

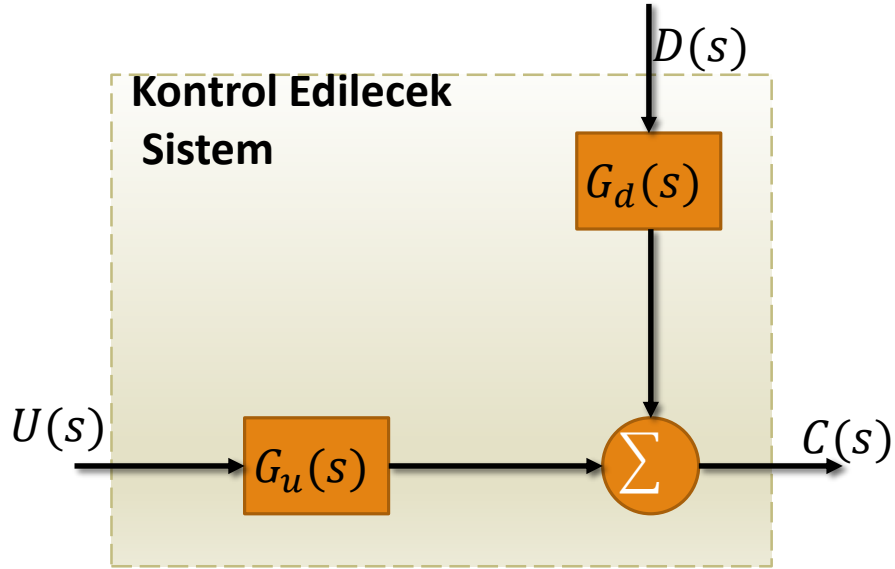
# Otomatik Kontrol

---

Kontrol Sistemlerin Temel Özellikleri

Hazırlayan: Dr. Nurdan Bilgin

# Açık Çevrim Kontrol

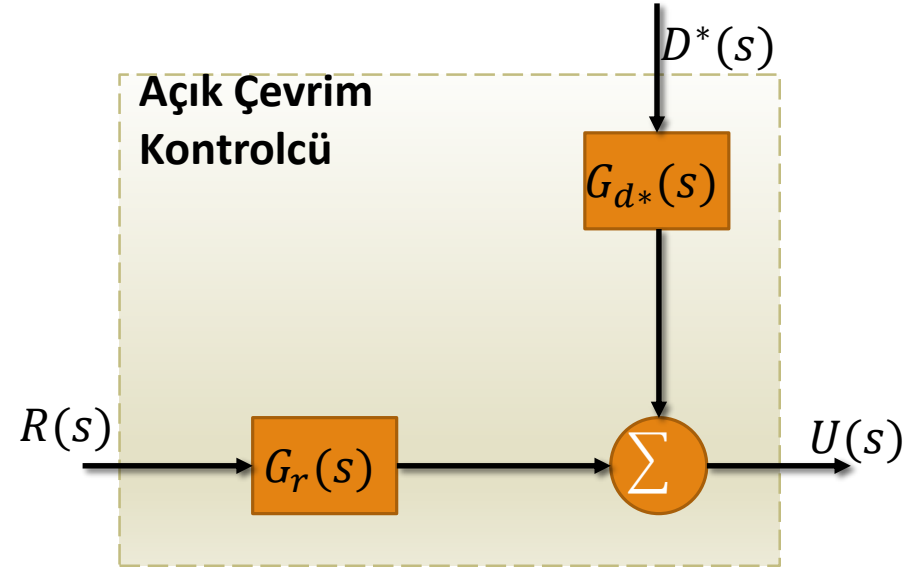


$$C(s) = G_u(s)U(s) + G_d(s)D(s) \quad (1)$$

C : kontrol edilecek çıktı

U : kontrol girdisi

D : bozucu etken



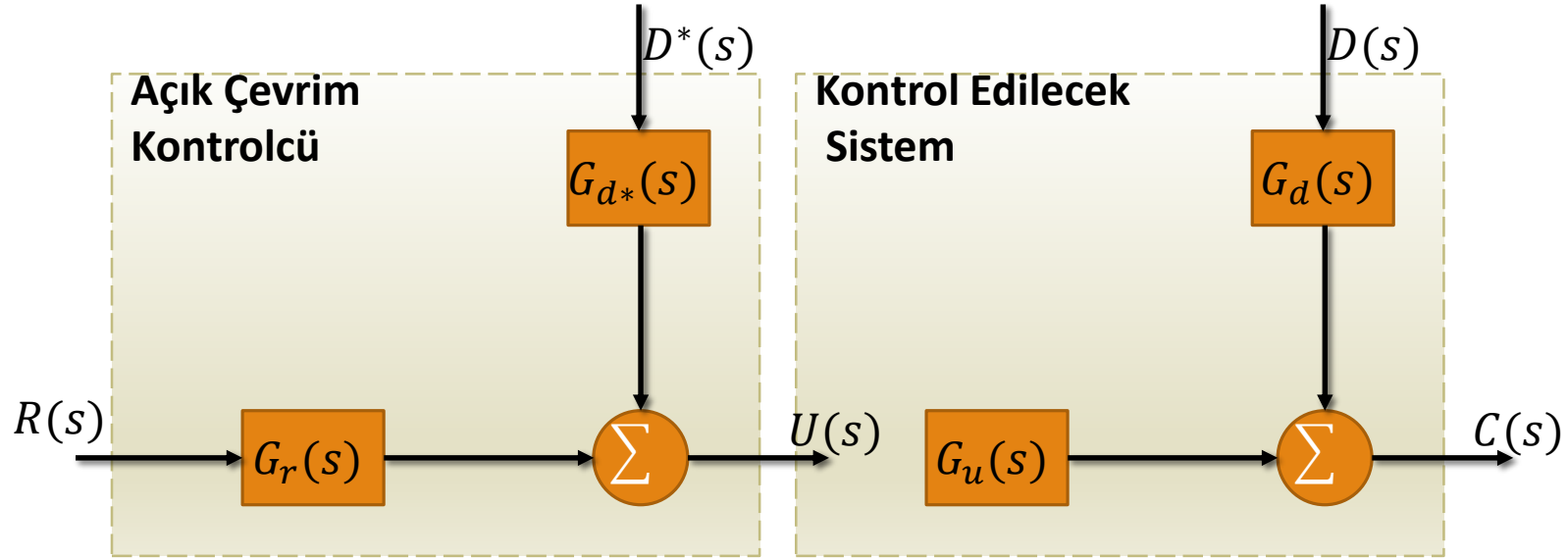
$$U(s) = G_r(s)R(s) + G_{d^*}(s)D^*(s) \quad (2)$$

R : referans girdisi

$D^*$  :  $D(s)$ 'in ölçülen ya da kestirilen değeri

$G_r(s)$  ve  $G_{d^*}(s)$  tasarımcı tarafından belirlenecek değerlerdir. Fiziksel olarak mikroşlemciler veya elektriksel komponentler kullanılarak gerçekleştirilir.

## Açık Çevrim Kontrol



(2) numaralı denklemdeki  $U(s)$  ifadesini (1)'de yerine yaz

$$C(s) = G_u(s)G_r(s)R(s) + G_u(s)G_{d^*}(s)D^*(s) + G_d(s)D(s)$$

$D' = D - D^*$  :  $D$  nin kestirimindeki hata

