



T.C

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

EET-305 KONTROL SİSTEMLERİ LABORATUVARI

DENEY FÖYÜ

Prof. Dr. Muammer GÖKBULUT

DENEYLER

Deney 1: MATLAB PROGRAMLAMA-I

Deney 2: MATLAB PROGRAMLAMA-II

Deney 3: MATLAB KONTROL SİSTEMLERİ TOOLBOX'IN KULLANIMI-I

Deney 4: MATLAB KONTROL SİSTEMLERİ TOOLBOX'IN KULLANIMI-II

Deney 5: MATLAB / SIMULINK PROGRAMI

Deney 6: KONTROL SİSTEMLERİNİN ZAMAN BÖLGESİ KARAKTERİSTİKLERİ VE PID KONTROLÖR TASARIM ESASLARI

Deney 7: KÖKLERİN YER EĞRİSİ ANALİZİ VE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

Deney 8: FREKANS CEVABI ANALİZİ VE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

NOT:

- Deneyler her hafta programda belirtilen saatte mesleki yazılım uygulamaları laboratuvarında yapılacaktır, deney başlamadan 15 dk önce laboratuvarda hazır bulununuz.
- Deney föyünde bulunan bilgilere, deneye gelmeden önce çalışarak geliniz.
- Deney föyünde verilen MATLAB fonksiyonlarından yararlanarak uygulamaların programını yazarak laboratuvar çalışmasına geliniz.

MATLAB PROGRAMLAMA DİLİ

A-) Amaç: MATLAB programlama komut ve fonksiyonlarını kullanarak denklem takımlarının çözümü, veri çözümlene işlemleri, grafik çizimi vs. gibi programlar hazırlayabilmek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

MATLAB, MATrix LABoratory sözcüklerinden gelir. Başta mühendislik alanında olmak üzere sayısal analiz yöntemlerini kullanan bilimlerde son yıllarda oldukça sık kullanılan bir hazır yazılım paketidir. Özellikle yüksek performans gerektiren algoritma hazırlama ve geliştirme, sayısal analiz, benzetim, mühendislik problemlerinin sayısal ve grafik çözüm tekniklerinde son derece etkindir. MATLAB programı, çeşitli mühendislik alanları için hazırlanmış Toolbox' ları da ihtiva eden kapsamlı bir programdır. Ancak burada, MATLAB programlama komut ve fonksiyonlarını kullanarak çeşitli program örnekleri incelenecektir.

MATLAB ortamına girildiğinde görülen `>>` biçimindeki MATLAB komut girme iletisinin önüne tek tek MATLAB komut ya da fonksiyonları yazılarak çalıştırılabilir. Ancak kullanıcının, programını **File** → **New** → **M-file** menüsünden açılan text editörü içerisine yazarak ve *.m uzantısı ile kaydederek çalıştırması pratik açıdan daha uygundur.

Deneyel/Uygulama çalışmalarına başlamadan önce MATLAB programlama komut ve fonksiyonları hakkında yeterli bilgi kazanılmış ve uygulamaya hazırlıklı gelinmiş olmalıdır.

C-) Deneyel / Uygulama Çalışmaları

Aşağıdaki MATLAB programlarını inceleyerek/çalıştırarak ekran çıktısını belirleyiniz.

Uygulama 1:

% Değişkenler, veri okuma – yazma

```
clear; clc;
```

```
y=input('sayı giriniz=');
```

```
x=5/3;
```

```
a=x+3*y-(y/2*4)
```

```
k= -2:0.5:4;
```

```
b='w';
```

```
adi='firat';
```

```
disp(x);
```

```
disp(k);
```

```
fprintf('değerler=\n %f %c %s %d \n',k(8),b,adi,a);
```

EET-305 Kontrol Sistemleri

Uygulama 2:

% vektör ve matris işlemleri

```
A=[1 2 sqrt(9)];
```

```
B=[5;6;exp(-A(2))];
```

```
C=[1 2;3 -4]
```

```
D=A+B'           % ya da D=A+transpose(B)
```

```
T=C*inv(C)
```

```
X=A'*B
```

```
Y=power(A,2)
```

```
W=C(:,1)
```

```
disp(det(C));
```

```
size(C)
```

```
disp(W);
```

```
sort(B)
```

```
max(C)
```

```
fprintf('değerler=\n %d %f %d %f \n',C(2,1),sum(A),min(W),mean(A));
```

Uygulama 3:

% $f(s)=s^3+3s-4$ ve $p(s)=s-2$ polinomları;

```
f=[1 0 3 -4];p=[1 -2];
```

```
x=conv(f,p)
```

```
[a,b]=deconv(f,p)
```

```
polyder(f)
```

```
kokler=roots(f)
```

```
y=polyval(p, [-1:0.5:1])
```

Uygulama 4:

%for döngüsü

```
for i=1:2
```

```
  j=1;
```

```
  for x= -1:0.5:2
```

EET-305 Kontrol Sistemleri

```
y(j)=sqrt(x);  
a(i,j)=x+i;  
j=j+1;  
end  
b(:,i)=y(j-1)/x;  
end  
disp('sonuç1=');disp(y)  
disp('sonuç2=');disp(a)  
disp('sonuç3=');disp(b)
```

Uygulama 5:

```
%Koşullu döngü (while)  
x=2;  
while x<20  
    x=power(x,3)-power(x,2);  
    disp(x);  
end
```

Uygulama 6:

```
%if-elseif-else yapıları  
x=input('x= ');  
y=input('y=');  
if x>=0 & y>=0  
    f=x+log(y)  
elseif x>=0 & y<0  
    f=log10(x)+1/y  
elseif x<0 & y>=0  
    f=sin(2*pi+1/x+y)  
else  
    f=1/x+1/y  
end
```

EET-305 Kontrol Sistemleri

Uygulama 7:

%Fonksiyon hazırlama ve çağırma

```
function [y1,y2,y3]=fonksiyon(a,b,c);
```

```
y1=a*sin(b);
```

```
y2=max(b);
```

```
y3=upper(c);
```

%Bu fonksiyon adı ile kaydedilip aşağıdaki gibi çağırılıp çalıştırılabilir.

```
%[x,y,z]=fonksiyon(3,[2 4],'firat')
```

Uygulama 8:

% Grafikler

```
t=0:0.1:5;
```

```
y1=1-exp(-2*t).*cos(5*t);
```

```
y2=sin(2*pi*t-pi/4);
```

```
subplot(221);plot(t,y1,'r')
```

```
grid on
```

```
xlabel('zaman -saniye')
```

```
ylabel('çıkış')
```

```
title('iki boyutlu grafik')
```

```
subplot(222);plot(t,y1,'r-',t,y2,'k')
```

```
subplot(223);loglog(t,y1)
```

```
subplot(224);semilogx(t,y2)
```

```
a=[10 20 40 30];
```

```
figure(2);pie(a,{'Ali','Veli','Can','Osman'})
```

```
x=0:10;
```

```
y=0:10;
```

```
z=x'*y;
```

```
figure(3);mesh(x,y,z);
```

MATLAB PROGRAMLAMA-II

A-) Amaç: MATLAB programlama komut ve fonksiyonlarını kullanarak program yazabilmek ve MATLAB fonksiyonlarını kullanarak birinci mertebeden diferansiyel denklemleri çözebilmek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

Deney I de öğrenilen MATLAB komut ve fonksiyonları yardımıyla Uygulama 1,2,3,4 için kolayca programlar yazılabilir ve grafikler çizdirilebilir.

