиления П-регулятора влечет уменьшение запасов устойчивости по модулю и фазе



# Пропорционально-дифференциальный регулятор (ПД-регулятор):

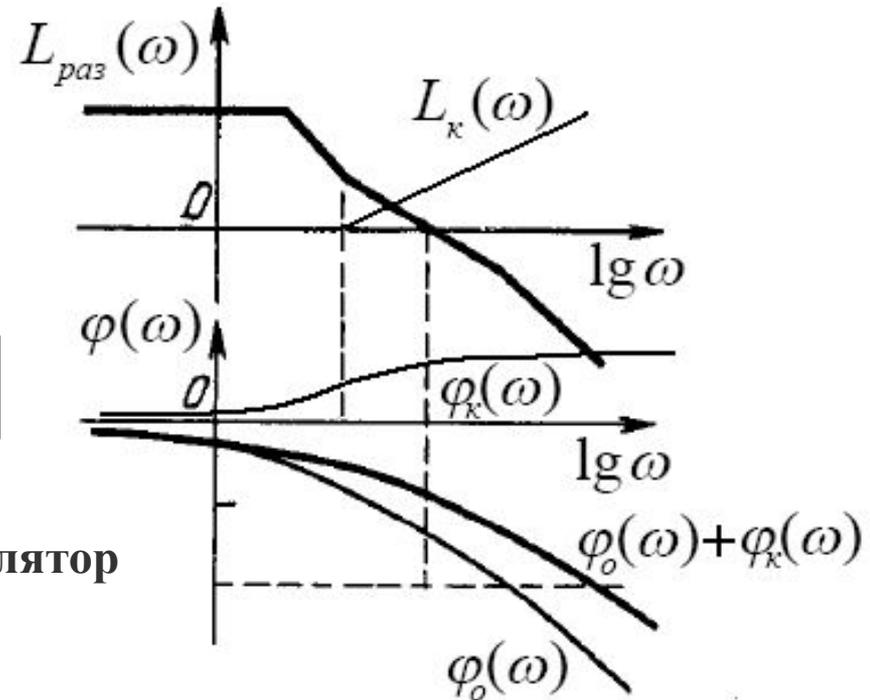
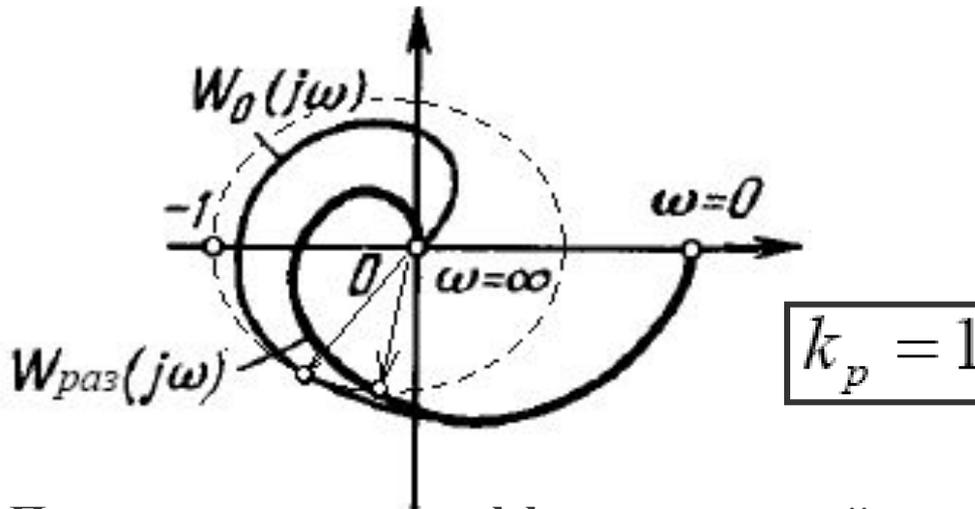


$$u(t) = k_p e(t) + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$u(t) = W_k(p)e(t)$$

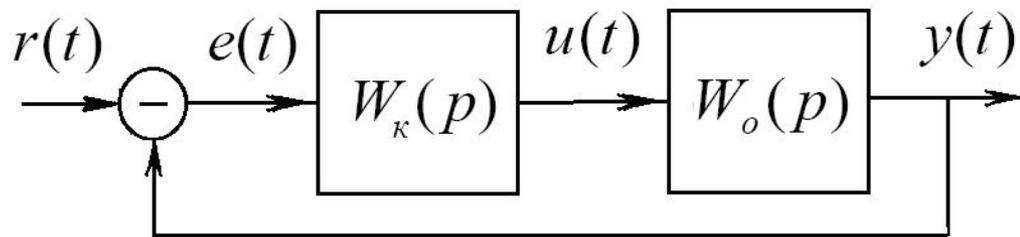
$$W_k(p) = k_p + k_d p$$

$$= k_p \left( \frac{k_d}{k_p} p + 1 \right) = k_p (T_p + 1)$$



Пропорционально-дифференциальный регулятор позволяет увеличить запас устойчивости по модулю и запас устойчивости по фазе

