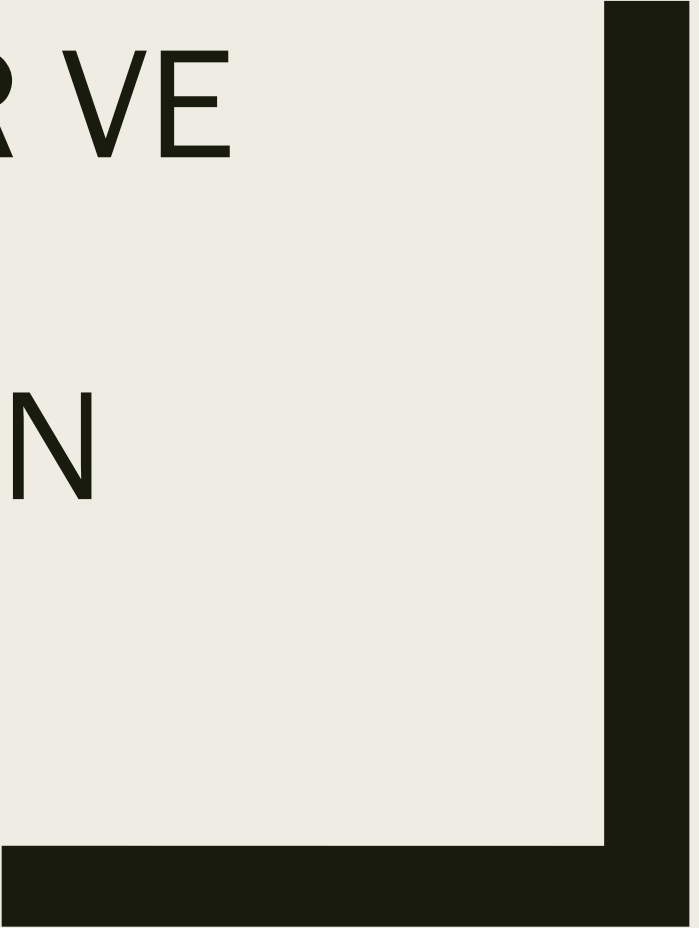


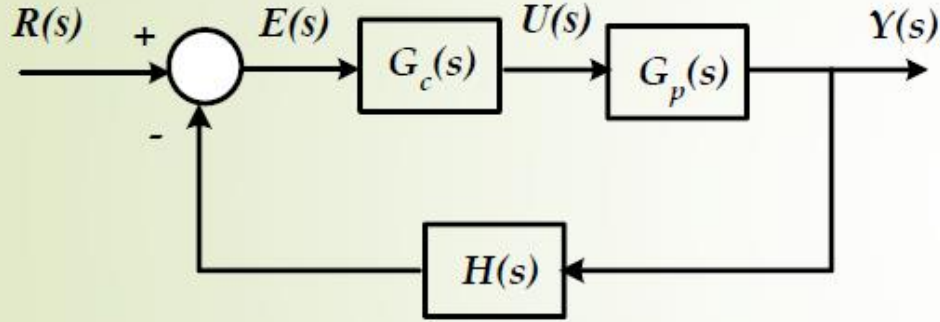


KONTROLÖRLER VE
KONTROLÖR
SİSTEMLERİNİN
TASARIMI

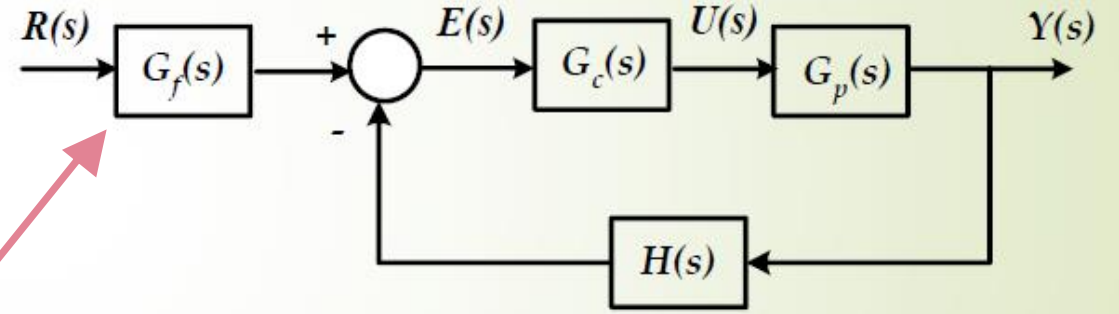


TEMEL KONTROL YAPILARI

Tek serbestlik dereceli ve iki serbestlik dereceli kontrol sistemleri



Şekil 5.1 Geri beslemeli seri kompanzasyon yapısı



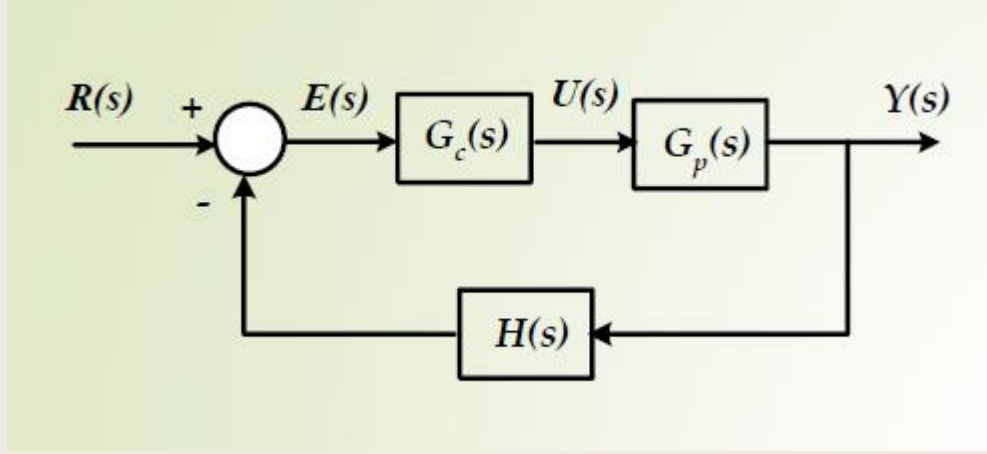
Şekil 5.2 Geri beslemeli seri ve ileri beslemeli kompanzasyon yapısı

TEMEL KONTROL YAPILARI

Kontrol sistemlerinde ekonomik nedenlere, sistemde işlenen sinyallerin türüne ve güç seviyesine ve mevcut kontrol elemanlarının durumuna göre Şekil 5.1 ve 5.2'deki yapıların dışında farklı kompanzasyon yapıların da seçilebilir. Ancak bu aşamada, öncelikle Şekil 5.1'de verilen seri kompanzasyon yapısı üzerinden kontrol sistemlerinin tasarım esaslarını açıklamak yararlı olacaktır. Şekil 5.1'deki yapıda kontrolörün temel görevi, kapalı çevrim sistemin dinamiklerini geliştirmek ya da daha basit bir ifade ile hata sinyalini kullanarak kontrol taleplerini karşılayacak şekilde en uygun sistem giriş sinyalini üretmektir.

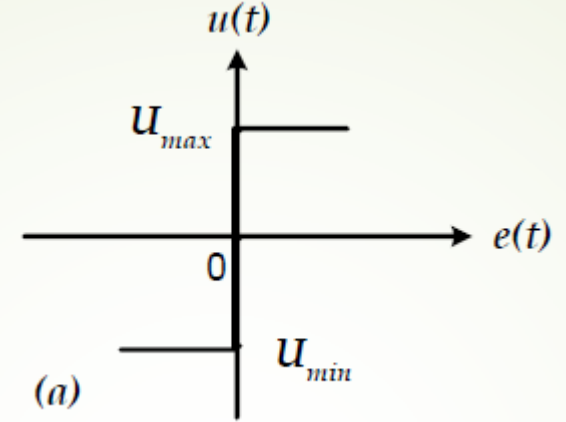
Hata sinyalinin kontrolörde işleniş şekline göre kontrolörler genel olarak iki konumlu (aç-kapa çıkış üreten) ya da sürekli çıkış üreten kontrolörler şeklinde iki ana gruba ayrılabilir.

