دانشکده مهندسی مکانیک

درس کنترل اتوماتیک

AUTOMATIC CONTROL

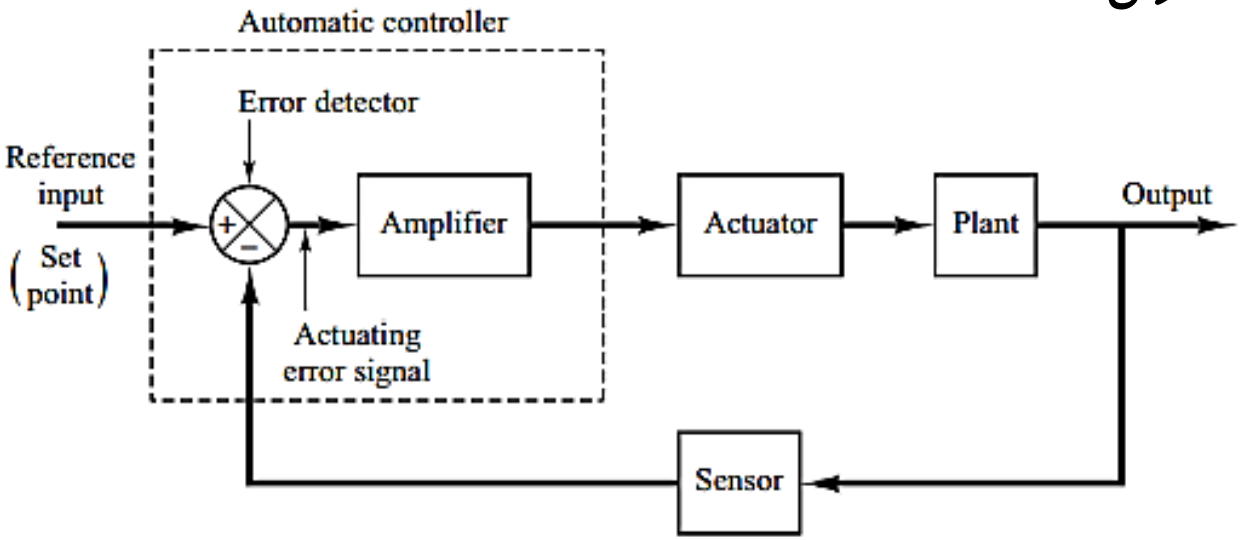
مقدمه ای بر سیستم های کنترل

❑ فهرست مطالب

- مقدمه ای بر سیستم های کنترل
- مدلسازی و نمایش سیستم های دینامیکی و کنترلی
- پایداری سیستم های کنترلی
- روش مکان هندسی ریشه ها
- تحلیل پاسخ گذرا و ماندگار سیستم های کنترلی
- روش های تحلیل پاسخ فرکانسی
- **طراحی سیستم های کنترل** ←

انواع کنترلر

- **اهداف طراحی سیستم کنترلی**
  - **ساختار سیستم کنترلی**



- **عوامل تاثیر گذار در انتخاب سیستم کنترل**
  - ✓ **ماهیت سیستم (مکانیکی، الکتریکی، هیدورلیکی، نیوماتیکی و ...) و شرایط کاری**
  - ✓ **ایمنی، هزینه، در دسترس بودن، قابلیت اطمینان، دقت، عمر، وزن، اندازه**

انواع کنترلر

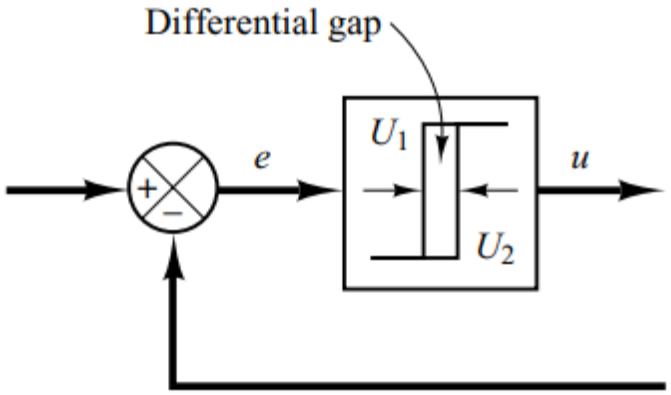
- **اهداف طراحی سیستم کنترلی**
  - **پایدارسازی، کاهش خطا، بهبود عملکرد**

