

# **ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

## **TASARIM ÖDEVİ**

### **ROTOR KONTROLLÜ DC MOTOR PID HIZ KONTROLÜ**

#### **DANIŞMAN**

**Dr.Öğr.Üyesi Burhan BARAKLI**

#### **HAZIRLAYAN**

**Hüseyin Can SAĞIR**

**2021**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

**ROTOR KONTROLLÜ DC MOTOR PID HIZ  
KONTROLÜ**

**TASARIM ÖDEVİ**

**Hüseyin Can SAĞIR**

**B160100061**

**DANIŞMAN**

**Dr.Öğr.Üyesi Burhan BARAKLI**

**Bu ödev .. / .. /20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

.....  
**Jüri Başkanı**

.....  
**Üye**

.....  
**Üye**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana danışmanlık eden kıymetli Dr.Ögr.Üyesi Burhan BARAKLI hocama teşekkürlerimi bir borç biliyor sevgi, saygı ve şükranlarımı sunuyorum.

Ocak 2021

Hüseyin Can SAĞIR

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
ÖZET.....	xv
BÖLÜM 1.	
DC MAKİNELER VE İÇYAPISI VE ÇALIŞMA İLKESİ.....	1
BÖLÜM 2.	
ENDÜVİ KONTROLLÜ DC MOTOR MODELİ VE TRANSFER FONKSİYONUNUN BULUNMASI	3
BÖLÜM 3.	
SİSTEMİN AYRIK ZAMAN $G(z)$ TRANSFER FONKSİYONUN ELDE EDİLMESİ.....	6
3.1 T Örnekleme Periyodunun Belirlenmesi.....	6
3.2. Rezidü Formülü Kullanılarak ZOH'lu $G(z)$ 'nin Elde Edilmesi.....	7
BÖLÜM 4.	
AYRIK ZAMAN KONTROL SİSTEMLERİNDE SÜREKLİ HAL HATALARI .....	9
4.1. Birim Basamak İçin Sürekli Hal Hatası.....	9
4.2. Rampa Giriş İçin Sürekli Hal Hatası.....	10
4.3. Parabol Giriş İçin Sürekli Hal Hatası.....	12
4.4. Oransal kontrolörde farklı K değerleri için sistem cevapları.....	14

## BÖLÜM 5.

PID KATSAYILARININ HESAPLANMASI.....	16
--------------------------------------	----

## BÖLÜM 6.

KULLANICI MEMNUNİYET ANKETİ .....	18
-----------------------------------	----

6.1. Bozucu Girişli Klasik PID Kontrol Blok Diyagramı.....	18
--	----

6.2. Bozucu Girişli Modifiye PID Kontrol Blok Diyagramı.....	19
--	----

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	20
---------------------------	----

KAYNAKLAR.....	21
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	22
---------------	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$M_p$	Aşım	
$\zeta$	Sönüm oranı	
$W_n$	Doğal açısal frekans	
$\omega$	Açısal momentum	
$\psi$	Ayrık zaman argüman değeri	
$\tau$	Sistemin zaman sabiti	
$\beta$	Sürekli zaman argüman değeri	
$t$	Zaman	
$T$	Örnekleme zamanı	
$J$	Atalet momenti	$(\frac{kg}{m^2})$
$B$	Sürtünme viskos	$(\frac{Nm}{rad/s})$
$R_a$	Endüvi Direnci	$(\Omega=Ohm)$
$L_a$	Bobin (Endüktans) değeri	$(H=Henry)$
$t_s$	Yerleşme zamanı	
$n$	Rezidü sayısı	
$m$	Katlılık derecesi	
$K_b$	Zıt EMK Katsayısı	$(\frac{rad/s}{v})$
$K_i$	Elektriki moment katsayısı	$(\frac{Nm}{A})$
$e_{ss}$	Sürekli hal hatası	
$K_p$	Konum Hatası	
$K_v$	Hız hatası	
$K_a$	İvme hatası	
$K_p$	Oransal kontrol katsayısı	
$K_i$	İntegratör kontrol katsayısı	
$K_d$	Türevsel kontrol katsayısı	
$e_b(t)$	Zıt EMK	

$T_e(t)$	Elektriki moment
$T_y(t)$	Yük momenti
$T_m(t)$	Mekanik moment
$K$	Sistem kazancı
$U(t)$	Birim basamak giriş
ZOH	Sıfırıncı dereceden tutucu
DAC	Digital analog converter
ADC	Analog digital converter
$\sigma_d$	Sönüm çarpanı sabiti
$R$	Referans giriş
$G_c$	Kontrolör
$G_s$	Kontrol edilecek olan sistem (DC motor)
$T(t)$	Tork (moment)
$j$	Sistemin tipi
$n$	Sistemin derecesi
$i_a(t)$	Endüvi akımı
$e_a(t)$	Endüvi gerilimi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Endüktörün yapısı.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
Şekil 1.2 Endüvinin yapısı.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
Şekil 1.3 DC makine çalışması.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
Şekil 2.1 Rotor kontrollü DC makine eşdeğer modeli .....	3
Şekil 2.2 Transfer fonksiyonunun modeli .....	3
Şekil 2.3 Rotor kontrollü DC Makine Kontrol Blok Diyagramı .....	4
Şekil 2.4 Bulunan transfer fonksiyonunun birim basamak cevabı .....	5
Şekil 3.1 Rezidü formülü.....	7
Şekil 3.2 ZOH'lu $G(z)$ .....	8
Şekil 4.1.1 Sadece proporsiyonel kontrol için birim basamak ess .....	9
Şekil 4.1.2 Sadece PI kontrol için birim basamak ess .....	10
Şekil 4.2.1 Rampa giriş ess $j=0$ .....	11
Şekil 4.2.2 Rampa giriş $j=1$ .....	11
Şekil 4.2.3 Rampa giriş $j=2$ .....	12
Şekil 4.3.1 Rampa giriş $j=2$ ve $j=2$ için $ess < \infty$ .....	13
Şekil 4.3.2 $j > 2$ için $ess = 0$ .....	13
Şekil 4.4.1 Farklı K değerleri için oransal kontrol blok diyagramı .....	14
Şekil 4.4.2 Farklı K değerleri ve sistemin cevabı .....	15
Şekil 5.1 ZOH'lu $G(z)$ .....	16
Şekil 6.1.1 Klasik PID Kontrol sisteminin blok diyagramı .....	18
Şekil 6.1.2 Klasik Kontrol sisteminin bozucuya karşı davranışı .....	18
Şekil 6.2.1 Klasik PID Kontrol sisteminin blok diyagramı .....	11
Şekil 6.2.2 Modifiye PID Kontrol sisteminin blok diyagramı.....	19



