

# Otomatik Kontrol

---

Otomatik kontrol sistemleri ve sınıflandırılması

Hazırlayan: Dr. Nurdan Bilgin

# Temel Kontrol Çeşitleri

---

## 1. Açık Çevrim (Open Loop) Kontrol

- ❑ Trafik ışıkları
- ❑ Çamaşır makinası, bulaşık mak. vs
- ❑ Basit Sıvı Düzeyi Kontrolü (Tuvalet Sifonu)

## 2. Geribildirimli (Feedback) yada Kapalı Çevrim (Closed Loop) Kontrol

- Temel hata tabanlı geri bildirimli kontrol sistemi
- Geribildirim, ileri bildirim ve bozucu etki giderici içeren kapalı çevrim kontrol sistemi
- Dolaylı geri bildirimli kontrol sistemi
  - ❑ İnsan davranışı ve el kontrolcöleri
  - ❑ Otomatik pilot
  - ❑ Robot manipölatörlerin kontrolü
  - ❑ İklimlendirme araçları (Isıtıcılar, soğutucular, nemlendiriciler vs.)

# Açık Çevrim Kontrol Sistemi

## Kullanılan Semboller:

$c(t)$ : Kontrollü Çıkış

$d(t)$ : Bozucu Etki

$u(t)$ : Ayarlanabilir Kontrol Girişi

$r(t)$ : Referans Giriş

$d^*(t)$ : Ölçülen yada Tahmin Edilen Bozucu Etki

$P$ : Sistemin Parametreleri

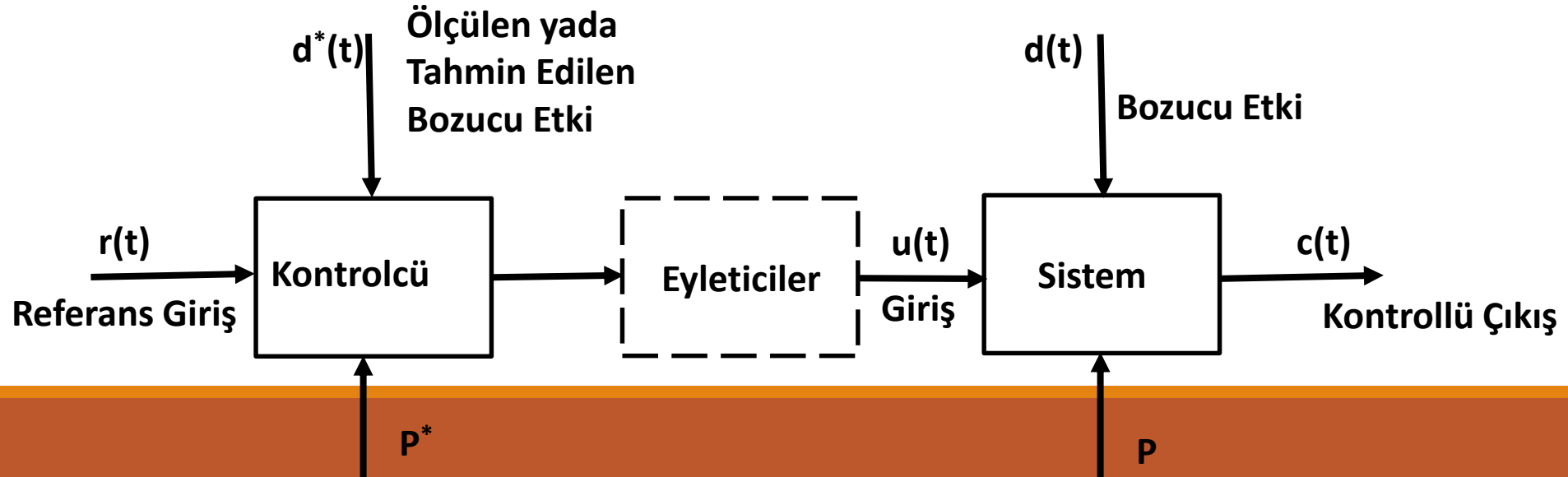
$P^*$ : Tahmin Edilen Sistem Parametreleri

Açık çevrim kontrol sisteminde, üretilen kontrol girişi  $u(t)$ ,  $r(t), d^*(t)$  ve  $P^*(t)$ 'nin bir fonksiyonudur.

$$u(t) = f(r(t), d^*(t), P^*(t))$$

Bu fonksiyon, açık çevrim kontrolün kontrol kuralıdır ve kontrol mühendisi tarafından tasarlanır.