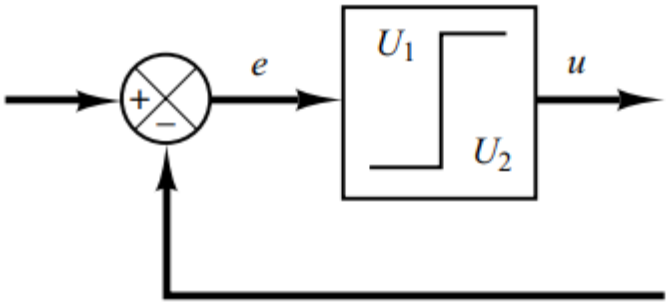
- **روش های طراحی سیستم های کنترلی**
  - **روش های تجربی، روش های تحلیلی، روش مکان هندسی، روش دیاگرام بود و نایکوئیست**

- **انواع کنترلر**
  - **کنترلر دو وضعیتی (روشن - خاموش)**
  - **کنترلرهای تناسبی، مشتقی و انتگرالی**
  - **کنترلرهای پیشفاز و پسفاز**

انواع کنترلر

- کنترلر دو وضعیتی (روشن – خاموش (On-Off))
  - قطع و وصل کردن سیگنال کنترلی با توجه به مرز خطا
  - امکان تعریف کردن بازه همپوشانی
  - مناسب برای سیستم های کنترلی ساده

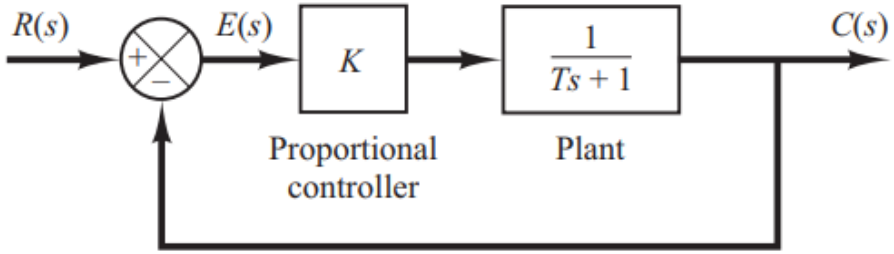




انواع کنترلر

کنترلر تناسبی (P)

- سیگنال کنترلی متناسب با مقدار خطا

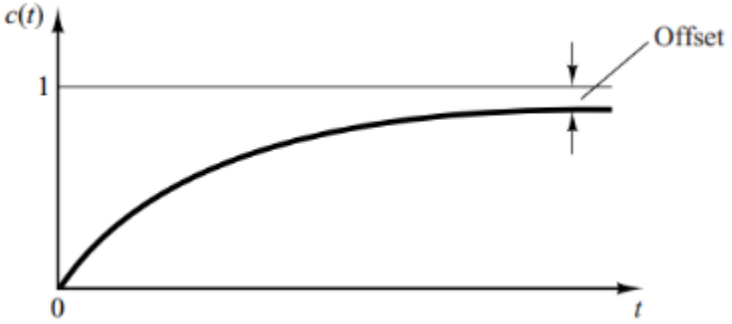


$$u(t) = K_p e(t) \quad \rightarrow \quad \frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

✓ این کنترلر برای سیستم مرتبه یک در دنبال کردن تابع پله خطا دارد.

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{R(s) - C(s)}{R(s)} = 1 - \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)}$$

$$\rightarrow \quad e_{ss} = \lim_{t \to \infty} e(t) = \lim_{s \to 0} sE(s) = \lim_{s \to 0} \frac{Ts + 1}{Ts + 1 + K} = \frac{1}{K + 1}$$



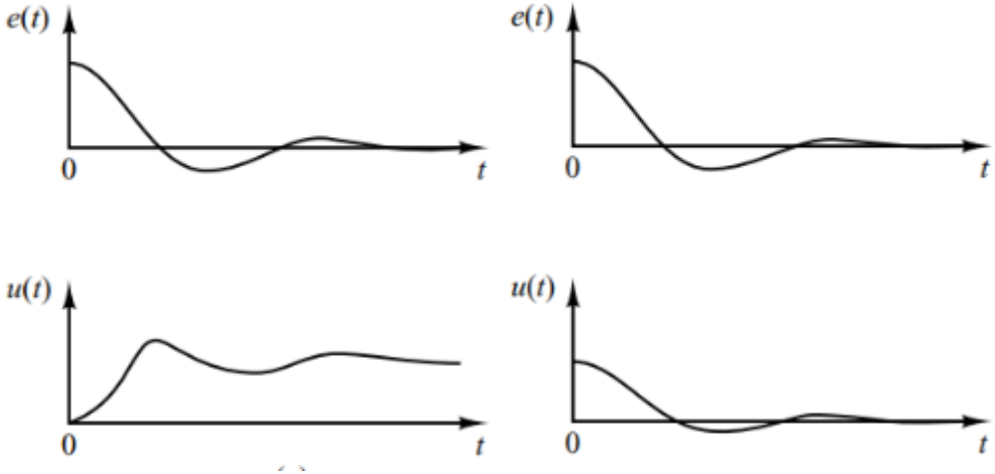
انواع کنترلر

کنترلر تناسبی انتگرالی (PI)