## ÖZET

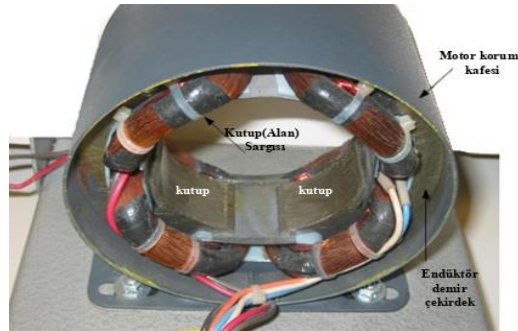
Yapılan bu çalışmada rotor kontrollü DC makinanın hızının kolay bir şekilde kontrolü için basit bir PID kontrolcü tasarlanmıştır. Bunun için ilk önce endüviye uygulanan gerilime karşılık motorun hız davranışını temsil eden sistem, motor dinamik denklemlerinden oluşturulmuştur. Daha sonra gerekli motor parametreleriyle hesaplanan transfer fonksiyonu göz önünde bulundurularak PID katsayıları hesaplanmış ve motorun davranışı MATLAB/SİMULİNK ortamında simule edilmiştir. Simülasyon çalışmalarının hangi hesaplamalara dayalı olarak yapıldığı açıklanmış ve sonuçlar verilmiştir.

## 1.BÖLÜM DC MAKİNELER VE İÇYAPISI VE ÇALIŞMA İLKESİ

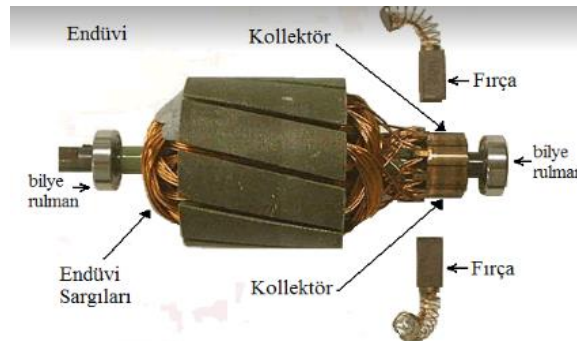
Doğru akım makineleri endüktör ve endüvi 2 ana parçadan meydana gelmiştir. Diğer parçaları elektrik iletimini sağlaması veya mekanik açıdan avantaj sağlaması için vardır. Burada sadece endüktör ve endüviye değinilecektir.

**Endüktörün Yapısı ve görevi:** Doğru akım motorlarında manyetik alanın meydana geldiği kısımdır. Endüktöre kutup da denilmektedir. Amacı endüvi sargılarına tesir edecek manyetik akının üretilmesidir. Endüktörler sabit mıknatıslarla yapıldığı gibi, elektro mıknatıslar kullanılarak da yapılabilir.

**Endüvinin Yapısı ve görevi:** Gövdesindeki ince çelik saclara sarılı bakır tel sargılardan oluşur. DC güç kaynağından çekilen akım sargılardan geçer. Aynı anda endüktörün ürettiği manyetik akı sargılara dik bir şekilde geldiğinde endüvi üzerinde mekanik bir kuvvet ve zıt EMK meydana gelir. Fırçaların sargılardaki akımın yönünü tersine çevirmesiyle döner hareket açığa çıkar.

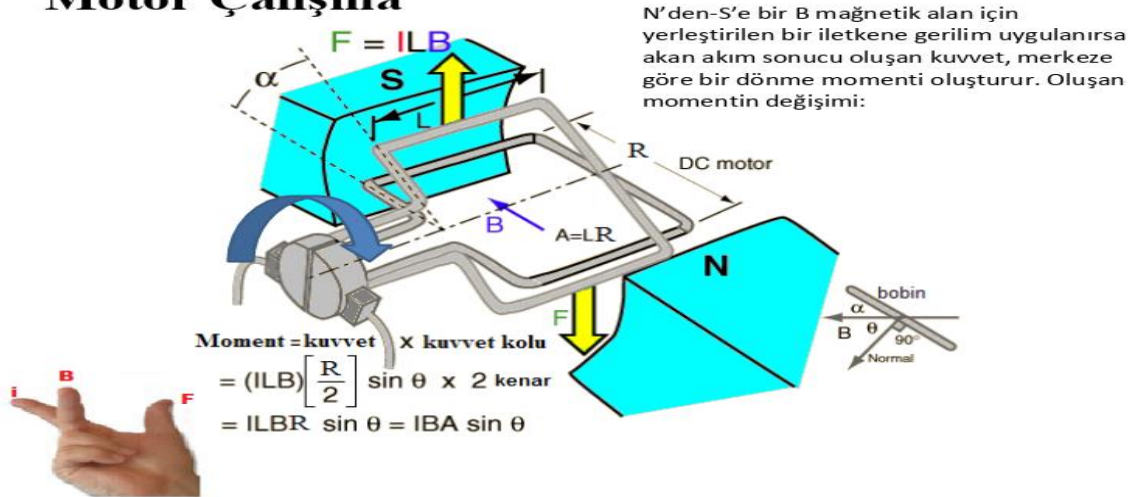


Şekil 1.1 Endüktörün yapısı



Şekil 1.2 Endüvinin yapısı

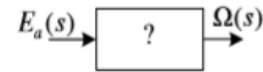
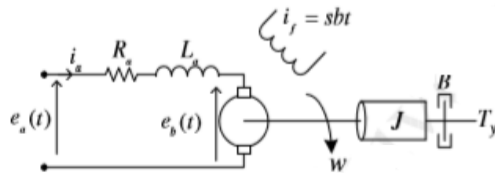
## Motor Çalışma



Şekil 1.3 DC makine çalışması

## 2.BÖLÜM ENDÜVİ KONTROLLÜ DC MOTOR MODELİ VE TRANSFER FONKSİYONUNUN BULUNMASI

Verilen endüvi kontrollü DC makinenin kontrol blok diyagramı elde edilecektir.



