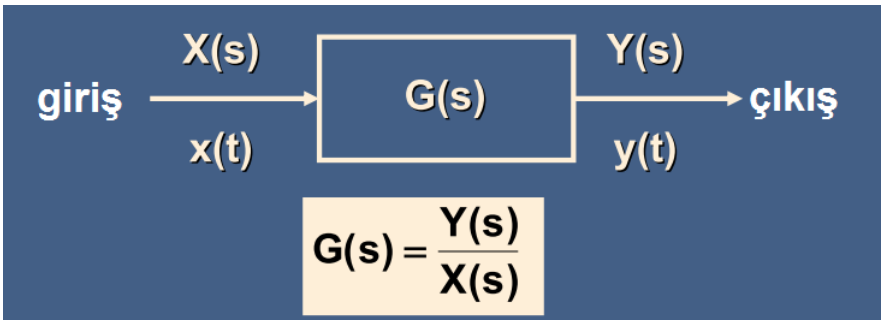
BÖLÜM-6 BLOK DİYAGRAMLARI

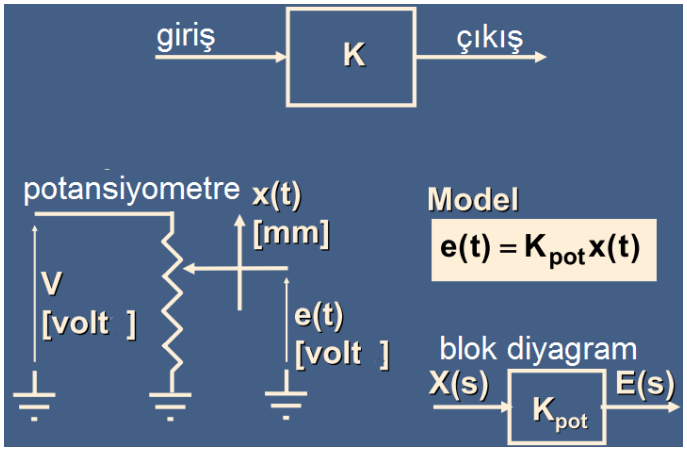
- Kontrol sistemlerinin “görünür” hale getirilmesi
  - Bileşenlerin transfer fonksiyonlarını gösterir.
  - Sistemin fiziksel yapısını yansıtır.
  - Kontrol giriş ve çıkışlarını karakterize eder.
- Kontrol sistemlerinin kullanışlı bir analizi
  - Transfer fonksiyonları tabanlı
  - Blokların basit yönlendirilmesi
  - Blok diyagramlarının basitleştirilmesi
  - Sistem transfer fonksiyonlarının alınması

Bloklar

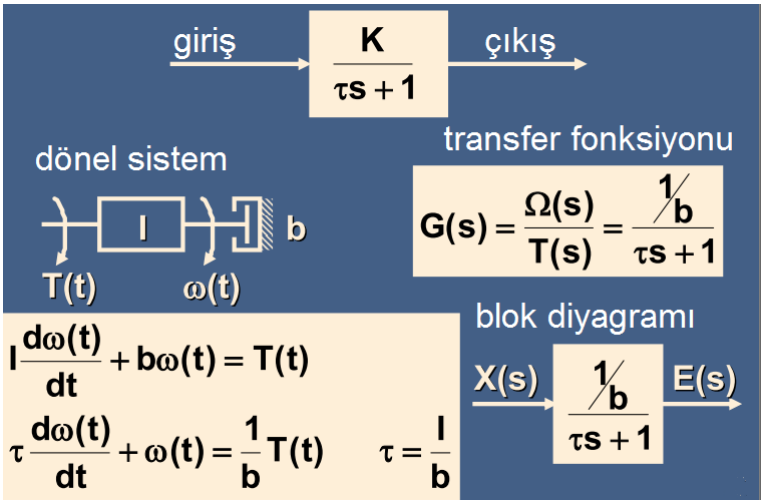


- Bloklar tek yönlüdür (giriş ┌ çıkış)
- G(s) bloğun transfer fonksiyonudur. (Laplace dönüşümünün çıkışı y(t) ile girişi x(t) arasındaki orandır)