*Not: Bazı diyagramlarda eyleticiler gösterilmeyebilir, eyletici sistemle veya kontrolcüyle birleşmiş gibi düşünülebilir.*



# Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi

## Yeni eklenen semboller:

$c'(t)$ : Ölçülen Çıkış (Algılayıcı çıkışı)

$n(t)$ : Algılayıcı gürültüsü

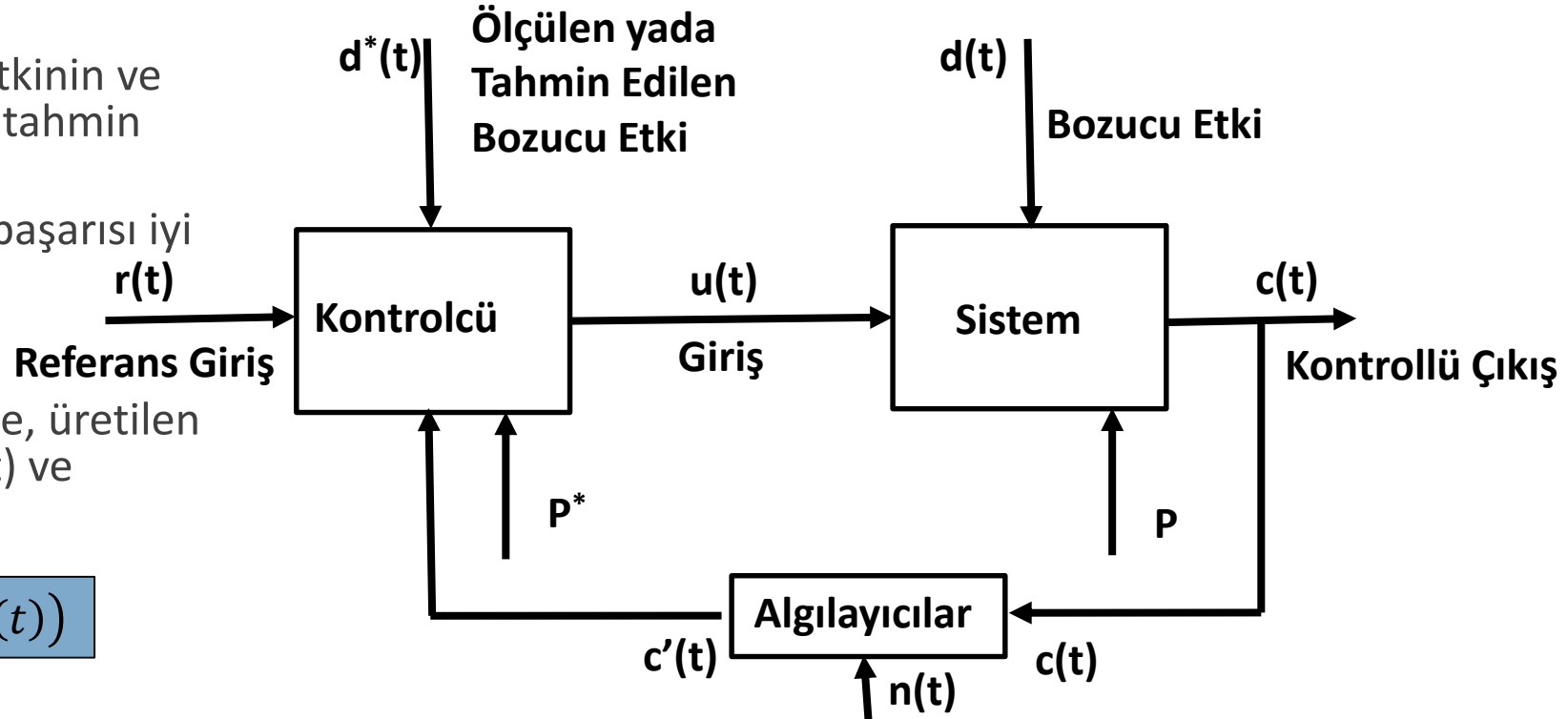
Açık çevrimin tersine, bozucu etkinin ve sistem parametrelerinin çok iyi tahmin edilmesine gerek yoktur.