عامل انتگرال گیر خطا در کنترلر

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \rightarrow u(t) = K_i \int_0^t e(t)\,dt \rightarrow \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

- ✓ در صورت در نظر نگرفتن عامل تناسبی، در وضعیت خطای صفر ورودی کنترلی خواهیم داشت (نامطلوب)
- ✓ افزودن انتگرال گیر موجب حذف آفست پاسخ در حالت ورودی پله می شود.
- ✓ ممکن است سیستم نوسانی شود که نامطلوب است.



کنترلر PI

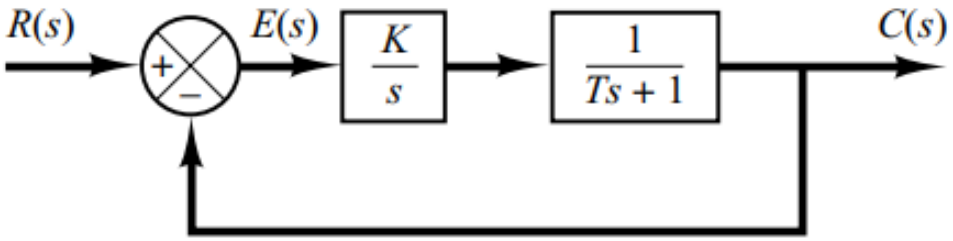
$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t)\,dt$$

$$\rightarrow \frac{U(s)}{E(s)} = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

انواع کنترلر

- اعمال کنترلر PI بر روی سیستم مرتبه ۱

✓ خطای حالت ماندگار برابر صفر می شود.



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s(Ts+1)+K}$$

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{R(s)-C(s)}{R(s)} = \frac{s(Ts+1)}{s(Ts+1)+K}$$

$$\rightarrow \quad e_{ss} = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0} \frac{s^2(Ts+1)}{Ts^2+s+K}\frac{1}{s} = 0$$

انواع کنترلر

- **کنترلر تناسبی مشتقی (PD)**
  - **اضافه کردن اثر تغییرات خطا بر روی ورودی کنترلی**

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

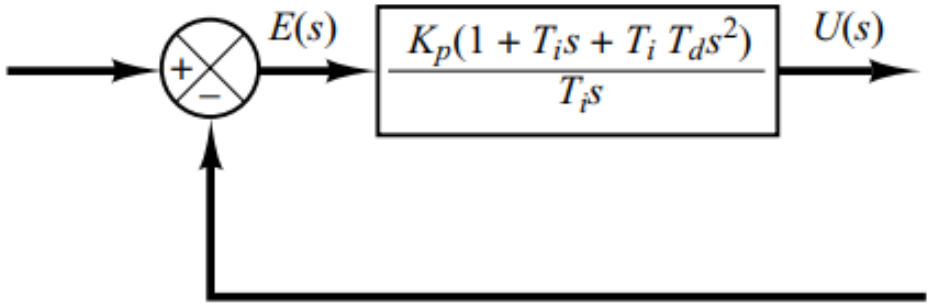
✓ **کنترلر مشتقی هرگز به تنهایی مورد استفاده قرار نمی گیرد.**

- **افزایش حساسیت کنترلر**
- **قابلیت مقابله با خطا قبل از افزایش چشمگیر آن**
- **افزایش پایداری سیستم**
- **افزایش میرایی سیستم و امکان اعمال ضریب بهره کنترلی بالاتر (کاهش خطای ماندگار)**

انواع کنترلر

- **کنترلر تناسبی انتگرالی مشتقی (PID)**
  - **ترکیب سه عامل تناسبی، مشتقی و انتگرالی**

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)\,dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad \rightarrow \quad \frac{U(s)}{E(s)} = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$$