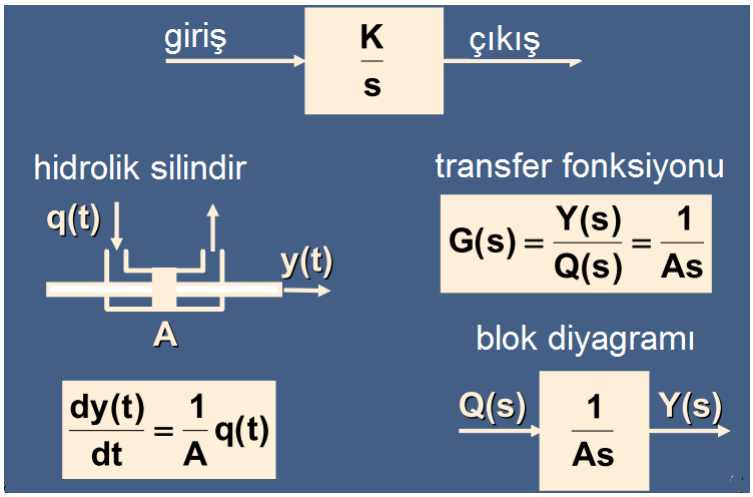
Oransal blok



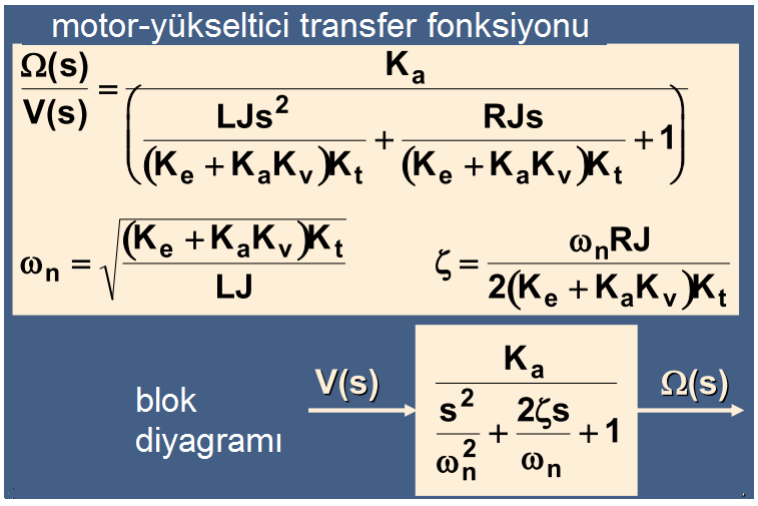
Zaman sabiti bloğu



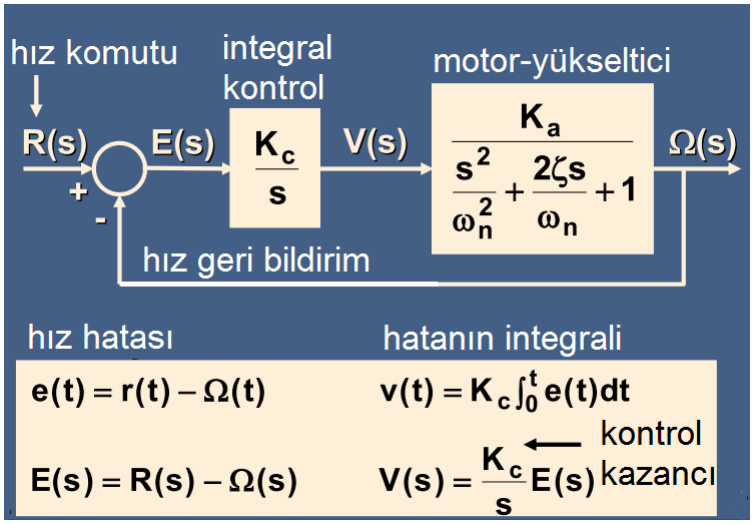
Bütünleşen blok



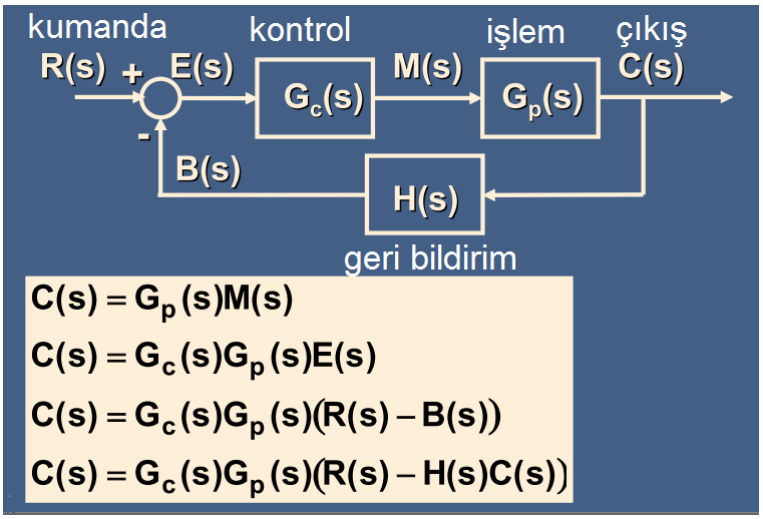
İkinci dereceden blok



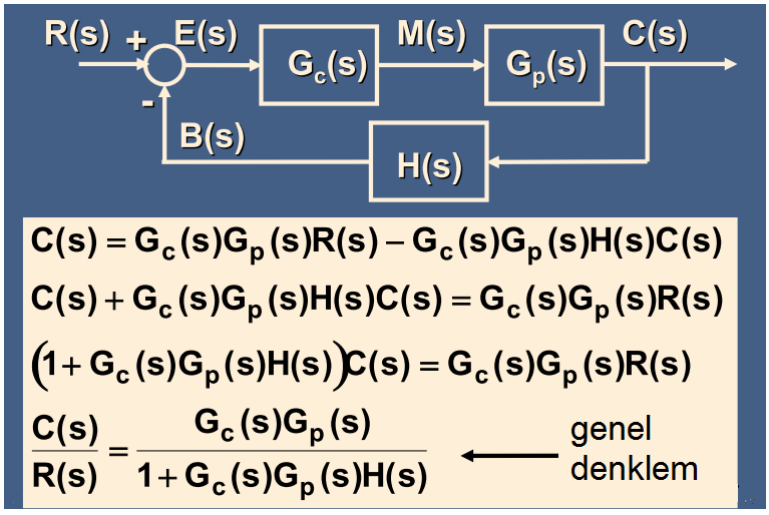
Sistem blok diyagramı



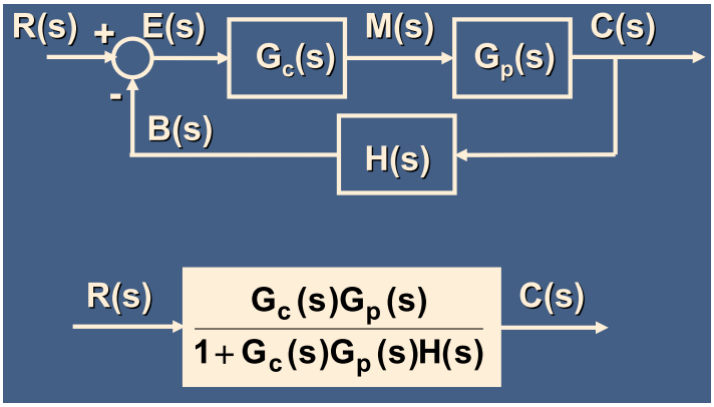
Kapalı döngülü transfer fonksiyonu



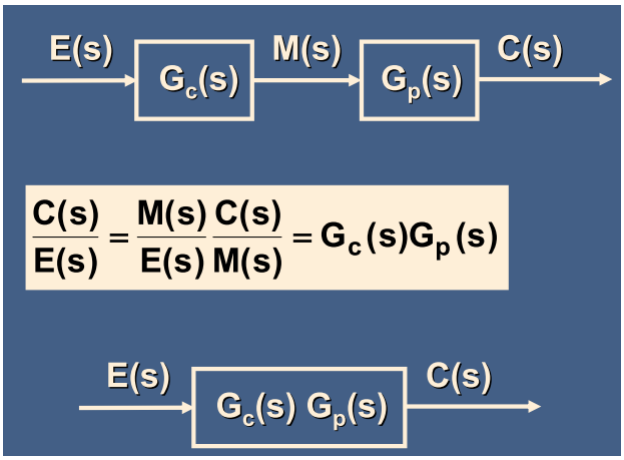
Kapalı döngülü transfer fonksiyonu



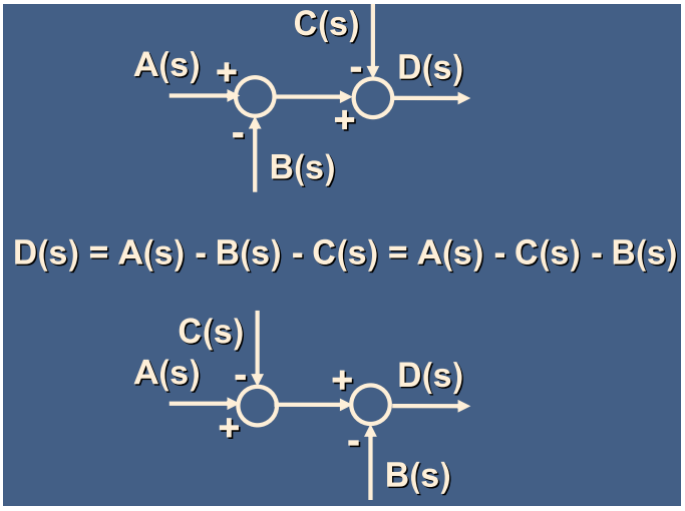
Blok diyagram azalımı



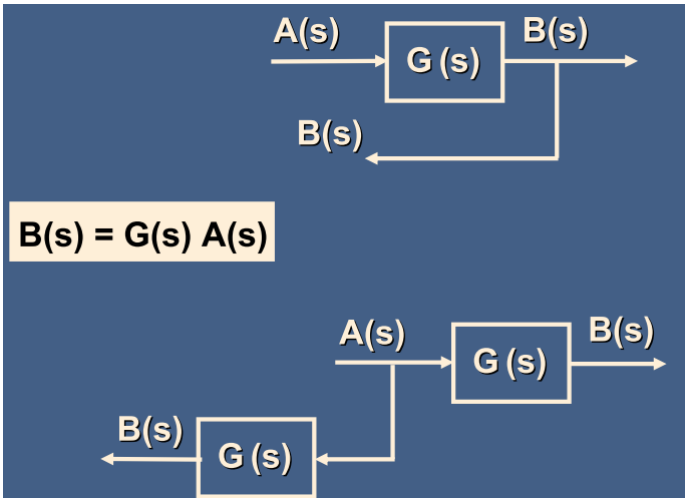
Basamaklı blokların birleştirilmesi



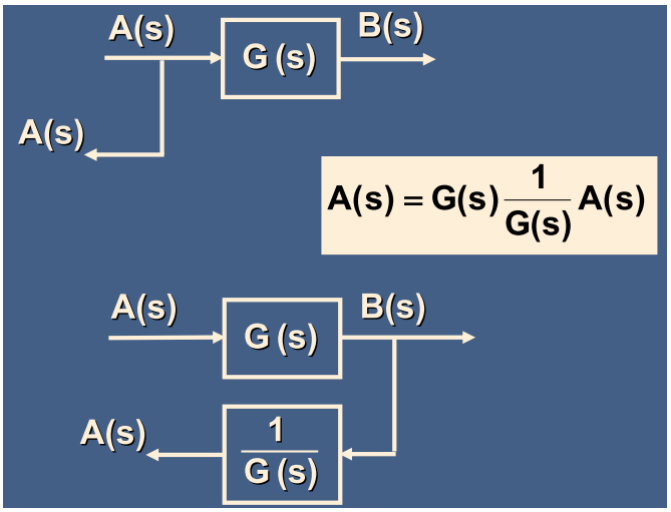
Toplama noktalarının ilişkisi



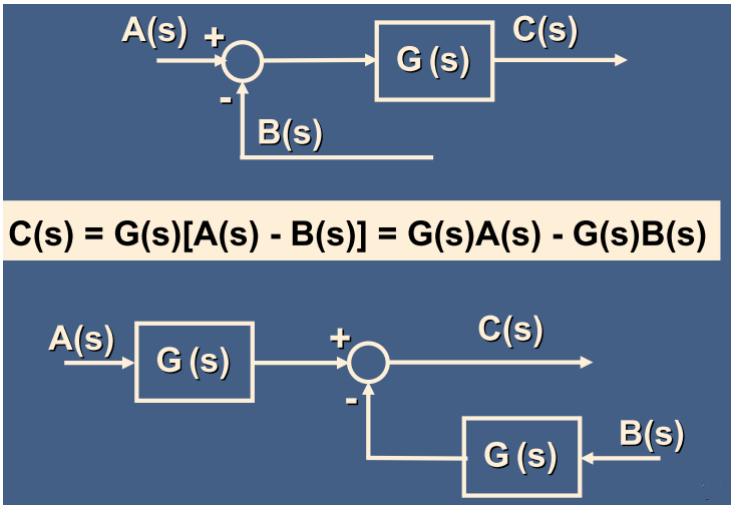
Ayrılma noktasının ilerideki bloğa doğru kaydırılması



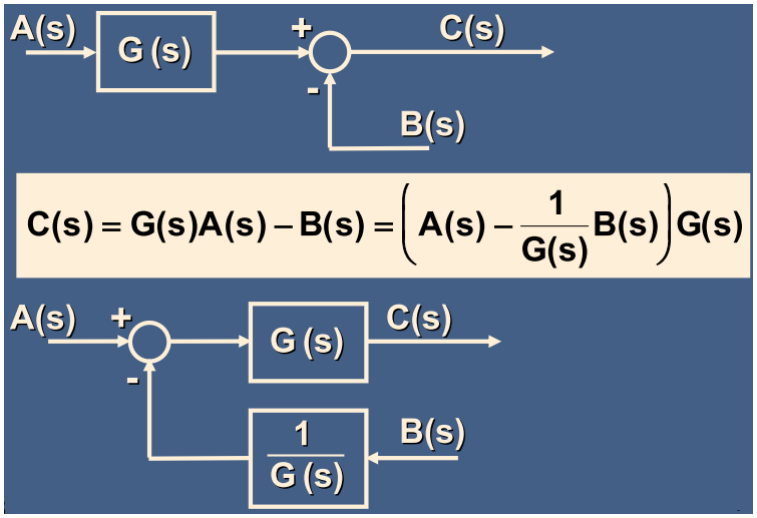
Ayrılma noktasının bloğun arkasına doğru kaydırılması



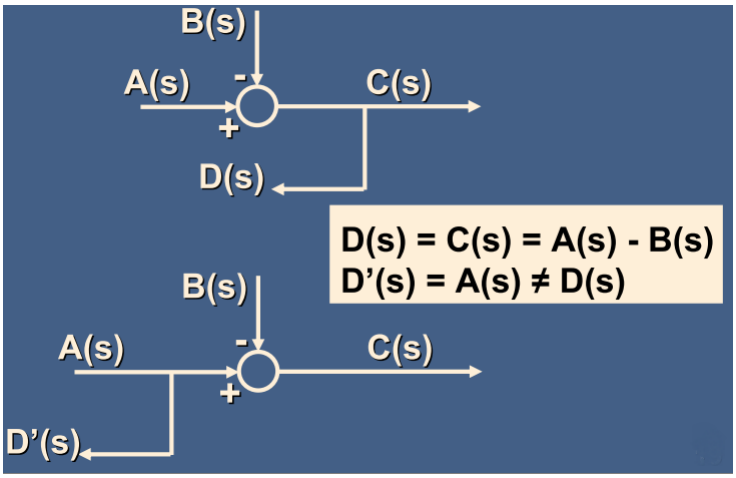
Bloğun arkasına doğru toplama noktasının kaydırılması