Uygulama 5 için MATLAB' da çeşitli sayısal analiz teknikleri kullanılarak diferansiyel denklem çözümlerini yapan fonksiyonlar geliştirilmiştir. Bunlardan Runge-Kutta yöntemi ile diferansiyel denklemlerin çözümünü yapan **ode23** ve **ode45** fonksiyonunun kullanımı aşağıda verilmiştir.

Bu fonksiyonların kullanımında öncelikle diferansiyel denklemin bir fonksiyon olarak tanımlanması gerekir. Örneğin,

$$\frac{dy(t)}{dt} = te^{-2t}$$

denkleminin fonksiyonu aşağıdaki gibi hazırlanabilir.

function turevy=deneme(t,y)

turevy=t.*exp(-2*t);

Deneme adı ile kaydedilen bu fonksiyon ode45 fonksiyonu içerisinde çağrılarak denklemin çözümü elde edilebilir.

[t,y]=ode45(@deneme,[t0 tf],y0);

Burada, y0- başlangıç koşulu, t0- çözümün başlangıç zamanı (genellikle t0=0) ve tf ise çözümün bitiş zamanıdır.

MATLAB/sembolik toolbox ile sembolik olarak başta türev, integral olmak üzere çok çeşitli denklem takımlarının çözümü de yapılabilir. Dolayısıyla, MATLAB/Sembolik toolbox' dan yararlanarak sistemlerin zaman bölgesindeki matematiksel modeli olan diferansiyel denklemlerin sembolik çözümü yapılabilir ve sembolik olarak elde edilen çözümün istenen bir zaman aralığında grafiği çizilerek sistemin cevabının analizi yapılabilir.

dsolve: Diferansiyel denklemlerin sembolik çözümünü verir. Denklemlerde türevler D ile tanımlır. Örneğin, **D2y;** y' nin ikinci türevi, **Dy** ise y' nin birinci türevini ifade eder.

Genel kullanımı: **yy=dsolve('denklemler','başlangıç koşulu1','başlangıç koşulu2',...,'bağımsız değişken adı')**

eval: bağımsız değişken olarak (örneğin bağımsız zaman değişkeni) kullanıcının belirleyeceği bir aralıkta sembolik denklemin sayısal çözümünü verir. Genel kullanımı:

s=eval (yy)

Burada yy; bulunan sembolik çözümü gösterir.

EET-305 Kontrol Sistemleri

Örnek: $\frac{dy(t)}{dt} + 5y = 4x(t)$ denkleminin başlangıç koşulu $y(0)=0$ olmak üzere **birim basamak** giriş için sembolik çözümünü yaparak bulunan çözümün grafiğini çizen MATLAB programı aşağıda verilmiştir.

```
s=dsolve('Dy+5*y=4','y(0)=0','t');
```

ile denklemin sembolik çözümü,

$$s = 4/5 - 4/(5*\exp(5*t))$$

olarak bulunur. Çözümün grafiği ise,

```
t=0:0.1:5;
```

```
yt=eval(s);
```

```
plot(t,yt)
```

ile $t=0-5$ saniye aralığında hesaplatılarak çizdirilebilir ve cevabın zamana göre değişimi değerlendirilebilir.

C-) Deneysel / Uygulama Çalışmaları

MATLAB fonksiyonlarından yararlanarak aşağıdaki uygulamaların programını yazarak Laboratuvar çalışmasına geliniz.

Uygulama 1:

$$\cos(x) = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \frac{x^8}{8!} \dots$$

Açılımı yapılan bir Cos açılım fonksiyonu için x değeri klavyeden girilmektedir. İlk 10 terim için Cos fonksiyonunun değerini hesaplayarak ekrana yazan bir MATLAB programı yazınız.

Uygulama 2:

a-) Aşağıdaki fonksiyonun herhangi bir x için değerini hesaplayıp sonucu döndüren bir MATLAB **fonksiyonunun** programını yazınız.

b-) Herhangi bir C sabiti için fonksiyonun değerinde $F(x) \geq C$ şartını sağlayan en küçük n değerini bularak sonucu döndüren bir MATLAB **fonksiyonunun** programını yazınız. C ve n kullanıcının vereceği herhangi bir değer olabilir.

$$F(x) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{x^i}$$

Uygulama 3:

Aşağıdaki sinyallerin, belirleyeceğiniz bir zaman aralığı için zamana göre grafiklerini MATLAB ile çizdiriniz.

a-) $f(t) = 10e^{-5t}$

b-) $x(t) = 1 - e^{-10t}$

c-) $y(t) = e^{-4t} \sin(10t)$

d-) $u(t) = e^{-5t} + te^{-4t}$

Uygulama 4:

Aşağıdaki **statik** sistemlerin birim basamak, birim rampa, $x(t) = 2e^{-3t}$ ve $x(t) = \cos(5t)$ girişleri için cevaplarını bularak grafiklerini çizen bir MATLAB programı yazınız. Sistemlerin kararlı olup olmadığını belirleyiniz.

a-) $y(t) = e^{-2t}x(t)$ **b-**) $y(t) = 2tx(t)$ **c-**) $y(t) = \sin(10t)x(t)$

Uygulama 5:

Aşağıdaki **dinamik** sistemlerin birim basamak ve birim rampa cevaplarını bularak grafiklerini çizen bir MATLAB programı yazınız. Sistemlerin kararlı olup olmadığını belirleyiniz.

a-) $y(t) = \int_0^t 10x(t)dt$ yada $\frac{dy(t)}{dt} = 10x(t)$ **b-**) $\frac{dy(t)}{dt} + 2y(t) = 10x(t)$

Uygulama 6:

Aşağıdaki **dinamik** sistemin $a=1, 2, 4$ ve 10 için ayrı ayrı olmak üzere birim basamak ve birim rampa cevaplarını bularak grafiklerini çizen bir MATLAB programı yazınız. Sistemin kararlı olup olmadığını belirleyiniz. Sistemi aşırı, kritik ve düşük sönüm davranışına göre değerlendiriniz. NOT: Sembolik toolbox kullanınız.