Şekil 2.1 Rotor kontrollü DC makine eşdeğer modeli[1]

şekil2.2 Transfer fonksiyonunun modeli[1]

t-domeninde dinamik denklemler yazılır.

1-  $e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t)$  Rotor sargısı için çevre denklemi yazılır.

2-  $T_e(t) = K_i i_a(t)$  Elektriki moment

3-  $T_m(t) = J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t) + T_y$  Mekanik moment

4-  $e_b(t) = K_b w(t)$  Zıt EMK

5-  $T_e(t) = T_m(t)$  Sürekli Rejimde

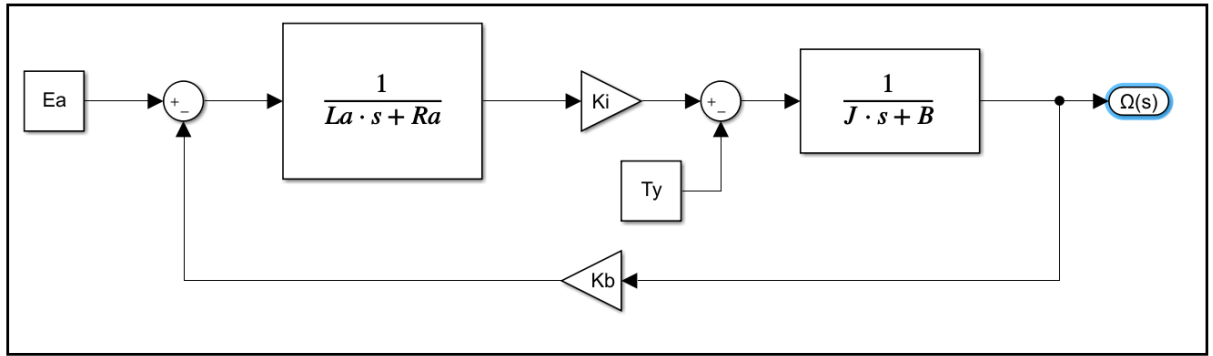
t domeninde elde edilen 1-4 denklemlerinin Laplace dönüşümleri aşağıda verilmiştir.

1-  $E_a(s) = R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + E_b(s)$   $I_a(s) = \frac{E_a(s) - E_b(s)}{sL_a + R_a}$

2-  $T_e(s) = K_i I_a(s)$

3-  $T_m(s) = sJ\Omega(s) + B\Omega(s) + T_y(s)$   $\Omega(s) = \frac{T_m(s) - T_y(s)}{sJ + B}$

4-  $T_e(s) = T_m(s)$  (sürekli rejimde)



Şekil 2.3 Rotor kontrollü DC Makine Kontrol Blok Diyagramı

Sistemin Transfer Fonksiyonu:

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{\text{İleri yol transfer fonksiyonu}}{1 + \text{İleri yol transfer fonksiyonu} * \text{Geri yol transfer fonksiyonu}}$$

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_i \frac{1}{sL_a + R_a} \frac{1}{sJ + B}}{1 + K_i \frac{1}{sL_a + R_a} \frac{1}{sJ + B} K_b}$$

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_i}{(sL_a + R_a)(sJ + B) + K_i K_b}$$

Bu denklem ile Rotor Kontrollü DC makinenin kapalı çevrim Transfer fonksiyonu elde edilmiş olur.

2) Transfer Fonksiyon Parametrelerinin Belirlenmesi

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_i}{sJ R_a + R_a B + K_i K_b}$$

DC motorun gerekli olan parametreleri ise aşağıdaki gibidir. Bu parametreler motor üzerinde deney yaparak bulunabilir. [3]

$$\begin{aligned} J &= 0.00349 & R_a &= 31.825 \\ B &= 0.0001 & L_a &= 0 \\ K_i &= 0.5024 \\ K_b &= 0.6739 \end{aligned}$$

Burada mekanik zaman sabiti , elektriki zaman sabiti  $L/R$  den çok büyük olduğundan  $L$  basitçe 0 alınmıştır.

$G(s)$  hesaplandığında birinci dereceden bir sistem olduğu görülür. Birinci dereceden sistemin transfer fonksiyonu şu şekildedir;

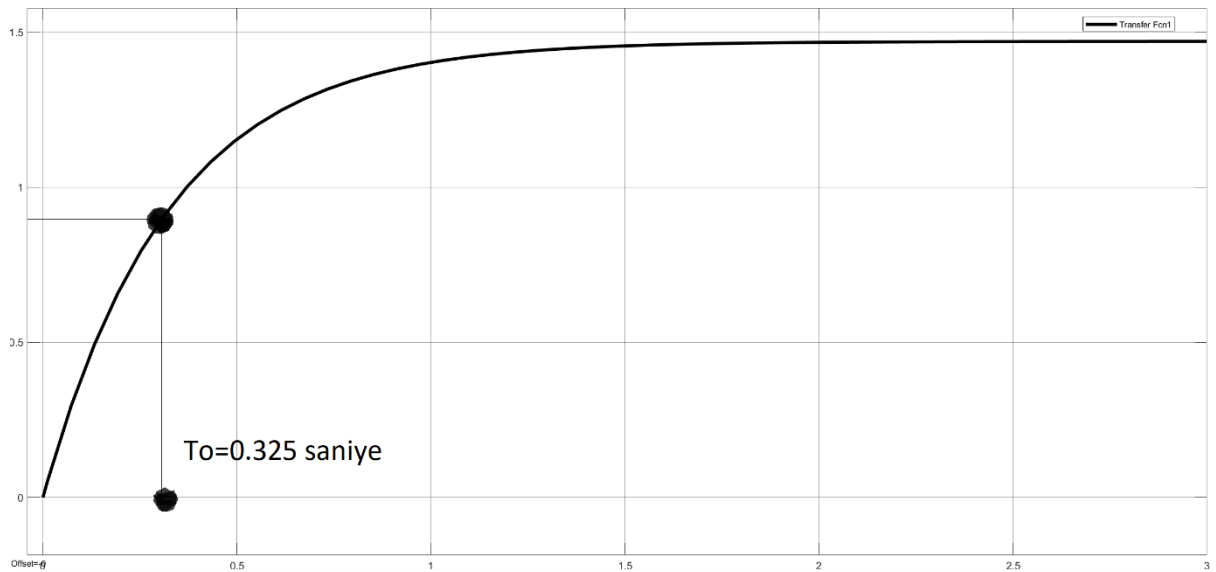
$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \text{ dir.} \quad G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_i}{sJR_a + R_aB + K_iK_b}$$

Bu verilen iki transfer fonksiyonu birbirine eşitlenir,  $K$  ve  $\tau$  değerleri hesaplanır.