Bloğun önüne doğru toplama noktasının kaydırılması



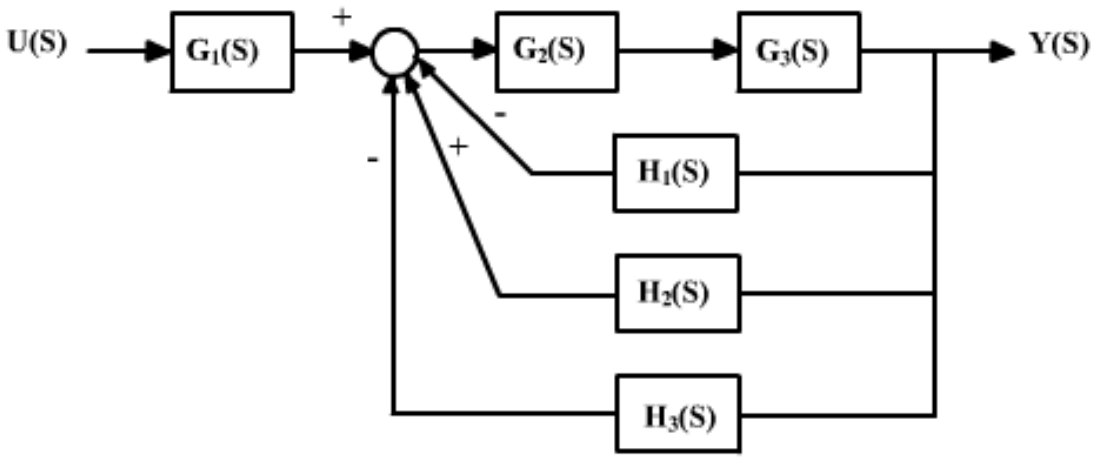
Ayrılma ve toplama noktaları kesinlikle yer değiştirilmemeli!



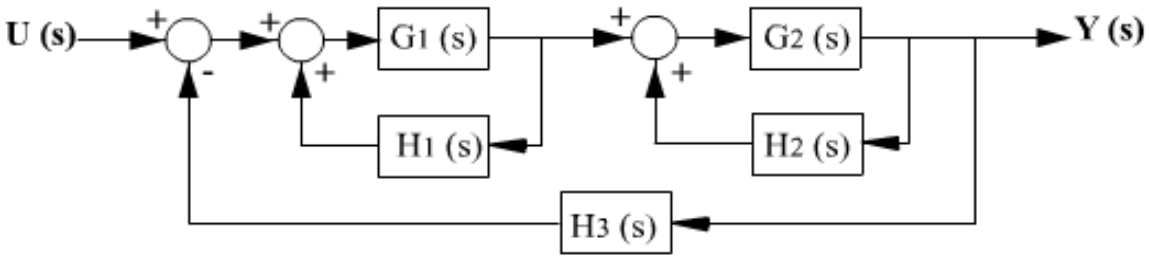
6.BÖLÜM SORULARI

Aşağıda verilen blok diyagramlarını sadeleştiriniz.

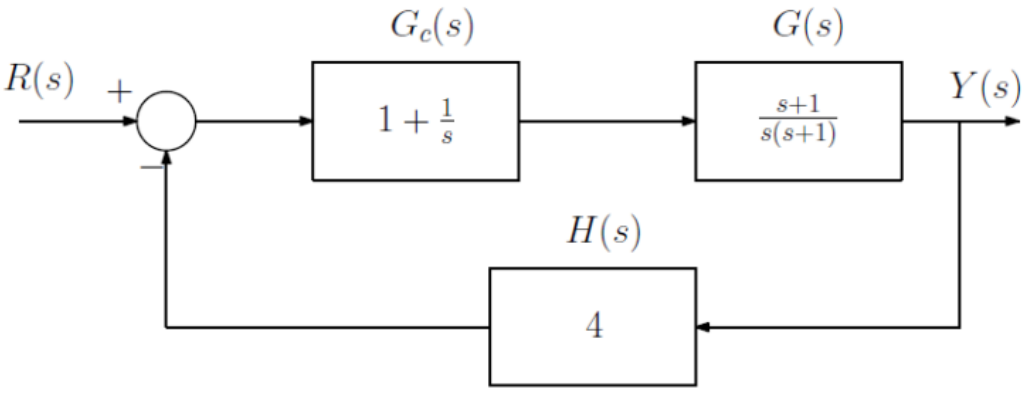
1)



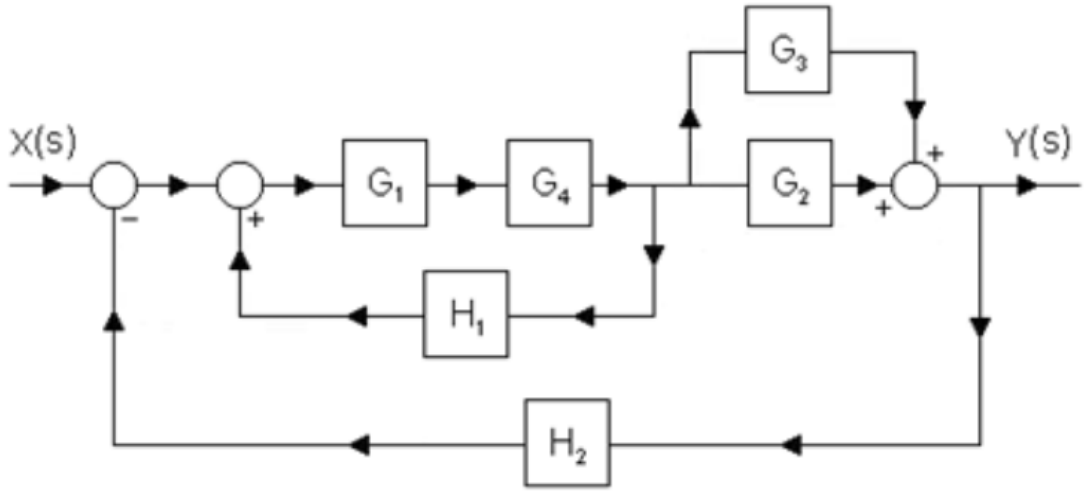
2)



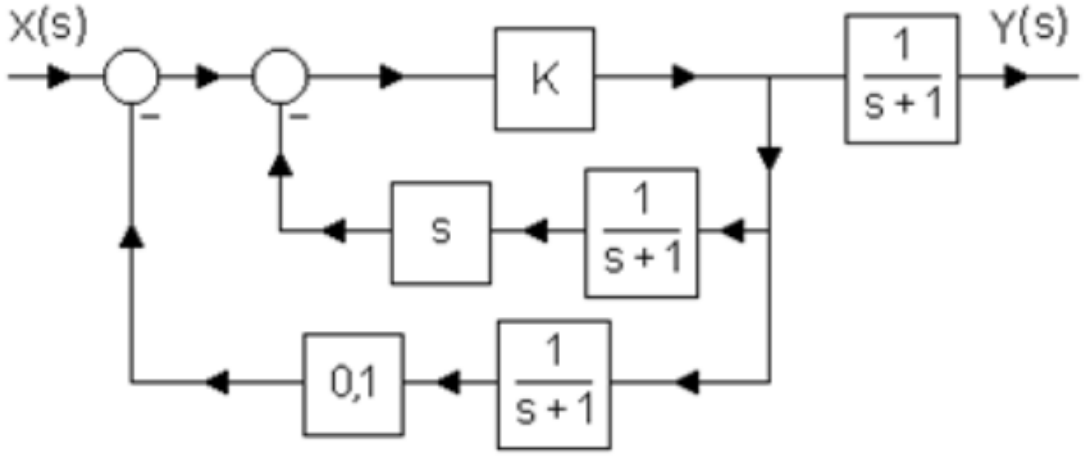
3)



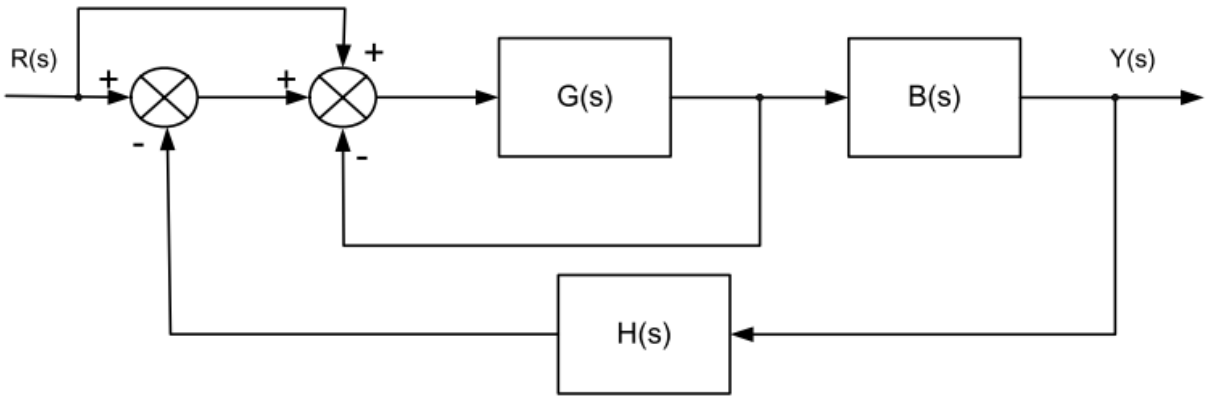
4)



5)

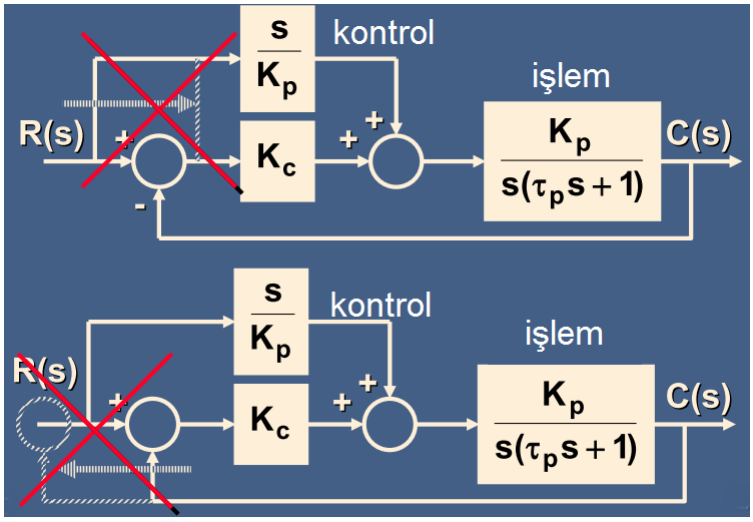


5)

