



**EGE UNIVERSITY  
ELECTRICAL AND ELECTRONICS  
ENGINEERING**

**CONTROL SYSTEMS 1**

**TERM PROJECT**

**(Lead Lag Compensator Design)**

<b>MUSA OĞURAL</b>
<b>05190000739</b>
<b>16.06.2021</b>

## Lead-Lag Compensator Design

$$G(s) = \frac{9}{s(s+2)} \rightarrow \text{plant}$$

$$M_p = 0.16 \rightarrow \text{max asim}$$

$$t_s = 2 \text{ s} \rightarrow \text{oturna zamanı}$$

$$K_v = 50 \text{ sec}^{-1}$$

$$M_p = e^{-\frac{\zeta \pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \rightarrow \zeta = 0.5$$

$$t_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} = 2.5 \rightarrow \omega_n = 4$$

$$Q(s) = s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2$$

$$= s^2 + 4s + 16 = 0$$

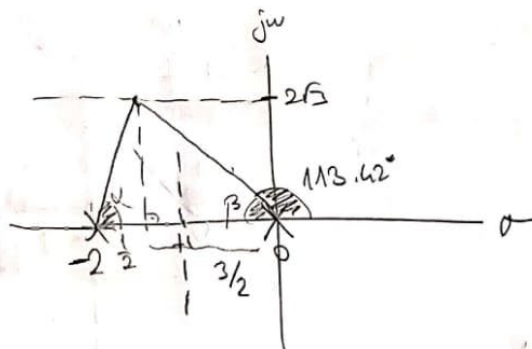
$$s_{1,2} = -2 \pm j2\sqrt{3}$$

$$G(s) = \frac{9}{s(s+2)}$$

$$\text{poles: } 0, -2 \rightarrow n=2$$

$$\text{no zeros} \rightarrow m=0$$

$$\rightarrow 2 \text{ zeros at } \infty$$



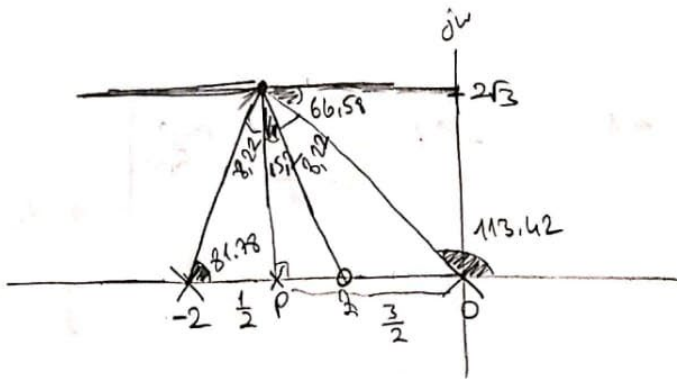
$$\sigma = \frac{-2-0}{2} = -1$$

$$\tan \alpha = \frac{2\sqrt{3}}{1} \rightarrow \alpha = 81.78^\circ$$

$$\tan \beta = \frac{2\sqrt{3}}{2} \rightarrow \beta = 66.59^\circ$$

$$180 - 113.42 - 81.78 + \phi_{\text{lead}} = 0$$

$$\phi_{\text{lead}} = 15.2^\circ$$



$$p = -1,5$$

$$\tan 15,2 = \frac{1,5}{\frac{p-z}{2\sqrt{3}}} \rightarrow 0,27 = \frac{1,5-z}{2\sqrt{3}} \rightarrow |z| = 0,55$$

$$z = -0,55$$

$$G_{lead} = K_c \cdot \frac{s+0,55}{s+1,5}$$

$$= K_c \cdot \frac{s + \frac{1}{T_1}}{s + \frac{1}{\alpha T_1}} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{1}{T_1} = 0,55 \\ \frac{1}{\alpha T_1} = 1,5 \end{array} \right\} \alpha = 0,36$$

$$|G \cdot G_{lead} \cdot G_{lag}|_{s=-2 \pm j2\sqrt{3}} = 1$$

$$\left| \frac{9}{s(s+2)} \cdot K_c \cdot \frac{s+0,55}{s+1,5} \cdot \overset{\approx 1}{G_{lag}} \right|_{s=-2 \pm j2\sqrt{3}} = 1$$