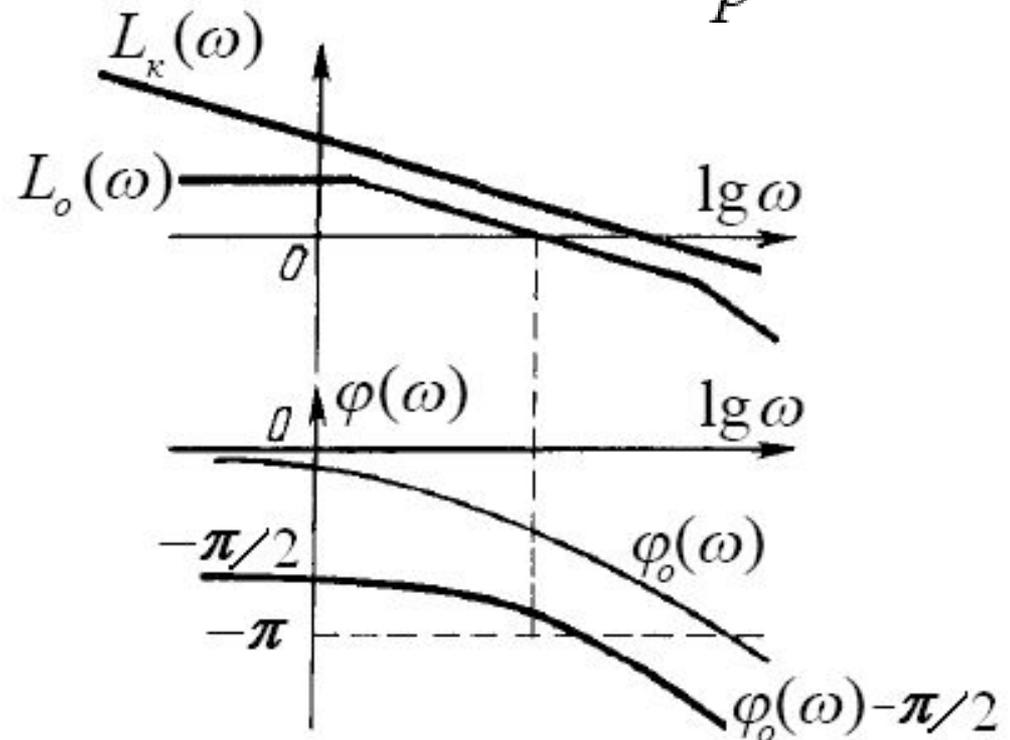
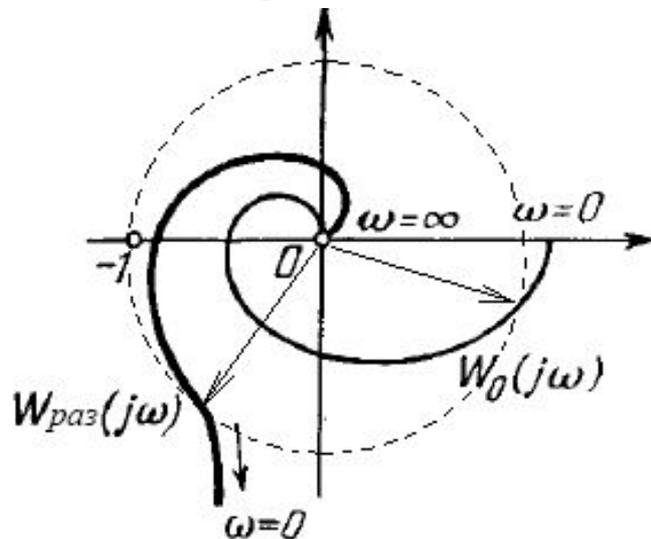
# Интегральный регулятор (И-регулятор):



$$u(t) = W_{\kappa}(p)e(t)$$

$$W_{\kappa}(p) = \frac{k_i}{p}$$

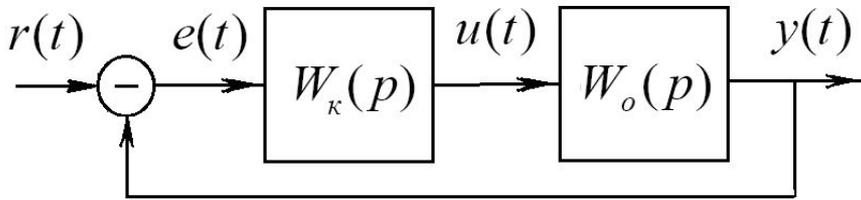
$$u(t) = k_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$