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} + a\frac{dy(t)}{dt} + 5y = 4x(t) , y(0) = 0, y'(0) = 0$$

MATLAB KONTROL SİSTEMLERİ TOOLBOX'IN KULLANIMI-I

A-) Amaç: MATLAB' ın Kontrol Sistemleri Toolbox' ını kullanarak transfer fonksiyonu ve durum denklemi ile modellenen sistemleri birbirine dönüştürmek ve bu sistemlerin çeşitli giriş sinyalleri için cevabını incelemek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

Doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemlerin matematiksel modelleri; diferansiyel denklemler, transfer fonksiyonları ya da durum denklemi düzeninde elde edilebilir. Ancak, kontrol sistemlerinin analiz ve tasarımında transfer fonksiyonu gösterimi önemli kolaylıklar sağlar. MATLAB kontrol sistemleri toolbox' ında transfer fonksiyonlarının bir gösterim biçiminden diğer gösterim biçimine dönüşümünü ve durum denklemleri ile dönüşümünü sağlayan fonksiyonlar mevcuttur. Ayrıca, transfer fonksiyonu ve durum denklemi ile modellenen sistemlerin basamak, impuls ve çeşitli giriş sinyalleri için cevabını bulan fonksiyonları da bulunmaktadır.

1) Polinom Gösterim Biçimi: Transfer fonksiyonunun pay ve paydası, Laplace değişkeni s ' in azalan polinomları olarak verilir.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

2) Kutup - Sıfır Kazanç Gösterim Biçimi: Polinomlar çarpanlarına ayrılabilir. Burada z_1, z_2, \dots, z_m sistemin sıfırlarını, p_1, p_2, \dots, p_n sistemin kutuplarını ve K kazanç katsayısını göstermektedir.

$$G(s) = \frac{K(s - z_1)(s - z_2) \dots (s - z_m)}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_n)}$$

3) Kısmi Kesirli Gösterim: Transfer fonksiyonları basit kesirlerine ayrılmış hale getirilebilir.

$$G(s) = \frac{k_1}{(s - p_1)} + \frac{k_2}{(s - p_2)} + \dots + \frac{k_n}{(s - p_n)} + r(s)$$

4) Durum Denklemleri: Durum değişkenlerine göre zaman bölgesinde yazılan matrisel formdaki denklemlerdir. Matrisel formda durum denklemi,

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad , \quad y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

olarak yazılır. Burada A, B, C, D katsayı matrisleridir. Aşağıda, açık halde yazılmış 3. Dereceden bir durum denklemi verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 4 \\ -2 & 0 & 1 \\ -6 & -11 & -6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 6 \end{bmatrix} u \quad y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

MATLAB Kontrol Toolbox Fonksiyonları:

residue: Polinomlar oranı şeklinde verilen bir transfer fonksiyonunu kısmi kesirlere ayırır. Pay polinomunun katsayıları **num**, payda polinomunun katsayıları **den** olmak üzere genel kullanım biçimi:

$$[k, p, r] = \text{residue}(\text{num}, \text{den})$$

EET-305 Kontrol Sistemleri

Burada k- basit kesirlerin katsayılarını, p-kutupları ve r ise kalan terimi göstermektedir.

tf2zp: Polinom biçimi transfer fonksiyonundan sıfır-kutup-kazanç biçimi transfer fonksiyonuna geçişi sağlar. Genel kullanım biçimi:

$$[z, p, K] = \text{tf2zp}(\text{num}, \text{den})$$

zp2tf: sıfır-kutup-kazanç biçimi transfer fonksiyonundan polinom biçimi transfer fonksiyonu dönüşümünü sağlar. Genel kullanım biçimi:

$$[\text{num}, \text{den}] = \text{zp2tf}(z, p, K)$$

zp2ss: Sıfır-kutup-kazanç biçimi transfer fonksiyonundan durum uzayı denklemlerine dönüşümü sağlar. Genel kullanım biçimi:

$$[a, b, c, d] = \text{zp2ss}(z, p, K)$$

ss2zp: Durum uzayı denklemlerinden, sıfır kutup biçimi transfer fonksiyonuna geçişi sağlar. Genel kullanım biçimi:

$$[z, p, k] = \text{ss2zp}(a, b, c, d, \text{iu})$$

Burada iu: giriş sayısıdır.

tf2ss: Polinom biçimi transfer fonksiyonundan durum uzayı denklem biçimine geçişi sağlar. Genel kullanım biçimi:

$$[a, b, c, d] = \text{tf2ss}(\text{num}, \text{den})$$

Zaman bölgesi cevabını bulma: Bir sistemin, basamak, impuls ya da herhangi bir giriş sinyali için zaman bölgesinde çıkış cevabını bulan MATLAB Kontrol toolbox fonksiyonları da mevcuttur.

step: Sistemin birim basamak cevabını verir. Genel kullanım biçimleri:

$$[y, x, t] = \text{step}(\text{num}, \text{den})$$

$$[y, x, t] = \text{step}(\text{num}, \text{den}, t)$$

$$[y, x, t] = \text{step}(a, b, c, d, \text{iu})$$

$$[y, x, t] = \text{step}(a, b, c, d, \text{iu}, t)$$

impulse: Sistemlerin ani darbe (impuls) cevabını verir. Genel kullanım biçimleri step fonksiyonu ile aynıdır.

lsim: Bazı durumlarda sistemlerin basamak veya ani darbe cevabı dışında kalan herhangi bir giriş karşısında gösterdiği dinamik davranışın incelenmesi de gerekebilir. Sürekli-zaman sistemlerde uygulanan keyfi girişler için **lsim** fonksiyonu kullanılır.

$$[y, x] = \text{lsim}(a, b, c, d, u, t) \quad \text{Burada } u: \text{ tanımlanan giriş sinyalidir.}$$

$$[y, x] = \text{lsim}(a, b, c, d, u, x0, t) \quad \text{Burada } x0: \text{ başlangıç koşullarıdır.}$$

$$[y, x] = \text{lsim}(\text{num}, \text{den}, u, t)$$

C-) Deneysel / Uygulama Çalışmaları

Yukarıda verilen MATLAB fonksiyonlarından yararlanarak aşağıdaki uygulamaların programını yazarak Laboratuvar çalışmasına geliniz.

Uygulama 1:

Transfer fonksiyonu verilen doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemin (Örnek 1.7)

$$G(s) = \frac{10}{s + 2}$$

MATLAB Kontrol Toolbox Fonksiyonlarını kullanarak birim basamak, birim impulse, birim rampa ve $u(t) = e^{-2t}$ giriş sinyali için cevaplarını bularak grafiklerini çizdiriniz. Sistemin cevabını, zaman sabitesi, kalıcı durum kazancı ve kararlılık vs. açısından inceleyiniz.

Uygulama 2:

Transfer fonksiyonu verilen doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemin (Örnek 1.8)

$$G(s) = \frac{4}{s^2 + ks + 5}$$

MATLAB Kontrol Toolbox Fonksiyonlarını kullanarak birim basamak, birim impulse, birim rampa ve $u(t) = \sin(2t)$ giriş sinyali için cevaplarını $k=2, 10$ için bularak grafiklerini çizdiriniz. Sistemin cevabını, sönüm, kalıcı durum kazancı ve kararlılık vs. açısından inceleyiniz.