Ancak kapalı çevrim kontrolün başarısı iyi algılayıcılara dayanır yani;

$$c'(t) \cong c(t)$$

Kapalı çevrim kontrol sisteminde, üretilen kontrol girişi  $u(t)$ ,  $r(t)$ ,  $c'(t)$ ,  $d^*(t)$  ve  $P^*(t)$ 'nin bir fonksiyonudur.

$$u(t) = f(r(t), c'(t), d^*(t), P^*(t))$$



# Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi Çeşitleri

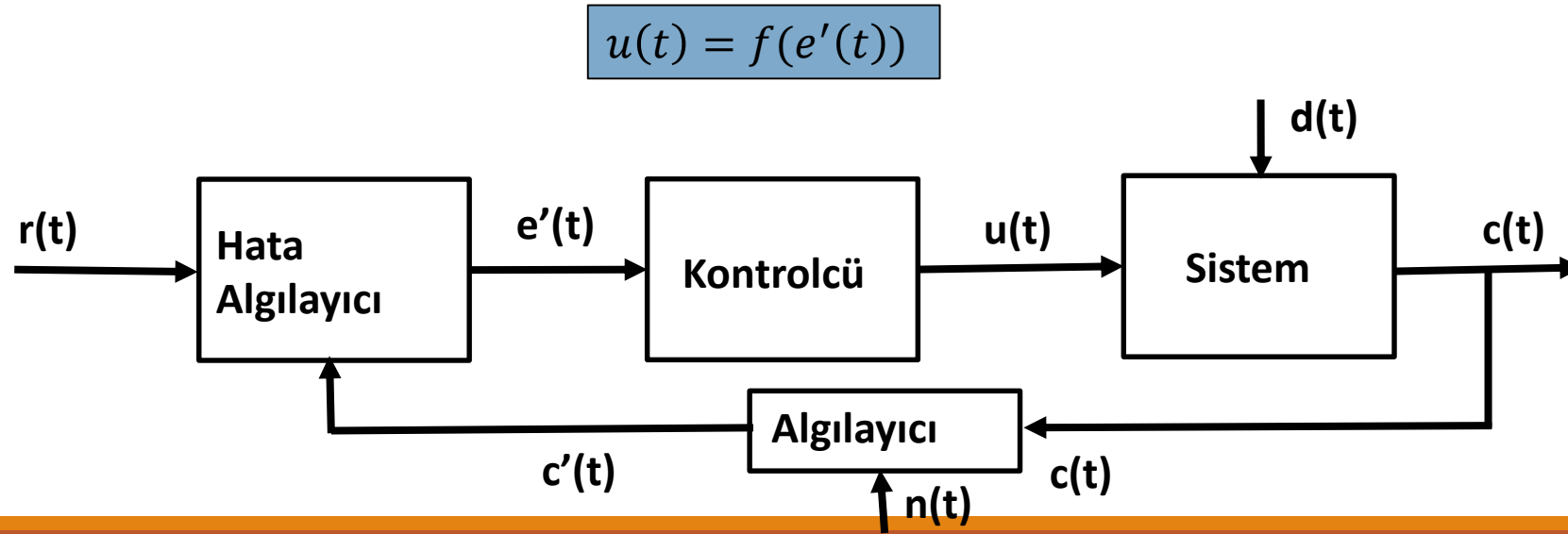
## Temel hata tabanlı geri bildirimli kontrol sistemi

**Hata Algılayıcı** (Comparator yada Error Detector): Referans giriş ile algılayıcı tarafından ölçülen çıkış arasındaki farkı bulan cihazdır.