Parametreler  $G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_i}{sJR_a + R_aB + K_iK_b}$  denkleminde gerekli olan yerlere koyulup işlem tamamlandığında;

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{1.4701}{0.325s + 1} \text{ olarak 1. Dereceden bir transfer fonksiyonu olarak elde edilir.}$$

Pratikte de  $K_i=1.470$  ve  $T_o:K_i \cdot \%3.2$  ye denk gelen süre olan 0.3250 olarak osiloskop kullanılarak da okunabilir. Böylece basitçe transfer fonksiyonu bulunmuş olunur.



**Şekil 2.4 Bulunan transfer fonksiyonunun birim basamak cevabı**

### 3.BÖLÜM SİSTEMİN AYRIK ZAMAN $G(z)$ TRANSFER FONKSİYONUN ELDE EDİLMESİ

#### 3.1 T Örneklem Periyodunun Belirlenmesi [1]

Belirlenen DC motor transfer fonksiyonu üzerinden hesaplanan  $\tau$  değeri kullanılarak örnekleme zamanı seçilir. Örneklem zamanı seçilirken dikkat edilmesi gereken husus şu şekildedir:

T örnekleme zamanı  $\tau$  zaman sabitinin  $\frac{\tau}{5}$  ile  $\frac{\tau}{10}$  arasında bir değer olarak seçilmesi gerekir çünkü zaman sabitinin belirtilen aralık arasındaki değerlerinden daha büyük örnekleme zamanı seçilmesi sistem çalışırken istenilen örneklemelerin alınamamasına sistemin istenilen şekilde davranmamasına neden olur.

T'nin belirlenmesi kontrolör tasarımının en önemli kararlarından birisidir. Sayısal kontrolör tasarımında verilecek olan kararlardan ilkidir.

Ne kadar hızlı örneklenirse o kadar sistem iyi olur diye düşünmek yanlıştır. Gereğinden hızlı örnekleme hem gereksiz işlem fazlalığına hem de sistemin parametre değişimlerine karşı, özellikle kapalı çevrim kazancı K, duyarlılığını artırır.

$Z = \lim_{T \rightarrow 0} \left( e^{-\frac{T}{\tau}} \right) = 1$  ifadesinden de görüldüğü gibi T çok küçüldükçe transfer fonksiyonundaki tüm kutuplar  $z=1$ 'de toplanır. Bunun sonucu olarak, transfer fonksiyonundaki kazanç K'daki küçük değişimler çıkış cevabında büyük değişimlere sebep olur, ciddi salınımlar oluşur hatta sistem kararsız olabilir.  $\tau > T$  olmalıdır.

DC motor transfer fonksiyonunu incelediğimizde;

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{1.4701}{0.325s+1} = \frac{K}{\tau s+1} \text{ eşitliği göz önüne alınırsa}$$

$\tau$  = zaman sabiti 0.325 değerine eşit olduğu görülür.

$T = \frac{\tau}{10} = 0.0325$  olarak örnekleme zamanı hesaplanmış olur.

Belirlenen bu örnekleme zamanı,  $\tau$  zaman sabitinin  $\frac{\tau}{5}$  ile  $\frac{\tau}{10}$  arasında bir değer olarak hesaplanmıştır. [1]

### 3.2 Rezidü Formülü Kullanılarak ZOH'lu $G(z)$ 'nin Elde Edilmesi

$$X(z) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{(m-1)!} \frac{d^{m-1}}{ds^{m-1}} \left[ (s-s_i)^m X(s) \frac{z}{z-e^{sT}} \right]_{s=s_i} \right\}$$

$X(z)$  ifadesinde  
 “n”  $X(s)$  ' in rezidü sayısı,  
 “m” i.kutbun katlılık derecesini,  
 $s_i$  i.çarpan kökü  
 $T$  örnekleme zamanıdır.

Şekil 3.1 Rezidü formülü [1]

$$G(s) = \frac{1.4701}{0.325s+1} = \frac{4.523}{s+3.077}$$

Rezidü formülünden;

$$G(z) = Z \left[ \frac{1-e^{-sT}}{s} * \frac{4.523}{s+3.077} \right]$$

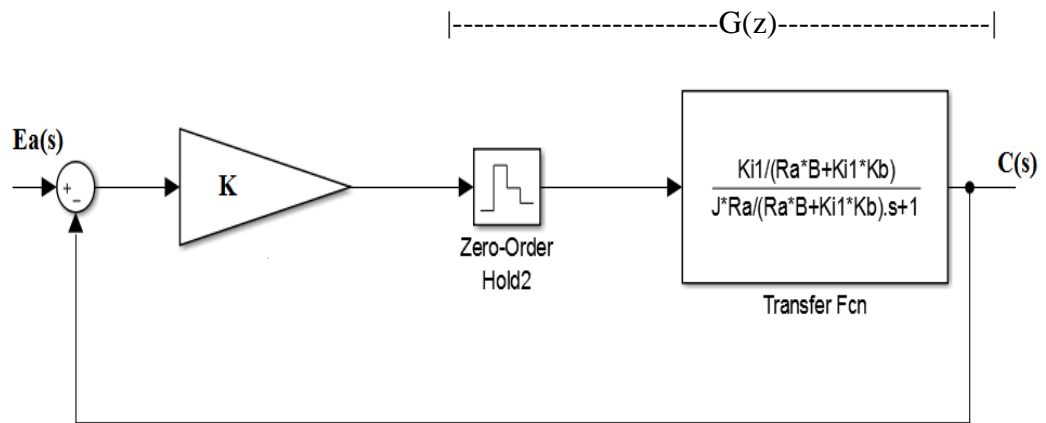
$$G(z) = \frac{z-1}{z} * \left\{ s * \frac{4.523}{s(s+3.077)} * \frac{z}{z-e^{sT}} \mid + (s+3.077) * \frac{4.523}{s(s+3.077)} * \frac{z}{z-e^{sT}} \mid \right\}$$

$$s=0, T=0.01$$

$$s=-3.077, T=0.0325$$

$G(z) = \frac{0.1399}{z-0.9048}$  olarak ZOH'lu ayırık zaman transfer fonksiyonu elde edildi. Matlab üzerinden c2d komutuyla teyit edildi.