Uygulama 3:

Uygulama 2 de verilen sistemi, durum denklemine dönüştürerek aynı girişler için cevabını tekrar buldurarak grafiklerini çizdiriniz. Grafikleri Uygulama 2 grafikleri ile karşılaştırınız. Farklılık varsa nedenlerini açıklayınız.

Uygulama 4:

Transfer fonksiyonu verilen doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemlerin

$$G(s) = \frac{1}{s + 2} \quad G(s) = \frac{s}{s^2 + 4} \quad G(s) = \frac{2.5(s + 2)}{s^2 + 2s + 5}$$

birim basamak ve birim impulse cevaplarını bularak grafiklerini çizdiriniz. Sistemin cevabını sönüm, kalıcı durum kazancı ve kararlılık vs. açısından inceleyiniz.

Uygulama 4:

Yukarıda kullanımı anlatılan ancak uygulamalarda kullanılmayan fonksiyonlar için birer örnek uygulama yapınız.

MATLAB KONTROL SİSTEMLERİ TOOLBOX'IN KULLANIMI-II

A-) Amaç: MATLAB' ın Kontrol Sistemleri Toolbox' ını kullanarak blok şemaları indirgemek ve indirgenmiş kontrol sistemlerinin çeşitli giriş sinyalleri için cevabını incelemek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

Blok ve sinyal akış şemalarının indirgenmesi için ders kitabına bakılabilir.

MATLAB Kontrol Toolbox Fonksiyonları:

series: Seri bağlı iki adet blok veya sistemi tek bir bloğa indirger. Genel kullanım biçimi:

[num,den]=series (n1,d1,n2,d2)

Seri blokların transfer fonksiyonlarının pay ve payda polinomları, **n1,d1** ve **n2, d2** olarak girilmelidir. Seri bağlantı sonucunda elde edilen transfer fonksiyonunun pay ve payda polinomları ise **num, den** dir.

Eğer seri blokların transfer fonksiyonları yerine durum denklemleri belirli ise seri blokların katsayı matrisleri sıra ile a1,b1,c1,d1 ve a2,b2,c2,d2 olarak girilmelidir.

[a, b, c, d]=series (a1,b1,c1,d1,a2,b2,c2,d2)

Seri bağlantı sonucunda elde edilen durum denkleminin katsayı matrisleri ise a,b,c,d dir.

parallel: Paralel bağlı iki adet blok veya sistemi tek bir bloğa indirger. Kullanım biçimi series ile aynıdır.

feedback: İleri besleme ve geri besleme modelleri verilen sistemlerin kapalı çevrim (geri beslemeli) kontrol sisteminin indirgenmiş modelini verir. Yukarıdaki fonksiyonlara benzer şekilde transfer fonksiyonu ya da durum denklemleri modelleri kullanılabilir. Genel kullanım biçimleri:

transfer fonksiyonu ve durum denklemleri için sıra ile negatif geri besleme durumunda,

[num,den]=feedback (n1,d1,n2,d2) ya da **[num,den]=feedback (n1,d1,n2,d2,-1)**

[a, b, c, d]=feedback (a1,b1,c1,d1,a2,b2,c2,d2)

ve pozitif geribesleme durumunda +1 işareti kullanılmalıdır.

MATLAB kontrol sistemleri toolbox fonksiyonlarının diğer bir kullanım şekli de nesne model olarak tanımlanan sistemlere uygulanışıdır. Pay ve payda polinomları verilen bir transfer fonksiyonunun nesne modeli,

G=tf (num,den)

Kutup-sıfır ve kazanç düzeninde verilen bir transfer fonksiyonunun nesne modeli,

G=zpk (z,p,K)

Durum denklemleri verilen bir sistemin yine durum denklemleri düzenindeki nesne modeli,

sys=ss (a,b,c,d)

olarak elde edilebilir.

EET-305 Kontrol Sistemleri

Nesne modelleri üzerinde de diğer MATLAB fonksiyonları uygulanabilir. Örneğin, G1 ve G2 gibi 2 adet nesne modeli elde edilmiş olsun.

Ga=series (G1,G2)

Gb=parallel (G1,G2)

Gc=feedback (G1,G2)

yazılarak indirgenmiş sistemin nesne modelleri elde edilebilir. Diğer taraftan nesne modellerin de kökleri, kararlılığı, çeşitli giriş sinyalleri için cevabı elde edilebilir.

pole (G1) ya da **kokler=pole (G1)**

ile kökleri (kutupları) bulunabilir.

isstable (G1) ya da **x= isstable (G1)**

kararlı olup olmadığı (kararlı ise x=1 kararlı ise x=0) belirlenebilir.

step (G1) ya da **[y,t]=step(G1)**

basamak cevabı bulunabilir. Benzer şekilde **impulse** ve **lsim** fonksiyonları da nesne modellerde kullanılabilir.

C-) Deneysel / Uygulama Çalışmaları

Yukarıda verilen MATLAB fonksiyonlarından yararlanarak aşağıdaki uygulamaların programını yazarak Laboratuvar çalışmasına geliniz.

Uygulama 1:

Negatif geri beslemeli kapalı çevrim bir kontrol sisteminde ileri besleme transfer fonksiyonu $G(s) = \frac{6}{s-1}$ ve ileri besleme transfer fonksiyonu $H(s) = \frac{1}{s+4}$ olarak verilmiş olsun. Kapalı çevrim kontrol sistemini indirgeyiniz ve birim basamak cevabını bularak grafiğini çizen ve kararlılığını belirleyen bir MATLAB programı yazınız.

Uygulama 2:

Uygulama 1 deki modelleri, nesne modellere çevirerek kapalı çevrim kontrol sistemini indirgeyiniz ve birim basamak cevabını bularak grafiğini çizen bir MATLAB programı yazınız.

Uygulama 3:

Negatif birim geri beslemeli kapalı çevrim bir kontrol sisteminde kontrol edilen sistem $G_p(s) = \frac{1}{s+1}$ ve önüne seri bağlanacak kontrolör $G_c(s) = \frac{15(s+6.67)}{s}$ olarak verilmiş olsun. Kapalı çevrim kontrol sisteminin birim basamak cevabını bularak grafiğini çizen ve kararlılığını belirleyen bir MATLAB programı yazınız.

Uygulama 4:

Uygulama 2 deki modelleri, nesne modellere çevirerek kapalı çevrim kontrol sistemini indirgeyiniz ve birim basamak cevabını bularak grafiğini çizen bir MATLAB programı yazınız.

Uygulama 5:

Verilen durum denklemlerinin tek tek impuls cevaplarını bularak cevapları toplayıp toplam cevabı çizdiriniz.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 1 \\ -1 & -2 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} u \quad y_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \\ -1 & -1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad y_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + 10u$$

Uygulama 6:

Uygulama 5 de verilen durum denklemlerini paralel bağlayarak indirgediğiniz sistemin impuls cevabını bularak çizdiriniz ve uygulama 5 deki cevap ile karşılaştırınız.