Интегральный регулятор приводит к свойству астатизма, но влечет уменьшение запасов устойчивости по модулю и фазе

# Пропорционально-интегральный регулятор 6

(ПИ-регулятор, издромное корректирующее звено):

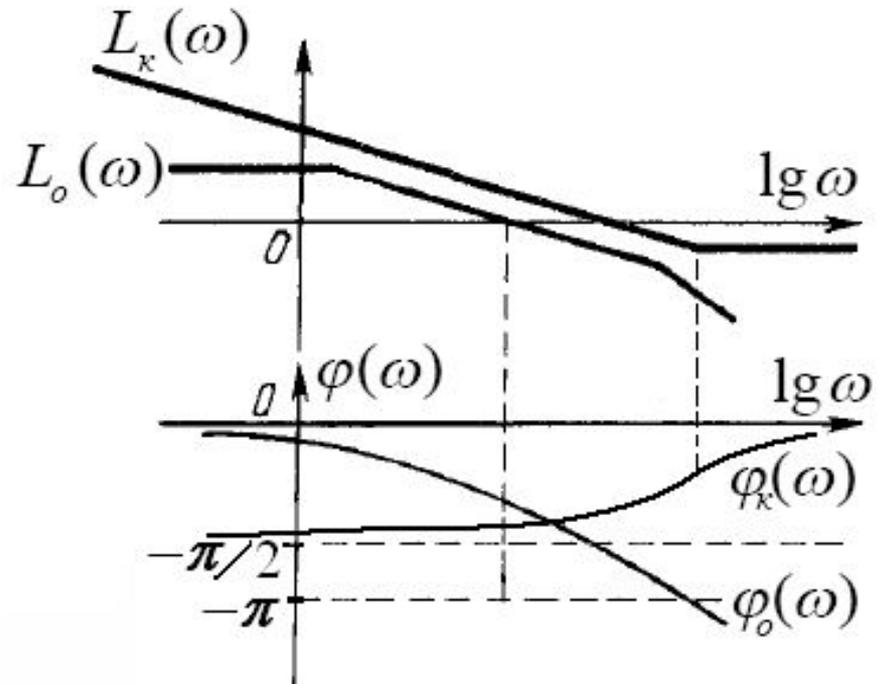


$$u(t) = W_{\kappa}(p)e(t)$$

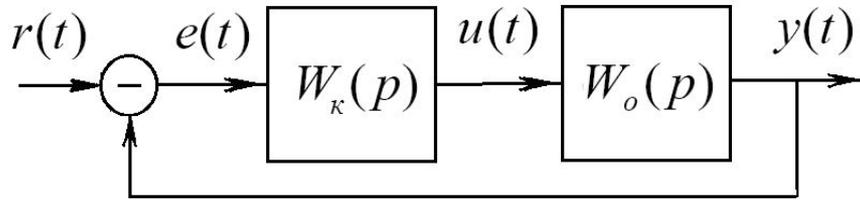
$$W_{\kappa}(p) = k_p + \frac{k_i}{p} = \frac{k_p p + k_i}{p} = \frac{k_i \left( \frac{k_p}{k_i} p + 1 \right)}{p} = \frac{k_i (Tp + 1)}{p}$$

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

ПИ-регулятор приводит к свойству астатизма и позволяет обеспечить незначительное уменьшение запаса устойчивости по фазе в области высоких частот



# Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор):