$$K_c = 1,38$$

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s + \frac{1}{T_1}}{s + \frac{1}{\alpha T_1}} \cdot \frac{s + \frac{1}{T_2}}{s + \frac{1}{\beta T_2}} \cdot \frac{9}{s(s+2)}$$

$$K_v = K_c \cdot \alpha \cdot \beta$$

$$50 = 1,38 \cdot 0,36 \cdot \beta$$

$$\beta = 100,64$$

$$\left| \frac{s + \frac{1}{T_2}}{s + \frac{1}{\beta T_2}} \right|_{s = -2 \pm j2\sqrt{3}} \approx 1 \quad -5^\circ \angle \frac{s + \frac{1}{T_2}}{s + \frac{1}{\beta T_2}} \angle 0^\circ \left|_{s = -2 \pm j2\sqrt{3}}$$

$$T_2 = 10$$

$$\left| \frac{s + \frac{1}{10}}{s + \frac{1}{(100.64)(10)}} \right|_{s = -2 \pm j2\sqrt{3}} = 0.98 \angle -1.24^\circ \quad \checkmark$$

$$G_c = 1.38 \cdot \underbrace{\frac{s + 0.55}{s + 1.5}}_{\text{Lead}} \cdot \underbrace{\frac{s + 0.1}{s + (0.00099)}}_{\text{Lag}}$$

# MATLAB KODU

```
clc;clear;close all;

num=9;
den=conv([1 0],[1 2]);
G=tf(num,den);
figure(1)
rlocus(G)

num2=[1 0.55];
den2=[1 1.55];
Glead=tf(num2,den2);

num3=[1 0.1];
den3=[1 0.00099];
Glag=tf(num3,den3);

Kc=1.38;
Gc=Kc*Glead*Glag;

Gopenloop=Gc*G;

figure(2)
rlocus(Gopenloop)
```