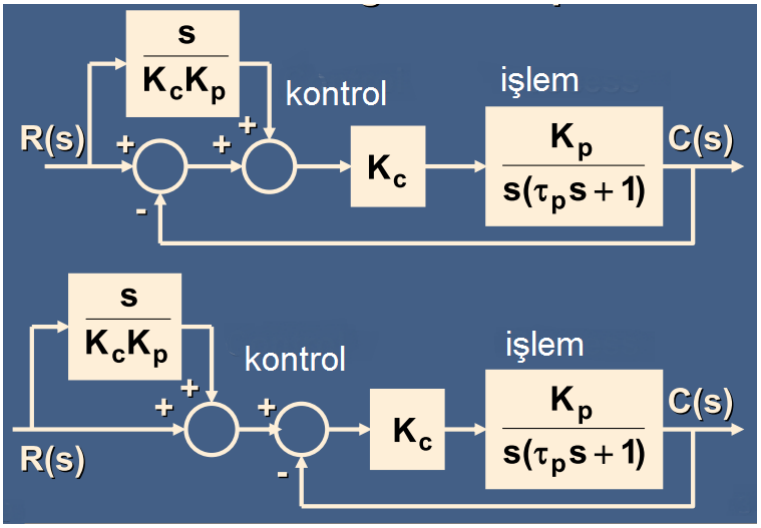


BÖLÜM-7 SİNYAL AKIŞ GRAFİKLERİ

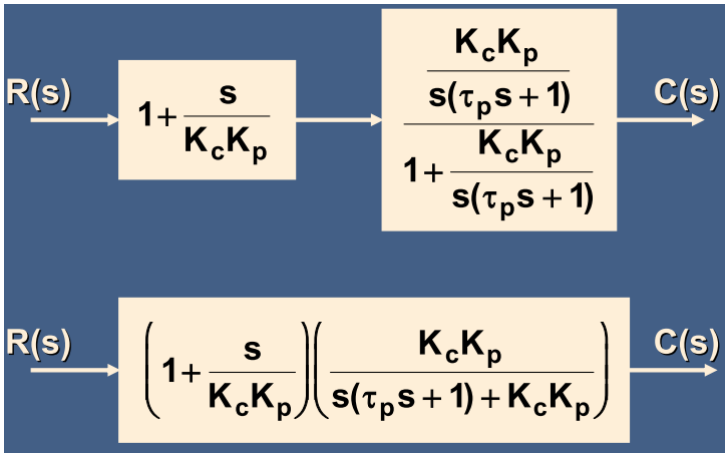
Hatalı blok diyagram yönlendirmeleri



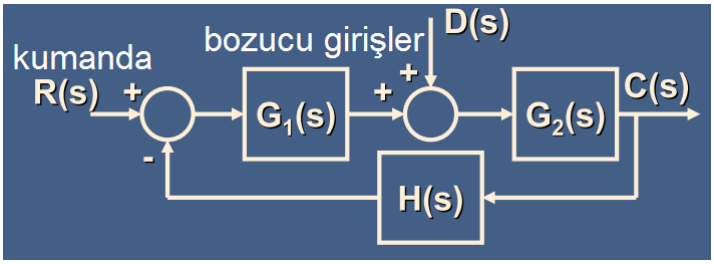
Doğru blok diyagram yönlendirmeleri



Blok diyagram sadeleştirme



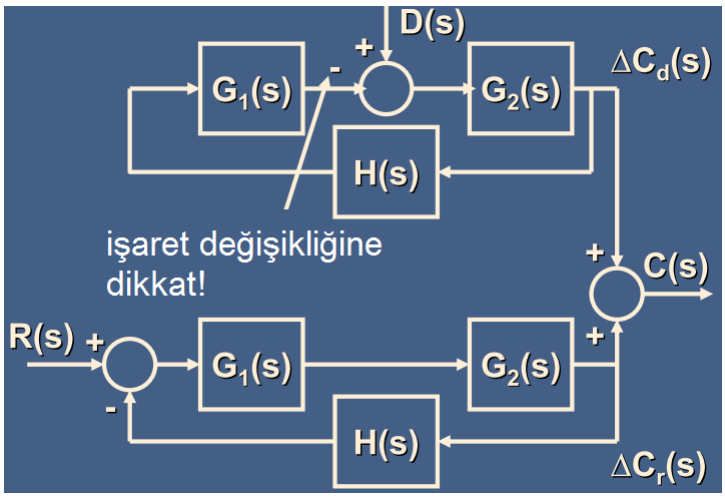
Blok diyagramı ve bozucu girişler



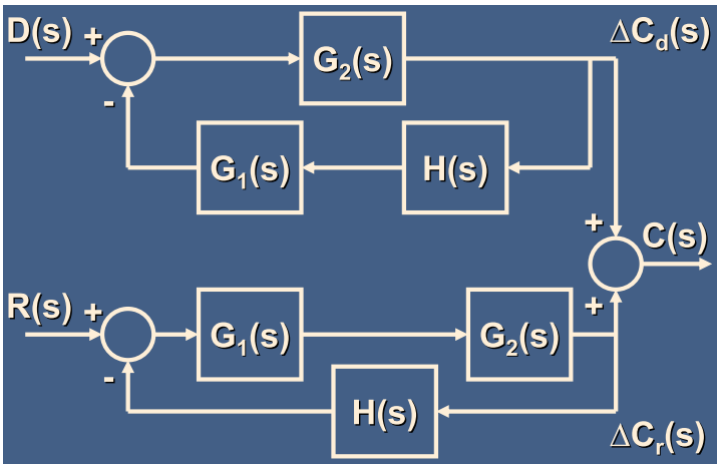
Bir bozucu giriş; sistem çıkışını etkileyen istenmeyen veya öngörülemeyen sistem girişleridir.
Örnekler:

- Motor kontrolünde moment yükü
- Klima kontrolünde kapının açık kalması

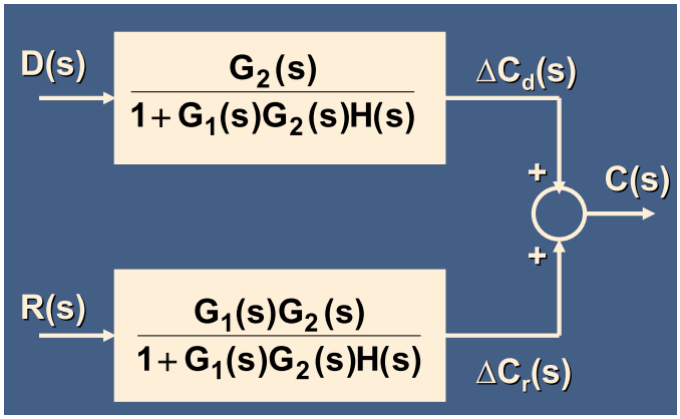
Süper pozisyon: $C(s)=\Delta C_r(s)+\Delta C_d(s)$



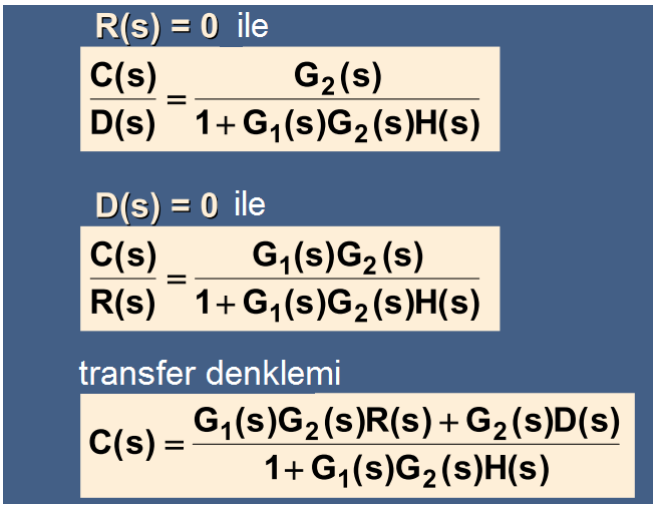
Bozucu kısmın tekrar çizilmesi



Sadeleştirilmiş blok diyagramı



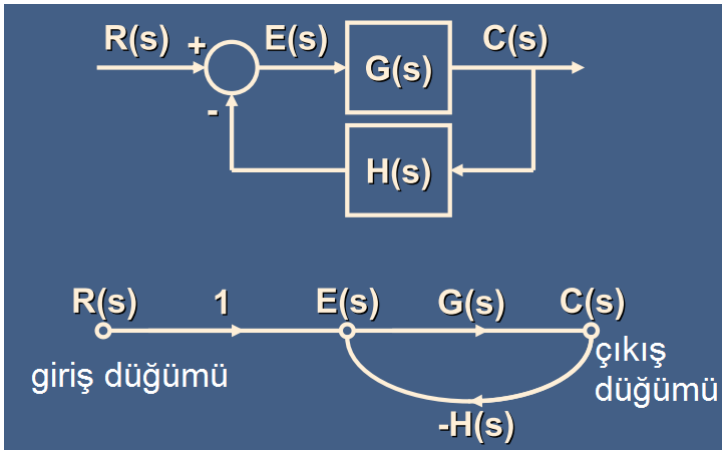
Bireysel transfer fonksiyonları



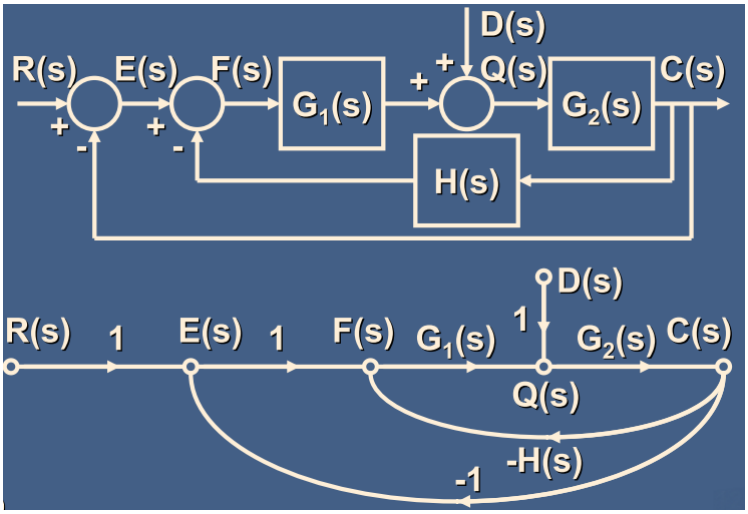
Sinyal akış diyagramlarının kullanımı

- Blok diyagramı yaklaşımı için alternatif
  - ➢ Karmaşık sistemlerden daha iyi olabilir.
  - ➢ Oldukça iç içe geçmiş sistemler için iyidir.
  - ➢ Sistem değişkenleri düğümlerle temsil edilir.
  - ➢ Hatlar arasındaki düğümler sistem değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösterir.
- "Akış grafik kazanç formülü" (Mason) diyagramda yönlendirme veya azaltmaya gitmeksizin transfer fonksiyonunun doğrudan hesaplanmasına imkân verir.