$$C(s) = G_u(s)G_r(s)R(s) + (G_u(s)G_{d^*}(s) + G_d(s))D^*(s) + G_d(s)D'(s)$$

## Açık Çevrim Kontrol

$$C = \underbrace{G_u G_r}_{G_{CR}} R + \underbrace{(G_u G_{d^*} + G_d)}_{G_{CD^*}} D^* + \underbrace{G_d}_{G_{CD'}} D'$$

**Hedef**, R(s) ve D(s) ne olursa olsun

C = R olacak şekilde  $G_r(s)$  ve  $G_{d^*}(s)$ 'yi bulmaktır.

$$\left. \begin{array}{l} G_{CR} = 1 \Rightarrow G_r = \frac{1}{G_u} \\ G_{CD^*} = 0 \Rightarrow G_{d^*} = -\frac{G_d}{G_u} \\ G_{CD'} = 0 \Rightarrow G_d = 0 \text{ olmalı} \\ \text{mümkün değil} \end{array} \right\} C(s) = R(s) + G_d(s)D'(s)$$

- Açık kontrol ancak D' (D'nin kestirimindeki hata) küçükse uygun olabilir. Eğer bozucu etkenler ölçülemiyorsa ya da iyi kestirilemezse işe yaramaz.

- $G_{CR} = 1$  ve  $G_{CD^*} = 0$  tam olarak sağlanamayabilir.

Nedenleri:

- $G_u(s)$  ve  $G_d(s)$ 'deki modelleme hataları
- $G_r(s)$  and  $G_{d^*}(s)$ 'nin gerçekleştirilmesindeki zorluklar

