

# EHM3132 Gr.1

# Otomatik Kontrol

## Bölüm 9

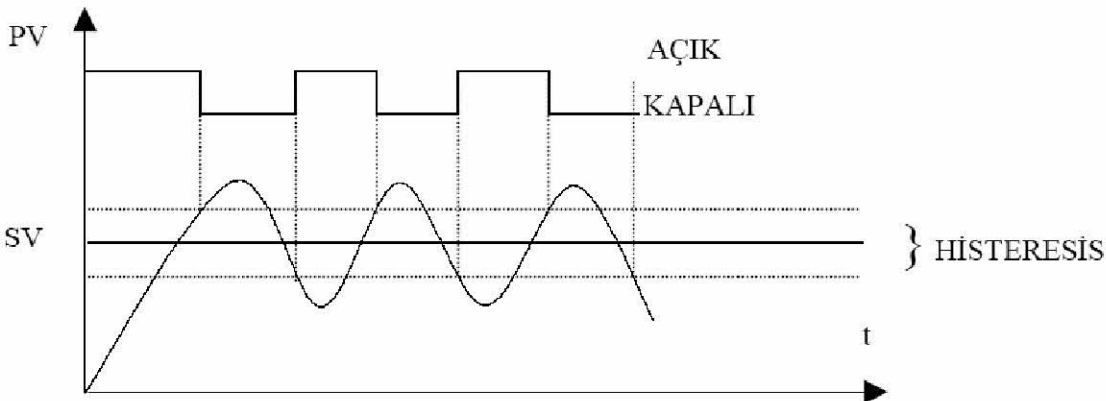
## Kontrol Sistem Tasarım Yöntemleri

### GENEL KONTROL YÖNTEMLERİ

Kontrol Sistemlerinin Tasarımında daha önce anlatılan çalışma kriterlerinin istenen şekilde belirlenmesi için faydalanılarak gerçekleştirilir. Örneğin daha önce Bode diyagramı yönteminden yararlanılarak ileri, geri faz beslemeli kompanzator (denetleyici) tasarımı gerçekleştirilmişti. Aşağıda yaygın olarak kullanılan kontrol sistemleri kısaca anlatılmıştır.

#### **AÇIK-KAPALI (ON/OFF ) KONTROL SİSTEMLERİ:**

Bu teknik en basit kontrol tekniğidir. Ölçülen değer (PV), set değerinin (SV) üzerinde olduğunda çıkış sinyali açılır, set değerinin üzerine çıkmasıyla çıkış sinyali kapanır.



Sistemlerin ataleti nedeniyle, kontrol gücü (çıkış) kesildiği halde, ölçülen değer yükselmeye devam eder ve set değeri üzerinde sürekli bir dalgalanma oluşur. Dalgalanmanın tepeden tepeye değişim ve sıklığı kontrol edilen prosesin dinamiğine bağlıdır. On-Off kontrol sistemlerinde genellikle anlattığımız sistemin, histeresis eklenmiş tipi kullanılmaktadır. Bu on-off denetleyici, set değeri etrafında histeresis bandı oluşturulur, proses değeri, set değerini geçer geçmez kontrol cihazı çıkışı "Kapalı" sinyali üretmez, ancak bu bandın aşılmasından sonra çıkış kapatılır. Aynı şekilde, ölçülen değer düşerken, set değerinin altına düşünce değil, histeresis bandının altına düşünce "Açık" sinyali üretilir.

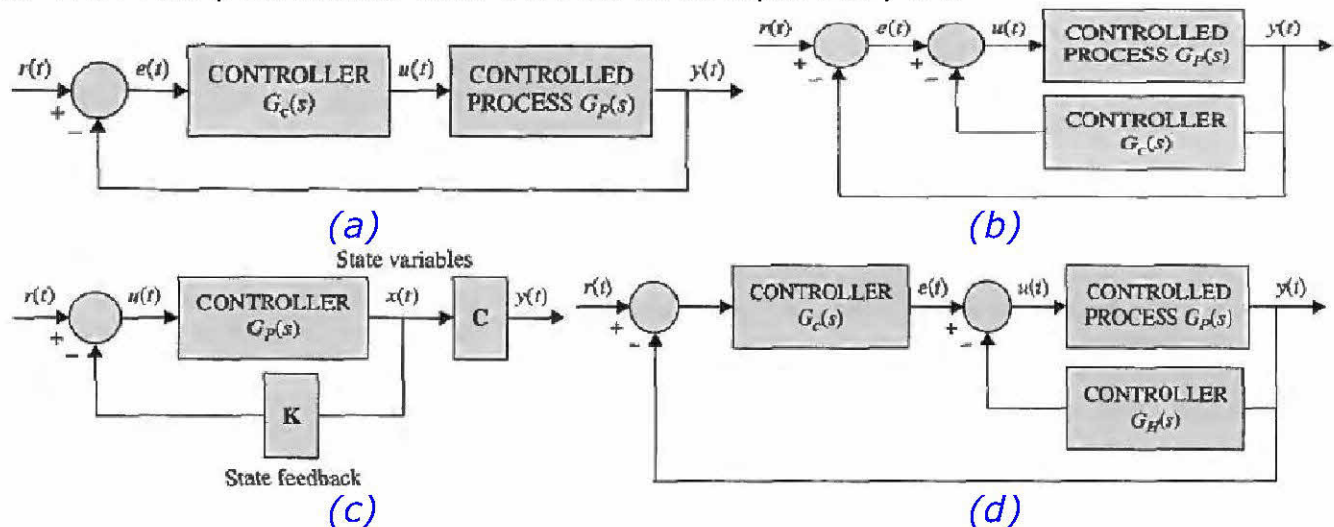
Bu sistemin sakıncaları:

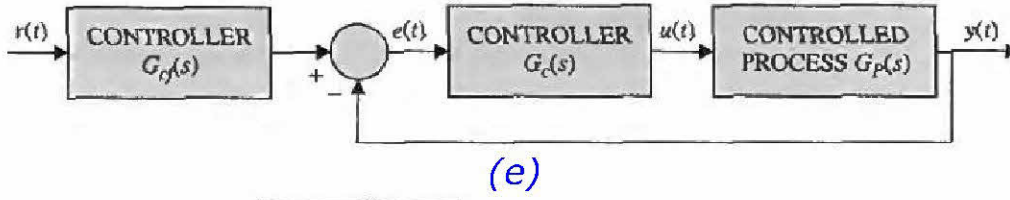
- Kesinlikle sağlıklı bir kontrol sistemi değildir. Ölçülen proses değeri, hiçbir zaman set noktasına sabitlenemez, sürekli salınım oluşur.
- Bu sistemle aşırı enerji tüketimi oluşur.
- Kritik proseslerde, hızlı proseslerde tümüyle yetersiz kontrol gerçekleştirir.

## PID Denetleyici Tasarım Yöntemi

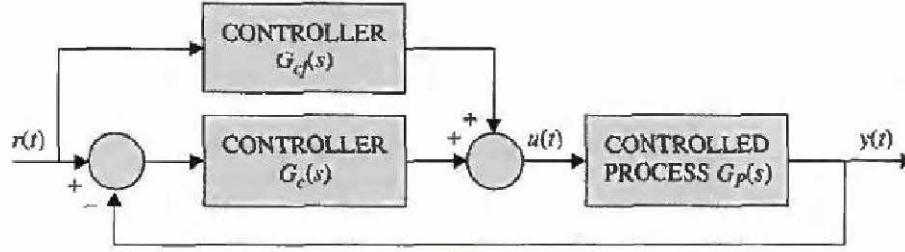
Doğrusal zamanla değişmeyen geri beslemeli kontrol sistemi tasarımında: Kontrol sistem kompanzasyonunda kullanılan çeşitli yapılar kullanılır. Bunlar:

- Seri yada kaskat kompanzasyon
- Geri beslemeli kompanzasyon
- Durum-geri beslemeli kompanzasyon
- Seri-geri beslemeli kompanzasyon
- Seri kompanzatorlü ileri kompanzasyon
- Seri kompanzatorlü ileri-beslemeli kompanzasyon.





(e)



(f)

Yukarıdaki kompanzasyon yapıları içinde PID denetleyici, yaygın olarak kullanılır ve etkin işaretin oransal (P, Proportional), integral (I, Integral) ve türevsel (D, Derivative) bir birleşimini sisteme uygulayan bir denetleyicidir. PID denetleyici dışında uygulamalarda faz ilerlemeli, gerilemeli, ilerlemeli-gerilemeli ve çentik denetleyiciler de kullanılır. Ayrıca bu parametrelerin kullanılmasıyla, P, PI, PD ve PID kontrol sistemleri oluşturulur.

## PID Denetleyici Tasarımı:

Blok diyagramı verilen PID kapalı çevrim geri beslemeli bir kontrol sisteminin transfer fonksiyonu:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s.$$

$$G_c(s) = K_1 + \frac{K_2}{s} + K_3 s = \frac{K_1 s + K_2 + K_3 s^2}{s} = \frac{K_3 \left( s^2 + \frac{K_1}{K_3} s + \frac{K_2}{K_3} \right)}{s}$$

Çıkış ifadesi:

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}.$$

D

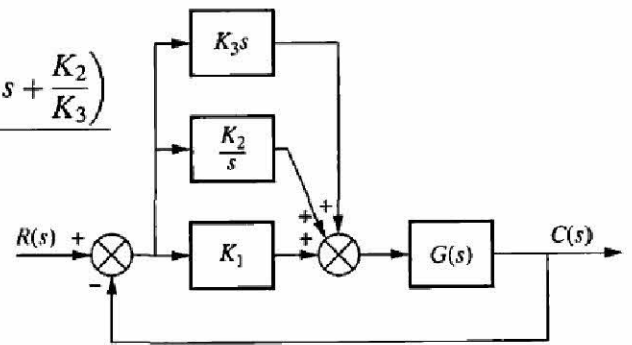
$$G_d(s) = \frac{K_D s}{\tau_d s + 1},$$

PI

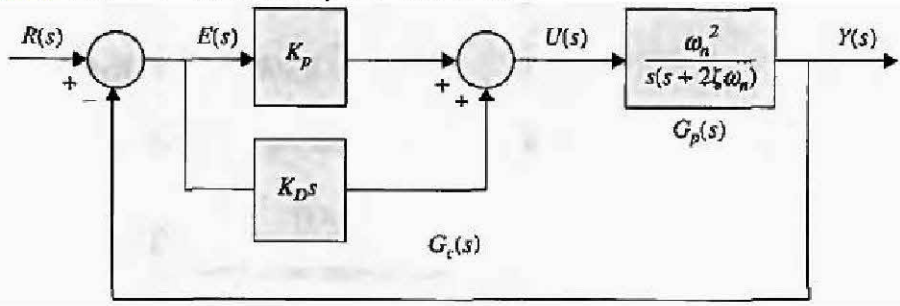
$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s}.$$