İki Konumlu Kontrolörler

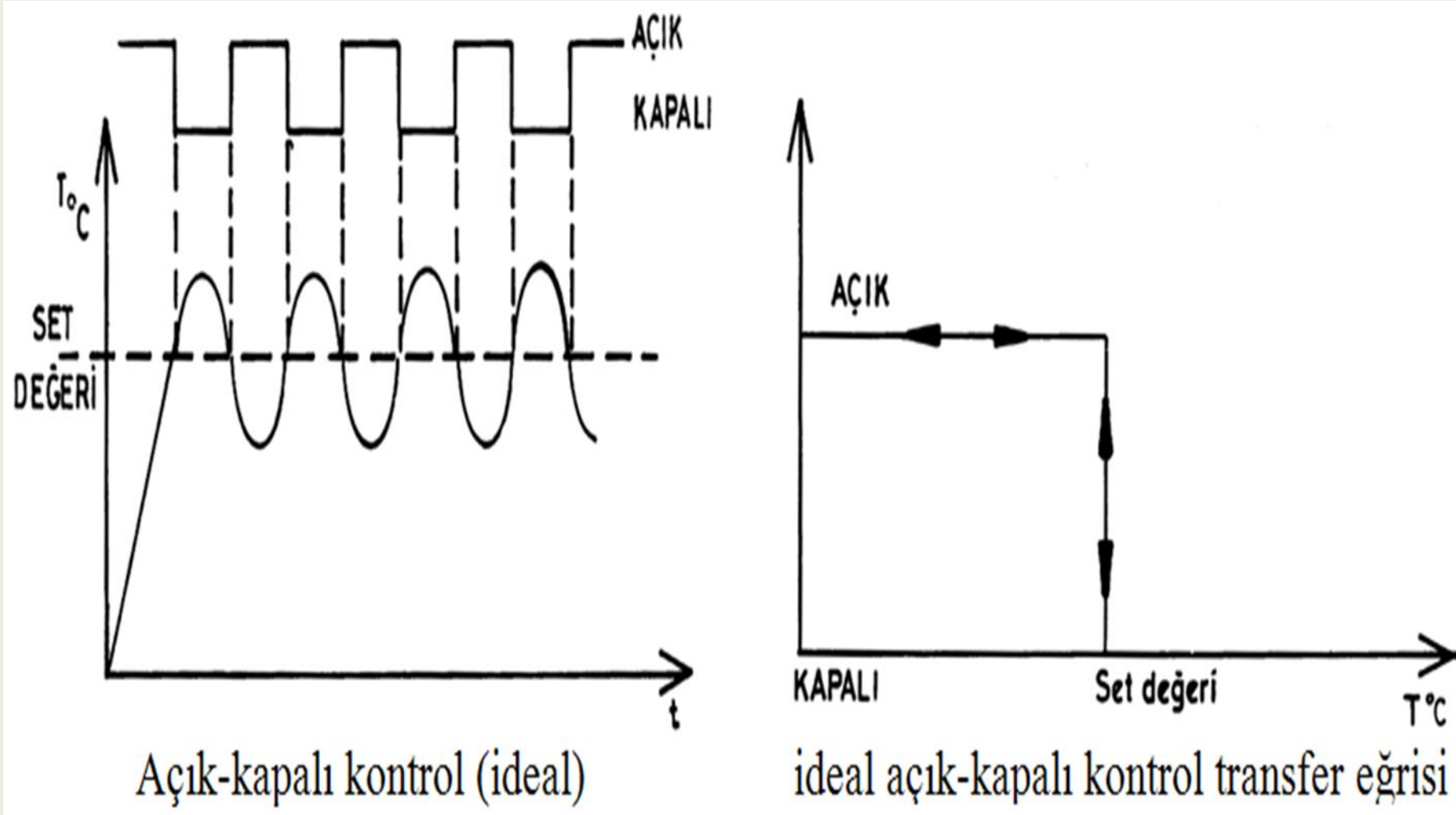


Aç-kapa kontrolörler olarak da söylenen iki konumlu kontrolörler, hata sinyali pozitifse en büyük çıkışı, hata sinyali negatifse en küçük çıkışı üretirler. Hata sinyali $e(t)$ ve kontrolör çıkışı $u(t)$ olmak üzere iki konumlu kontrolörün giriş-çıkış bağıntısı yandaki gibi yazılabilir.

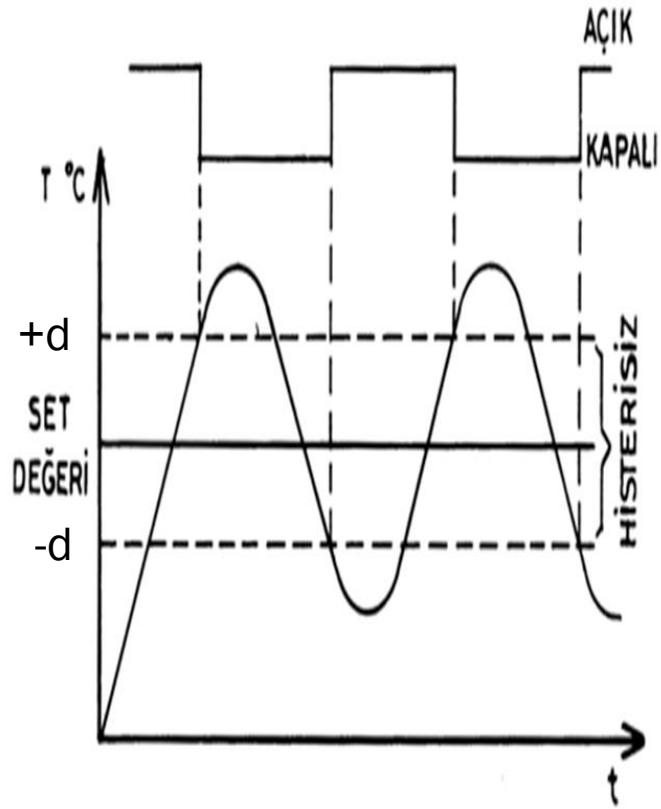
$$u(t) = \begin{cases} U_{max} & , \quad e(t) \geq 0 \\ U_{min} & , \quad e(t) < 0 \end{cases}$$