Uygulama 7:

Uygulama 5 de verilen durum denklemlerini nesne modele çevirdikten sonra paralel bağlayarak indirgediğiniz sistemin impuls cevabını bularak çizdiriniz ve uygulama 5 deki cevap ile karşılaştırınız..

Uygulama 8:

Yukarıda kullanımı anlatılan ancak uygulamalarda kullanılmayan fonksiyonlar için birer örnek uygulama yapınız.

MATLAB / SIMULINK PROGRAMI

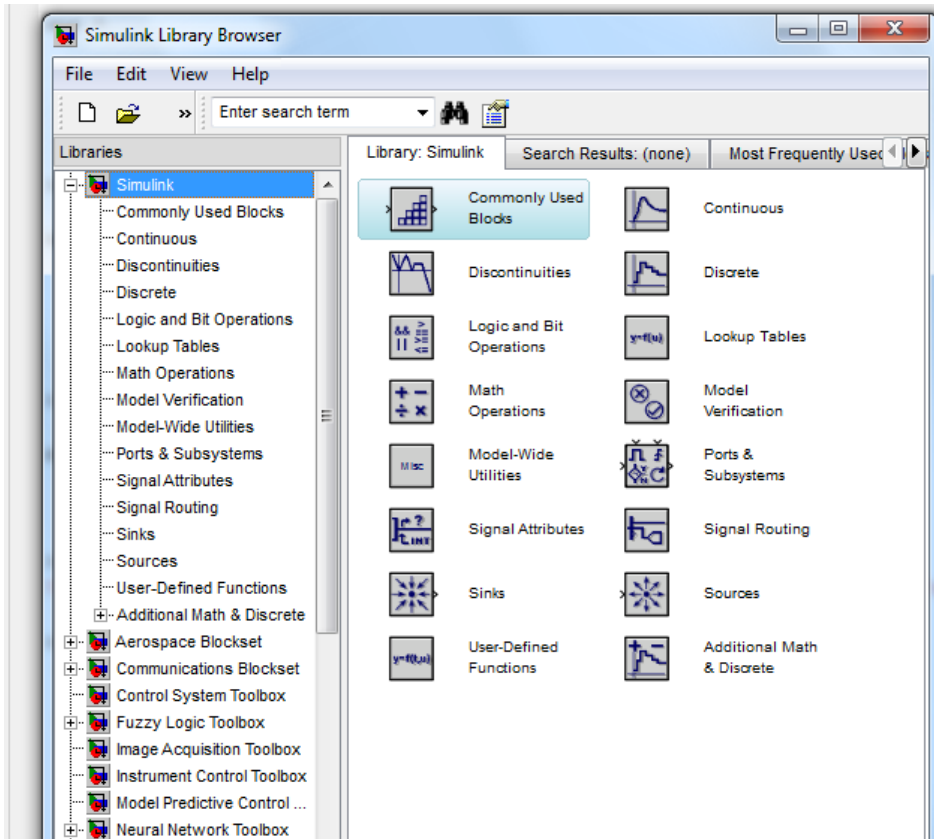
A-) Amaç: MATLAB/Simulink Programını kullanarak kontrol sistemlerinin için blok şema çizimlerini yapabilmek ve çeşitli giriş sinyalleri için kontrol sisteminin cevabını incelemek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

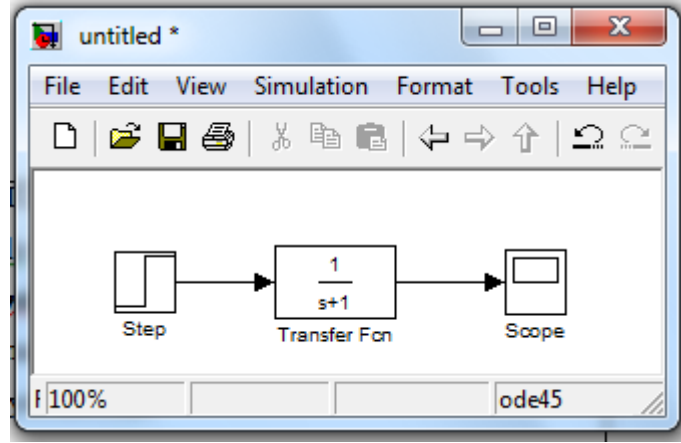
SIMULINK; MATLAB programı (*.m dosyası) yazarak bir dinamik sistemin cevabının bulunması ve blok şemalarının fonksiyonlarla indirgenerek kontrol sisteminin incelenmesi yerine **doğrudan blok şemalar ile kontrol sistemi çizilerek analizini sağlayan bir programdır**. MATLAB/SIMULINK ortamına geçmek için komut satırından,

```
>> simulink
```

yazılmalı ya da Simulink düğmesi tıklanmalıdır. Simulink ortamında temel simulink blok kütüphaneleri ile birlikte çok sayıda toolbox blok kütüphaneleri mevcuttur. Temel simulink blok kütüphanelerinden ilk aşamada **Continuous, Sinks, Sources, Math Operations** kütüphaneleri önemlidir.



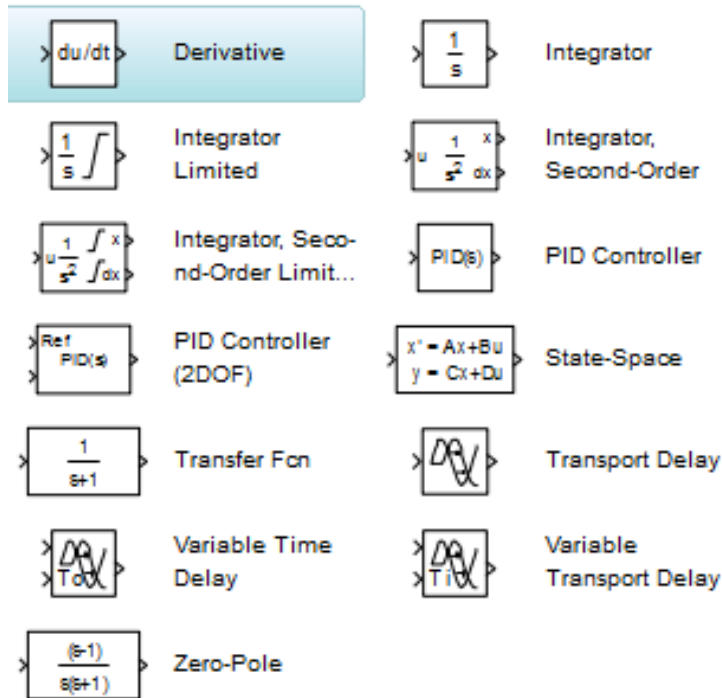
Yeni bir Simulink dosyası oluşturmak için SIMULINK den **File-New** seçilerek boş bir simulink ortamı açılmalıdır. Bu boş ortamda Simulink ile bir kontrol sisteminin blok şemasını oluşturmak için yukarıdaki şekilde görülen kütüphane blokları seçildikten sonra içeriğindeki ilgili bloklar sürüklenerek taşınmalı ve bağlantıları yapılmalıdır. Şekilde **Continuous, Sinks, Sources** kütüphanelerinden taşınan bloklarla bir transfer fonksiyonunun basamak cevabının osilaskopta incelenmesi çizilmiştir.