Şekil 3.2 ZOH'lu  $G(z)$

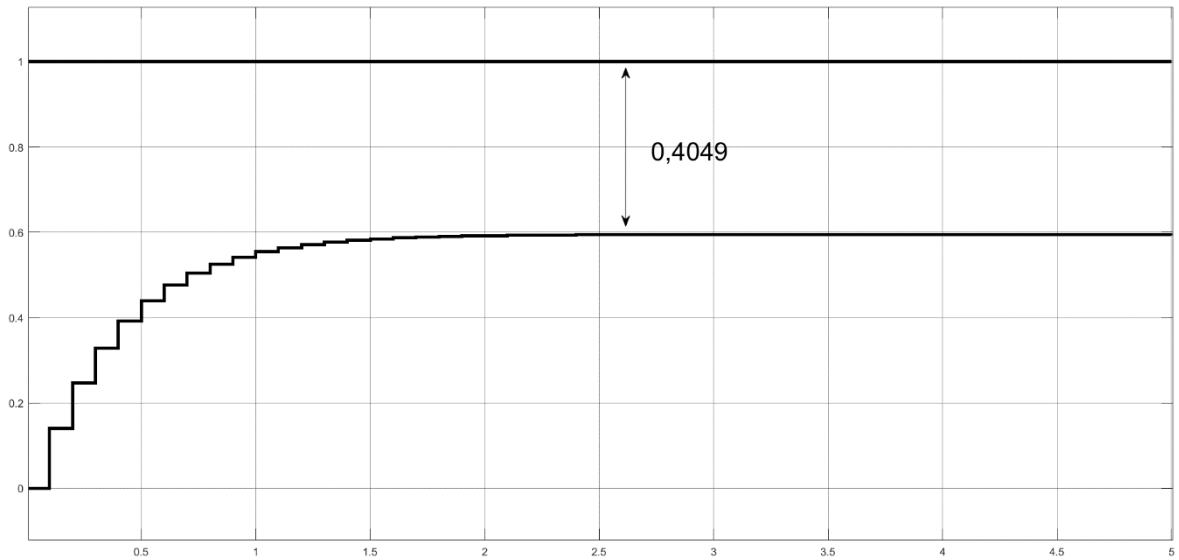
## 4.BÖLÜM AYRIK ZAMAN KONTROL SİSTEMLERİNDE SÜREKLİ HAL HATALARI

### 4.1 Birim Basamak İçin Sürekli Hal Hatası

$$K_p = \lim_{z \rightarrow 1} G(z) = G(1) = \frac{0.1399}{1-0.9048} = 1.4695 \quad (\text{Konum hata katsayısı})$$

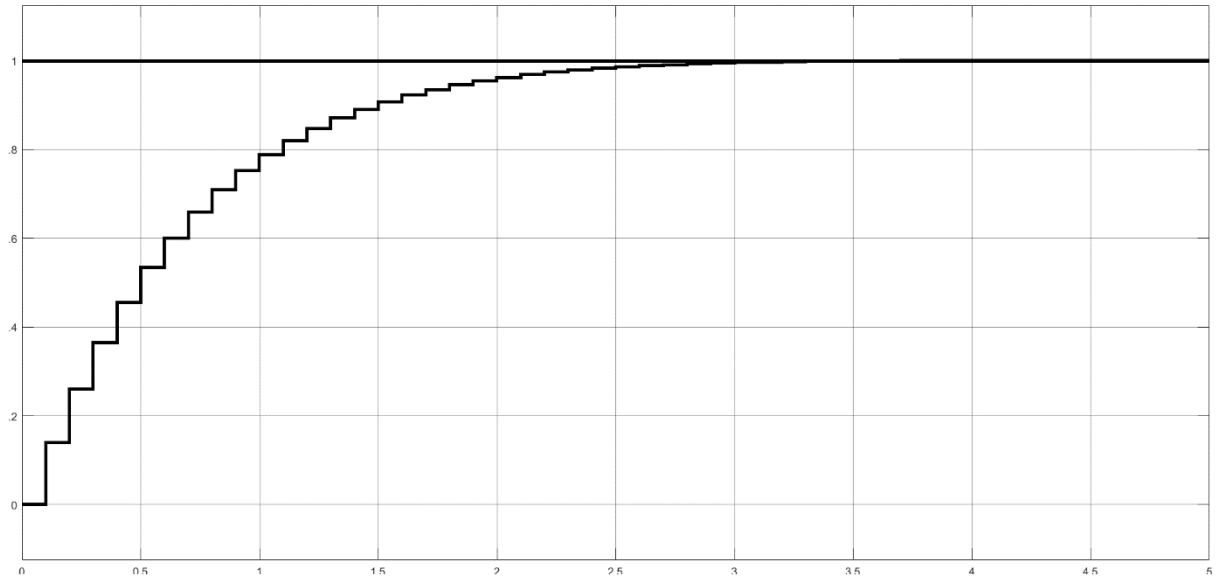
Sistem tipi  $j=0$

$$e_{ss} = \frac{1}{1+K_p} = \frac{1}{1+1.4695} = 0.405 \quad (\text{Konum hatası})$$



Şekil 4.1.2 Sadece proportioanal kontrol için birim basamak ess

**NOT:** Birim basamak giriş de sürekli hal hatasını 0 yapmak için sisteme bir integratör eklerim.  $j=1$  olursa  $K_p$  sonsuza gideceğinden  $e_{ss}=0$  olur.