## Örnek: Bir odanın sıcaklık kontrolü

**Sistem:** Odanın içerisindeki hava

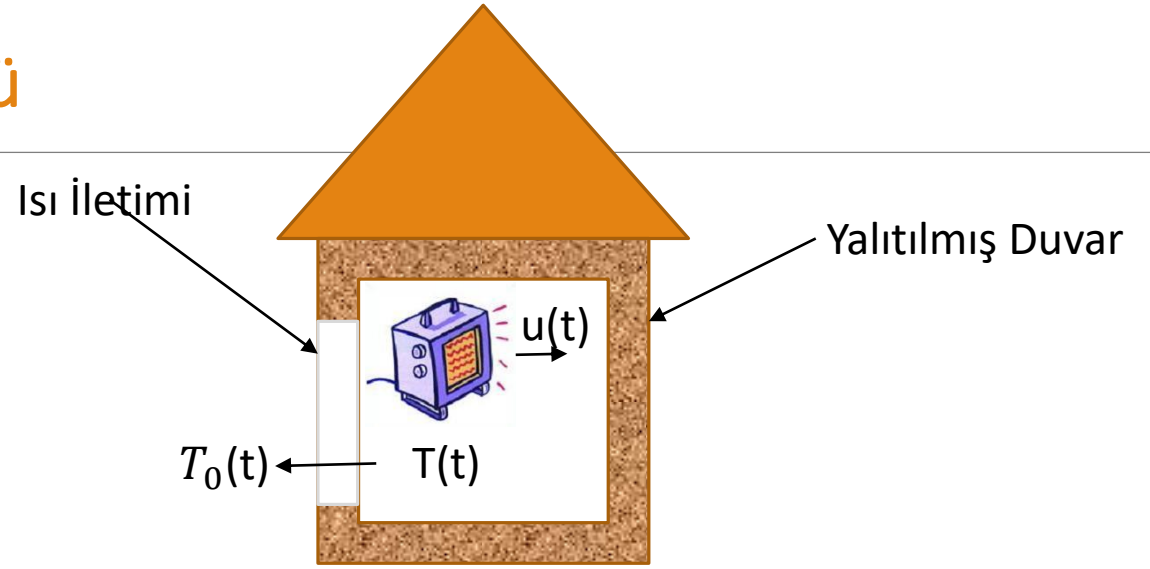
**Sistem Parametreleri:**

1.  $C$ , Odanın içindeki havanın ısı kapasitesi
2.  $R$ , Isıl geçirgen pencerenin ısı iletim katsayısı

**Kontrollü Giriş [ $u(t)$ ]:** Isıtıcı tarafından üretilen ısı üretim oranı (Jul/sn.)

**Bozucu Giriş [ $T_0(t)$ ]:** Dış hava sıcaklığı

**Çıktı [ $T(t)$ ]:** İç ortam sıcaklığı



$$\dot{U} = \sum q$$

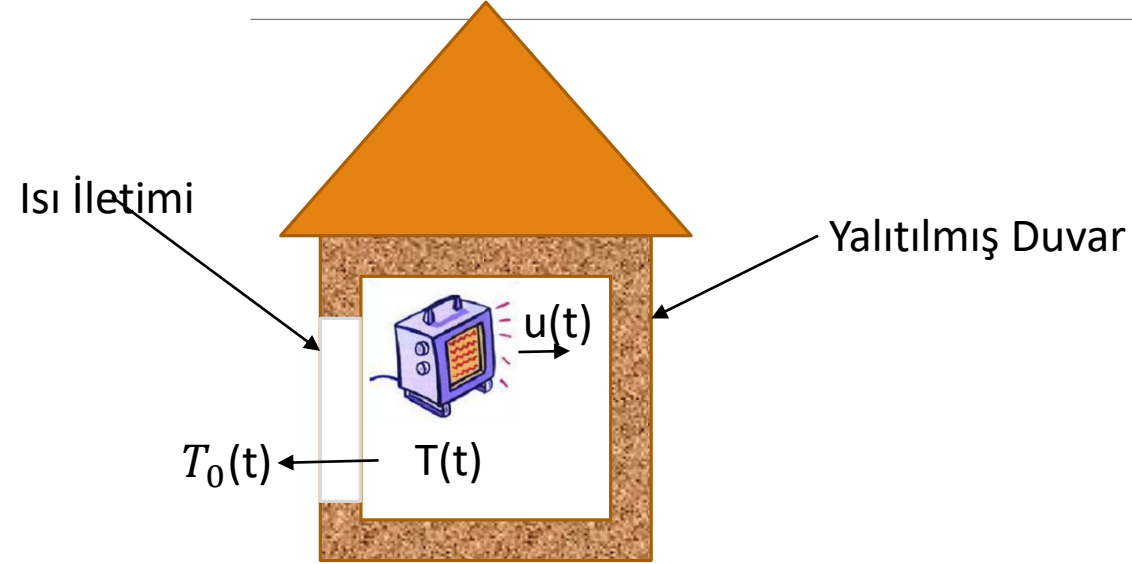
$$U = CT(t) \Rightarrow \dot{U} = C\dot{T}(t)$$

$$\sum q = q_{giriş} - q_{kayıp} = u(t) - \left( \frac{T(t) - T_0(t)}{R} \right)$$

$$C\dot{T}(t) = u(t) - \left( \frac{T(t) - T_0(t)}{R} \right)$$

$$CRT\dot{(t)} + T(t) = Ru(t) + T_0(t)$$

## Örnek: Bir odanın sıcaklık kontrolü



$$CR\dot{T}(t) + T(t) = Ru(t) - T_0(t)$$

↓

$$(CRs + 1)T(s) = RU(s) - T_0(s)$$

$$\underbrace{T(s)}_{\text{kontrol edilecek değişken}} = \underbrace{\frac{R}{CRs + 1}}_{G_u} \underbrace{U(s)}_{\text{kontrol girdisi}} - \underbrace{\frac{1}{CRs + 1}}_{G_d} \underbrace{T_0(s)}_{\text{bozucu girdi}}$$

Kontrolcü önerisi:

$$U(s) = G_r(s)T_r(s) + G_{d*}(s)T^*(s)$$

$T_r$  : referans sıcaklık

$T^*$  :  $T_0$ 'ın kestirimi

# Örnek: Bir odanın sıcaklık kontrolü

Sistem dinamiği

$$\underbrace{T(s)}_{\substack{\text{kontrol} \\ \text{edilecek} \\ \text{değişken}}} = \underbrace{\frac{R}{CRs + 1}}_{G_u} \underbrace{U(s)}_{\substack{\text{kontrol} \\ \text{girdisi}}} + \underbrace{\frac{1}{CRs + 1}}_{G_d} \underbrace{T_0(s)}_{\substack{\text{bozucu} \\ \text{girdi}}}$$