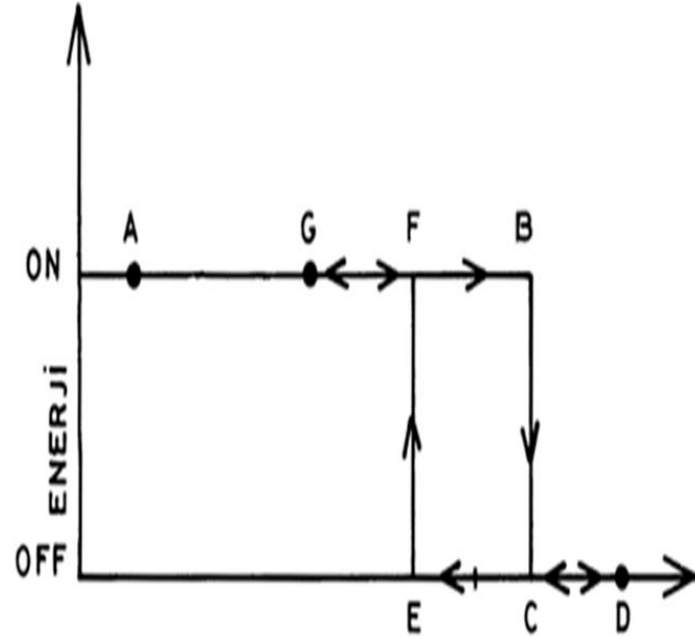
İki Konumlu Kontrolörler



İki Konumlu Kontrolörler

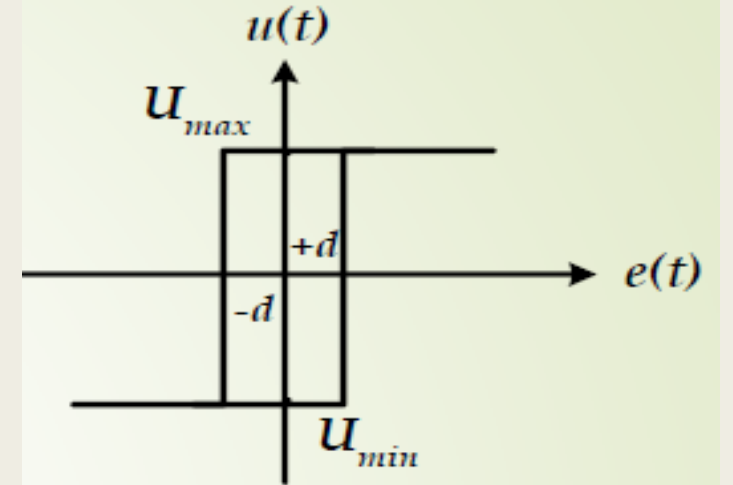


Histerisizli açık-kapalı kontrol eğrisi



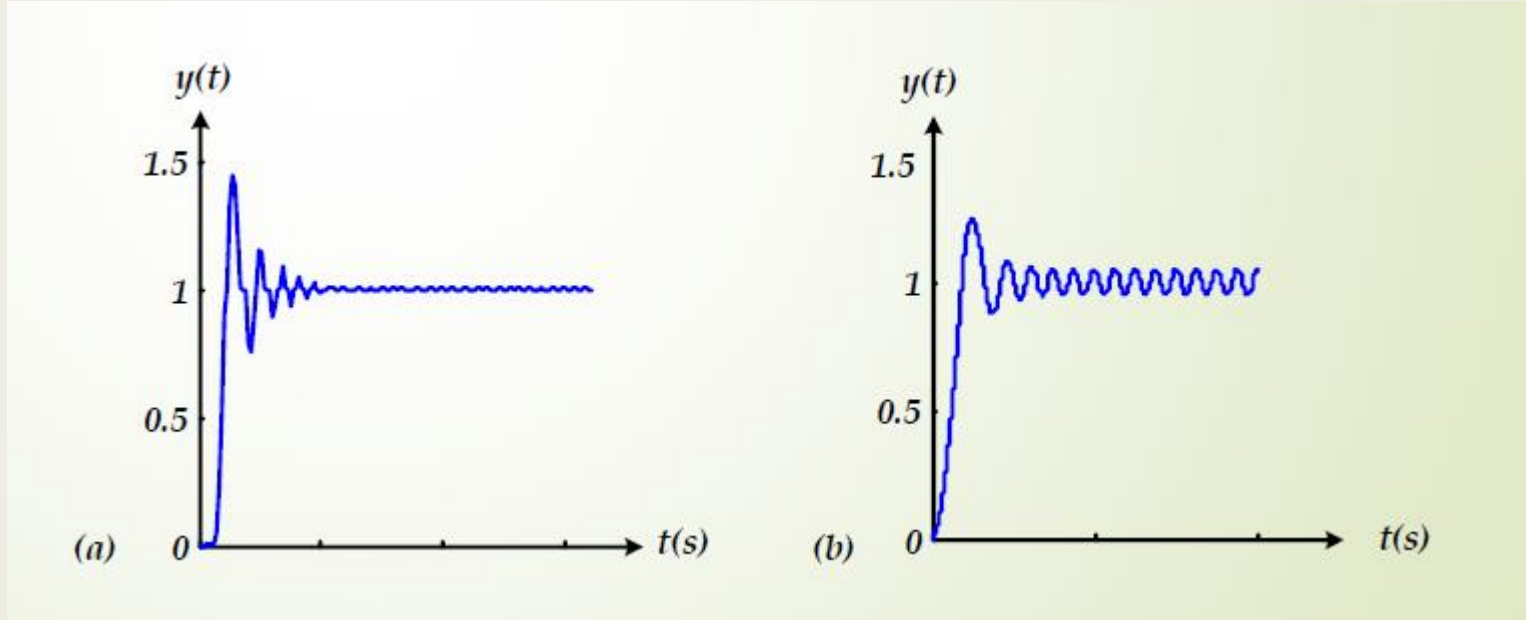
Histerisizli açık-kapalı kontrol transfer eğrisi

$$u(t) = \begin{cases} U_{\max} & , e(t) > +d \\ U_{\min} & , e(t) < -d \end{cases}$$



İki Konumlu Kontrolörler

Günlük yaşantımızda karşılaştığımız ev cihazlarında kullanılan termostatlar iki konumlu kontrolörlere en uygun ve basit örneklerdir. İki konumlu kontrol, en basit ve kolay gerçekleştirilebilir bir yapı olmakla birlikte beklenen kontrol performansını sağlamakta yetersizdir. Aşağıdaki şekil a'da aç-kapa süresi sıfır olan, (b)'de tolerans payı olan ideal iki konumlu kontrol sisteminin davranışı verilmiştir.



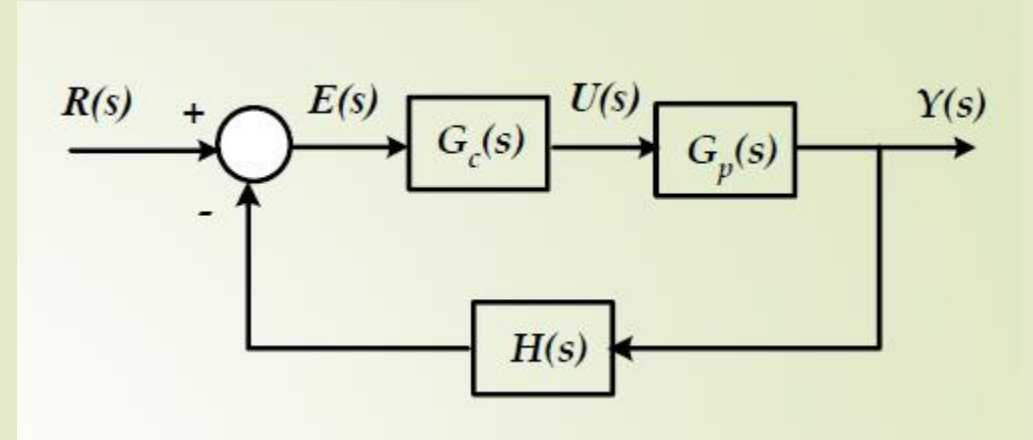
Oransal (P) Kontrolörler

Endüstriyel kontrol sistemlerinde kontrolörlerin, aç-kapa yerine hatanın değerine bağlı olarak zamanda sürekliliği olan bir çıkış üretmesi arzu edilir. Bunu sağlamanın en kolay yolu, hata sinyalini bir kazançla çarparak kontrol girişini belirleyen oransal kontrolörlerdir. Oransal kontrolörlerde kontrolör çıkışı $u(t)$ ile kontrolör girişi $e(t)$ arasında sabit bir oransal ilişki vardır.