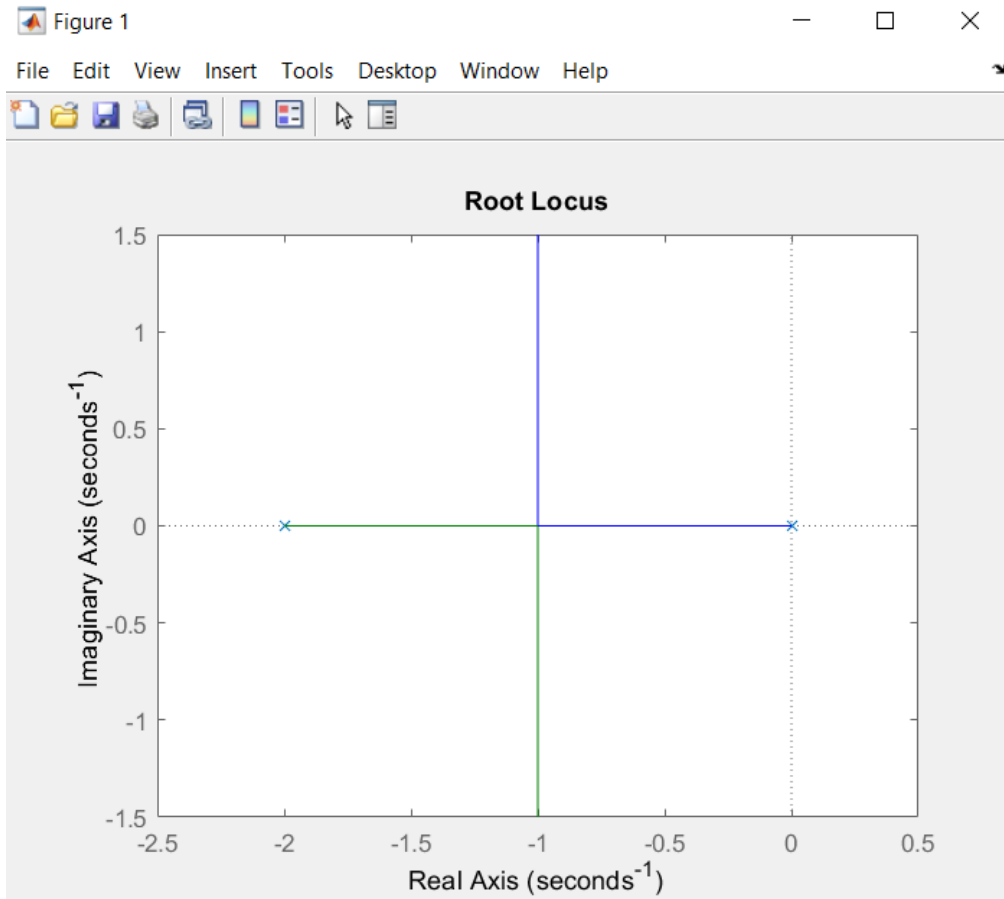


Figure 1  $G=tf(num,den)$  için Root Locus