Basit sinyal akış diyagramı



Sinyal akış grafik örneği



Mason Kazanç Formülü Terimleri

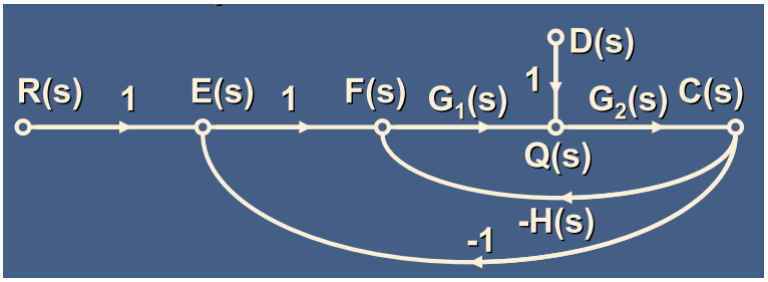
- Yol: Bir dal veya dallar arasındaki sıralardan bir düğümden diğerine çapraz geçişler.
- Döngü: Bir düğümden iki kez geçmeden aynı düğümden başlayıp aynı düğümde sonlanan kapalı yol.
- Temassız: İki döngü bir düğümü ortak kullanmıyorlarsa temassızdır.
- Kazanç: Bu durumda transfer fonksiyonunun ürününü ima eder.

Mason Kazanç Formülü

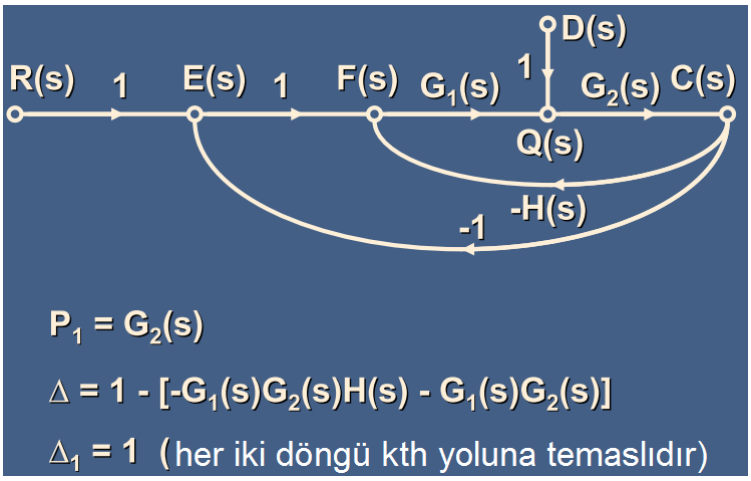
$$\frac{O(s)}{I(s)} = \sum_k \frac{P_k \Delta_k}{\Delta}$$

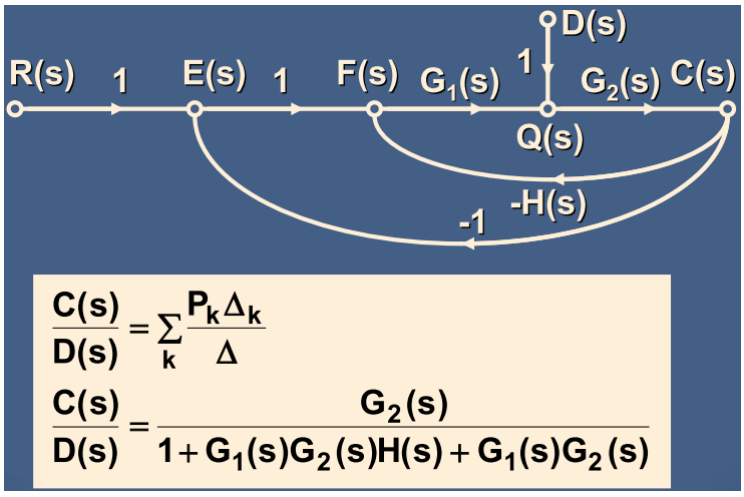
- P_k=k^{th}'nin ileri doğru giriş ve çıkışları arasındaki kazancı
- Δ=1 –(bireysel döngü kazançlarının toplamı)
  + (2 temassız döngünün tüm kombinasyonlarının kazanç ürünü toplamı)
  - (3 temassız döngünün tüm kombinasyonlarının kazanç ürünü toplamı)
  +…
- Δ_k=k^{th}'nin ileri doğru temassız grafik parçası için Δ değeri

Kazanç formülü kullanım örneği



- R(s)=0 kabul edip C(s)/D(s) transfer fonksiyonunu bulmak istiyoruz.
- D(s)'den C(s)'ye ileri doğru yalnızca bir yol olduğundan k=1 olur.
- İki döngü mevcuttur. Bunlar temaslıdır.

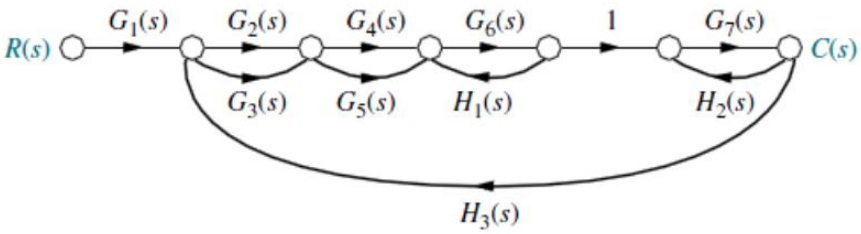




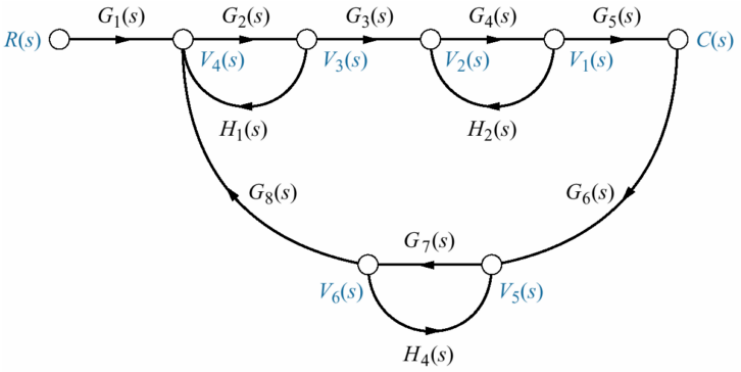
7.BÖLÜM SORULARI

Aşağıda verilen işaret diyagramlarını sadeleştiriniz.

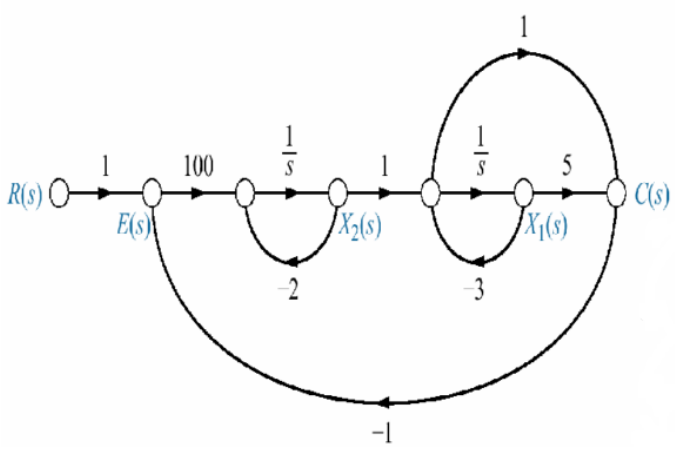
1)



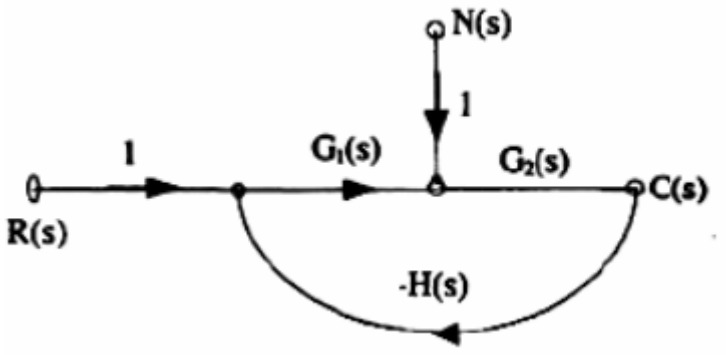
2)



3)



4)

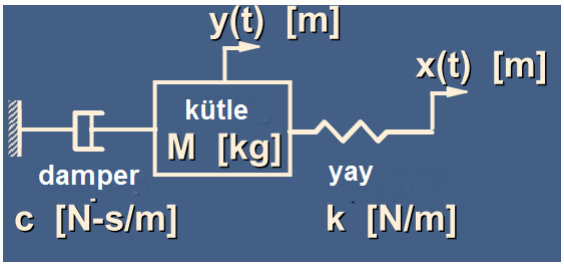


BÖLÜM-8 SİSTEM BENZEŞİMİ

Sistem benzeşiminin kullanımı

- Sistem davranışının anlaşılması:
  - ➢ Gerçek sistemi test etmek zor olabilir.
  - ➢ Sistem henüz donanım olarak mevcut olmayabilir.
- Tasarıma yardımcı olur:
  - ➢ "Ne var" sorusunun cevabı
  - ➢ Final sistem tasarımının yinelenmesi (tekrarı)
  - ➢ Tamamlamadan önce sistemin doğrulanması
- Benzeşim modelinin seçimi
- Kullanılan modelin doğrulanması