Kontrolcü önerisi:

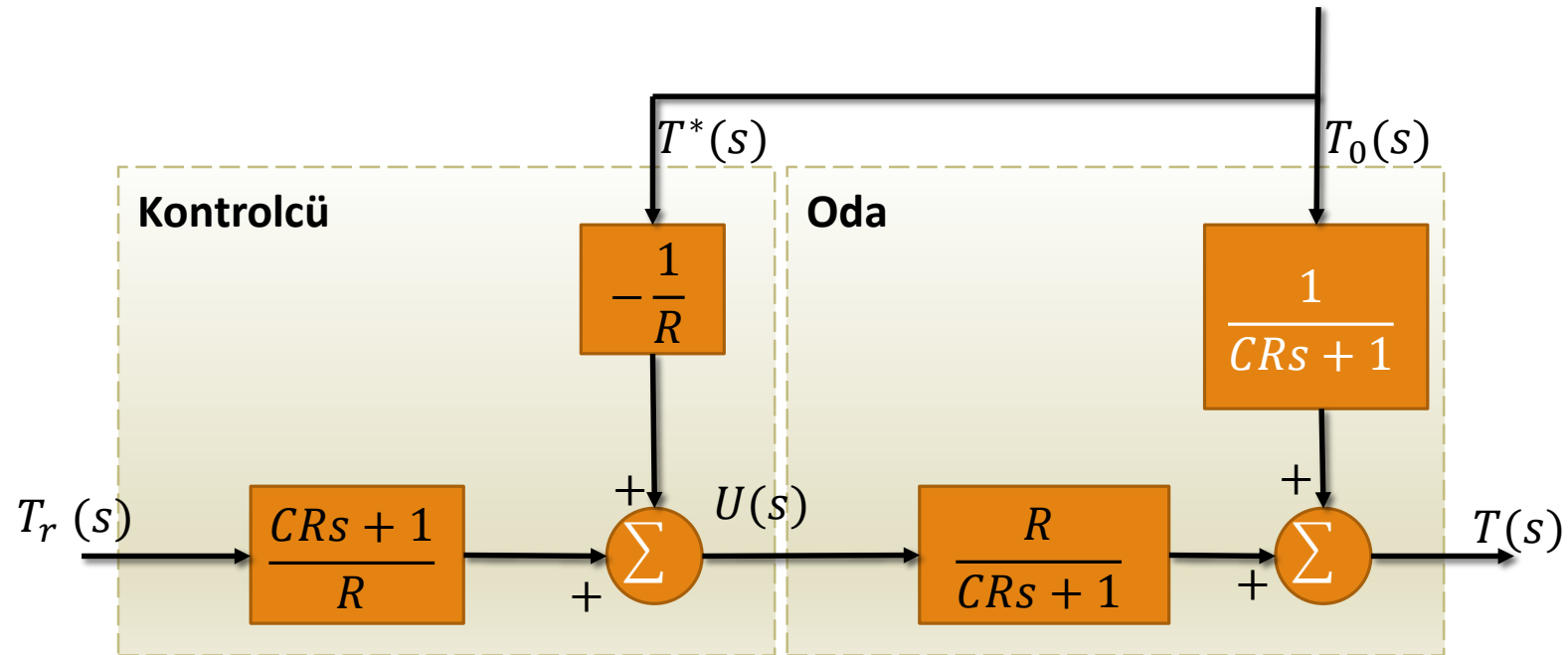
$$U(s) = G_r(s)T_r(s) + G_{d*}(s)T^*(s)$$

$$\left. \begin{array}{l} G_{CR} = 1 \Rightarrow G_r = \frac{1}{G_u} = \frac{CRs + 1}{R} \\ G_{CD^*} = 0 \Rightarrow G_{d*} = -\frac{G_d}{G_u} = -\frac{1}{R} \end{array} \right\} C(s) = R(s) + G_d(s)D'(s)$$

$$T(s) = \underbrace{G_u G_r}_{G_{CR}} T_r(s) + \underbrace{(G_u G_{d*} + G_d)}_{G_{CD^*}} T^* + \underbrace{G_d}_{G_{CD'}} D'$$