Burada, kontrolcünün girişi olan  $e'(t)$ 'ye uygulama hatası (Actuating Error) denilmektedir, ve şu şekilde bulunur.  $e'(t) = r(t) - c'(t)$

Gerçek hata (Actual Error) ise  $e(t) = r(t) - c(t)$  dir.

Sistemin kontrol girişi, uygulama hatasının bir fonksiyonu olarak, kontrolcü tarafından üretilir.



# Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi Çeşitleri

Geri ve ileri bildirimli ve bozucu etki giderici içeren kontrol sistemi

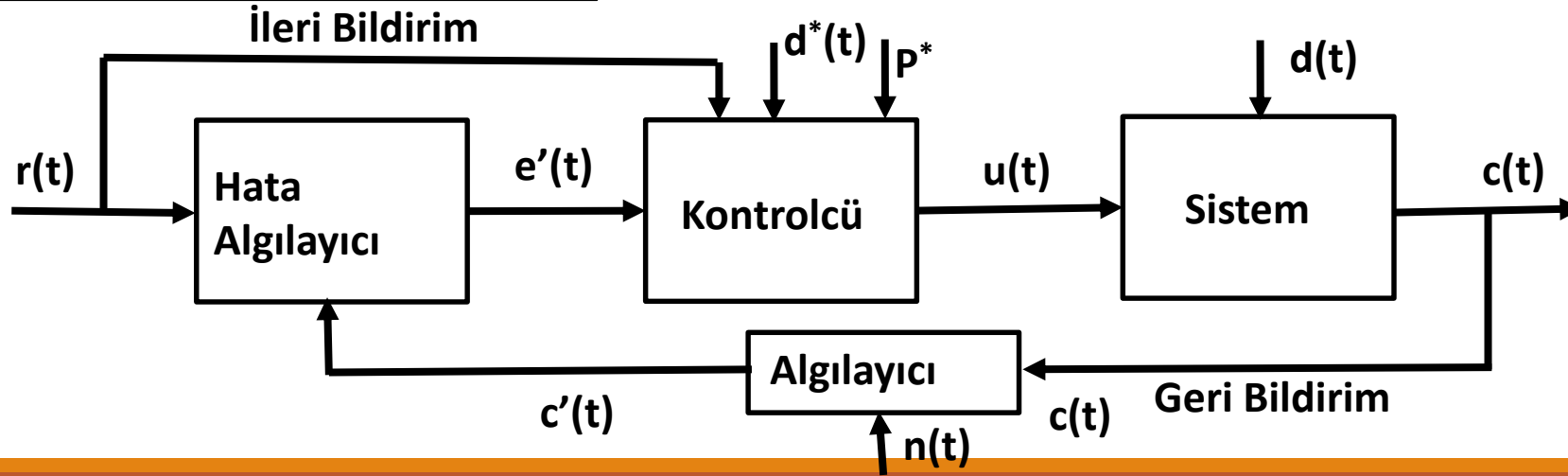
**Geri bildirim:** Kontrolcüye, çıkış ile ilgili bilgi sağlar.

**İleri bildirim:** Kontrolcüye referans giriş ile ilgili bilgi sağlar.

**Bozucu etki giderici:** Kontrolcüye, bozucu etkinin mümkünse ölçülen veya tahmin edilen değeri ( $d^*(t)$ ) hakkında bilgi sağlar.  $d^*(t)$  bozucu giriş  $d(t)$ 'nin ölçülen veya tahmin edilen değeridir.

Böylelikle kontrol girişi uygulama hatasının, referans girişin, tahmin edilen bozucu etki ve sistem parametrelerinin fonksiyonu olarak üretilir.

$$u(t) = f(e'(t), r(t), d^*(t), P^*(t))$$



# Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi Çeşitleri

## Dolaylı geri bildirimli kontrol sistemi

Bu kontrol, gözlenen ve kontrol edilen çıktı farklı olduğunda kullanılır; en yaygın örneği robot manipülatörlerdir, uç noktadan alınamayan sadece bilekten alınan ölçümler geri bildirim olarak kullanılır.