PD

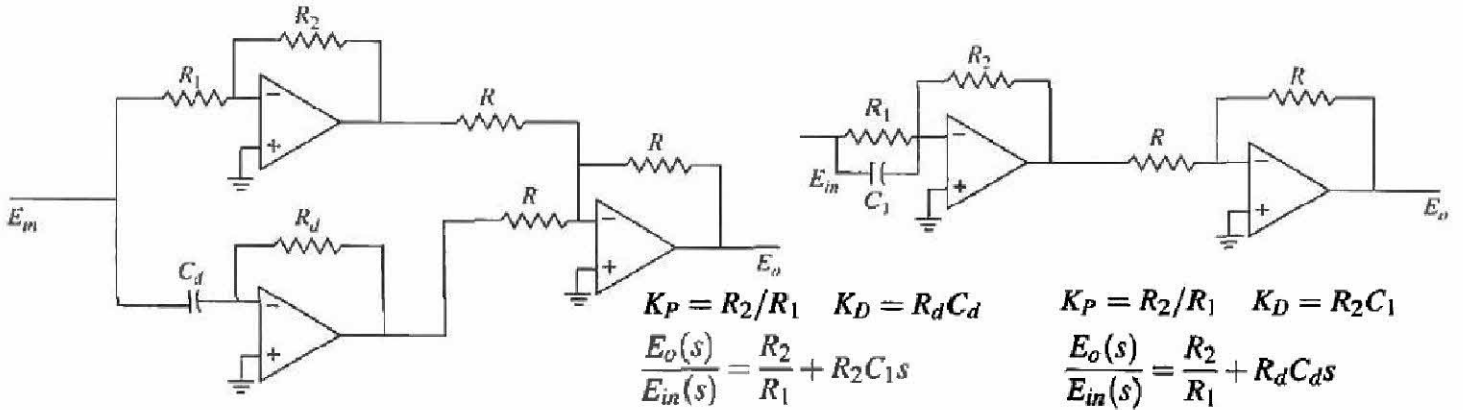
$$G_c(s) = K_p + K_D s,$$



**Ör: Bir PD denetleyici tasarımı**



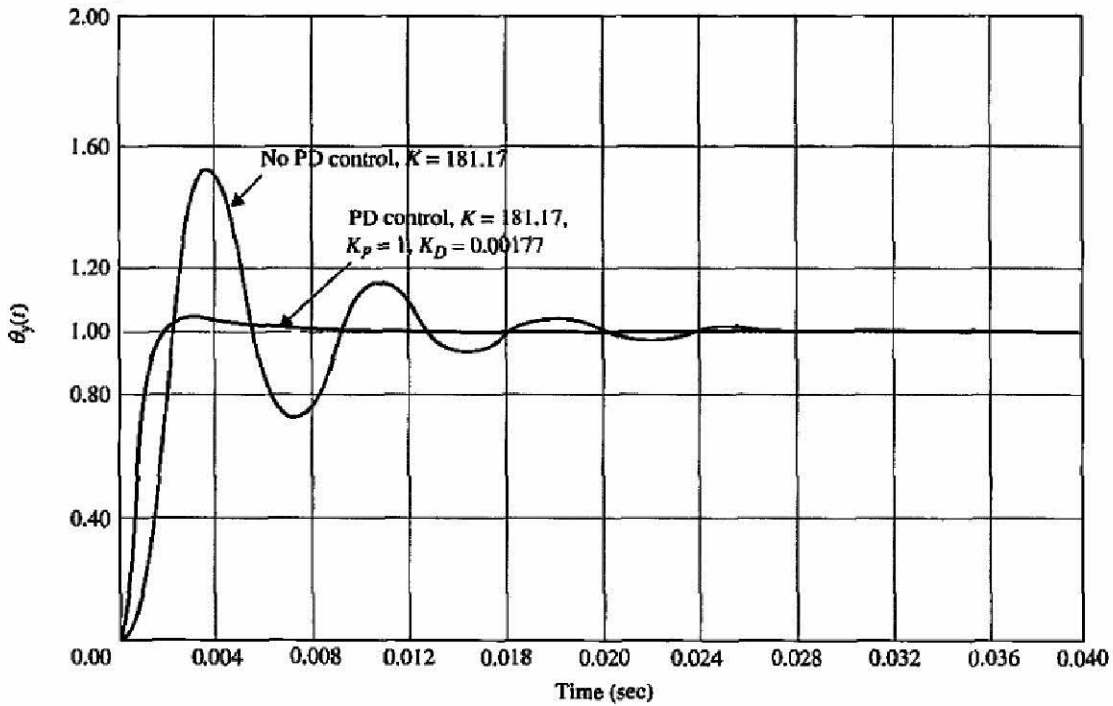
$$G_p(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s + 2\zeta\omega_n)} \quad G_c(s) = K_p + K_D s \quad G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = G_c(s)G_p(s) = \frac{\omega_n^2(K_p + K_D s)}{s(s + 2\zeta\omega_n)} \quad u(t) = K_p e(t) + K_D \frac{de}{dt}$$



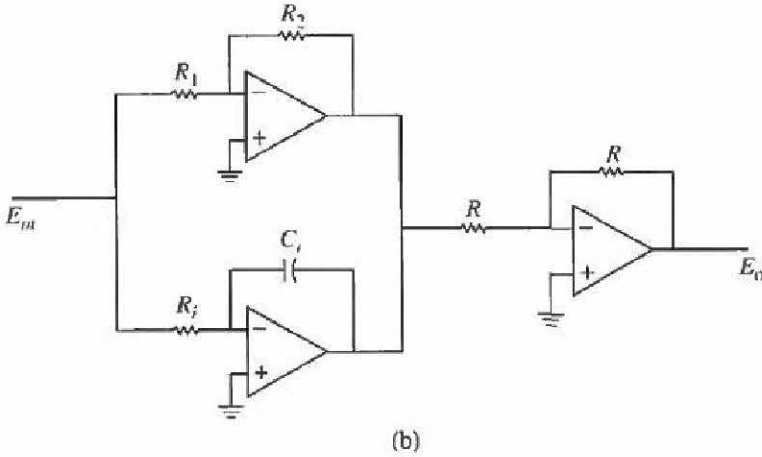
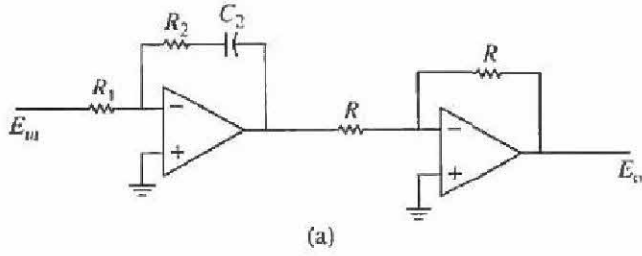
PD denetleyicinin işlemsel yükselteç (OpAmp) ile gerçekleştirilmesi.

**PD denetleyicinin etkisi:**

$$G(s) = \frac{4500K}{s(s + 361.2)}$$



**Ör: Bir PI denetleyici tasarımı**



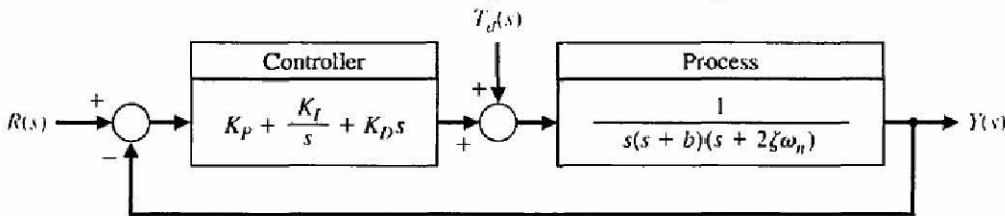
$$G_c(s) = \frac{E_o(s)}{E_{in}(s)} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_i C_i s}$$