Varsayalım ki  $T^*(s) = T_0(s)$  Böylece  $D' = 0$

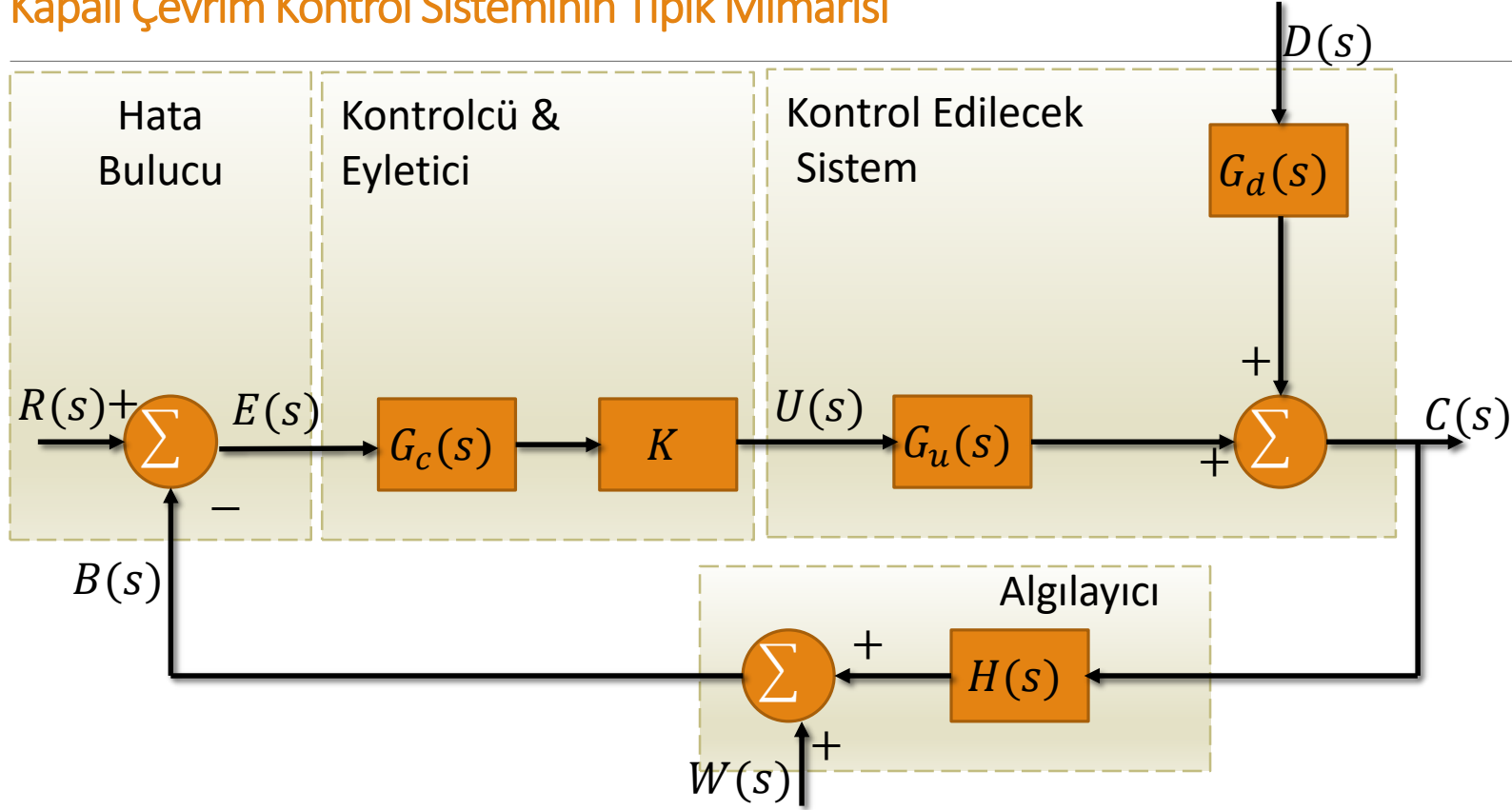
## Örnek: Bir odanın sıcaklık kontrolü





# Kapalı Çevrim Kontrol

## Kapalı Çevrim Kontrol Sisteminin Tipik Mimarisi



$B(s)$  : Geri besleme bilgisi

$E(s)$  : Hata

$G_c(s)$  : Kontrolcü transfer fonksiyonu

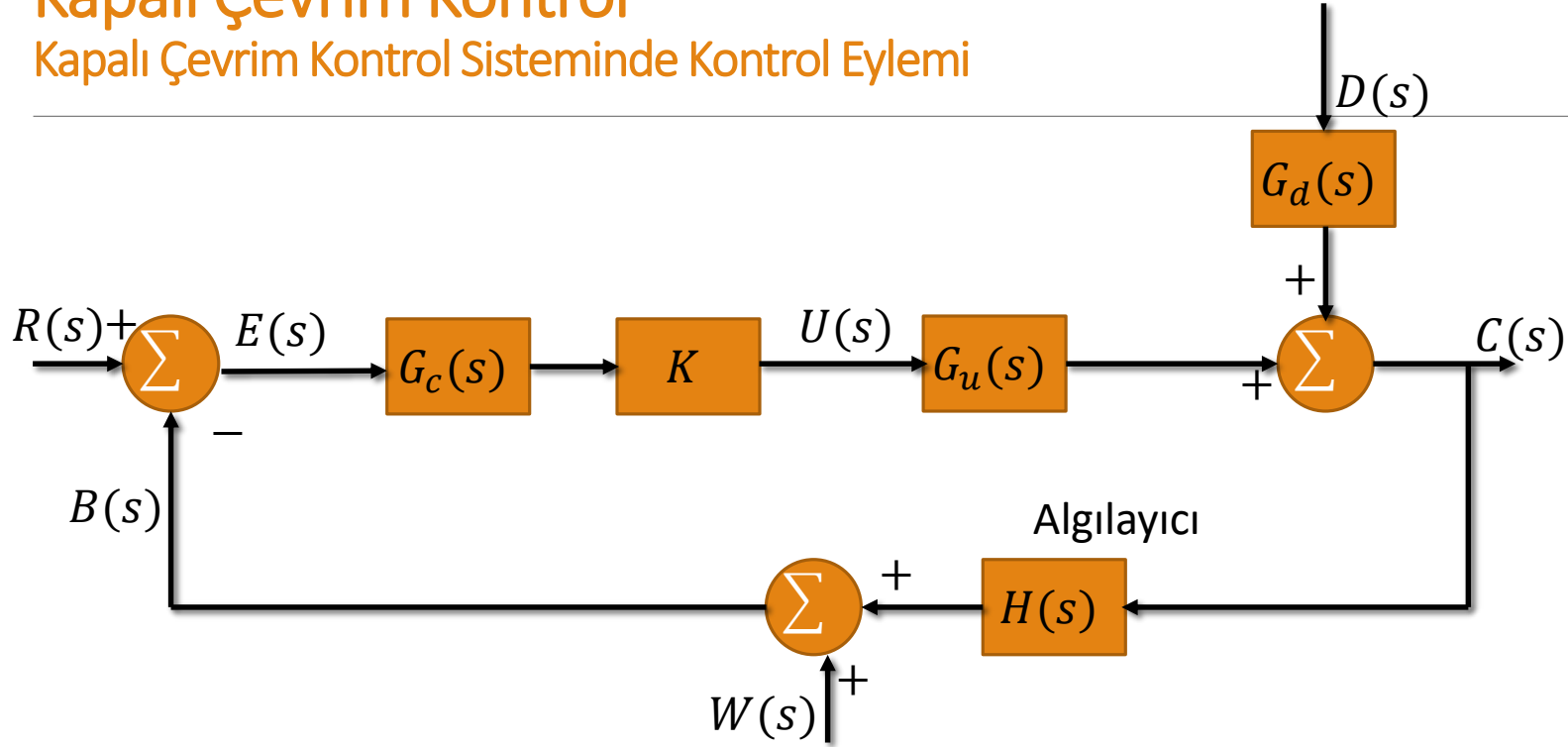
$K$  : Kontrolcü ve eyleyici kazancı

$H(s)$  : Algılayıcı transfer fonksiyonu

$W(s)$ : Algılayıcı gürültüsü

# Kapalı Çevrim Kontrol

## Kapalı Çevrim Kontrol Sisteminde Kontrol Eylemi



Kontrol  $\rightarrow C = \frac{KG_u G_c}{1 + KG_u G_c H} R + \frac{G_d}{1 + KG_u G_c H} D - \frac{KG_u G_c}{1 + KG_u G_c H} W$

Hata  $\rightarrow E = \frac{1}{1 + KG_u G_c H} R - \frac{G_d H}{1 + KG_u G_c H} D - \frac{1}{1 + KG_u G_c H} W$

Hedef,  $R(s)$ ,  $D(s)$  ve  $W(s)$  ne olursa olsun  $C = R$  olacak şekilde  $K$  ve  $G_c(s)$ 'yi bulmaktır.

# Kapalı Çevrim Kontrol

## Kapalı Çevrim Kontrol Sisteminde Kontrol Eylemi

K kazancı yeterince büyük seçilirse,

$$\frac{KG_u G_c}{1 + KG_u G_c} \cong 1 \quad \text{ve} \quad \frac{G_d}{1 + KG_u G_c} \cong 0 \quad \text{olur.}$$

Bu durumda,  $C(s) = \frac{1}{H(s)} R(s) - \frac{1}{H(s)} W(s)$