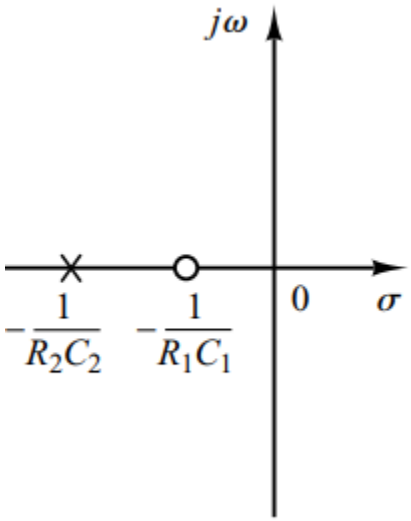


انواع کنترلر

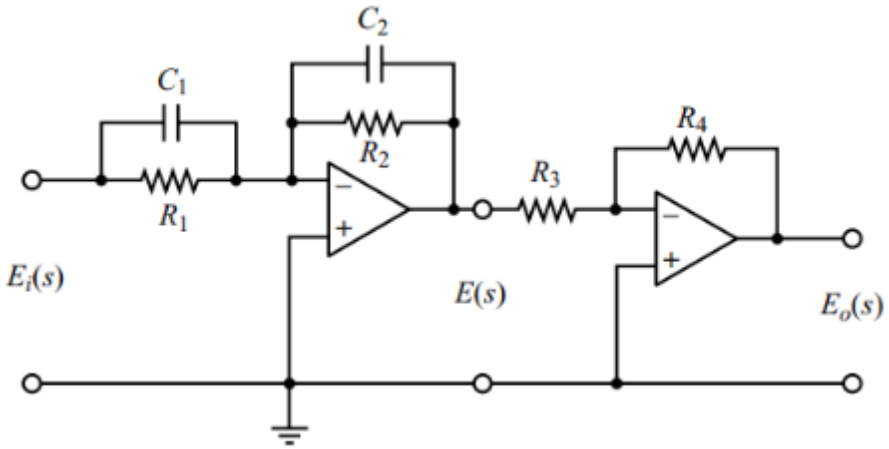
- **کنترلر پیشفاز** (Lead)
  - **تابع تبدیل**

$$G_c(s) = K_c\alpha\frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} = K_c\frac{s+\frac{1}{T}}{s+\frac{1}{\alpha T}} \qquad (0<\alpha<1)$$

✓ **کنترل پیشفاز از ترکیب یک صفر و قطب ایجاد شده که صفر به محور موهومی نزدیک تر است.**