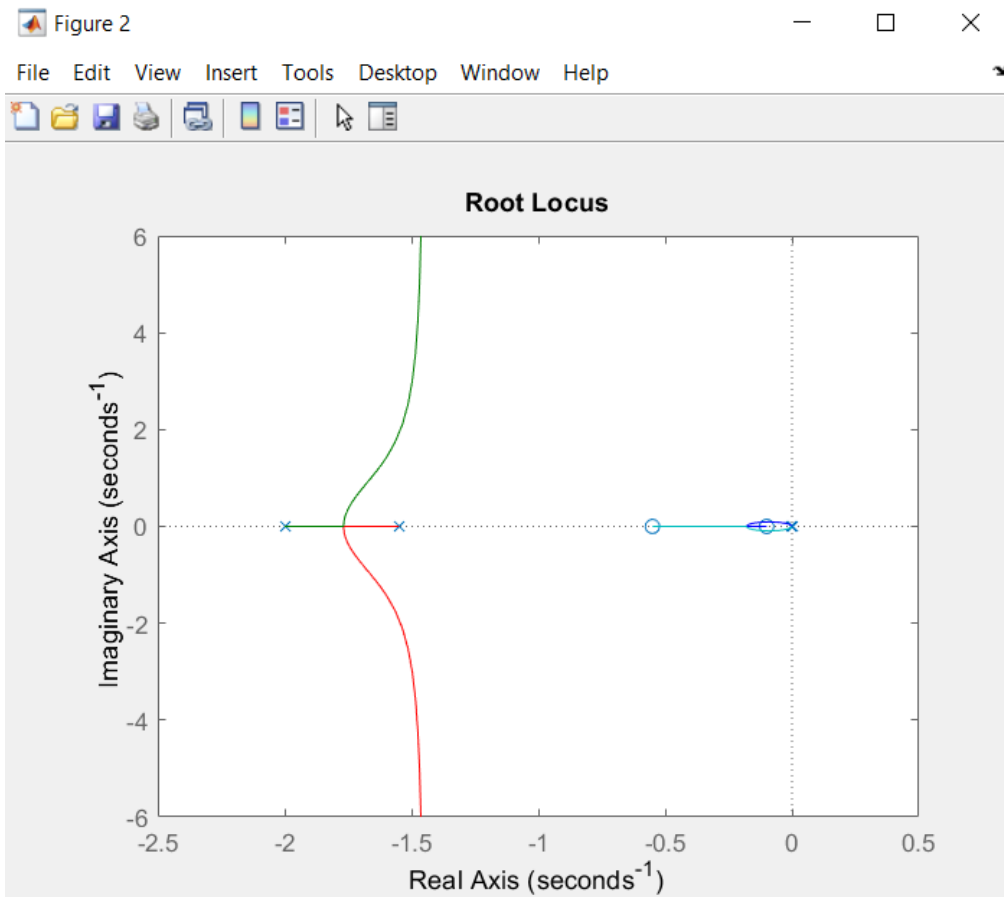
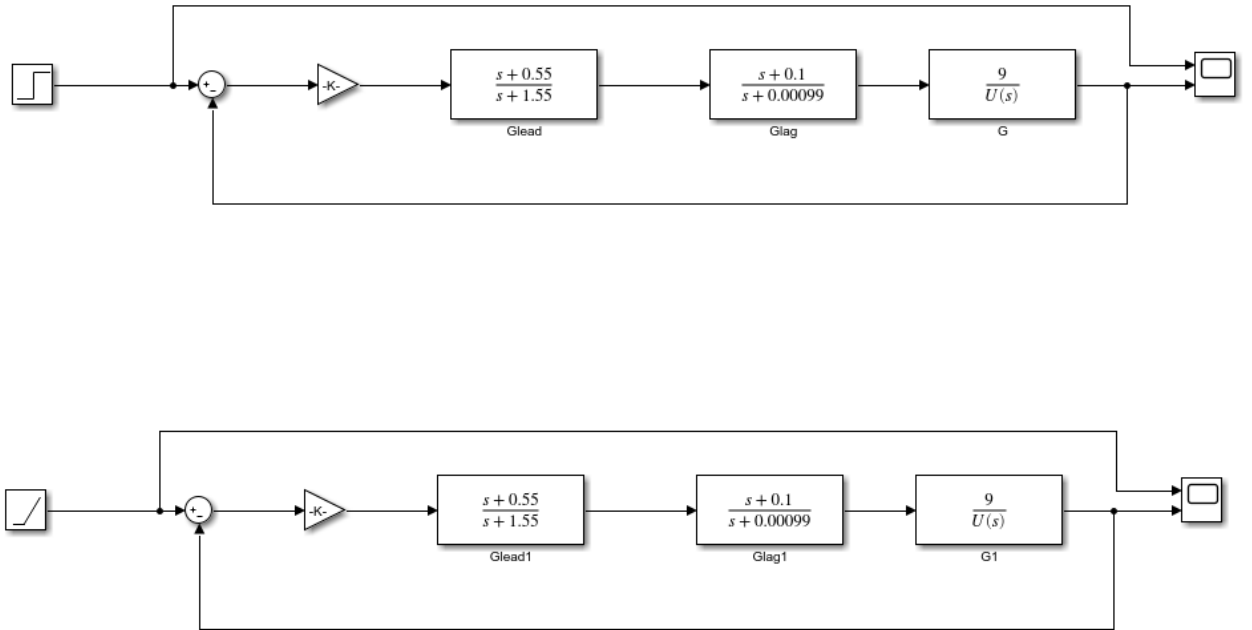