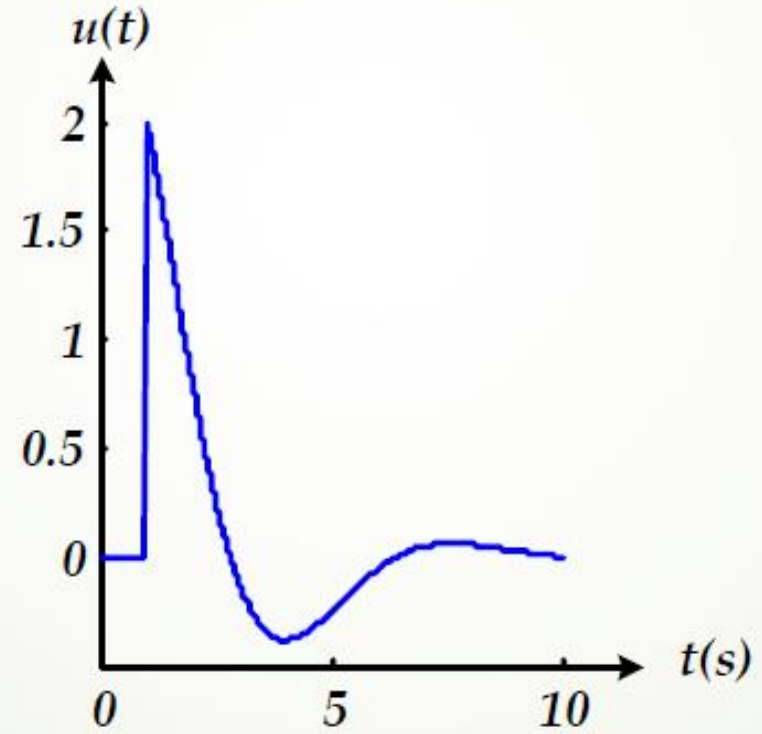
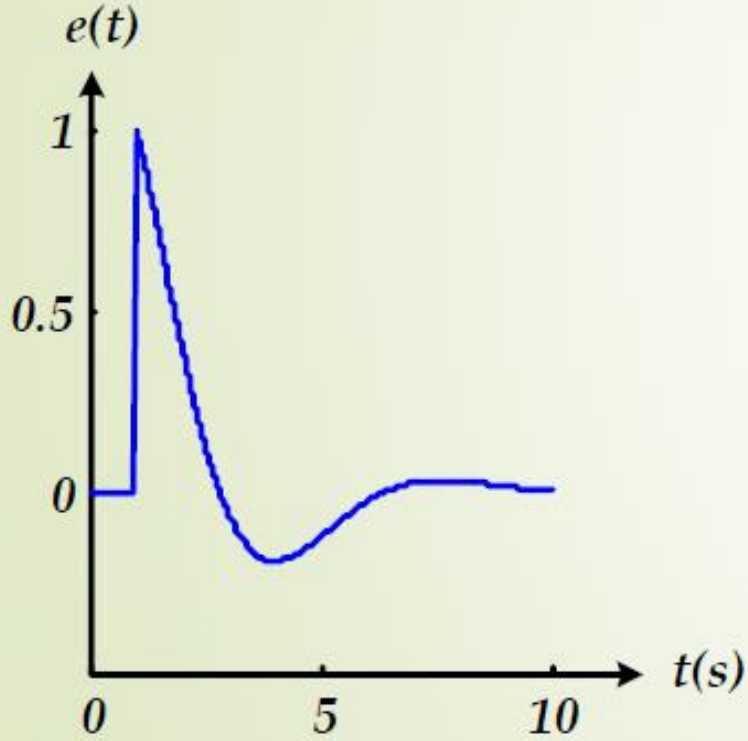
$$u(t) = K_p e(t)$$

Dolayısıyla, oransal kontrolörün transfer fonksiyonu da aşağıdaki gibi elde edilir.

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$



Oransal (P) Kontrolörler



Oransal kontrol etkisi **a-**) kontrolör girişi **b-**) $K_p=2$ için kontrolör çıkışı

Oransal (P) Kontrolörler

Oransal kontrolörler doğrudan sistemin kazancını arttırdığından sistemin yanıt hızı arttırılacağı gibi kalıcı durum hatası da azaltılabilir. **Ancak oransal kontrolör, sistemin tipini değiştirmedeğinden bir sistemin ilgili kalıcı durum hatası, örneğın tip 0 sistem ise basamak hatası, tip 1 sistem ise rampa hatası vs. hiçbir zaman sıfıra getirilemez.** Ayrıca, oransal kazancı çok artırmak sisteme kısa süreli de olsa aşırı giriş vermeyi gerektirir ki fiziksel sistemlerin girişleri sınırlı olacağından pratik olarak oransal kazancı belirli bir değerin üzerinde artırmak anlamsızdır ve sistemi doyuma götürür.

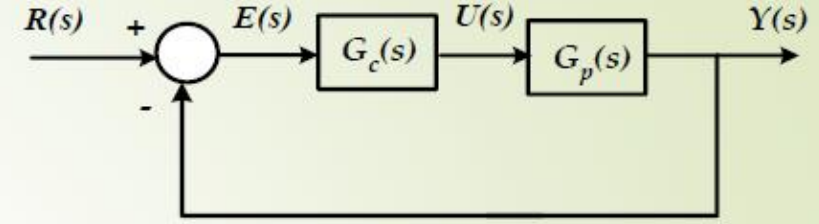
Diğerk taraftan, oransal kontrolör genel olarak kontrol sisteminin doğal frekansını artıracığından sistemin cevap hızını artırmakla birlikte maksimum aşmanın artmasına neden olur ve pratik açıdan gürültülü bir kontrol sistemi ortaya çıkar.

Oransal (P) Kontrolörler

Örnek Şekilde verilen birim geri beslemeli kontrol yapısında aşağıdaki sistemler için oransal kontrolörün etkisini,