Şekil 4.1.2 Sadece PI kontrol için birim basamak ess

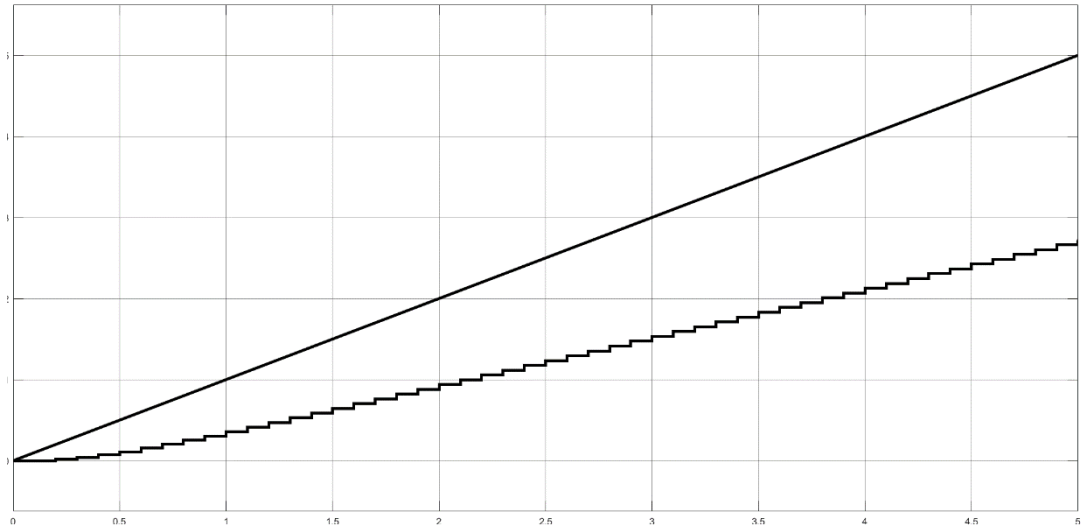
## 4.2 Rampa Giriş İçin Sürekli Hal Hatası

$$K_v = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) G(z)$$

$$K_v = \frac{1}{0.0325} \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) * \frac{0.1399}{z - 0.9048} = 0 \quad \text{Hız hata katsayısı}$$

Sistem tipi  $j=0$

$$E_{ss} = \frac{1}{K_v} = \frac{1}{0} = \infty \quad \text{Hız hatası}$$



Şekil 4.2.1 Rampa giriş ess j=0

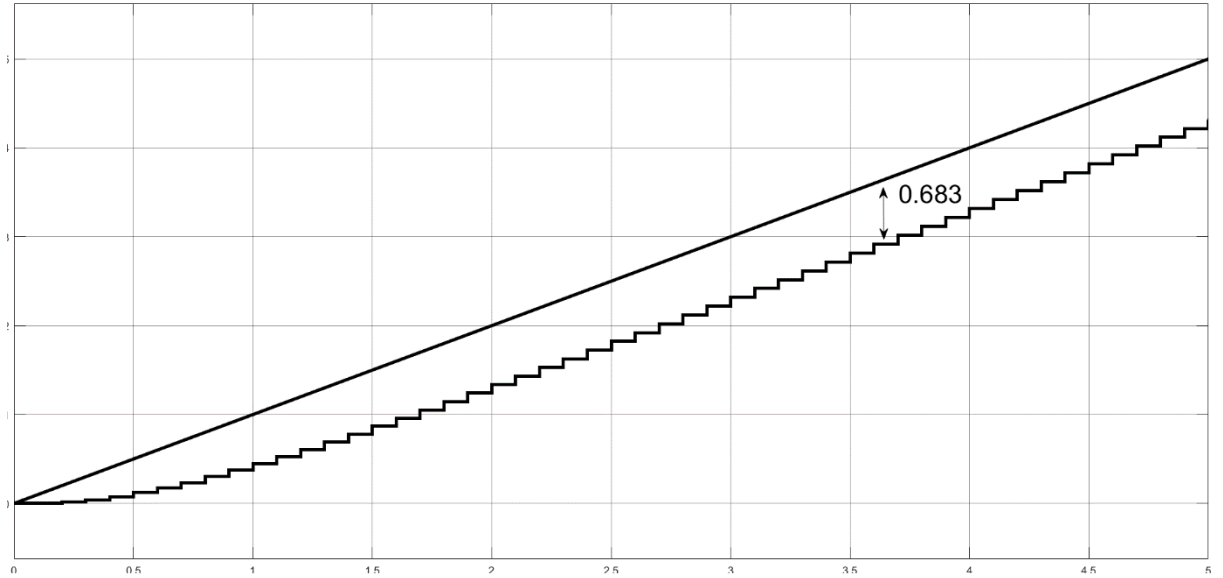
Görüldüğü gibi hatanın değeri gitgide artmakta ve hata sonsuza ( $\infty$ ) gitmektedir.

$$j = 1 \text{ için } e_{ss} = \frac{1}{K_v}$$

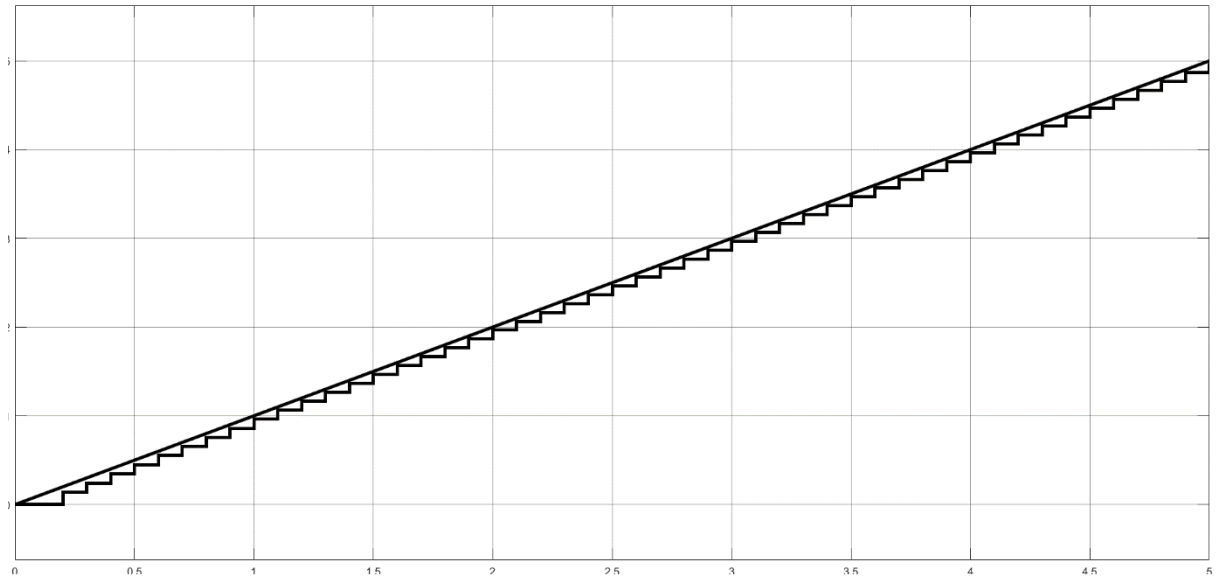
$$K_v = \frac{1}{0.0325} \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) * \frac{K_p * Z}{T_i (Z - 1)} \frac{0.1399}{Z - 0.9048} : \text{Bir sabit sayıya denk gelmektedir.}$$