İdeal algılayıcı [ $H(s) = 1$  &  $W = 0$ ] kullanılırsa, bu durumda,  $C(s) = R(s)$

- Kontrol kazancı  $K$  büyük seçilirse
  - ✓ Bozucu girdi  $D$ 'nin etkisi azalır,
  - ✓ Algılayıcı gürültüsü  $W$ 'nin etkisi artar,
  - ✓  $G_u(s)$ ,  $G_d(s)$  ve  $G_c(s)$ 'deki modelleme ve parametre belirsizliklerinin etkisini azaltır
  - ✓ Algılayıcı transfer fonksiyonunun etkisini öne çıkarır.
- İdeal Algılayıcı
  - ✓  $H(s) = 1$  algılayıcının ideal kalibre edildiği anlamına gelir
  - ✓  $W(s) = 0$  çok çok kaliteli bir algılayıcı kullanıldığı anlamına gelir.
- $G_c(s)$  kontrol sisteminin
  - ✓ kararlılığını,
  - ✓ sürekli rejimdeki hatasını ve
  - ✓ Dinamik davranışı göz önüne alınarak tasarlanır.

# Kapalı Çevrim Kontrol

## Kapalı Çevrim Kontrol Sisteminde Kontrol Eylemi

---

Gerçekte,  $K$  kazancı; sistemin kararlılığına yapacağı negatif etki ve fiziksel olanaksızlıklar düşünüldüğünde

$$\frac{K G_u G_c}{1 + K G_u G_c} \cong 1 \quad \text{sağlayacak şekilde büyük seçilemez}$$

$$C(s) = \frac{1}{H(s)} R(s) - \frac{1}{H(s)} W(s) \quad \text{olamaz.}$$

Gerçekte, ideal algılayıcı da yoktur. Ancak yaklaşık olarak [ $H(s) \rightarrow 1$  &  $W \rightarrow 0$ ] kabul edilebilir,

bu durumda,  $C(s) = R(s)$  ancak ve ancak yaklaşık olarak sağlanabilir.