a-) Birinci dereceden tip 0 sistem için $G_p(s) = \frac{3}{s+4}$

b-) İkinci dereceden tip 1 sistem için inceleyiniz. $G_p(s) = \frac{1}{s(s+4)}$



$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{3K_p}{s+4+3K_p}$$

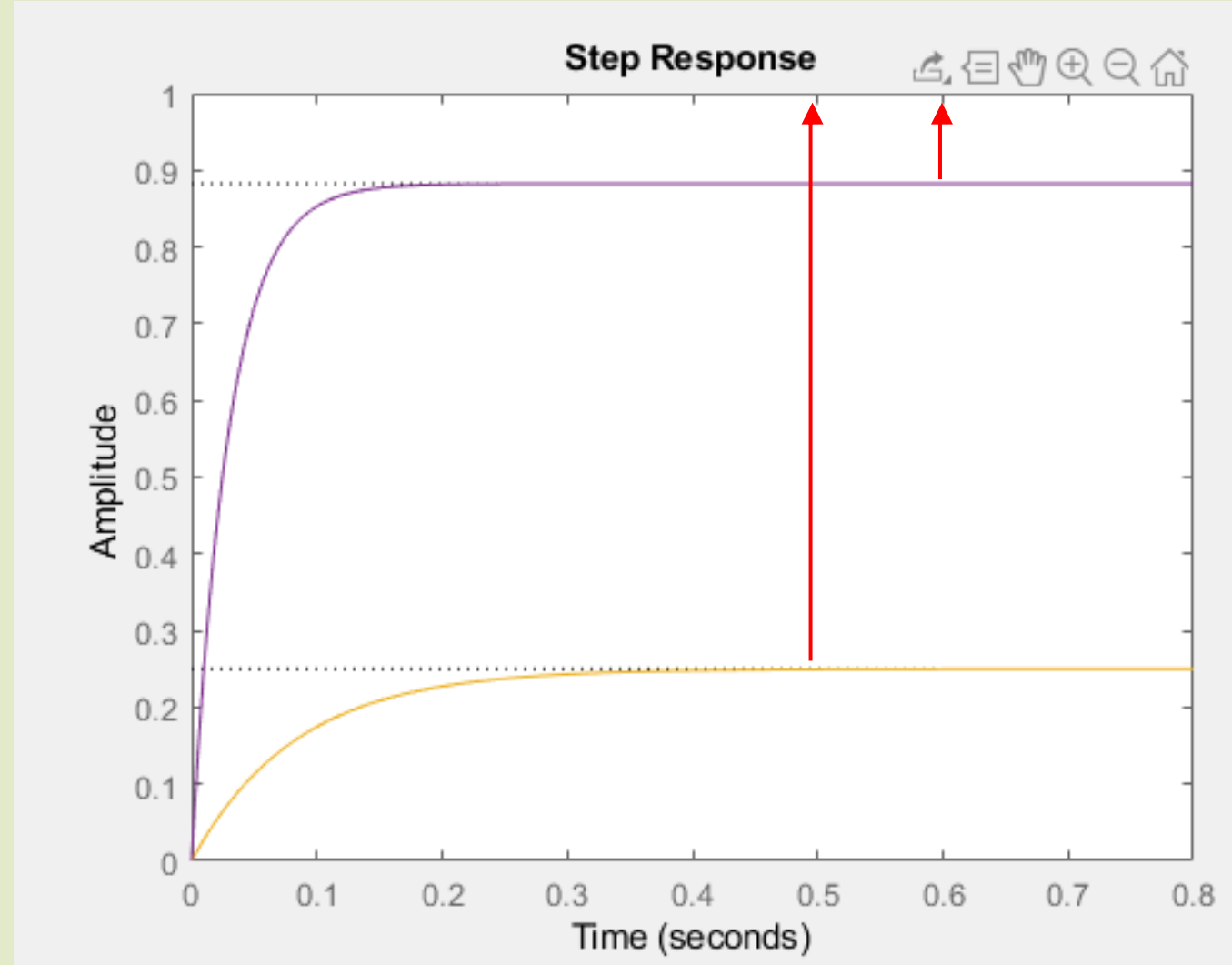
$$K_p = 1 \text{ için } y(t) = 0.428 - 0.428e^{-7t}$$

$$K_p = 10 \text{ için } y(t) = 0.88 - 0.88e^{-34t}$$

Oransal (P) Kontrolörler

```
%Oransal kontrolör soru
%kp=1 için
y1=tf(3,[1 12])
step(y1)
hold on
%kp=10 için
y2=tf(30,[1 34])
step(y2)
ylim([0 1])
```

Burada, Tip 0 sistemlerde, oransal kontrolörle basamak hatasının yok edilemeyeceği ve kazanç artırarak cevap hızının artırabileceği görülmektedir. Ancak kazancı fazla artırmak, sisteme aşırı giriş vermek anlamına gelir ve sistemi doyuma götürecektir.



Oransal (P) Kontrolörler

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{s^2 + 4s + K_p}$$

olur. Kapalı çevrim kontrol sistemin oransal kontrolörle birim basamak cevabı,

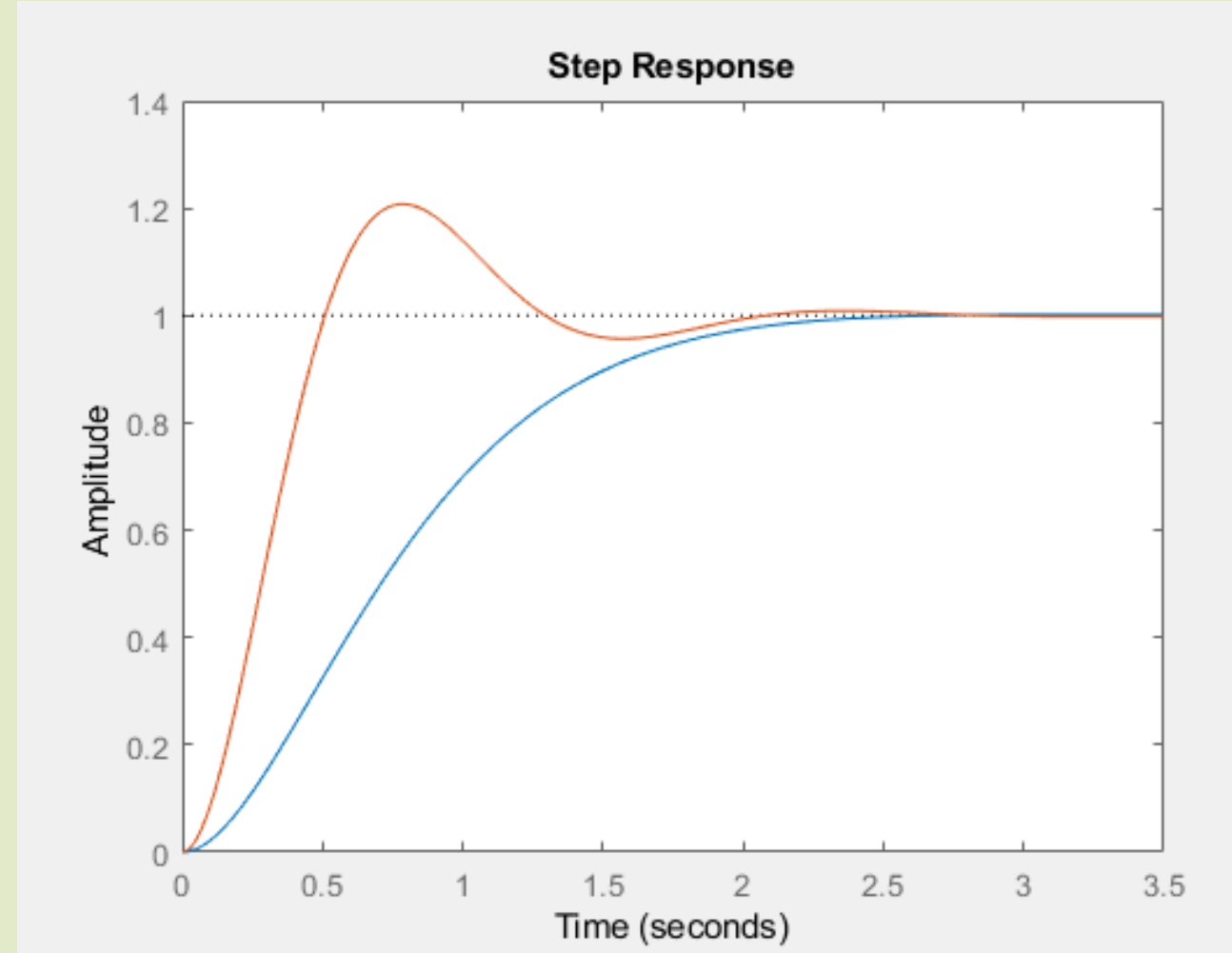
$$K_p=5 \text{ için } y(t) = 1 - e^{-2t} \{ \cos(t) + 2\sin(t) \}$$

$$K_p=20 \text{ için } y(t) = 1 - e^{-2t} \{ \cos(4t) + 0.5\sin(4t) \}$$

Oransal (P) Kontrolörler

```
%tip 1 ikinci derece sistem kp=5
clear, clc;close all
z1=tf(5, [1 4 5])
step(z1)
hold on
%kp=20 için
z2=tf(20,[1 4 20])
step(z2)
```

Tip 1 sistemlerde basamak hatası bulunmayacağından oransal kazancı arttırarak yanıt hızının arttırılabileceği görülmektedir. Ancak Tip 0 sistemlerde olduğu gibi kazancı çok arttırmak sistemi doyuma götürür ve maksimum aşmayı arttırır.