Yay-kütle-damper sistemi



$$M\frac{d^2y(t)}{dt^2}+c\frac{dy(t)}{dt}+ky(t)=kx(t)$$

$$\frac{1}{\omega_n^2}\frac{d^2y(t)}{dt^2}+\frac{2\zeta}{\omega_n}\frac{dy(t)}{dt}+y(t)=x(t)$$

$$\text{where } \omega_n=\sqrt{\frac{k}{M}} \qquad \zeta=\frac{c}{2\sqrt{kM}}$$

Sistem sönümlemesi

- $\zeta>1$: aşırı sönümlü
  (zorlamasız tepki salınım yok)
- $\zeta<1$: yetersiz sönümlü
  (zorlamasız tepki sakınımlı)
  - $\zeta=1$: kritik sönüm
    (zorlamasız tepki salınım yok)
  - İki örnekte ω_n=1.414 rad/s
    ζ=0.3536 (yetersiz sönümlü)
    ζ=1.0610 (hafifçe aşırı sönümlü)

Giriş-çıkış cevabının alınması

- Verilen bir giriş fonksiyonundan çıkış elde etmek için sistem eşitliklerinin çözümü:
  - ○ Açık verim, kesin çıkış fonksiyonu

- Her giriş fonksiyonu için farklı çözüm
- Ancak tüm basit giriş fonksiyonları için zordur.
- Zaman temelli benzeşim sistemi:
- Formülasyon tüm giriş fonksiyonları için benzerdir.
- Çözüm yaklaşımı zaman adımları ve sayısal integrasyon temellidir.

Yay-Kütle-Damper Çözümü

$$\frac{1}{\omega_n^2}\left(s^2Y(s)-sy(0^-)-\dot{y}(0^-)\right)+\frac{2\zeta}{\omega_n}\left(sY(s)-y(0^-)\right)+Y(s)=x(s)$$

x(t)=0 ve başlangıç şartlarında:
Kütle konumu=0.15 [m]
Kütle hızı=0 [m/s]

$$\frac{1}{\omega_n^2}\left(s^2Y(s)-0.15s\right)+\frac{2\zeta}{\omega_n}\left(sY(s)-0.15\right)+Y(s)=0$$

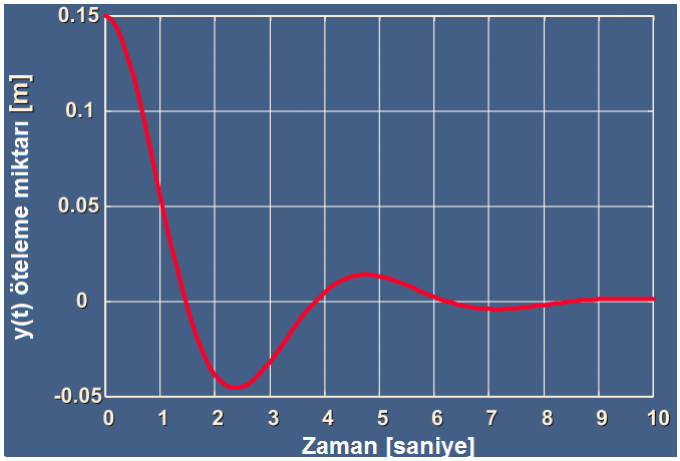
Yay-Kütle-Damper Çözümü (ζ<1)

$$Y(s)=\frac{0.15\left(\frac{2\zeta}{\omega_n}+\frac{s}{\omega_n^2}\right)}{\left(\frac{s^2}{\omega_n^2}+\frac{2\zeta s}{\omega_n}+1\right)}=\frac{0.15(s+2\zeta\omega_n)}{\left((s+\zeta\omega_n)^2+\left(1-\zeta^2\right)\omega_n^2\right)}$$

Laplace dönüşümlerini kullanarak:

$$y(t)=0.15\frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}t-\phi\right)$$
$$\text{where } \phi=\cos^{-1}\zeta$$

Cevap çizimi:
x(t)=0 [m], ω_n=1.414 [rad/s], ζ=0,3536



Yay-Kütle-Damper Çözümü (ζ>1)

$$Y(s)=\frac{0.15\left(\frac{2\zeta}{\omega_n}+\frac{s}{\omega_n^2}\right)}{\left(\frac{s^2}{\omega_n^2}+\frac{2\zeta s}{\omega_n}+1\right)}=\frac{0.15(s+2\zeta\omega_n)}{(s+a)(s+b)}$$

$$\text{where}\quad a,b=\zeta\omega_n\pm\omega_n\sqrt{\zeta^2-1}$$

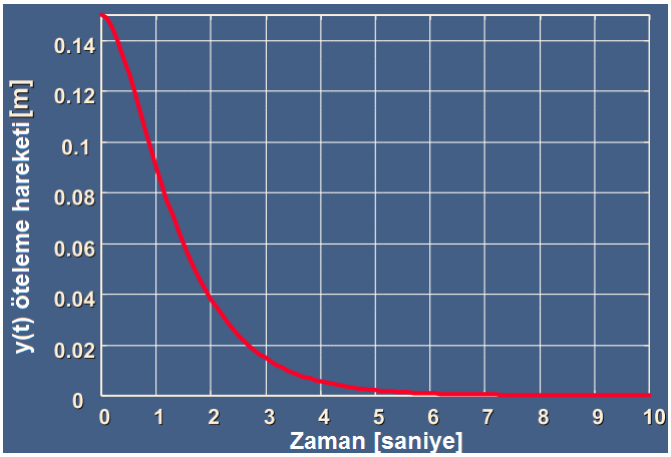
Laplace dönüşümlerini kullanarak:

$$y(t)=0.15\frac{1}{(b-a)}\left((\alpha-a)e^{-at}-(\alpha-b)e^{-bt}\right)$$

$$\text{where}\quad \alpha=2\zeta\omega_n$$

Cevap çizimi:

x(t)=0 [m], ω_n=1.414 [rad/s], ζ=1.0610



Yay-kütle-damper benzeşimi

Denklemlerin belirlenmesi

$$\frac{dy'(t)}{dt}=\omega_n^2\left(x(t)-\frac{2\zeta}{\omega_n}y'(t)-y(t)\right)$$

$$\frac{dy(t)}{dt}=y'(t)$$

Örnek: Δt zaman adımı ile Euler integrasyonu

$$Y'(t+\Delta t)\Leftarrow Y'(t)+\omega_n^2\left(x(t)-\frac{2\zeta}{\omega_n}Y'(t)-y(t)\right)\Delta t$$

$$y(t+\Delta t)\Leftarrow y(t)+Y'(t)\Delta t$$

Δt zaman adımının seçimi

- Δt zaman adımını benzeşim yapılacak sistemin karakteristik zamanından daha kısa olacak şekilde seçin.
- Karakteristik zamanlar:
- İşlem ve kontrol cihazı zaman sabitleri
- İşlem gecikmeleri
- Kapalı döngülü sistem zaman sabitleri
- Doğal frekans sönümlemeleri

$$\tau_c = \frac{1}{\omega_d} = \frac{1}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Yay-kütle-damper zaman adımı

$$\omega_n = 1.414\ [\text{rad/s}],\ \zeta = 0.3536:$$

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2} = 1.323\ [\text{rad/s}]$$

$$\Delta t << \frac{1}{\omega_d} = 0.756\ [\text{s}]$$

$$\omega_n = 1.414\ [\text{rad/s}],\ \zeta = 1.0610:$$

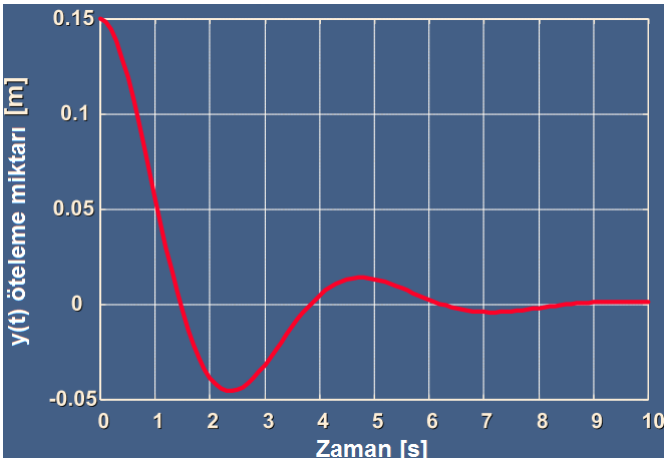
$$a,b = \zeta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\zeta^2-1} = 2,1$$

$$\Delta t << \min\left[\frac{1}{a},\frac{1}{b}\right] = \min\left[\frac{1}{2},\frac{1}{1}\right] = 0.5\ [\text{s}]$$

Δt=0,01 [s] kullanın. Δt=0,001 [s] ile karşılaştırın.