# Bazı Doğrusal Kontrolcüler

---

## Orantısal Kontrolcü (P-Kontrolcü):

$$G_c(s) = 1 \quad U = K_p E \quad K_p: \text{orantısal kazanç}$$

## Orantısal+Türevsel Kontrolcü (PD-Kontrolcü):

$$G_c(s) = 1 + T_d s \quad U = K_p(1 + T_d s)E = (K_p + K_d s)E$$

$T_d$ : türevsel zaman  
 $K_d$ : türevsel kazanç

## Orantısal+Integral Kontrolcü (PI-Kontrolcü):

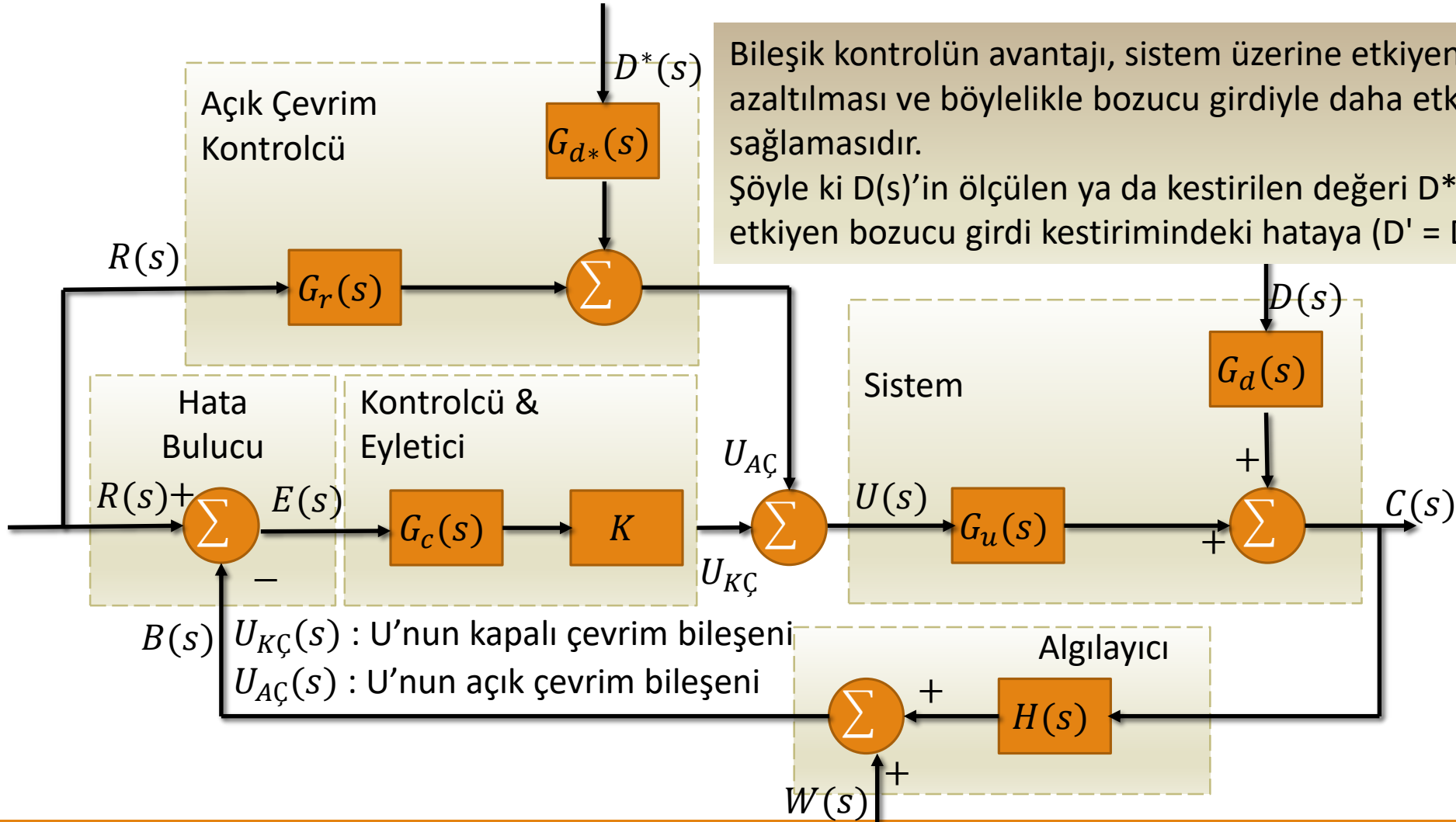
$$G_c(s) = 1 + \frac{1}{T_i s} \quad U = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) E = \left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) E$$

$T_i$ : integral zaman  
 $\frac{1}{T_i}$ : sıfırlama hızı  
 $K_i$ : integral kazanç

## Orantısal+Integral+Türevsel Kontrolcü (PID-Kontrolcü):

$$G_c(s) = 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \quad U = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) E = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s\right) E$$