Figure 2  $Gc=Kc*G_{lead}*G_{lag}$  için Root Locus

# SİMLINK



*Figure 3 Simulink similasyon devresi*



Figure 4 Unit step için dengelenmiş ve dengelenmemiş sistemin scope çıkışları

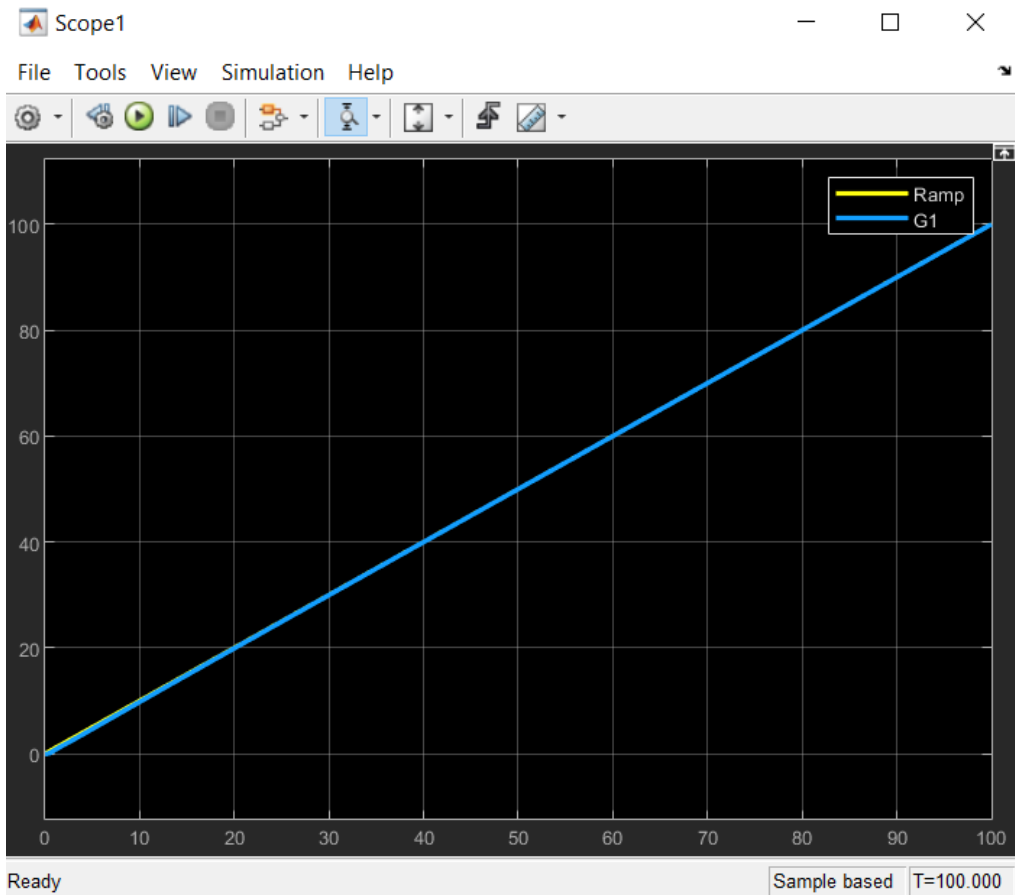


Figure 5 Rampa step için dengelenmiş ve dengelenmemiş sistemin scope çıkışları



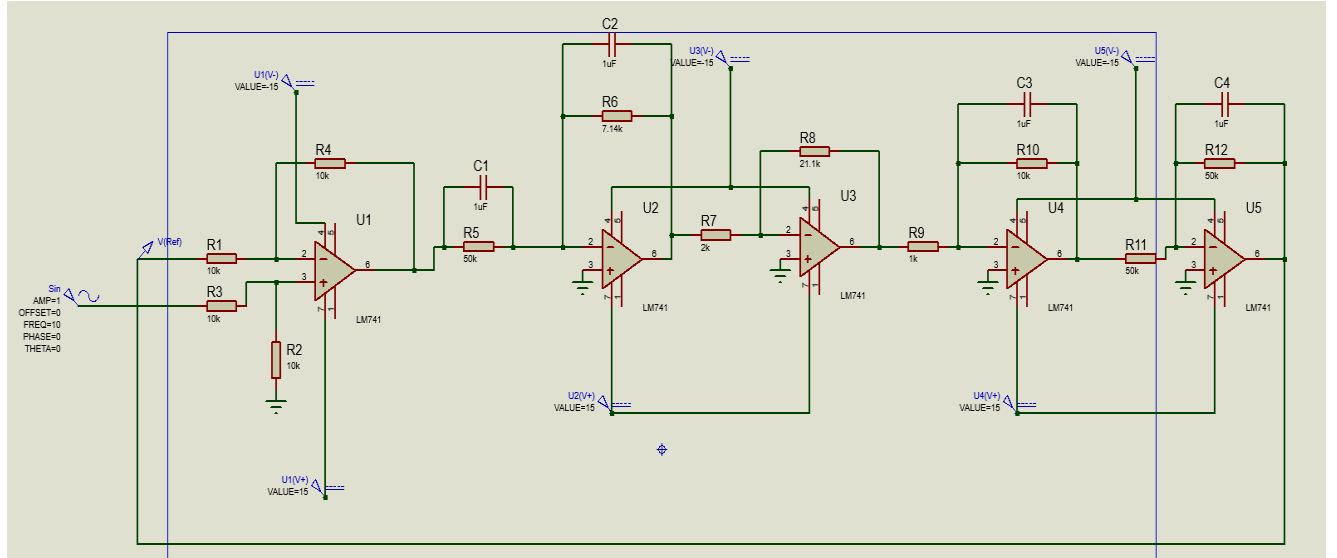


Figure 6 Proteus devresi

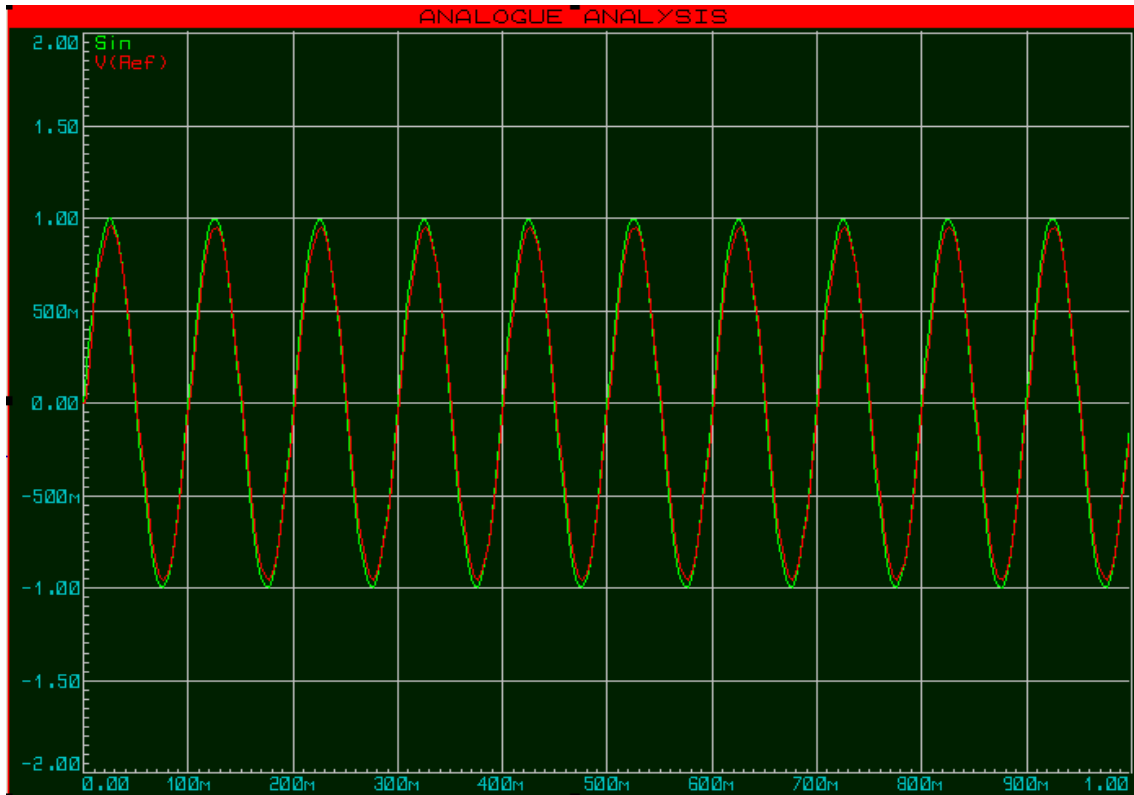


Figure 7 Dengelenmiş(VRef) ve dengelenmemiş(Sin) sistemin çıkışları

## YORUMLAR

- Lag compensator kalıcı durum hatasını daha da düşürmek için kullanılıyor ve propertial kontrole benziyor.
- Sisteme orijine çok yakın bir pole ve bir zero yerleştiriyor örneğin,  $p_0 \approx -0.01$  ve örneğin,  $z_0 \approx -0.1$ . (kutup sıfıra göre orijine daha yakın).
- Eklenen  $p_0$  polü ve  $z_0$  zerosu root-locus grafiğini çok az değiştirir neredeyse hiç değiştirmez.
- Lag compensator steady state kalıcı durum hatasını iyileştirmek için kullanılır.
- Lead compensatorde zero pole göre orijine daha yakın yerleştiriliyor.
- Lead compensator root locus grafiğini önmeli oranda değiştiriyor ve amacı root locus grafiğinin başaram için seçilmiş özel bir noktadan geçmesi sağlıyor.
- Lead-Lag compensator hem lead hem lag compensatorun özelliklerini taşıyor yani hem kalıcı durum hatasını iyileştiriyor hem de sistemin root locus grafiğinin istediğimiz bir noktadan geçmesini sağlıyor.
- Lead Lag compensatorler dışında Proportional, PI, PD, PID gibi temel kontrol tipleriyle de sistemin istenilen koşullarda çalışılması sağlanabilir hatta günümüz kontrol tasarımlarının %90 kadarlık kısmı PID kontrolcüyle tasarlanıyor.