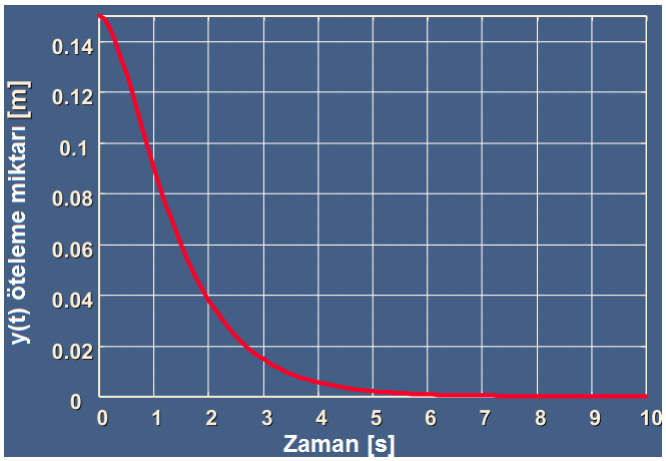
Cevap çizimi:

x(t)=0 [m], ω_n=1,414 [rad/s], ζ=0,3536

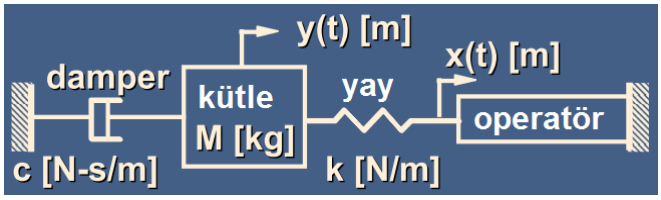


Cevap çizimi:

x(t)=0 [m], ω_n=1,414 [rad/s], ζ=1,0610



Konum kontrol benzeşimi



İntegral kontrol:

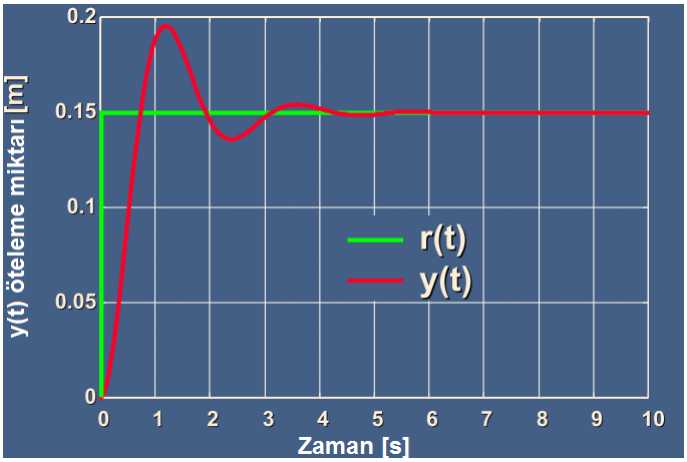
$$x(t) = k_c \int_0^t (r(t) - y(t))dt$$

$$x(t + \Delta t) \Leftarrow x(t) + k_c[r(t) - y(t)]\Delta t$$

$$\dot{y}(t + \Delta t) \Leftarrow \dot{y}(t) + \omega_n^2\left(x(t) - \frac{2\zeta}{\omega_n}\dot{y}(t) - y(t)\right)\Delta t$$

$$y(t + \Delta t) \Leftarrow y(t) + \dot{y}(t)\Delta t$$

Sönümlenmiş sistem adım cevabı (aşırı sönümlenmiş işlem)

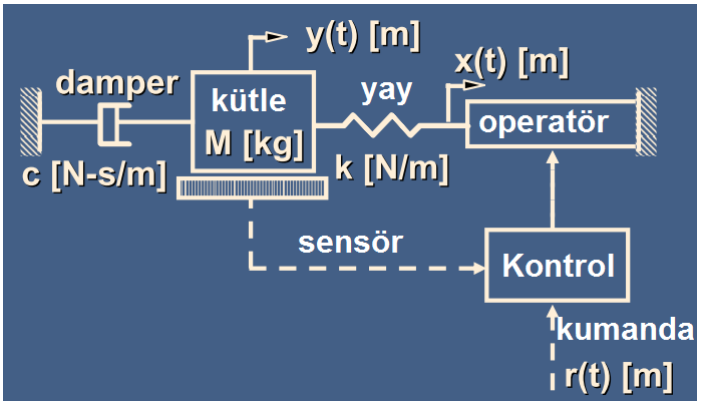


TASARIM ÖRNEĞİ-1

Kontrol Sistemlerinin Tasarımı

- Sistem model ve tasarımını anlamak
- Kontrol amaçlarını (ihtiyaçlarını) anlamak
- Kontrol mimarisini seçmek
- Kontrol kazançlarını düzenlemek (çok sayıda yöntemlerle)
- Hedefe (ihtiyaçlara) ulaşılmış mı?
- Performans hassasiyetlerinin sistem parametrelerindeki değişimlere etkisini araştırın.
- Gerekiyorsa, kazançları veya mimariyi değiştirin.

Kütle konum kontrolü



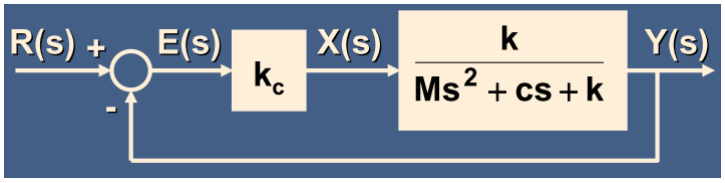
Oransal kontrol:

$e(t)=r(t)-y(t)$

$x(t)=k_c e(t)$

Kütle konum kontrolü blok diyagramı

$$M\frac{d^2y(t)}{dt^2}+c\frac{dy(t)}{dt}+ky(t)=kx(t)$$
$$e(t)=r(t)-y(t)$$
$$x(t)=k_c e(t)$$



Konum kontrol benzeşimi: Algoritma

başlangıç : $M,\ c,\ k,\ x(0),\ y(0),\ \dot{y}(0),\ n = 0$

Tekrar (hatırlatma)

$$r(n\Delta t) \Leftarrow \text{"calculate for time } n\Delta t\text{"}$$
$$e(n\Delta t) \Leftarrow r(n\Delta t) - y(n\Delta t)$$
$$x(n\Delta t) + k_c e(n\Delta t)$$
$$\dot{y}((n+1)\Delta t) \Leftarrow \dot{y}(n\Delta t) + \frac{1}{M}(kx(n\Delta t) - c\dot{y}(n\Delta t) - ky(n\Delta t))\Delta t$$
$$y((n+1)\Delta t) \Leftarrow y(n\Delta t) + \dot{y}(n\Delta t)\Delta t$$
$$n \Leftarrow n+1$$

Konum kontrol benzeşimi: MATLAB

```
% oransal kontrol kazancı
kc=2;
% sistem katsayıları
M=1, c=3, K=2;
% kontrol işlem transfer fonksiyonu
Gnum=[kc*k]
Gden=[M c k]
% kapalı döngü transfer fonksiyonu
[Gnum,Gden]=cloop(Gnum,Gden)
% birim adım giriş adımı için cevap çizimi
```

Konum kontrol tasarımı

- Adım girişi için sistem cevabının hedefleri:

Konum 1 [s] de kumandanın %5'i içinde

En fazla aşma miktarı %20

- Ne ayarlanabilir?

Oransal kontrol kazancı k_c

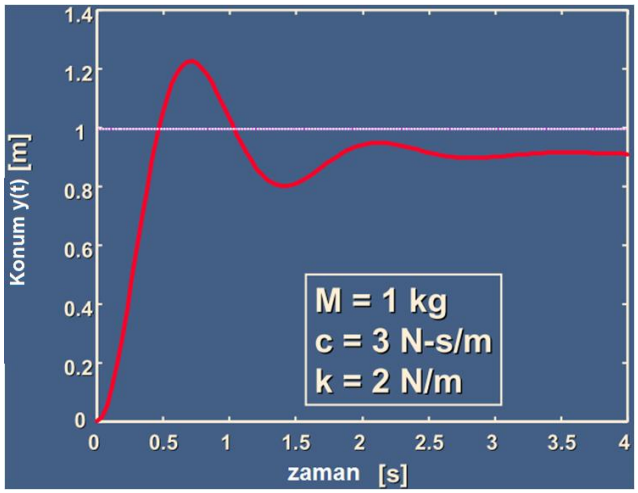
İşlem parametreleri değiştirilemez!

- Tasarım yöntemi:

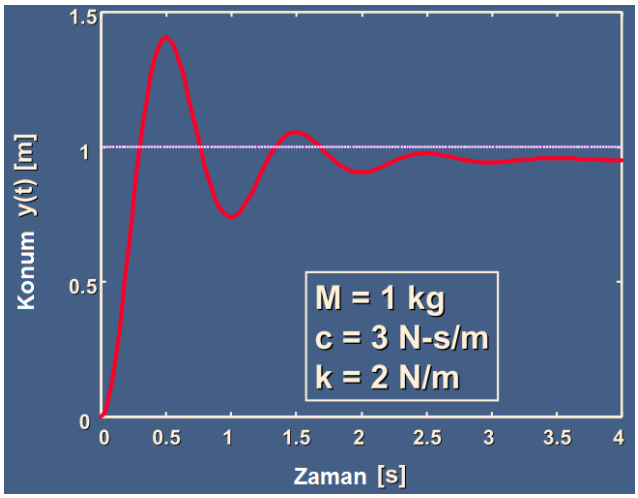
k_c ile denenecektir.

Ortaya çıkan sonucu gözleyin.

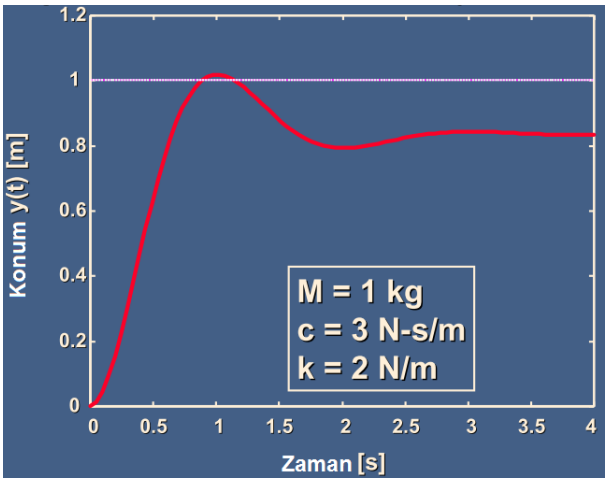
Sistem adım cevabı: k_c=10 [m/m]



Sistem adım cevabı: k_c=20 [m/m]



Sistem adım cevabı: k_c=5 [m/m]



Sistem adım cevabı

- İşlem aşırı salınımlı
- Hedeflere tam olarak ulaşılamadı

Düşük kazanç ile yavaş cevap (tepki)

Yüksek kazanç ile büyük aşma

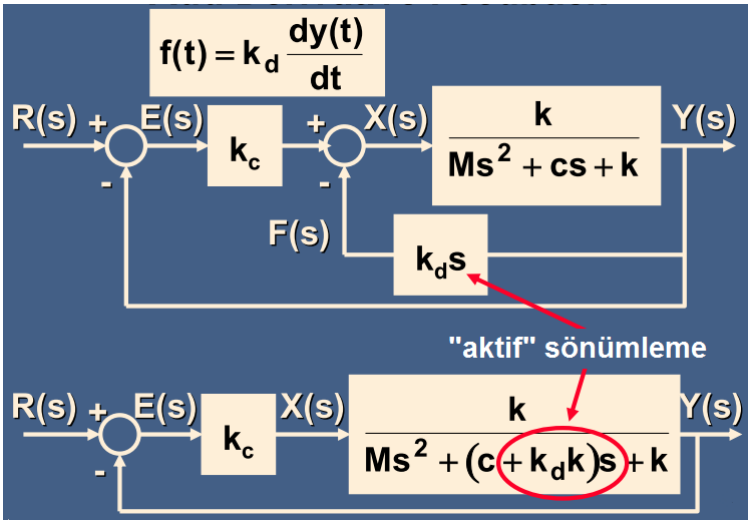
Düşük kazanç ile büyük kararlı durum hatası

- Değerlendirme:

Kontrol mimarisini değiştirmek gerekli

Yüksek kazanç ile sistemde daha fazla sönümleme oluşturarak salınımları azaltmalı

Türev geri beslemesi ekleme



Konum kontrol tasarımı

- Adım girişi için sistem cevabının hedefleri:

Konum 1 [s] de kumandanın %5'i içinde

En fazla aşma miktarı %20

- Ne ayarlanabilir?