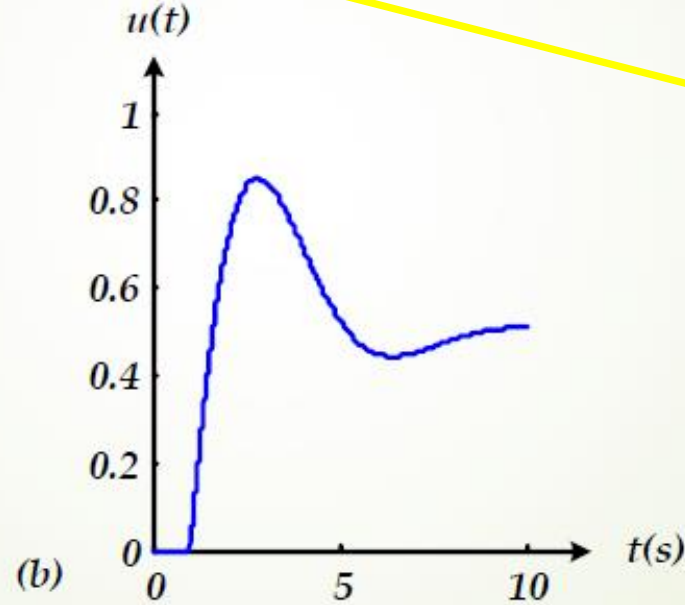
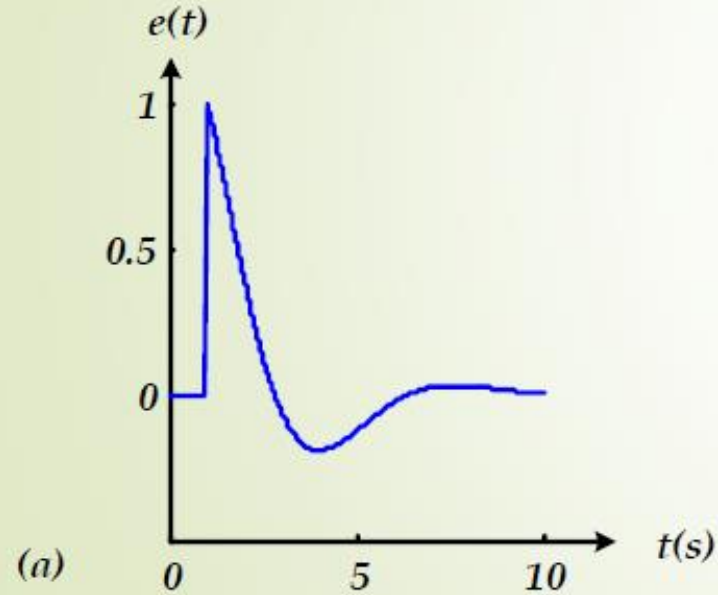
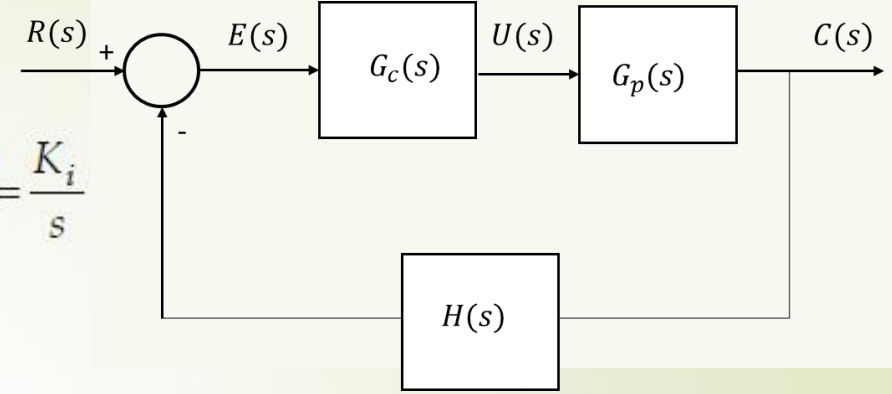


İntegral (I) Kontrolörler

İntegral kontrolörler hata sinyalinin integralini alır ve ayrıca belirli bir kazançla yükseltip/zayıflatarak kontrol girişini belirler.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$



Bu tür kontrolörlerde kontrol girişi hata sinyalinin zamana göre taradığı alanla ilişkili olacaktır.

Şekil 5.6 İntegral kontrol etkisi a-) kontrolör girişi b-) $K_i=1$ için kontrolör çıkışı

İntegral (I) Kontrolörler

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad G_c(s) = \frac{K_i}{s}$$

İntegral kontrolörün transfer fonksiyonuna orjinde bir kutup eklediğinden yani sistemin tipini 1 arttırdığından kontrol sistemlerinde kalıcı durum hatalarını bir kademe düzeltmiş olur.

Yani *tip 0* sistemlerde basamak hatasını, *tip 1* sistemlerde ise rampa hatasını sıfıra çeker.

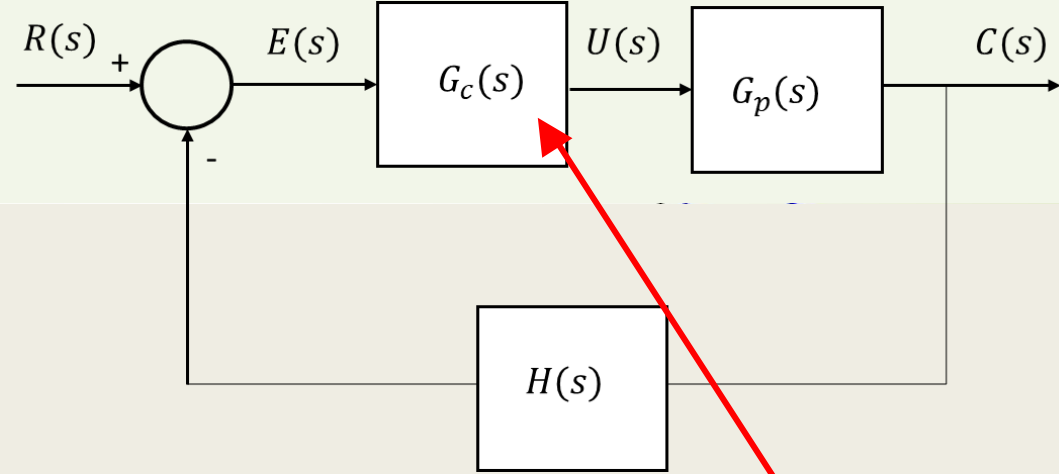
Ancak integral kontrolörlerin orjine bir kutup eklemesi genel olarak sistemi kararsızlığa sürükler.

Bu durum sistemin yanıt hızındaki yavaşlığın da sebebidir.

Temel görevleri sistemlerdeki kalıcı durum hatasını düzeltmektir.

Örnek 5.2 Seri kompanzasyon yapısına göre aşağıda verilen sistem için integral kontrolörün etkisini inceleyiniz.