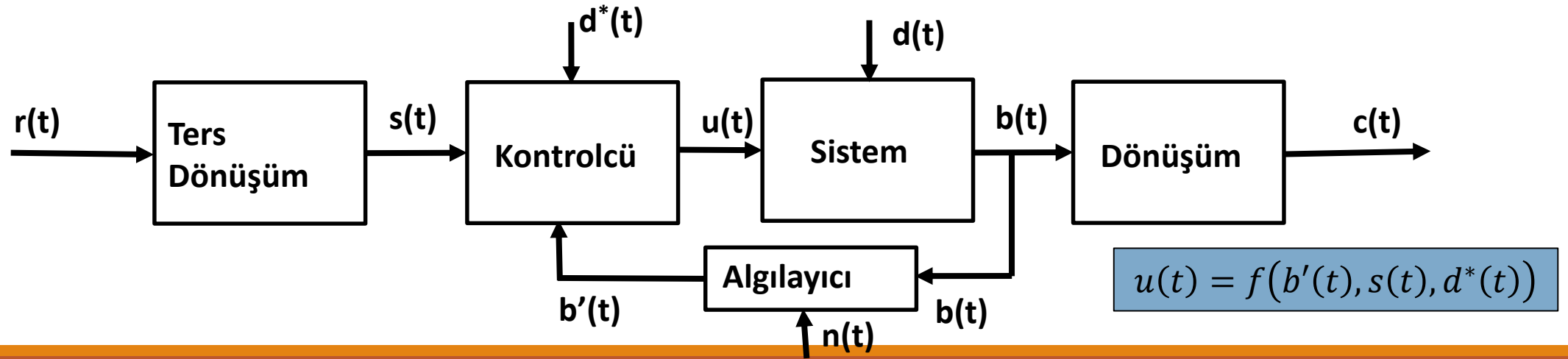
Dönüşüm  $b(t) \rightarrow c(t)$  ; Ters Dönüşüm  $r(t) \rightarrow s(t)$

$r(t) \rightarrow$  Kontrollü çıkış  $c(t)$  için referans

$c(t) \rightarrow$  Ölçülemeyen Kontrollü Çıkış

$s(t) \rightarrow$  Gözlenen çıkış  $b(t)$  için referans

$b(t) \rightarrow$  Ölçülen Gözlenen Çıkış



# Örnek: Bir rotorun hız kontrolü

**Kontrol Amacı:** Rotorun  $\omega(t) \cong \omega^*$  gibi arzu edilen sabit bir hızda dönmesi istenmektedir.

Bu örnekte öğrendiğimiz kontrol çeşitlerinden

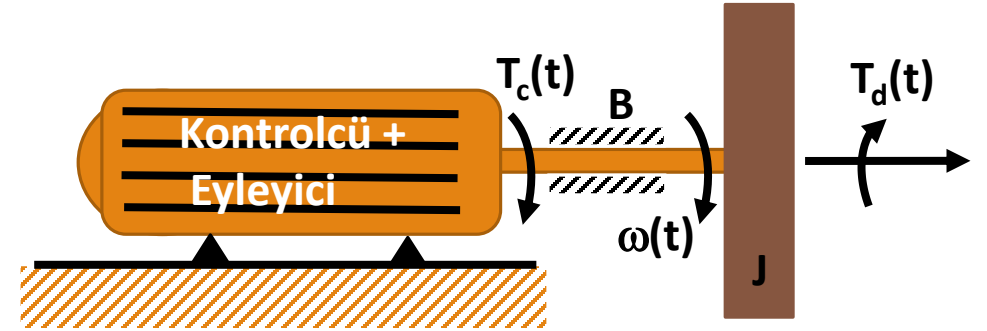
- a) açık çevrim
- b) En temel kapalı çevrim
- c) Gelişmiş kapalı çevrim

Kontrollerin kontrol amacını gerçekleştirme konusunda **ne oranda başarılı** olduklarını irdeleyeceğiz.