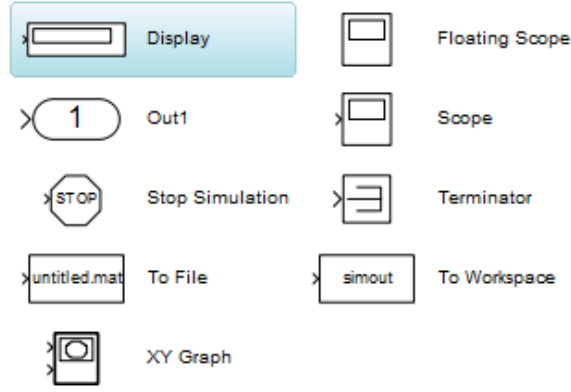
Kontrol sistemi kurulduktan sonra dosyaya isim verilerek kaydedilebilir. Kurulan model, **Simulation-start** ile çalıştırılır. Bazı önemli blok kütüphaneleri ve bloklar aşağıda verilmiştir.

Math Operations kütüphanesi çarpma, bölme, toplama, işaret alma, karekök alma vs. gibi çeşitli aritmetiksel operatör bloklarını ihtiva eder.

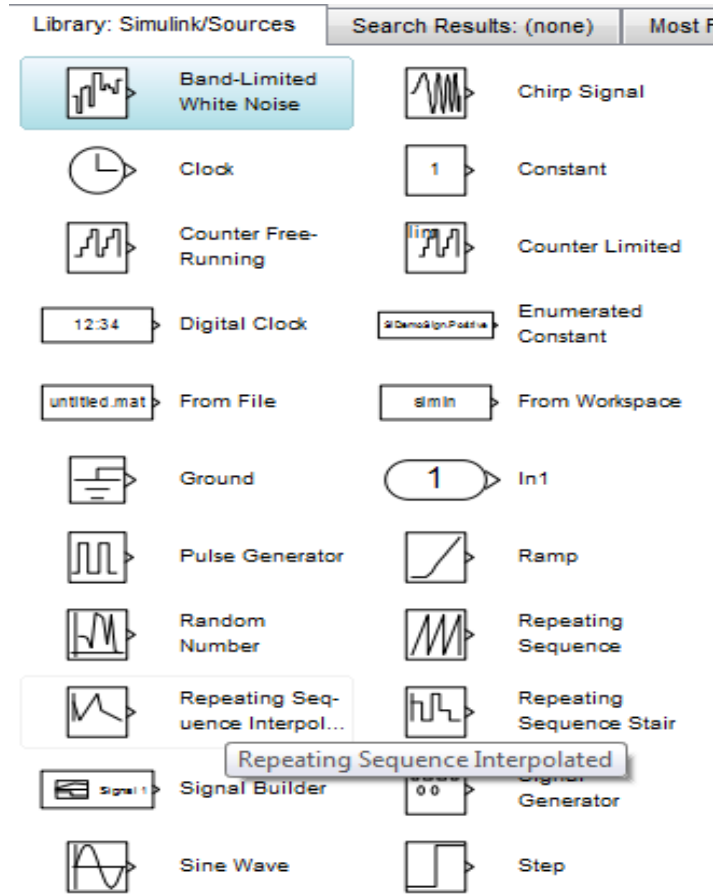
Continuous kütüphanesi türev, integral, sistemlerin transfer fonksiyonu ve durum denklemleri modellerini ihtiva eder.



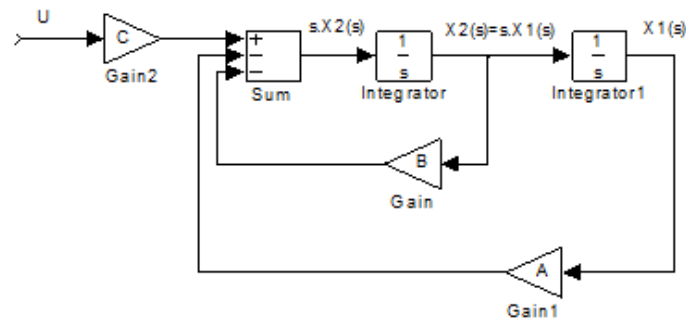
Sinks kütüphanesi çeşitli osilaskoplar, blok çıkışı, dosya ve MATLAB komut satırına yazma bloklarını ihtiva eder.



Sources kütüphanesi blok girişi ve çeşitli giriş sinyallerini ihtiva eder.



Örnek olarak, $\dot{x}_1 = x_2$ $\dot{x}_2 = -Ax_1 - Bx_2 + Cu$ olarak verilen diferansiyel denklem takımı simulinkte aşağıdaki gibi modellenenabilir.



C-) Deneysel / Uygulama Çalışmaları

Uygulama 1:

Negatif geri beslemeli kapalı çevrim bir kontrol sisteminde ileri besleme transfer fonksiyonu $G(s) = \frac{6}{s-1}$ ve ileri besleme transfer fonksiyonu $H(s) = \frac{1}{s+4}$ olarak verilmiş olsun. Kontrol sisteminin Simulink blok şemasını oluşturarak birim basamak, birim impuls, birim rampa vs. girişler için cevabını inceleyiniz.

Uygulama 2:

Negatif birim geri beslemeli kapalı çevrim bir kontrol sisteminde kontrol edilen sistem $G_p(s) = \frac{1}{s+1}$ ve önüne seri bağlanacak kontrolör $G_c(s) = \frac{15(s+6.67)}{s}$ olarak verilmiş olsun. Kontrol sisteminin Simulink blok şemasını oluşturarak birim basamak, birim impuls, birim rampa vs. girişler için cevabını inceleyiniz.