$$W_k(p) = k_p + \frac{k_i}{p} + k_d p$$

$$= \frac{k_d p^2 + k_p p + k_i}{p}$$

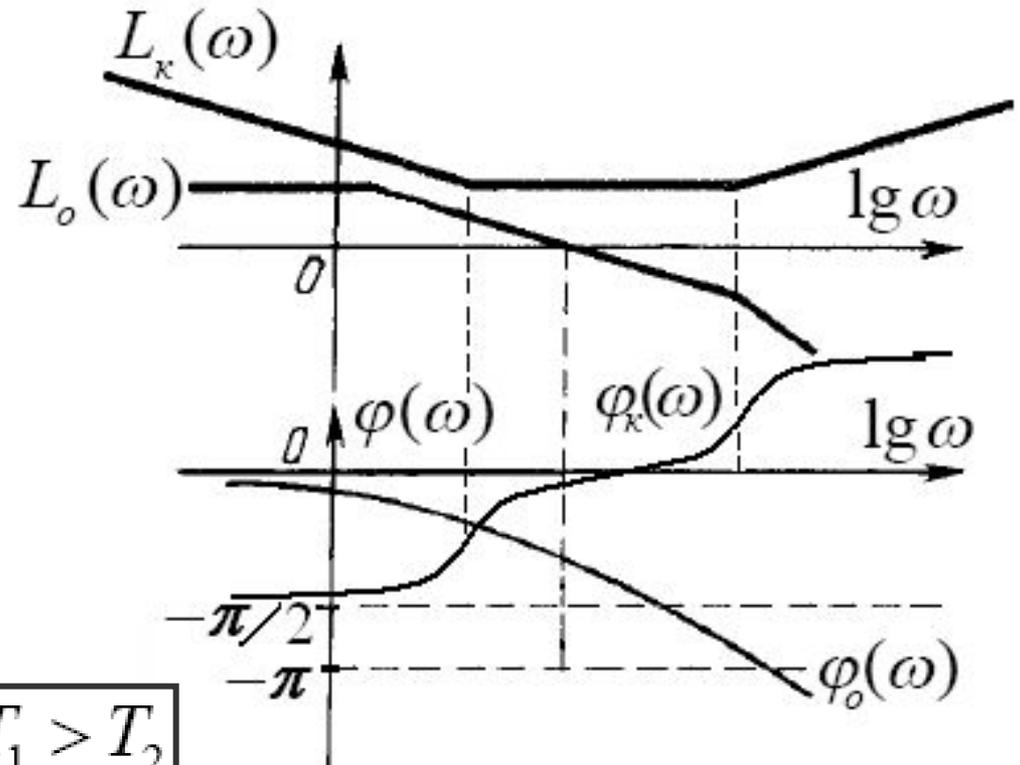
$$= \frac{k_i (T^2 p^2 + 2dTp + 1)}{p}$$