**Kalıcı hata oranlarını** karşılaştıracacağız.

Böylelikle sözünü ettiğimiz kontrol çeşitlerinin **avantaj ve dezavantajları** konusunda daha fazla bilgi sahibi olacağız.

Kapalı çevrimde kontrol kuralı olarak en temel kontrol kuralı olan **oransal kontrolü** kullanacağız.



$T_c(t)$ : Kontrol torku (Ayarlanabilir Giriş)

$T_d(t)$ : Bozucu tork, gerçekleştirilen göreve bağlı olarak ortaya çıkan tepki torku

$J$ : Rotorun atalet momenti

$B$ : Yatağın vizkoz sürtünme katsayısı

$\omega(t)$ : Rotorun açısal hızı



# Örnek: Bir rotorun hız kontrolü

Sistemin Hareket Denklemi:

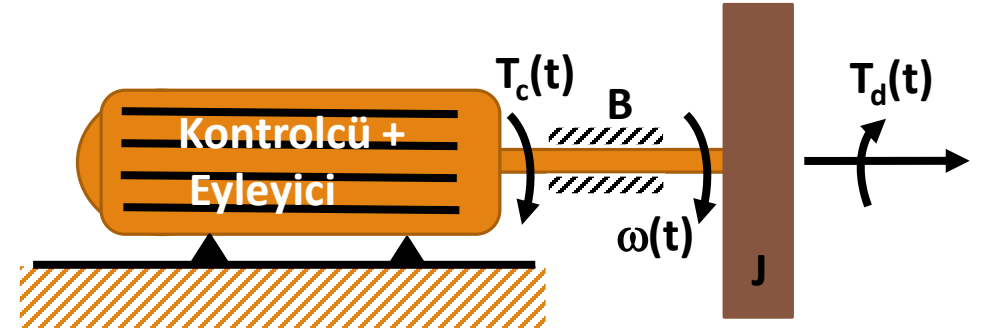
$$J\alpha(t) = \sum T$$

$$\alpha(t) = \dot{\omega}(t)$$

$$J\dot{\omega}(t) = T_c(t) - T_d(t) - T_f(t)$$

$$T_f(t) = B\omega(t) \text{ Sürtünmeden doğan tork.}$$

$$J\dot{\omega}(t) + B\omega(t) = T_c(t) - T_d(t)$$



$T_c(t)$ : Kontrol torku (Ayarlanabilir Giriş)

$T_d(t)$ : Bozucu tork, gerçekleştirilen göreve bağlı olarak ortaya çıkan tepki torku

$J$ : Rotorun atalet momenti

$B$ : Yatağın vizkoz sürtünme katsayısı

$\omega(t)$ : Rotorun açısal hızı

# Örnek: Bir rotorun hız kontrolü

## Açık Çevrim Kontrol

Sistem parametrelerini tam olarak bildiğimizi varsayalım yani,

$$\hat{B} \cong B \text{ \& \ } \hat{J} \cong J$$

Benzer şekilde başlangıçtaki bozucu etkiyi de  $\hat{T}_d^0$  olarak tahmin edelim. Başlangıç kontrol torku da  $T_c^0$  olsun. Bu durumda sistemin hareket denklemi

$$J\dot{\omega}(t) + B\omega(t) = T_c^0 - \hat{T}_d^0$$

Sistemin durgun duruma ulaşması için uygulanması gereken açık çevrim kontrol torku yukarıdaki ifadeden çekilebilir.