Oransal kontrol kazancı k_c

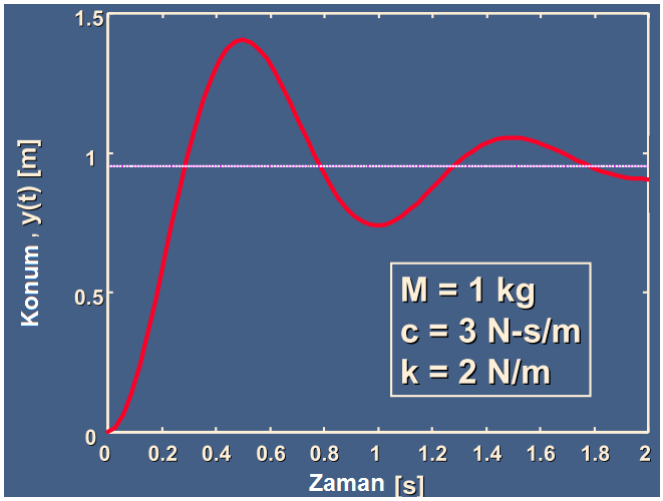
Türevsel kontrol kazancı k_d

- Tasarım yöntemi:

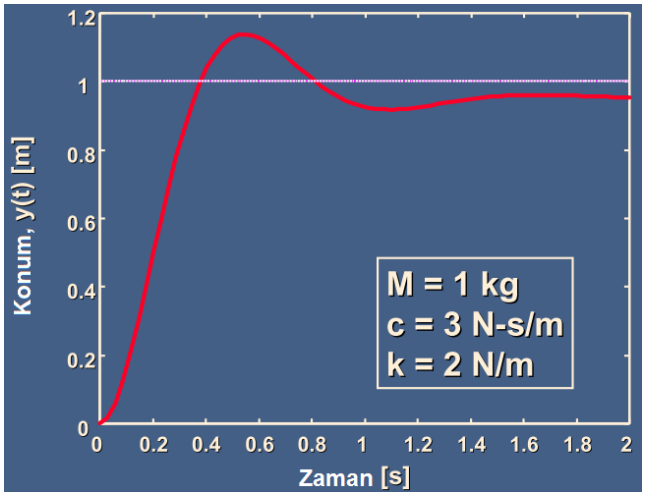
Hem k_c hem de k_d ile denenecektir

Ortaya çıkan sonucu gözleyin.

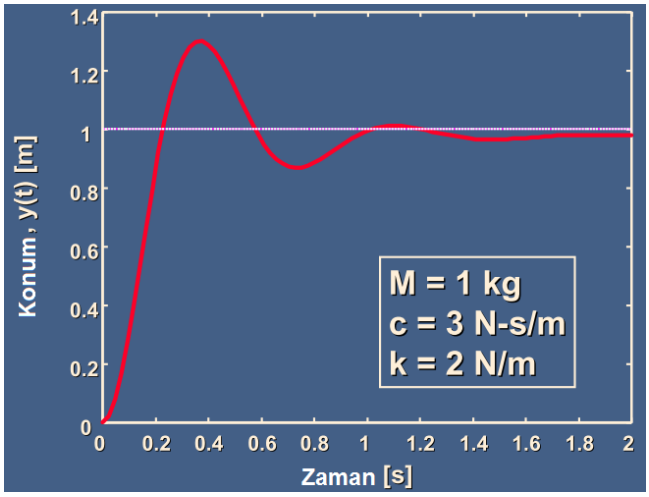
Sistem adım cevabı: k_c=20, k_d=0



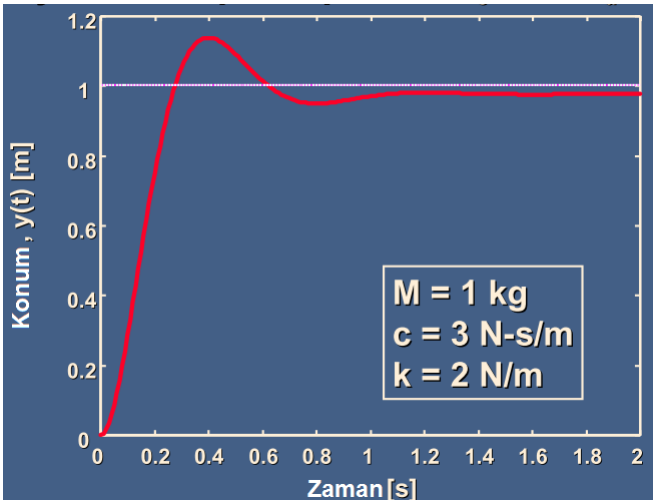
Sistem adım cevabı: k_c=20, k_d=3



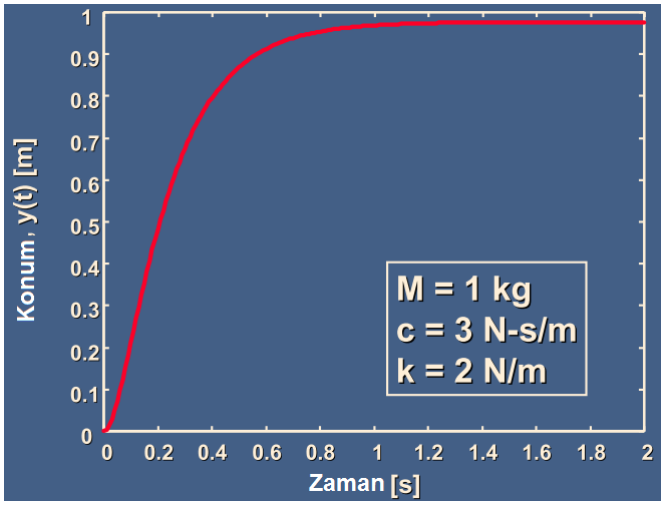
Sistem adım cevabı: k_c=40, k_d=3



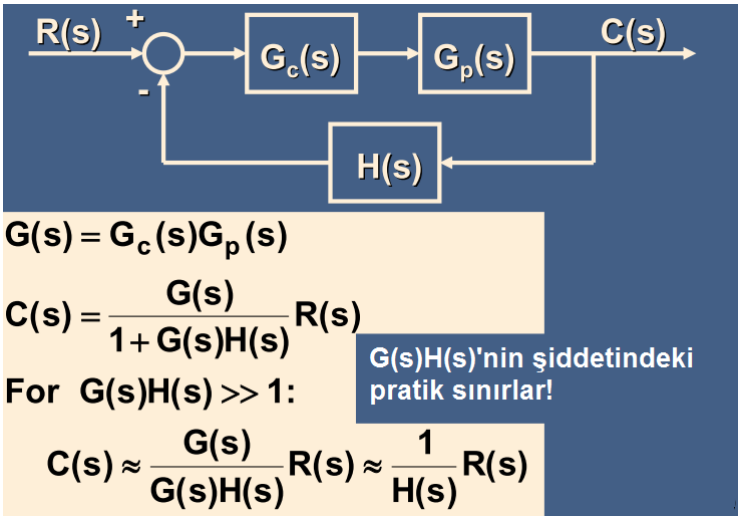
Sistem adım cevabı: k_c=40, k_d=6



Sistem adım cevabı: k_c=40, k_d=18



Kapalı döngülü sistem cevabı



İçermeler (Hatırlatmalar)

- AsG(s)H(s) artırırken (daha büyük G(s) veya H(s)), G(s)'nin etkisi azaltıyor
- G(s)H(s)'nin şiddetinde pratik sınırlar mevcut
- Geri bildirim kontrolü G(s)'nin parametrelerindeki değişimin hassasiyetini azaltır
- Sistem fonksiyonları da işlem değişkenleri gibidir.
- Sistem H(s)'nin değişimlerine karşı hassastır.
- Geri bildirim elemanları (sensörler, vb.) zamanla, çevresel faktörlerle değişmemeli.

İşlem değişkenlerinin hassasiyeti

$$\frac{C(s)+\Delta C(s)}{R(s)} = \frac{(G(s)+\Delta G(s))}{1+(G(s)+\Delta G(s))H(s)}$$

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

$$\frac{\Delta C(s)}{R(s)} = \frac{\Delta G(s)}{(1+G(s)H(s)+\Delta G(s)H(s))(1+G(s)H(s))}$$

If $\Delta G(s) << G(s)$

$$\frac{\Delta C(s)}{R(s)} \approx \frac{\Delta G(s)}{(1+G(s)H(s))^2}$$

sistem transfer fonksiyonlarında değişme

Şayet G(s) H(s)>>1'den küçükse

"Güçlü" (Robust) kontrol sistemleri

- Güçlü bir sistem, işlem karakteristiklerinde belirsizlikler olduğunda istenen performansı sağlar
- İşlem değişkenlikleri:

-Birimler arasındaki değişkenlik

-Aşınma, zamanla bozulma

-Mevsimsel/çevresel değişimler

-Kötü kullanım, yanlış ayar, arıza

- Daima sistemi güvenli kararlı tutar