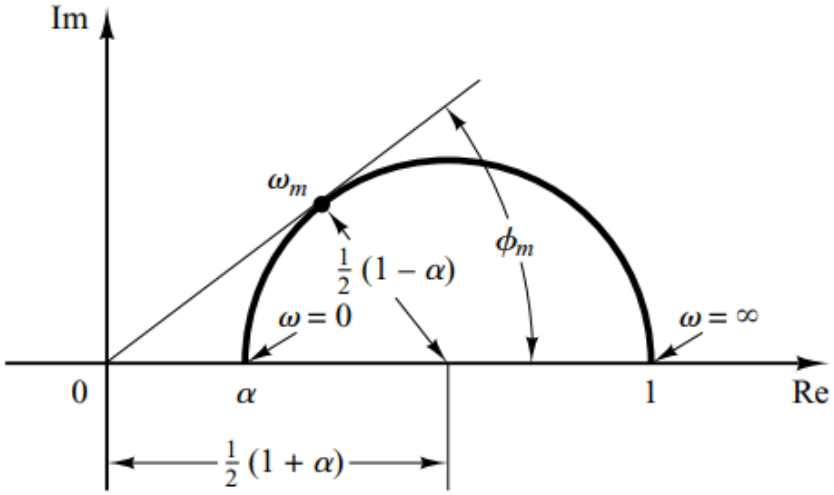


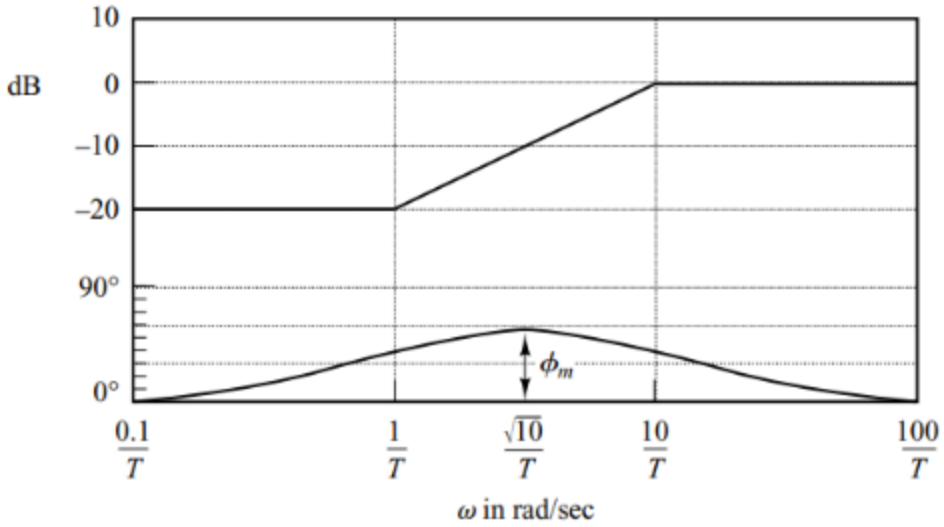
- **مدار الکتریکی معادل کنترلر پیشفاز**



انواع کنترلر

- **کنترلر پیشفاز** (Lead)
  - **دیاگرام بود و نایکوئیست کنترلر پیشفاز**



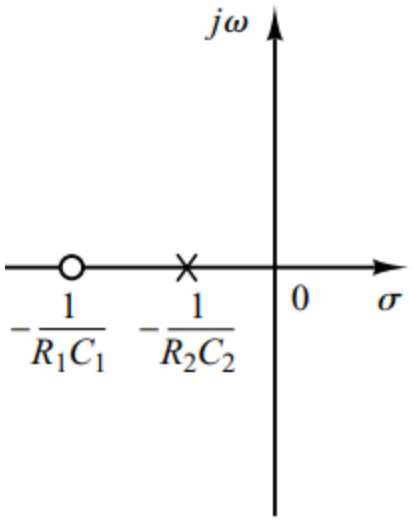


انواع کنترلر

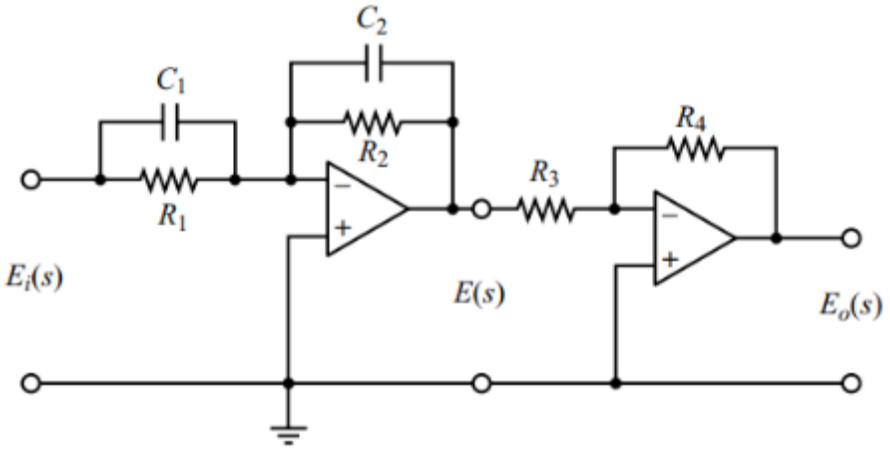
- **کنترلر پسفاز** (Lag)
  - **تابع تبدیل**

$$G_c(s) = K_c\beta\frac{Ts+1}{\beta Ts+1} = K_c\frac{s+\frac{1}{T}}{s+\frac{1}{\beta T}} \qquad (\beta > 1)$$

✓ **کنترل پسفاز از ترکیب یک صفر و قطب ایجاد شده که قطب به محور موهومی نزدیک تر است.**