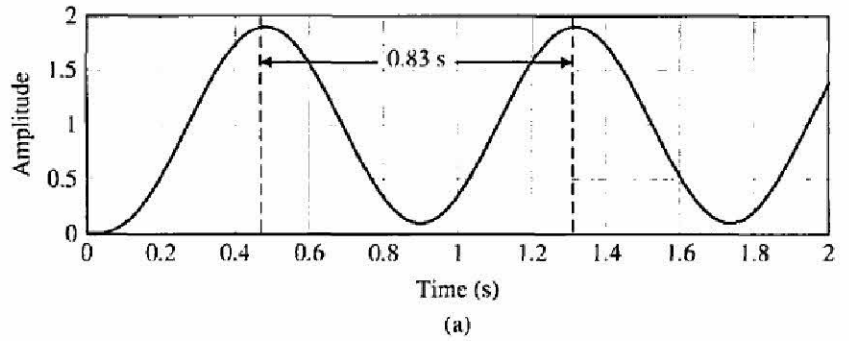
**PID denetleyici katsayılarının ayarlanması:**

Yukarıdaki örneklerden görüleceği üzere, PID denetleyici tasarımı çeşitli yöntemlerle PID kazanç değerlerinin belirlenmesidir. Bu kısaca PID ayarlama (tuning) olarak adlandırılır. PID kontrol kazançlarının hesapla elde edilmesine "Elle PID ayarlama" denir. Bu yöntem tecrübe ve uzmanlık gerektirir. Daha analitik ve güncel bir yöntem ise birkaç değişik şekli olan Ziegler-Nichols ayarlama yöntemidir. PID kazanç katsayıları belirlenirken ilk olarak  $K_I=0$  ve  $K_D=0$  alınarak  $K_P$  kazanç sistem osilasyon yapana, yani kararsız olana kadar artırılır. Böylece  $K_P$  belirlenir. Ancak kazancın gerçek sistem yerine simülasyon ile belirlenmesi uygun olabilir.

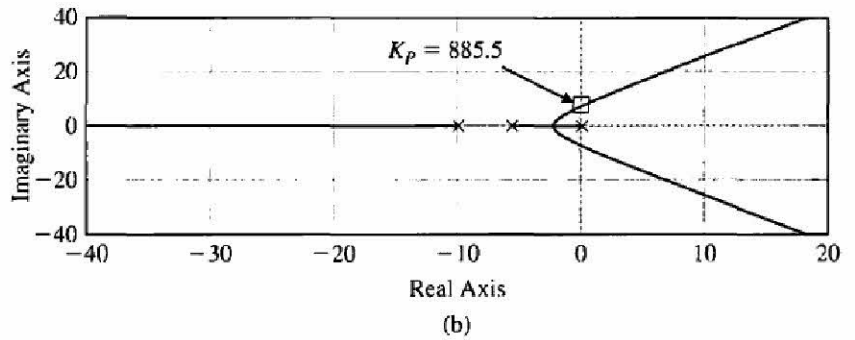
**Ör: Bir PID denetleyici kazanç katsayılarının elle ayarlanması.**

$$G(s) = \frac{1}{s(s + b)(s + 2\zeta\omega_n)}, \quad b = 10, \zeta = 0.707, \text{ and } \omega_n = 4.$$





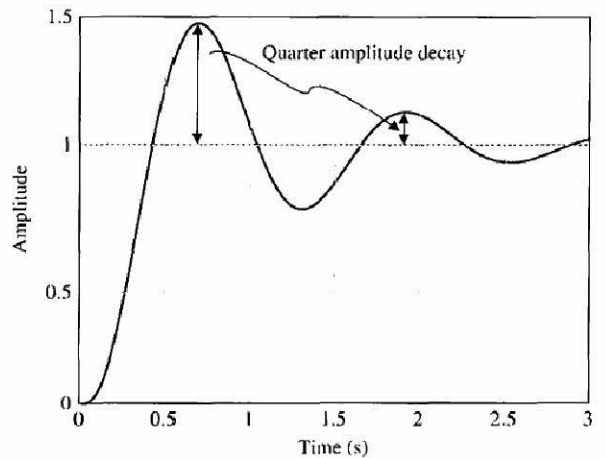
(a) Step response with  $K_p = 885.5$ ,  $K_D = 0$ , and  $K_I = 0$ .  
 (b) Root locus showing  $K_p = 885.5$  results in marginal stability with  $s = \pm 7.5j$ .



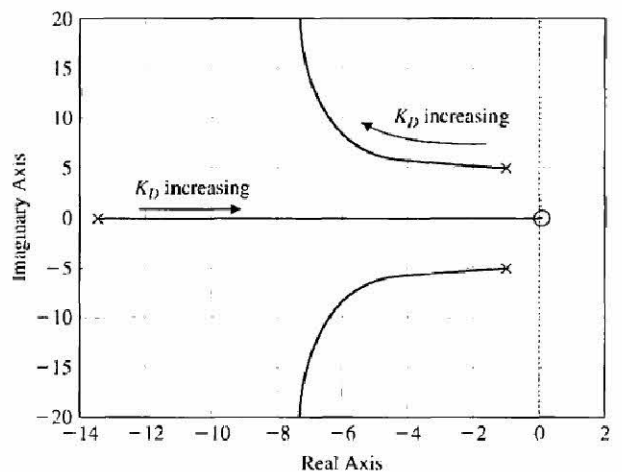
$$1 + K_p \left[ \frac{1}{s(s+10)(s+5.66)} \right] = 0.$$

$$1 + K_D \left[ \frac{s}{(s+10)(s+5.66) + K_p} \right] = 0.$$

Step response with  $K_p = 370$  showing the quarter amplitude decay.