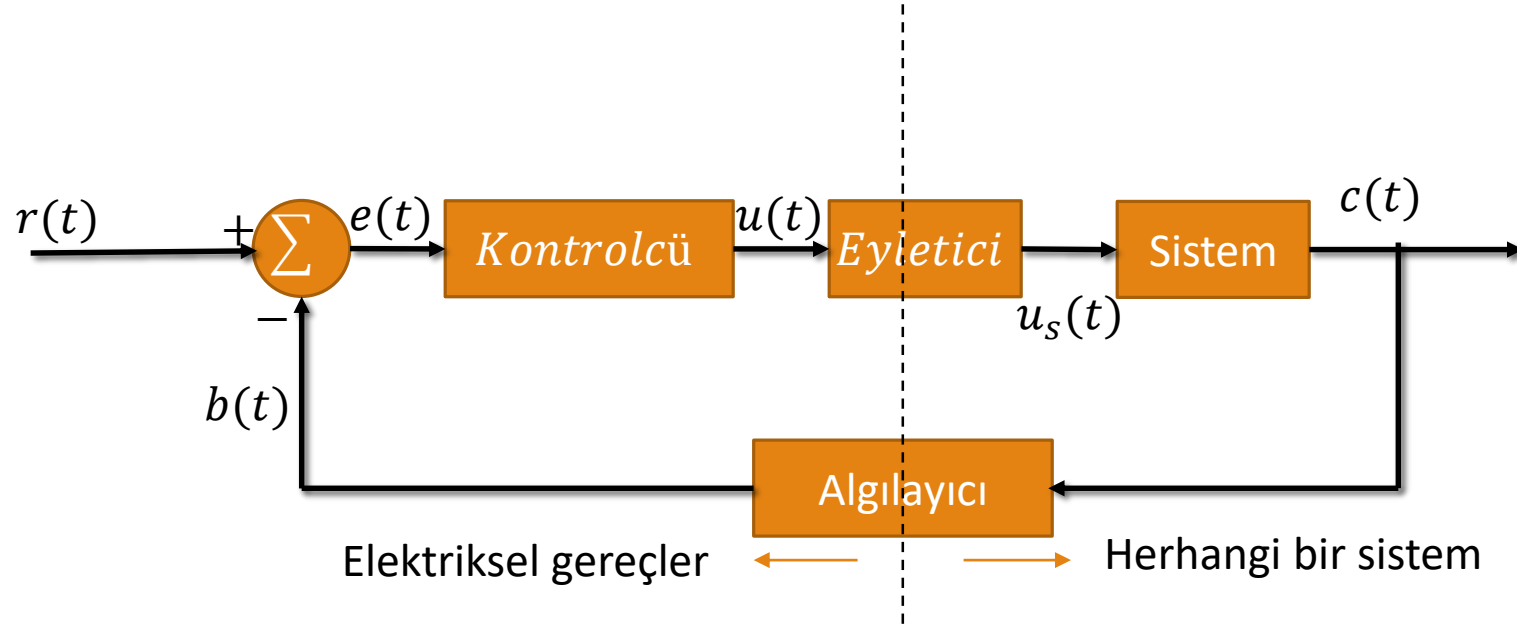
## Açık ve Kapalı Çevrim Bir Arada Kontrol



Bileşik kontrolün avantajı, sistem üzerine etkiyen bozucu girdi  $D(s)$ 'in azaltılması ve böylelikle bozucu girdiyle daha etkili baş edilmesini sağlamasıdır. Şöyle ki  $D(s)$ 'in ölçülen ya da kestirilen değeri  $D^*$  tahmin edilerek, sisteme etkiyen bozucu girdi kestirimindeki hataya ( $D' = D - D^*$ )'ye indirgenir.

# Kapalı Çevrim Kontrol

## Kapalı Çevrim Kontrol Sisteminde Kontrol Eyleminin Gerçekleştirilmesi



Bazen hidrolik veya pnömatik kontrolcülerde kullanılıyor olmasına rağmen, genellikle bir çok sistemde, algılayıcı ile eyeticici arasındaki kontrol eylemi elektriksel araçlarla sağlanır.

# Kapalı Çevrim Kontrol

## Kapalı Çevrim Kontrol Sisteminde Kontrol Eyleminin Gerçekleştirilmesi

Bazen referans giriş elektriksel niceliğe dönüştürülmek için bir filtreden geçirilerek şekillendirilir.

Tipik Algılayıcılar:

Potansiyometre (Potentiometer)	$:\theta \rightarrow V (= \text{Voltaj})$
Enkoder (Encoder)	$:\theta \rightarrow V$
Doğrusal Cetvel (LVDT)	$:x \rightarrow V$
Takometre (Tachometer)	$:\dot{\theta} \rightarrow V$
Çözücü (Resolver)	$:\dot{\theta} \rightarrow V$
Isılçift (Thermocouple)	$:T \rightarrow V$
Basınç Dönüştürücüsü (Pressure Transducer)	$:P \rightarrow V$

Tipik birinci derece algılayıcı transfer fonksiyonu

$$Y(s) = \frac{\gamma}{Ts + 1} X(s)$$

Eğer  $T \cong 0 \rightarrow Y(s) = \gamma X(s)$