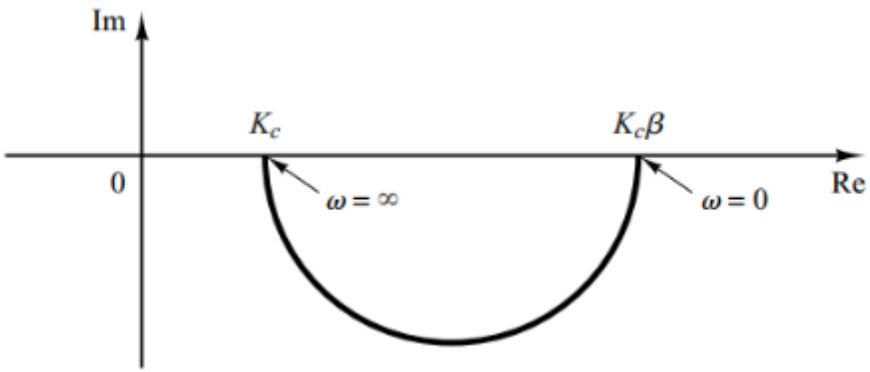


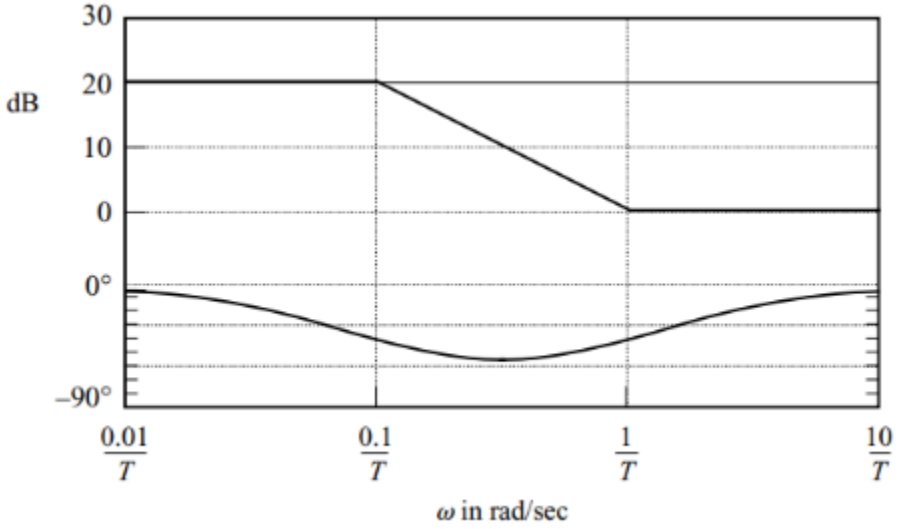
- **مدار الکتریکی معادل کنترلر پسفاز**



انواع کنترلر

- **کنترلر پسفاز** (Lag)
  - **دیاگرام بود و نایکوئیست کنترلر پسفاز**





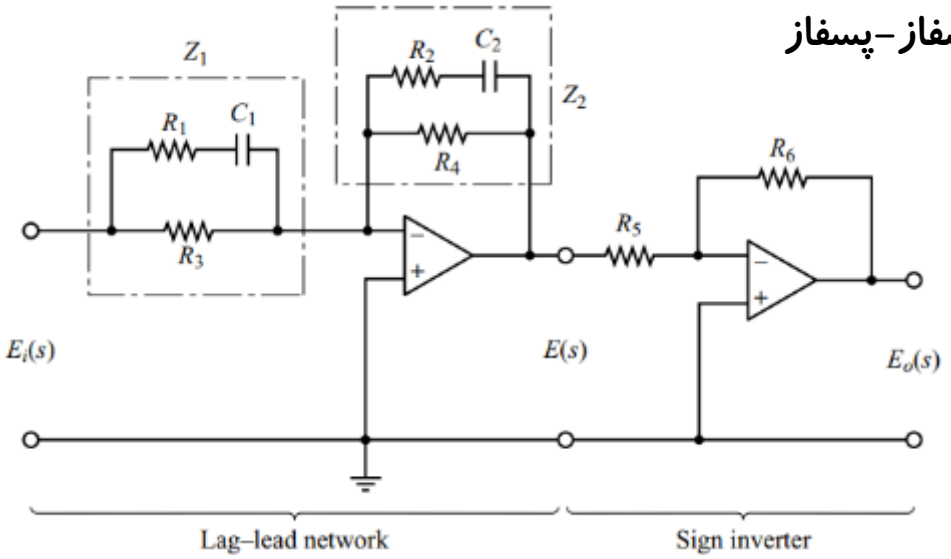
انواع کنترلر

- **کنترلر پیشفاز-پسفاز** (Lead-Lag)
  - **تابع تبدیل**

$$G_c(s) = K_c\left(\frac{s+\frac{1}{T_1}}{s+\frac{\gamma}{T_1}}\right)\left(\frac{s+\frac{1}{T_2}}{s+\frac{1}{\beta T_2}}\right) \qquad \gamma > 1 \text{ and } \beta > 1$$

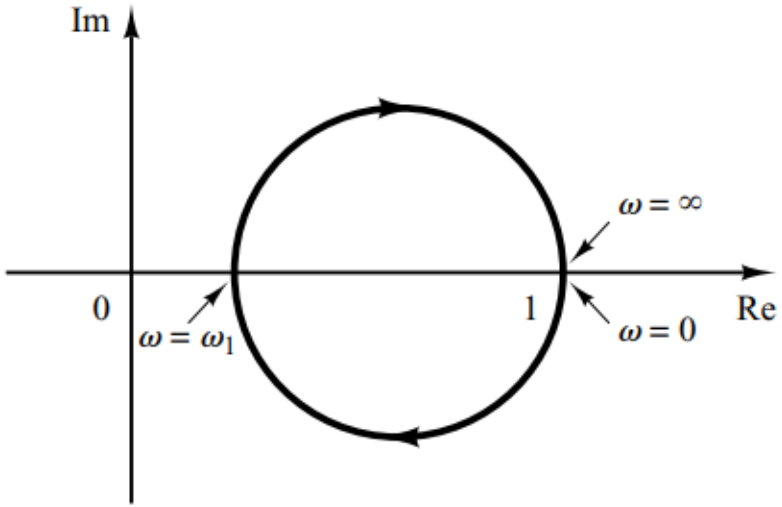
✓ **کنترل پیشفاز-پسفاز از ترکیب یک کنترلر پیشفاز و یک کنترلر پسفاز تشکیل شده است.**