$$E_{ss} = \frac{1}{K_v} : \text{sabit bir değerdir}$$

İntegral sabiti artırıldıkça Ess azalır.



Şekil 4.2.2 Rampa giriş j=1



Şekil 4.2.3 Rampa giriş j=2

### 4.3 Parabol Giriş İçin Sürekli Hal Hatası

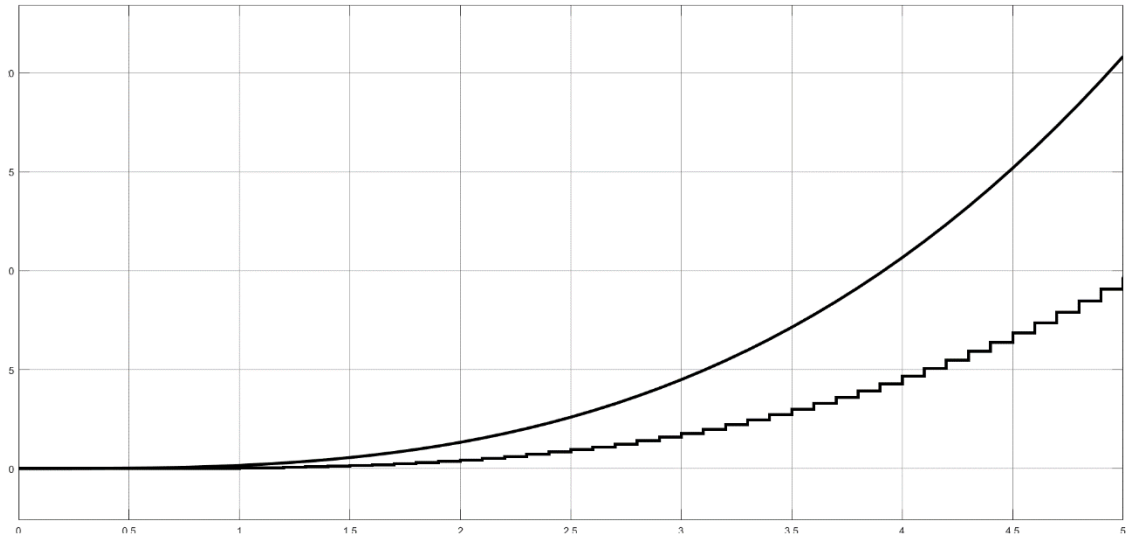
$$J=0$$

$$K_a = \frac{1}{T^2} * \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1)^2 * G(z)$$

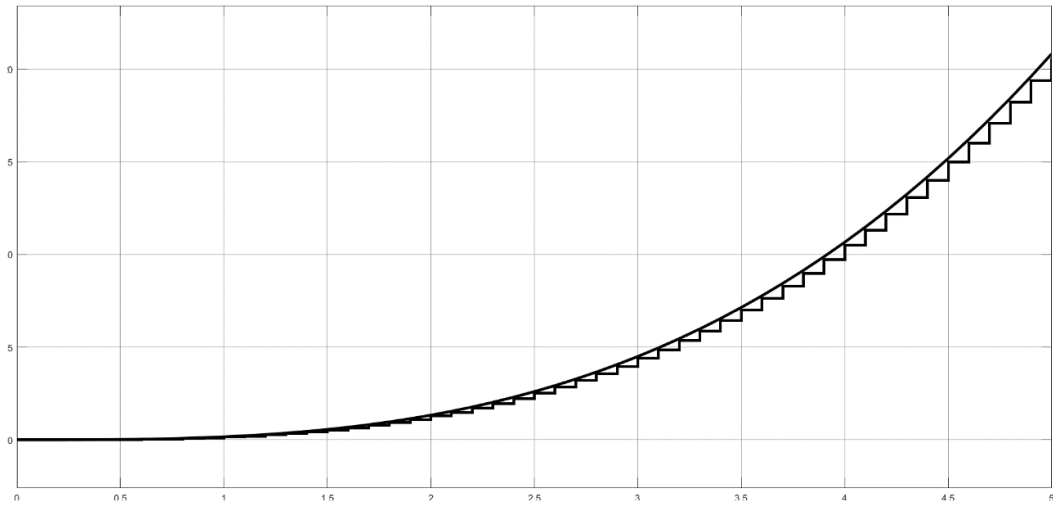
$$K_a = \frac{1}{T^2} * \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1)^2 * \frac{0.1399}{z - 0.9048} = 0 \quad (\text{İvme hata katsayısı})$$

$$E_{ss} = \frac{1}{K_a} = \frac{1}{0} = \infty \quad (\text{İvme hatası})$$

NOT: Parabol giriş ile sürekli hal hatasını 0 yapmak için sistemin tipi artırılır.