$$= \frac{k_i (T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{p}$$

$$d > 1, T_1 > T_2$$

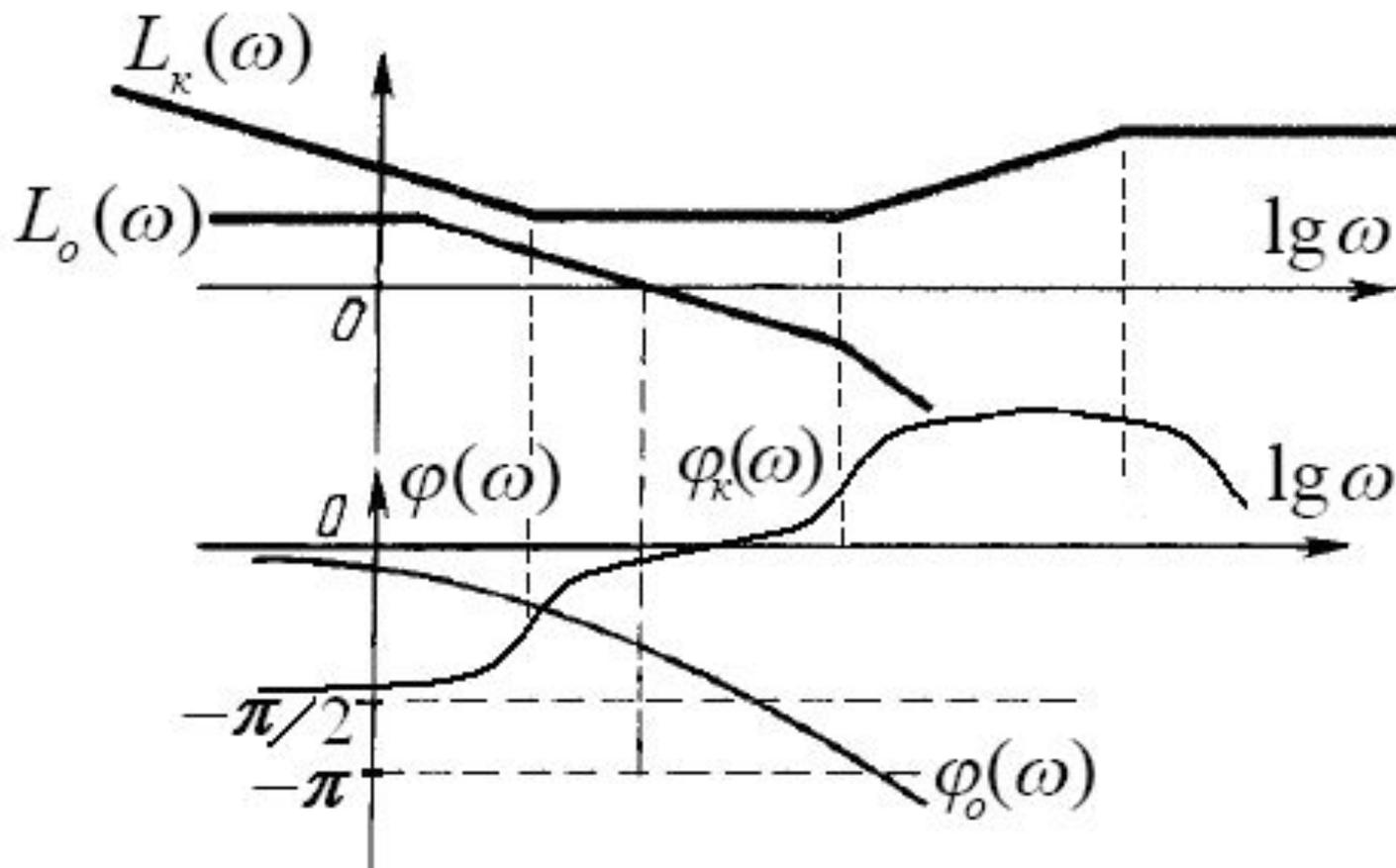
$$u(t) = W_k(p)e(t)$$

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

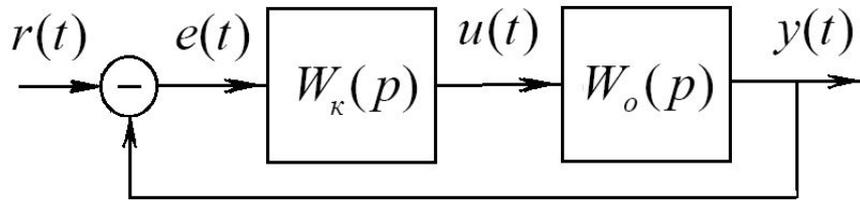


## ПИД-регулятор с реальным дифференцированием:

$$W_{\kappa}(p) = k_p + \frac{k_i}{p} + \frac{k_d p}{\mu p + 1}$$



# Настройка параметров ПИ-регулятора по методу Циглера - Никольса (Ziegler-Nichols)

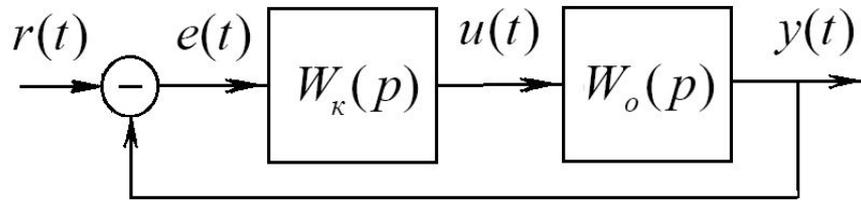


$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

1. Задать коэффициент регулятора  $k_i$  равным нулю.
2. Увеличивая значение коэффициента  $k_p$ , получить автоколебательный режим в системе.
3. Обозначить предельное значение коэффициента  $k_p$ , которое соответствует колебательной границе устойчивости, символом  $\bar{k}$ , а соответствующий период автоколебаний выходной величины – символом  $\bar{T}$ .
4. Вычислить значения коэффициентов ПИ регулятора по формулам:  $k_p = \bar{k} / 2.2$ ,  $k_i = 1.2k_p / \bar{T}$

# Настройка параметров ПИД-регулятора по методу Циглера - Никольса (Ziegler-Nichols)

10



$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

1. Задать коэффициенты регулятора  $k_i, k_d$  равными нулю.
2. Увеличивая значение коэффициента  $k_p$ , получить автоколебательный режим в системе.
3. Обозначить предельное значение коэффициента  $k_p$ , которое соответствует колебательной границе устойчивости, символом  $\bar{k}$ , а период автоколебаний – символом  $\bar{T}$ .
4. Вычислить значения коэффициентов ПИД-регулятора по формулам:  $k_p = 0.6\bar{k}$ ,  $k_i = 2k_p / \bar{T}$ ,  $K_d = K_p \bar{T} / 8$

---

Тема 18.  
Метод фазовой плоскости.  
Фазовые портреты линейных  
систем второго порядка.

---