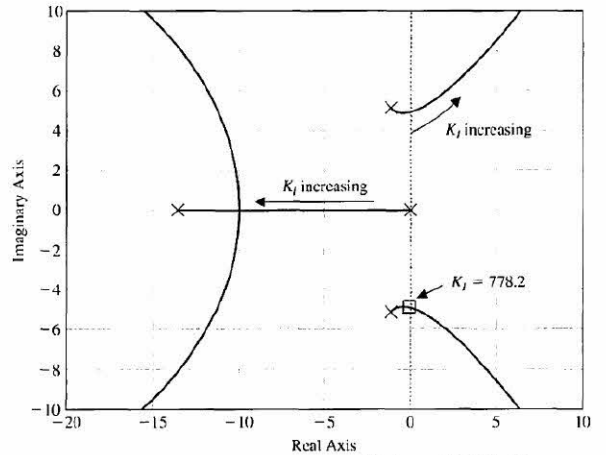
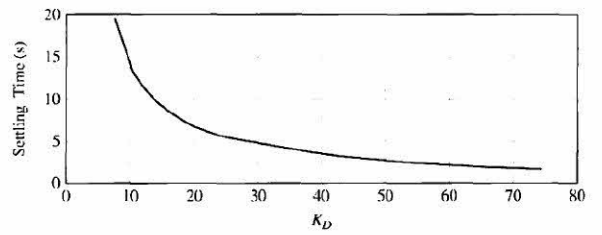
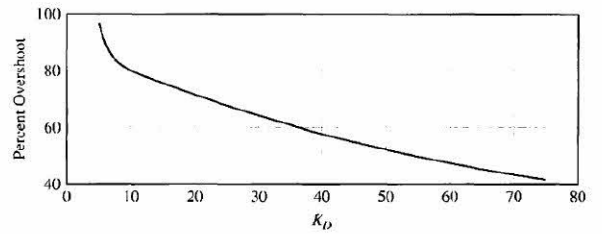
Root locus for  $K_p = 370$ ,  $K_I = 0$ , and  $0 \leq K_D < \infty$ .



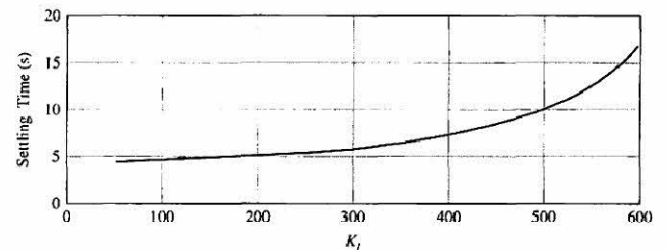
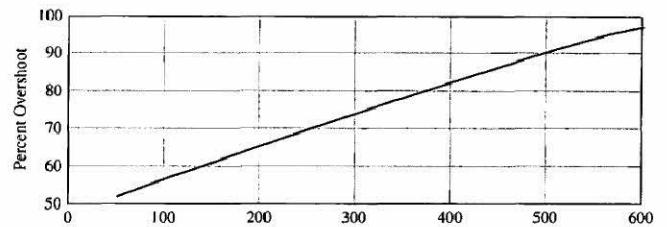
$$1 + K_I \left[ \frac{1}{s(s(s + 10)(s + 5.66) + K_P)} \right] = 0.$$

Percent overshoot and settling time with  $K_P = 370$ ,  $K_I = 0$ , and  $5 \leq K_D < 75$ .

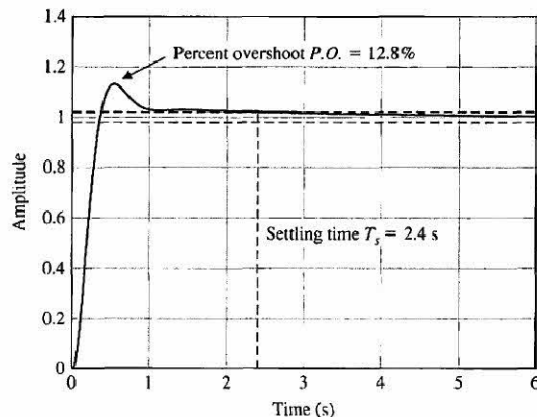
Root locus for  $K_P = 370$ ,  $K_D = 0$ , and  $0 \leq K_I < \infty$ .