$$G_p(s) = \frac{3}{s+4}$$



$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{3K_i}{s^2 + 4s + 3K_i}$$

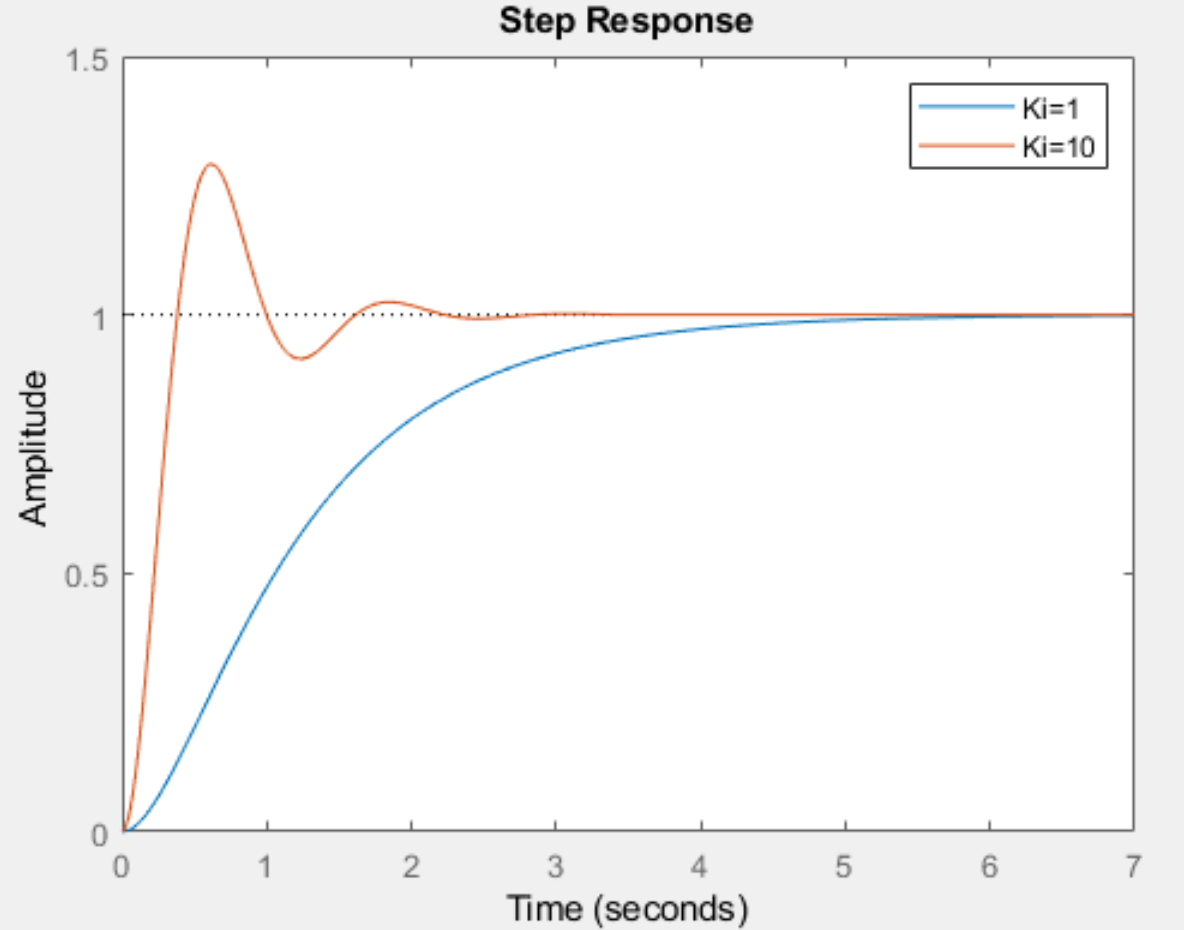
$$K_i = 1 \text{ için } c(t) = 1 - 1.5e^{-t} + 0.5e^{-3t}$$

$$K_i = 10 \text{ için } c(t) = 1 - e^{-2t}[\cos(0.51t) + 0.39\sin(5.1t)]$$

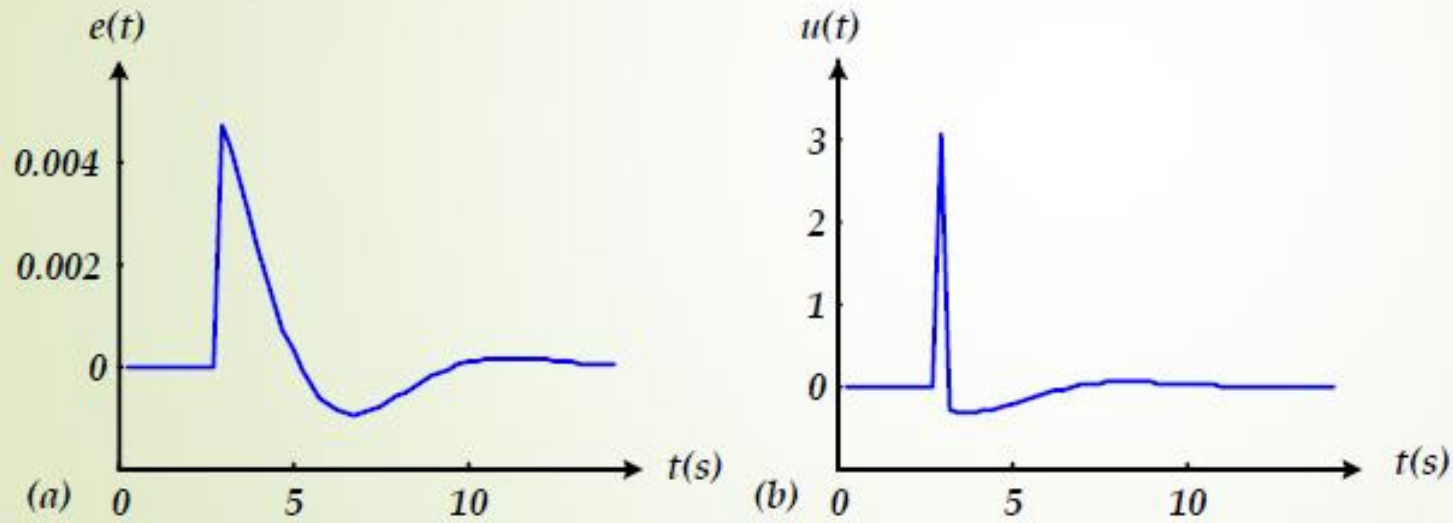
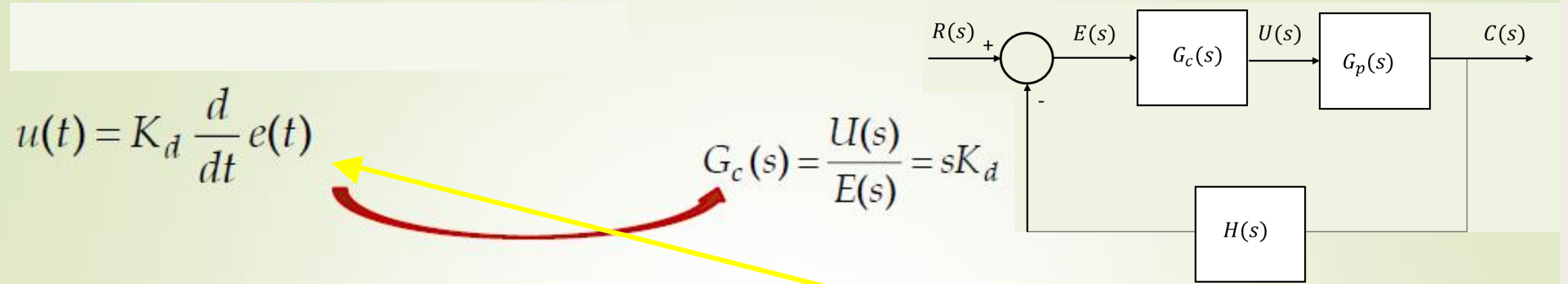
$$\frac{K_i}{s}$$

```
%İntegratör kontrolör soru  
%tip 0 2. derece sistem ki=1  
için  
y1=tf(3,[1 4 3])  
step(y1)  
hold on  
%ki=10 için  
y2=tf(30,[1 4 30])  
step(y2)  
ylim([0 1.5])  
legend('Ki=1','Ki=10')
```

İntegral denetleyici yükselme süresini de azaltır ve oransal denetleyicinin yaptığı gibi aşmayı artırır (çift etki). Yukarıdaki yanıt, integral denetleyicinin bu durumda kararlı durum hatasını ortadan kaldırdığını göstermektedir.



Türev (D) Kontrolörler



Bu tür kontrolörlerde kontrol girişi hata sinyalinin zamana göre eğimleri ile ilişkili olacaktır.