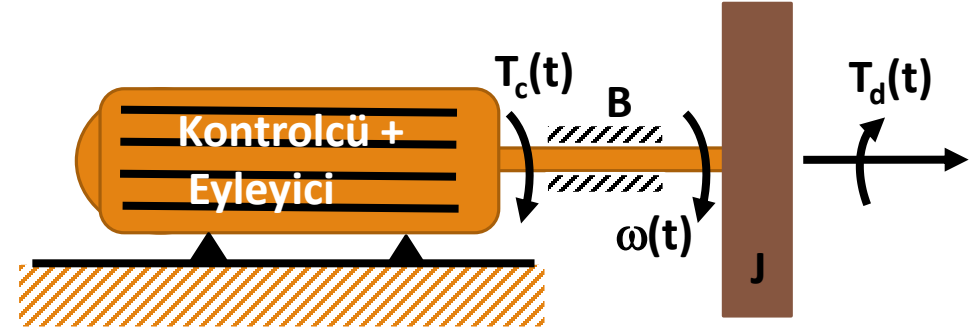
$$B\omega_{ss} = T_c^0 - \hat{T}_d^0 \cup \omega_{ss} = \omega^* \Rightarrow T_c^0 = B\omega^* + \hat{T}_d^0$$

$$J\dot{\omega}(t) + B\omega(t) = \overbrace{B\omega^* + \hat{T}_d^0}^{T_c^0} - T_d(t)$$

$$\varepsilon(t) = \omega^* - \omega(t) \therefore \dot{\varepsilon}(t) = -\dot{\omega}(t)$$

$$T_d(t) - \hat{T}_d^0 = -J\dot{\omega}(t) + B(\omega^* - \omega(t))$$

$$\tilde{T}_d(t) = J\dot{\varepsilon}(t) + B\varepsilon(t) \Rightarrow \varepsilon_{ss} = \frac{\tilde{T}_d}{B}$$



$T_c(t)$ : Kontrol torku (Ayarlanabilir Giriş)

$T_d(t)$ : Bozucu tork, gerçekleştirilen göreve bağlı olarak ortaya çıkan tepki torku

$J$ : Rotorun atalet momenti

$B$ : Yatağın vizkoz sürtünme katsayısı

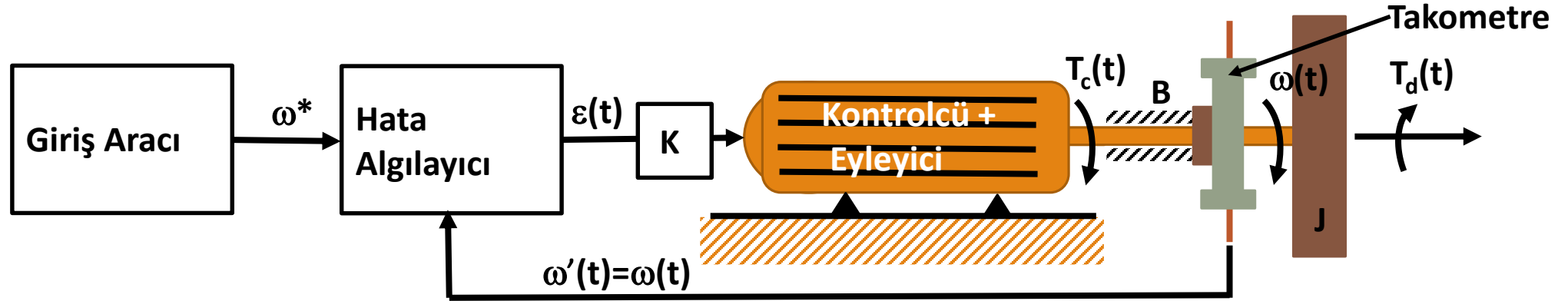
$\omega(t)$ : Rotorun açısal hızı

$$J\dot{\omega}(t) + B\omega(t) = T_c(t) - T_d(t)$$

$$\varepsilon_{ss} = \frac{\tilde{T}_d}{B}$$

# Örnek: Bir rotorun hız kontrolü

## En Temel Kapalı Çevrim Kontrol



En temel geri bildirim kontrol kuralı olan P (oransal) kontrol kullanıyoruz. Bu ilişkiye göre kontrol girişi (torku)  $T_c(t) = K\varepsilon(t)$ .