Percent overshoot and settling time with  $K_P = 370$ ,  $K_D = 0$ , and  $50 \leq K_I < 600$ .



Percent overshoot and settling time with final design  $K_P = 370$ ,  $K_D = 60$ , and  $K_I = 100$ .



İki önemli PID denetleyici kazan ayarlama yöntemi John G. Ziegler ve Nathaniel B. Nichols tarafında 1942'de yayınlanmıştır.

## 1. Yöntem

Ziegler-Nichols PID Controller Gain Tuning Using Closed-loop Concepts

| Controller Type                                                                            | $K_P$     | $K_I$                 | $K_D$                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|
| Proportional (P)<br>$G_c(s) = K_P$                                                         | $0.5K_U$  | -                     | -                      |
| Proportional-plus-integral (PI)<br>$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$                          | $0.45K_U$ | $\frac{0.54K_U}{T_U}$ | -                      |
| Proportional-plus-integral-plus-derivative (PID)<br>$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$ | $0.6K_U$  | $\frac{1.2K_U}{T_U}$  | $\frac{0.6K_U T_U}{8}$ |

Ör: PID katsayılarının Ziegler-Nichols 1. yöntem ile ayarlanması:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+b)(s+2\zeta\omega_n)}$$

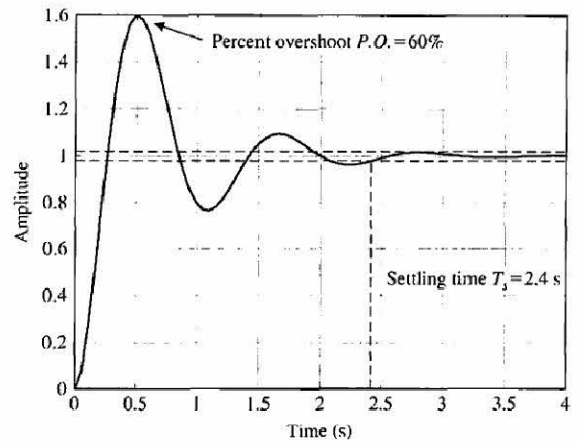
$$b = 10, \zeta = 0.707, \text{ and } \omega_n = 4.$$

$$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s,$$

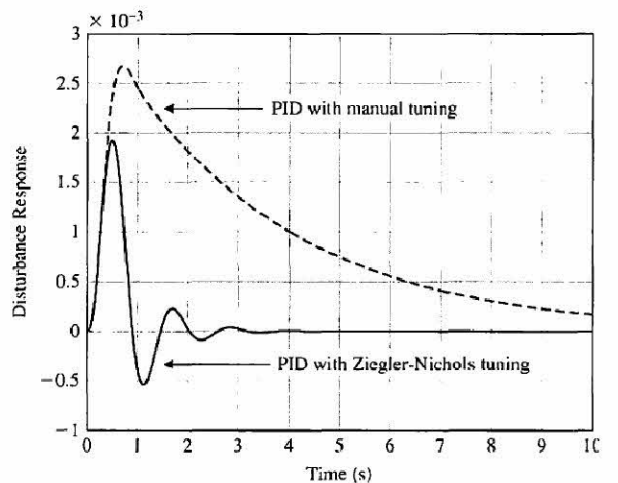
Tablodan yararlanılarak:

$$K_P = 0.6K_U = 531.3, \quad K_I = \frac{1.2K_U}{T_U} = 1280.2, \quad \text{and} \quad K_D = \frac{0.6K_U T_U}{8} = 55.1.$$

Time response for the Ziegler-Nichols PID tuning with  $K_P = 531.3$ ,  $K_I = 1280.2$ , and  $K_D = 55.1$ .



Disturbance response for the Ziegler-Nichols PID tuning versus the manual tuning in

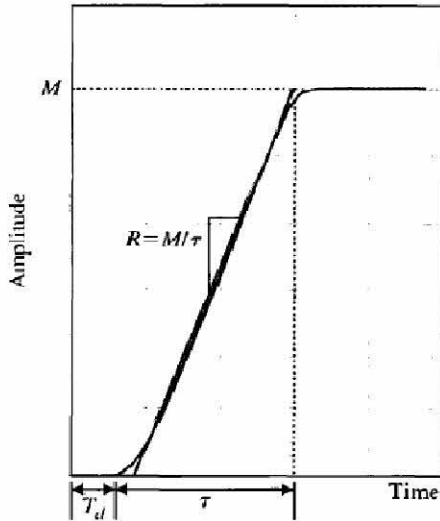




## 2. Yöntem

### Ziegler-Nichols PID Controller Gain Tuning Using Open-loop Concepts

| Controller Type                                                                            | $K_P$              | $K_I$                 | $K_D$           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
| Proportional (P)<br>$G_c(s) = K_P$                                                         | $\frac{1}{RT_d}$   | -                     | -               |
| Proportional-plus-integral (PI)<br>$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$                          | $\frac{0.9}{RT_d}$ | $\frac{0.27}{RT_d^2}$ | -               |
| Proportional-plus-integral-plus-derivative (PID)<br>$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$ | $\frac{1.2}{RT_d}$ | $\frac{0.6}{RT_d^2}$  | $\frac{0.6}{R}$ |