Uygulama 3:

Verilen durum denkleminin Simulink blok şemasını oluşturarak birim basamak, birim impuls, birim rampa vs. girişler için cevabını inceleyiniz.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 1 \\ -1 & -2 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} u \quad y_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Uygulama 4:

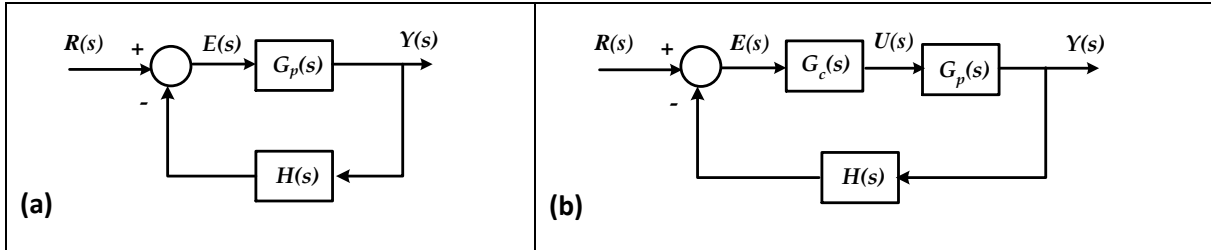
Yukarıda örnek olarak verilen $\dot{x}_1 = x_2$ $\dot{x}_2 = -Ax_1 - Bx_2 + Cu$ sisteminin çeşitli A, B ve C değerleri için simulink blok şemasını çizerek sistemin birim basamak ve birim rampa cevaplarını inceleyiniz.

**KONTROL SİSTEMLERİNİN ZAMAN BÖLGESİ KARAKTERİSTİKLERİ
VE PID KONTROLÖR TASARIM ESASLARI**

A-) Amaç: MATLAB kontrol sistemleri toolbox' ın komut ve fonksiyonlarını ya da MATLAB/Simulink' i kullanarak kontrol sistemlerinin zaman bölgesi karakteristiklerini incelemek ve P-I-D kontrol etkilerini ve PID kontrolör tasarım esaslarını belirlemek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

Bu deneyde yapılacak uygulamalarda aşağıdaki kontrol sisteminin blok şeması esas alınarak incelemeler yapılacaktır. Burada, $G_p(s)$ - kontrol edilecek sistemi $G_c(s)$ - kontrolörü ve $H(s)$ ise geri besleme birimini (algılayıcıyı) göstermektedir.



Kontrol sistemlerinin zaman bölgesi karakteristikleri ve PID kontrolör tasarım esasları ile ilgili ayrıntılı teorik bilgi için ders kitabına bakılabilir.

MATLAB Kontrol Toolbox Fonksiyonları:

Önceki uygulamalarda verilen MATLAB kontrol toolbox komut ve fonksiyonları ya da MATLAB/Simulink, bu deneydeki uygulamaları yapmak için yeterlidir.

C-) Deneysel / Uygulama Çalışmaları

Aşağıdaki uygulamaların bir tanesini (örneğin uygulama 1) hem MATLAB/kontrol toolbox komutları ile hem de simulink ile inceleyiniz. Diğerlerini sadece Simulink ile inceleyebilirsiniz.

Uygulama 1:

Şekil (a) da verilen kapalı çevrim kontrol sisteminde $G(s) = \frac{3}{s+4}$ ve $H(s) = 1$ olarak verilmiş olsun.

a-) Sistemin zaman sabitesi, cevabın ilk ve son değerleri, sistemin tipi ve kalıcı durum hatası gibi parametrelerini belirleyerek birim basamak, birim impuls ve birim rampa cevaplarını yaklaşık olarak çiziniz.

b-) Hem MATLAB/kontrol toolbox komutları ile hem de simulink ile temel test girişleri için cevaplarının grafiğini çizdirerek (a) şıkkı ile karşılaştırınız.

EET-305 Kontrol Sistemleri

Uygulama 2:

Şekil (a) da verilen kapalı çevrim kontrol sisteminde $G(s) = \frac{4}{s^2 + ks + 1}$ ve $H(s) = 1$ olarak verilmiş olsun.

a-) $k=2$ için sistemin sönüm oranı ve doğal frekansı, cevabın ilk ve son değerleri, sistemin tipi ve kalıcı durum hatası, maksimum aşma, yerleşme ve yükselme süreleri vs. gibi parametrelerini belirleyerek birim basamak, birim impuls ve birim rampa cevaplarını yaklaşık olarak çiziniz.

b-) $k=6$ için (a) şıkkındaki incelemeleri yaparak değerlendiriniz.

c-) MATLAB/simulink ile temel test girişleri için cevaplarının grafiğini çizdirerek (a) şıkkı ile karşılaştırınız

Uygulama 3:

Uygulama 2 (a) ve (c) deki çalışmaları $G(s) = \frac{25}{s^2 + 6s}$ sistemi için tekrarlayınız.

Uygulama 4:

Uygulama 2 (a) ve (c) deki çalışmaları $G(s) = \frac{1}{0.5s}$ ve $H(s) = \frac{1}{s+1}$ sistemi için tekrarlayınız. Algılayıcının giriş ve çıkış sinyallerini ölçerek etkisini değerlendiriniz.

Uygulama 5:

Yukarıdaki uygulamalarda verilen sistemler, Şekil (b) deki gibi sisteme seri bir kontrolör bağlanarak basamak girişler için kalıcı durum hatası olmayacak ve ayrıca sönüm oranları $\zeta = 0.6$ ve doğal frekansı $\omega_n = 8$ olacak şekilde kontrol edilecektir. Yukarıdaki her bir uygulama için ayrı ayrı olmak üzere,

a-) Sistemlere hangi kontrolörü (PI, PD ya da PID) bağlamak gerekir.

b-) Bağlayacağınız kontrolörü tasarlayarak kontrol sisteminin birim basamak cevabını MATLAB/simulink ile çizdiriniz.

c-) İsteddiğiniz cevap elde edilemiyorsa nedenlerini ve çözüm yolunu açıklayınız.

KÖKLERİN YER EĞRİSİ ANALİZİ VE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

A-) Amaç: MATLAB' ın kontrol sistemleri toolbox' ının **rlocus** fonksiyonunu kullanarak köklerin yer eğrisini çizdirmek ve kontrol sistemlerinin KYE' ni inceleyerek KYE' nin kontrol sistemlerinin tasarımındaki etkinliğini belirlemek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

Köklerin yer eğrisi analiz ve tasarımı için ders kitabına bakılabilir.

MATLAB Kontrol Toolbox Fonksiyonları:

rlocus: Kapalı çevrim kontrol sisteminin açık çevrim transfer fonksiyonunda kazanç çarpanı durumunda olan bir parametre ya da kazanç değişimine göre kapalı çevrim sistemin kutuplarının nasıl değiştiğinin eğrisini yani köklerin yer eğrisini çizer. Dolayısıyla, köklerin yer eğrisi, bir sistemin oransal kontrolör ile nasıl kontrol edilebileceğini de göstermiş olur.

Genel kullanım biçimleri:

rlocus (num,den) : Açık çevrim transfer fonksiyonun pay ve payda polinomları sıra ile **num** ve **den** olarak verilen sistemin köklerin yer eğrisini çizer.

rlocus (num,den,K) :Kullanıcının belirlediği K kazanç vektörünün değerlerine göre köklerin yer eğrisini çizer.