Şekil 5.7 Türev kontrol etkisi a-) kontrolör girişi b-) $K_d=1$ için kontrolör çıkışı

Türev (D) Kontrolörler

Türev kontrolörler hatanın hızlı değiştiği anlarda büyük bir kontrol girişi belirleyerek sisteme uyguladığı için hata oluşmadan düzeltme etkisi yapar. Dolayısıyla sistemin maksimum aşmasını düzeltme etkisi vardır.

Ancak hatanın sabitleşmesi durumunda çıkışı sıfır olacağı için sabit kalıcı durum hatalarını düzeltme etkisi yoktur.

Ayrıca, türev kontrolörler sisteme orjinde bir sıfır eklediği için sistemin tipini düşüren bir etkiye sahiptir. Orjinde sıfırı olan bir kontrol sistemi uygun bir sistem değildir.

Türevsel kontrolörlerin kalıcı durum hataları üzerinde doğrudan olumlu bir etkisi olmasa bile geçici yanıtı düzeltme etkileri, kontrolör kazancının daha yüksek seğilmesine ve dolaylı olarak kalıcı durum hatalarının iyileştirilmesine neden olabilir.

Türevsel kontrolörler, yalnızca hatanın değişimi sırasında etkili olduklarından kontrol sistemlerinde tek başlarına kullanılamazlar. Genellikle diğer kontrolörlerle, en azından oransal kontrolör ile birlikte kullanılabilir.

Türev kontrolörler, gürültü sinyallerine karşı çok hassastır. Bu nedenle pratikte kullanımları sorunludur.

Kontrol Sistemlerinin Tasarım Esasları

Şu ana kadar oransal, integral ve türev kontrolörlerin etkileri bireysel olarak incelenmiştir. Ancak çoğu zaman bu kontrolörler tek başlarına istenilen etkilere sahip olamaz. Bu nedenle temel kontrol etkilerinin birleşiminden meydana gelen PI, PD ve PID kontrolörler kullanılır.

PID kontrolörler, gerekirse PI veya PD olarak kullanılabilir.

Kontrol sistemlerinin tasarımı, geçici yanıt ve/veya kalıcı durum kontrol taleplerini karşılayacak şekilde kontrolörün seçimini ve seçilen kontrolörün parametrelerinin belirlenmesini ihtiva eder.

Geçici yanıt kontrol talepleri sönüm faktörü ζ ve doğal frekans ω_n olarak verilebileceği gibi, yükselme süresi t_r , yerleşme süresi t_{ss} ve maksimum aşma M cinsinden de verilebilir.

Kalıcı durum kontrol talebi ise herhangi bir giriş için kalıcı durum hatası veya hata katsayısı olarak verilebilir.

PI Kontrolörler

Oransal ve integral etkilerinin birleşiminden oluşan kontrolör yapısıdır ve kontrol girişi $u(t)$:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t)dt + K_p e(t)$$

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

Endüstriyel kontrolörlerde integral kazancı yerine integral zaman sabiti $T_i = \frac{K_p}{K_i}$ kullanılır.

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

Genel anlamda PI kontrolörler, sistemin tipini bir kademe yükselteceğinden kalıcı durum hatalarını düzelteceği ancak kararlılığını azaltacağı söylenebilir.

PD Kontrolörler

Oransal ve türev kontrolörlerin birleşiminden oluşur. Kontrol girişi $u(t)$:

$$u(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t) + K_p e(t)$$

$$G_c(s) = K_d s + K_p$$

Endüstriyel kontrolörlerde türev kazancı yerine türev zaman sabiti $T_d = \frac{K_d}{K_p}$ kullanılır.

$$G_c(s) = K_p (1 + T_d s)$$

Genel anlamda PD kontrolörler, sistemin geçici yanıt kontrol taleplerini kontrol etmek üzere tasarlanabilirler. Kalıcı durum hatalarına karşı doğrudan bir etkileri olmamasına rağmen geçici yanıtın iyileşmesi neticesinde daha yüksek kontrol kazancı seçilebileceği için dolaylı olarak kalıcı durum hatalarını etkilediği söylenebilir.

PID Kontrolörler

Oransal ve türev kontrolörlerin birleşiminden oluşur. Kontrol girişi $u(t)$:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

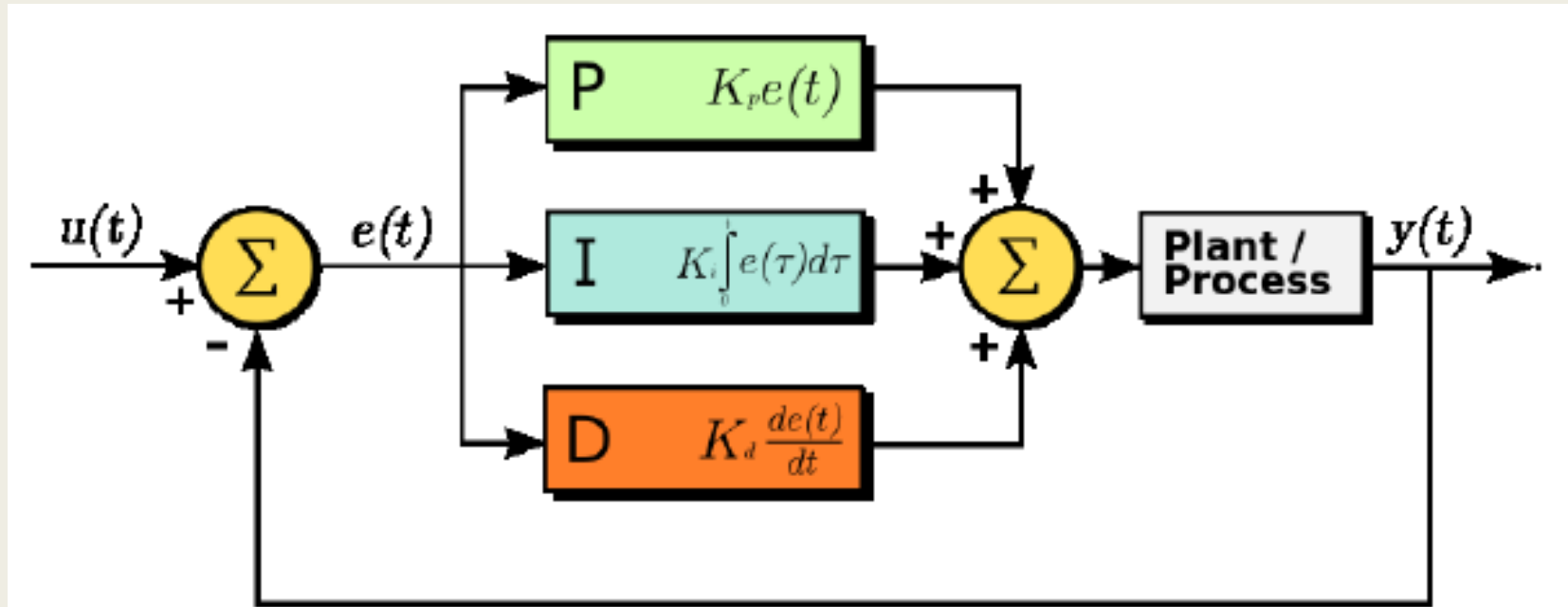
$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

Endüstriyel kontrolörlerde integral zaman sabiti ve türev zaman sabiti kullanıldığında:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

PID kontrolörler, gerektiğinde $K_d=0$ yapılarak PI kontrolör veya $K_i=0$ yapılarak PD kontrolör olarak da kullanılabilirler. Doğal olarak hem geçici yanıt kontrol kriterleri hem de kalıcı durum kontrol kriterleri üzerinde etkilidir.

PID Kontrolörler



$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

PID Kontrolörler

PID gain	Overshoot	Settling time	Steady-state error
Increasing k_p	Increases	Minimal impact	Decreases
Increasing k_i	Increases	Increases	Zero error
Increasing k_d	Decreases	Decreases	No impact