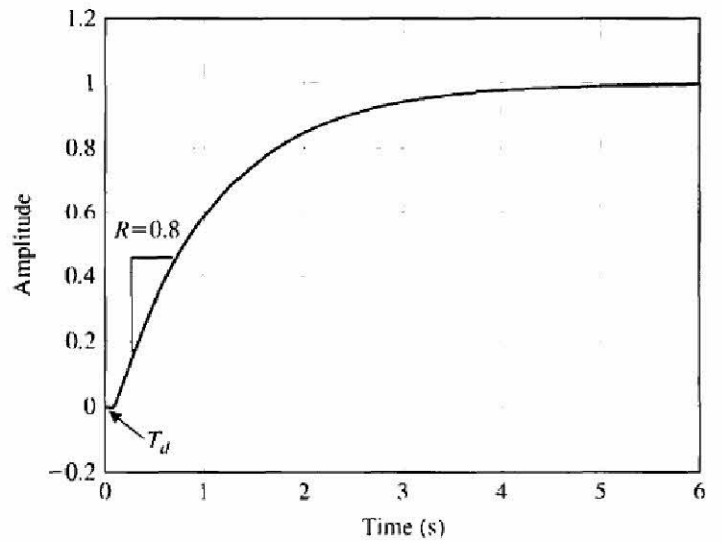
$$G(s) = M \left[ \frac{p}{s + p} \right] e^{-T_d s},$$

Ör: PI katsayılarının Ziegler-Nichols 2. yöntem ile ayarlanması:

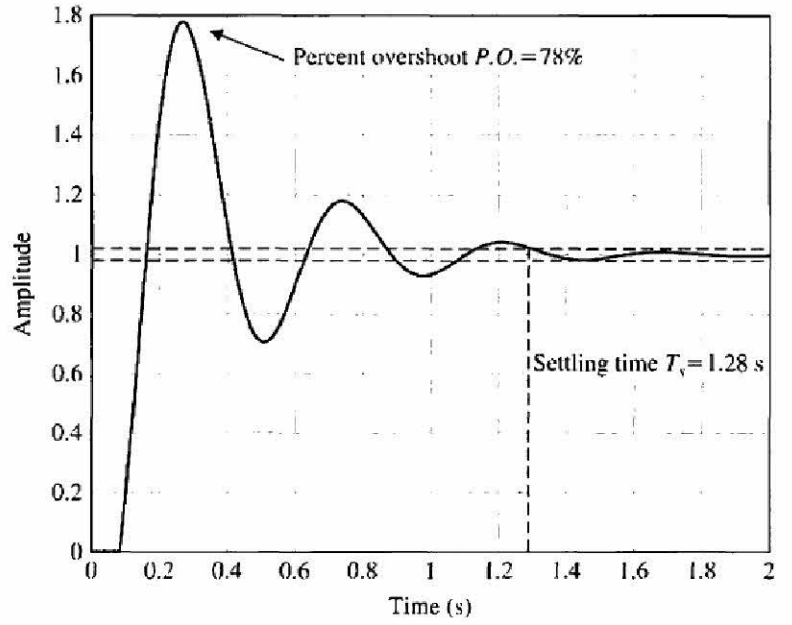
$T_d = 0.1s$  ve  $R = 0.8$

$$K_P = \frac{0.9}{RT_d} = 11.25 \quad \text{and} \quad K_I = \frac{0.27}{RT_d^2} = 33.75.$$

Reaction curve with  
 $T_d = 0.1$  s and  
 $R = 0.8$ .



Time response for the Ziegler-Nichols PI tuning with  $K_p = 11.25$  and  $K_i = 33.75$ .



### Kaynaklar

1. *Otomatik Kontrol Sistemleri*, Benjamin C.KUO, Literatür Yayınları, 1999.
2. *Automatic Control Systems*, Farid Golnaraghi, Benjamin C.KUO, John Wiley, 2010.
3. *Modern Control Systems*, Richard C.DORF, Robert H.BISHOP, Prentice Hall, 2011.
4. *Control System Engineering*, Norman S. Nise, John Wiley, 2011.
5. *Modern Control Engineering*, K.OGATA, Prentice-Hall, 1997.
6. *Feedback and Control Systems*, Joseph J.Distefano, Allen R.Stubberrud, Ivan J.Williams, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, 1995.
7. Ders Notları için İnternet Adresi: <http://www.tuncayuzun.com/>,  
<http://www.yildiz.edu.tr/~uzun/>