[kokler,kazanclar]=rlocus (num,den) : Köklerin yer eğrisini çizmek yerine sayısal değerler olarak bulunduğu kökleri ve karşılık gelen kazanç değerlerinin verir.

rlocus (a,b,c,d) : Durum denklemleri modeli verilen sistemin köklerin yer eğrisini çizer.

rlocus (sys) : Nesne modeli verilen sistemin köklerin yer eğrisini çizer. Burada nesne modeli **sys**,

önceden açıklanan **sys=tf (num,den)** ya da **sys=ss (a,b,c,d)** fonksiyonları ile elde edilmiş olabilir

C-) Deneysel / Uygulama Çalışmaları

Uygulama 1:

Açık çevrim transfer fonksiyonu verilen sistemlerin köklerin yer eğrisini $K>0$ ve $K<0$ için ayrı ayrı çizdirerek inceleyiniz. Elde ettiğiniz KYE' ne göre bu sistemlerini oransal bir kontrolör ile arzu ettiğiniz gibi (örneğin $\zeta = 0.8$, $w_n = 10$ olsun) kontrol edebilir misiniz? Değilse neden?

$$G(s)H(s) = \frac{1}{s(s+4)}, \quad G(s)H(s) = \frac{s+10}{s(s+4)}$$

EET-305 Kontrol Sistemleri

Uygulama 2:

Açık çevrim transfer fonksiyonu verilen sistemlerin köklerin yer eğrisini $K>0$ ve $K<0$ için ayrı ayrı çizdirerek inceleyiniz. (Örnek 6.4 ve Örnek 6.5). Elde ettiğiniz KYE' ne göre bu sistemlerini oransal

bir kontrolör ile arzu ettiğiniz gibi (örneğin $\zeta = 0.8$, $w_n = 10$ olsun) kontrol edebilir misiniz? Değilse neden?

$$G(s)H(s) = \frac{s+6}{(s+10)(s^2+2s+5)}, \quad G(s)H(s) = \frac{1}{s(s+2)(s+4)}$$

Uygulama 3:

Uygulama 1 deki sistemlere seri bağlı ve kutup-sıfırlarının yerinin sizin belirlediğiniz PD, PI ve PID kontrolörler bağlayarak (Örnek 6.9-6.12 ye benzer şekilde) köklerin yer eğrisini çizdiriniz ve kontrolörlerin etkilerini inceleyiniz.

Uygulama 4:

Örnek 7.1 ve 7.2 de, aşağıdaki sistem için PD ve FİK tasarımı verilmiştir.

a-) Tasarlanan kontrolörler ile sistemin cevabını çizdirerek inceleyiniz.

b-) Ayrıca bu sistemde, rampa giriş için kalıcı durum hatasının $ess = 0$, $Kv = \infty$ ya da en azından $ess = 0.01$, $Kv = 100$ olması istenmektedir. Tasarlanan PD ve FİK dan sonra bir PI ve FGK bağlayarak sistemin rampa cevabını inceleyiniz.

$$G(s)H(s) = \frac{1}{s(s+4)}$$

Uygulama 5:

Örnek 7.3 ve 7.4 de, aşağıdaki sistem için PI ve FGK tasarımı verilmiştir. Tasarlanan kontrolörler ile sistemin cevabını çizdirerek inceleyiniz.

$$G(s)H(s) = \frac{s+1}{s(s+4)}$$

FREKANS CEVABI ANALİZİ VE KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

A-) Amaç: MATLAB'ın kontrol sistemleri toolbox'ının **bode**, **nyquist** ve **nichols** fonksiyonunu kullanarak frekans cevaplarını çizdirmek ve kontrol sistemlerinin frekans cevapları inceleyerek **bode** frekans cevabı eğrilerinin kontrol sistemlerinin tasarımındaki etkinliğini belirlemek.

B-) Deneye / Uygulamaya Hazırlık

Frekans cevabı analizi ve kontrol sistemi tasarımı için ders kitabına bakılabilir.

MATLAB Kontrol Toolbox Fonksiyonları:

bode: Bir sistemin, logaritmik frekans değişimine göre logaritmik genlik ve faz cevaplarını çizer.

Genel kullanım biçimleri:

bode (num,den) : Bir transfer fonksiyonun pay ve payda polinomları sıra ile **num** ve **den** olarak verilen bode frekans cevap eğrilerini çizer.

bode (num,den,W) :Kullanıcının belirlediği W frekans vektörünün değerlerine göre bode frekans cevap eğrilerini çizer.

[genlik,faz]=bode (num,den) : Bode eğrilerini çizmek yerine sayısal değerler olarak bulduğu genlik (mutlak genlik) ve faz (derece) değerlerini verir.

bode (a,b,c,d) : Durum denklemleri modeli verilen sistemin bode cevaplarını çizer.

bode (sys) : Nesne modeli verilen sistemin bode frekans cevaplarını çizer. Burada nesne modeli **sys**, önceden açıklanan **sys=tf (num,den)** ya da **sys=ss (a,b,c,d)** fonksiyonları ile elde edilmiş olabilir.

Yukarıdaki MATLAB fonksiyonlarında **bode** yerine **nichols** kullanılırsa sistemlerin nichols (faza göre genlik) cevapları elde edilir.

Yukarıdaki MATLAB fonksiyonlarında **bode** yerine **nyquist** kullanılırsa sistemlerin nyquist (kutupsal) frekans cevapları elde edilir. Bu durumda,

[reel,sanal]=nyquist (num,den) : Kutupsal eğrileri çizmek yerine sayısal değerler olarak bulduğu kutupsal vektörlerin reel ve sanal bileşen değerlerini verir.

C-) Deneysel / Uygulama Çalışmaları

Uygulama 1:

Açık çevrim transfer fonksiyonu verilen sistemlerin her biri için,

a-) bode, nyquist ve nichols frekans cevabı eğrilerini çizdiriniz.

b-) Faz ve kazanç marjınlarını ve dolayısıyla kararlı olup olmadıklarını belirleyiniz.

$$G(s)H(s) = \frac{s+10}{s^2+6s+5}, \quad G(s)H(s) = \frac{100(s+1)}{s(s+10)}, \quad G(s)H(s) = \frac{10}{s^2(s+10)}$$

Uygulama 2:

Örnek 10.1 ve 10.3 de, aşağıdaki sistem için bode eğrileri kullanılarak geçici rejim kontrol kriterlerini geliştirmek amacıyla PD ve FİK tasarlanmıştır. Sistemin ve tasarlanan kontrolörlerle birlikte kontrol sisteminin bode cevaplarını çizdirerek faz ve kazanç marjınları açısından inceleyiniz.

$$G(s)H(s) = \frac{1}{s(s+4)}$$

Uygulama 3:

Örnek 10.6 ve 10.7 de, aşağıdaki sistem için bode eğrileri kullanılarak kalıcı durum kontrol kriterlerini geliştirmek amacıyla PI ve FGK tasarlanmıştır. Sistemin ve tasarlanan kontrolörlerle birlikte kontrol sisteminin bode cevaplarını çizdirerek kalıcı durum kazançları açısından inceleyiniz.

$$G(s)H(s) = \frac{5(s+8)}{s(s+4)}$$