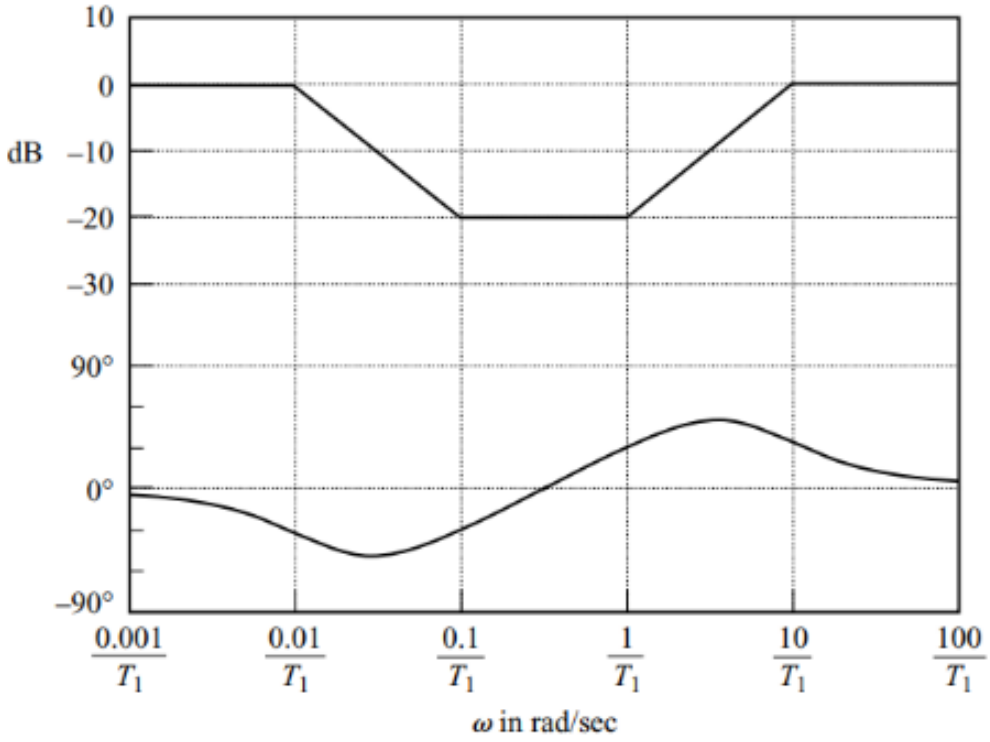
- **مدار الکتریکی معادل کنترلر پیشفاز-پسفاز**



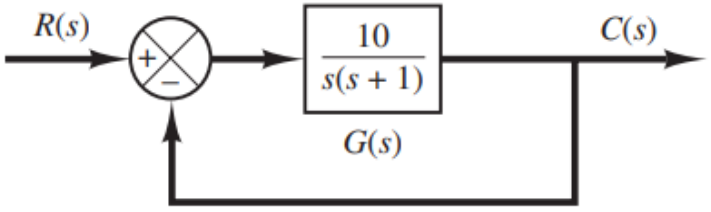
انواع کنترلر

- **کنترلر پیشفاز-پسفاز** (Lead-Lag)
  - **دیاگرام بود و نایکوئیست کنترلر پیشفاز-پسفاز**