$$\text{Hata } \varepsilon(t) = \omega^* - \omega(t) \Rightarrow \omega(t) = \omega^* - \varepsilon(t) \Rightarrow \dot{\omega}(t) = -\dot{\varepsilon}(t)$$

$$-J\dot{\varepsilon}(t) + B(\omega^* - \varepsilon(t)) = K\varepsilon(t) - T_d(t)$$

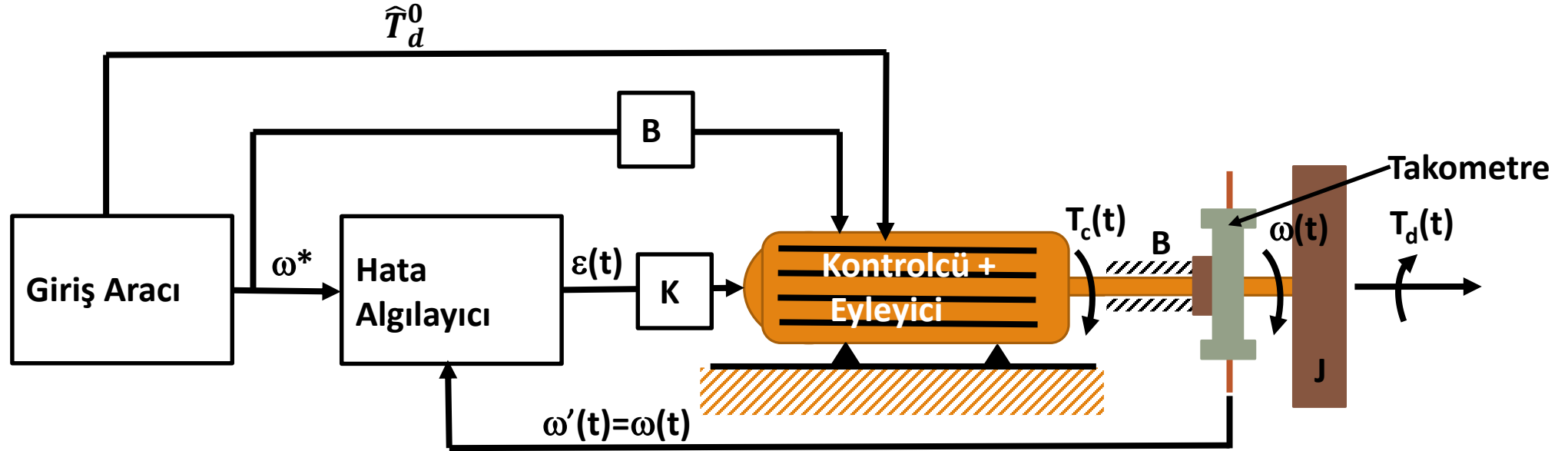
$$J\dot{\varepsilon}(t) + (B + K)\varepsilon(t) = B\omega^* + T_d(t)$$

Tekrar, aynı varsayımda bulunup bozucu etkinin sabit bir değere oturduğunu düşünürsek  $T_d(t) = T_d^0$  olur. Bu durumda kalıcı durum hatası

$$\varepsilon_{SS} = \frac{B\omega^* + T_d^0}{B + K}$$

# Örnek: Bir rotorun hız kontrolü

## Gelişmiş Kapalı Çevrim Kontrol



İleri besleme ve bozucu etki giderici tahmin değerinin katılımıyla,

kontrol girişi (torku)  $T_c(t) = K\varepsilon(t) + B\omega^* + \tilde{T}_d^0$  olur.

Hata  $\varepsilon(t) = \omega^* - \omega(t) \Rightarrow \omega(t) = \omega^* - \varepsilon(t) \Rightarrow \dot{\omega}(t) = -\dot{\varepsilon}(t)$

$-J\dot{\varepsilon}(t) + B(\omega^* - \varepsilon(t)) = [K\varepsilon(t) + B\omega^* + \tilde{T}_d^0] - T_d(t)$

$J\dot{\varepsilon}(t) + (B + K)\varepsilon(t) = \tilde{T}_d(t)$

$$\varepsilon_{SS} = \frac{\tilde{T}_d^0}{B + K}$$