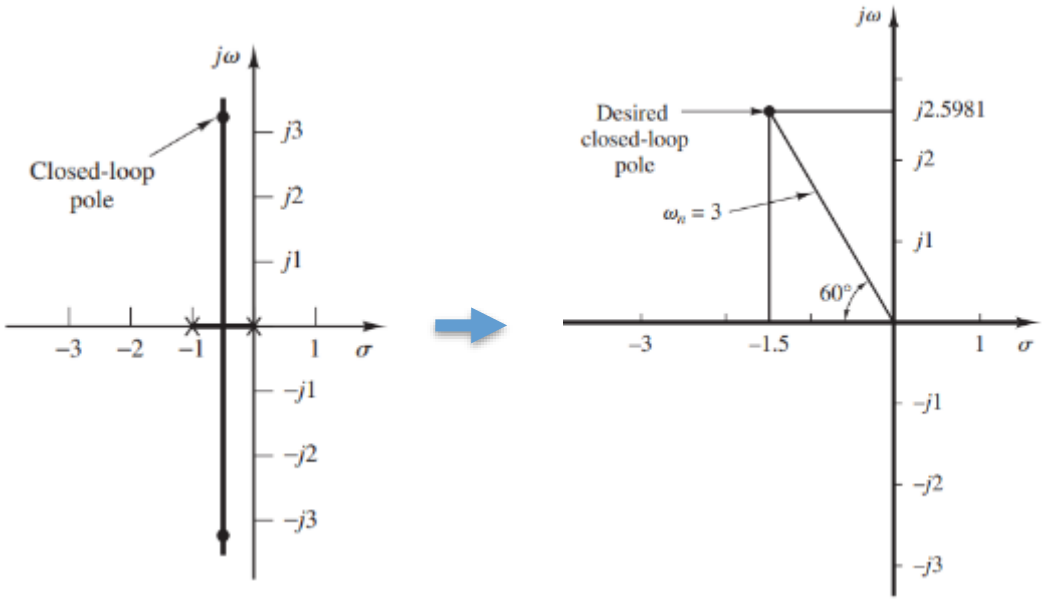




انواع کنترلر



- طراحی کنترلر با استفاده از مکان هندسی
  - تعیین قطب های اولیه و مطلوب
  - اضافه کردن صفر و قطب به مکان هندسی
  - تعیین مکان هندسی جدید
  - محاسبه مشخصات کنترلر



✓ مکان هندسی قطب های مدار بسته اولیه

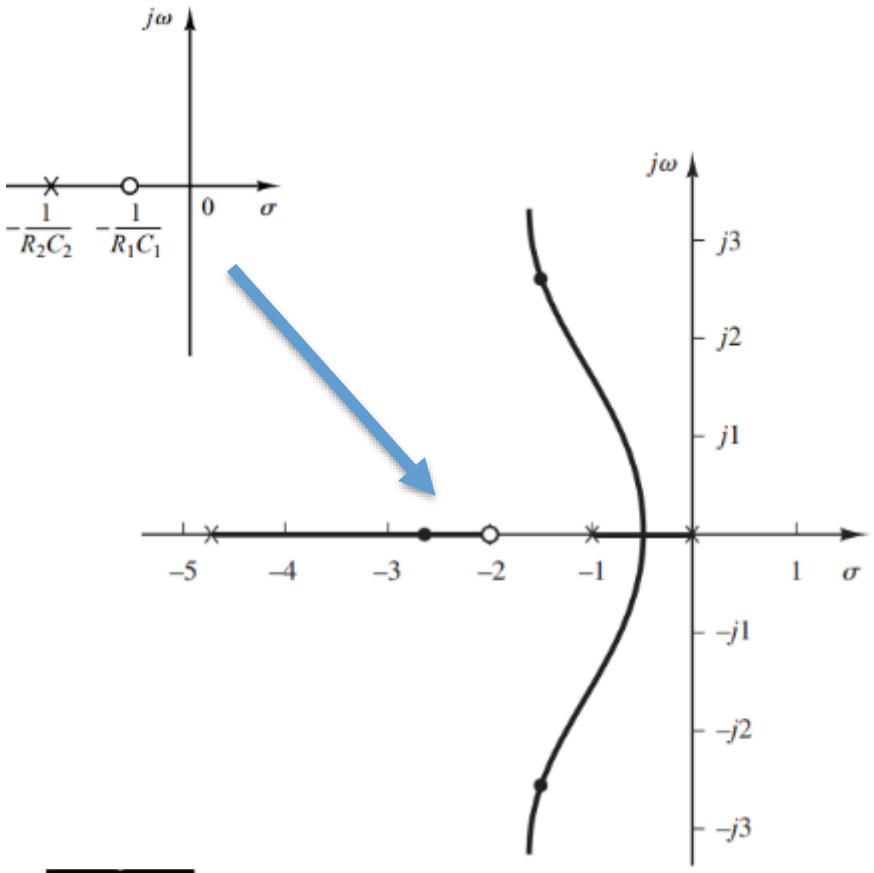
$$s = -1.5 \pm j2.5981$$

✓ مکان هندسی قطب های مدار بسته مطلوب

$$s = -0.5 \pm j3.1225$$

انواع کنترلر

- طراحی کنترلر با استفاده از مکان هندسی
  - استفاده از یک کنترلر پیشفاز



$$G_c(s) = K_c\alpha\frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} = K_c\frac{s+\frac{1}{T}}{s+\frac{1}{\alpha T}} \qquad (0<\alpha<1)$$