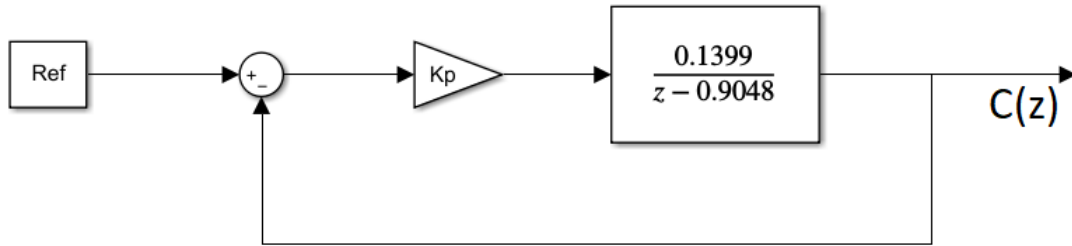


Şekil 4.3.1 Rampa giriş  $j=2$  ve  $j=2$  için  $e_{ss} < \infty$



Şekil 4.3.2  $j > 2$  için  $e_{ss} = 0$

#### 4.4 Oransal kontrolörde farklı K değerleri için sistem cevapları



Şekil 4.4.1 Farklı K değerleri için oransal kontrol blok diyagramı

Ref=10 ve farklı K değerleri için;

K=1 için;

$$K_p = \lim_{z \rightarrow 1} G(z) = G(1) = \frac{0.1399}{1-0.9048} = 1.467$$

$$e_{ss} = \frac{10}{1+K_p} = \frac{10}{1+1.467} = 4.0493$$

K=2 için;

$$K_p = \lim_{z \rightarrow 1} G(z) = G(1) = \frac{2 \cdot 0.1399}{1-0.9048} = 2.94$$

$$e_{ss} = \frac{10}{1+K_p} = \frac{10}{1+2.94} = 2.538$$

K=3 için;

$$K_p = \lim_{z \rightarrow 1} G(z) = G(1) = \frac{3 \cdot 0.1399}{1-0.9048} = 4.406$$

$$e_{ss} = \frac{10}{1+K_p} = \frac{10}{1+4.406} = 1.85$$

K=4 için;

$$K_p = \lim_{z \rightarrow 1} G(z) = G(1) = \frac{4 \cdot 0.1399}{1-0.9048} = 5.873$$

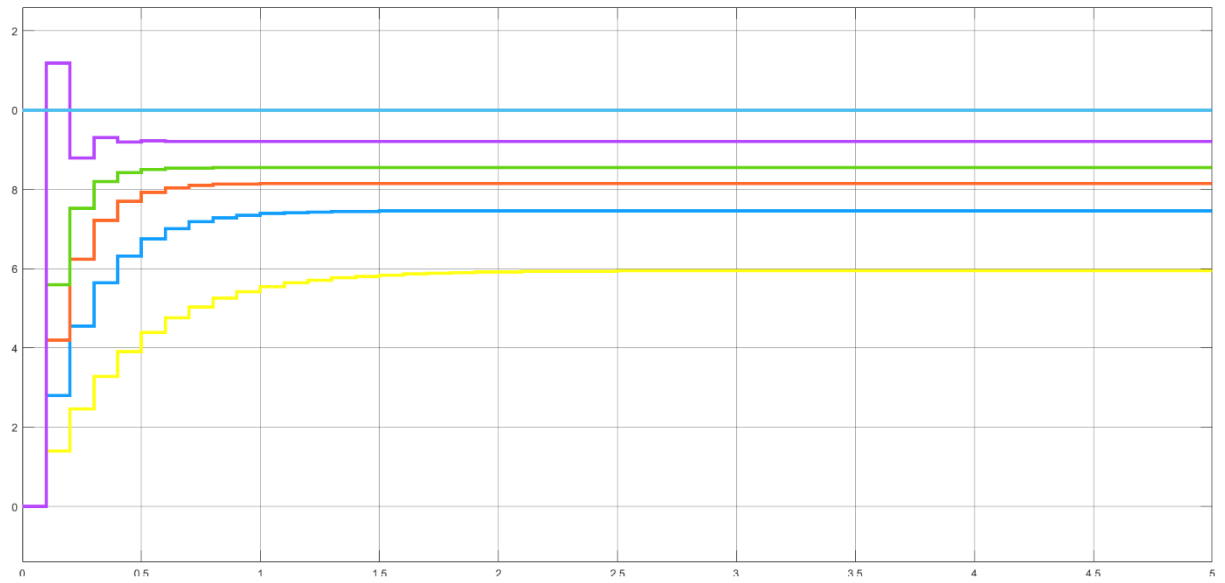
$$e_{ss} = \frac{10}{1+K_p} = \frac{10}{1+5.873} = 1.455$$

$K=8$  için;

$$K_p = \lim_{z \rightarrow 1} G(z) = G(1) = \frac{8 \cdot 0.1399}{1 - 0.9048} = 7.34$$

$$e_{ss} = \frac{10}{1 + K_p} = \frac{10}{1 + 7.34} = 1.2$$

Elde edilen grafiksel yorum aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.4.2 Farklı  $K$  değerleri ve sistemin cevabı

**YORUM:**  $K$  değerinin artırılması ile sistem cevabında hızlanma ve sürekli hal hatasında azalma görüldü.



## 5. BÖLÜM PID KATSAYILARININ HESAPLANMASI

$$G_p(z) = \frac{0.1399}{z - 0.9048}$$

Ayrık zaman PID kontrolör tasarımı için; [2]

$$K_d = \frac{|z_1|}{\sin \beta} \left\{ \frac{K_i \sin \beta}{|z_1| - 2 \cos \beta + \frac{1}{|z_1|}} + \frac{\sin \psi}{|G_p(z_1)|} \right\} \quad z_1 = |z_1| e^{j\beta} \quad G_p(z_1) = |G_p(z_1)| e^{j\psi}$$

$$K_p = -\frac{\cos \psi}{|G_p(z_1)|} - 2K_i |z_1| \frac{|z_1| - \cos \beta}{|z_1|^2 - 2|z_1| \cos \beta + 1} + \frac{-|z_1| \sin \psi + \cos \beta \sin \psi}{|G_p(z_1)| \sin \beta}$$

Şekil 5.1 PID kontrolör tasarımı formülü[2]

$T = 0,0325 \text{ sn}$  ,  $\xi = 0.707$  ,  $M_p = 4,32$  ,  $ts = 1 \text{ sn}$  Olarak seçildi.

$$\text{sönüm frekansı } \omega_n = \frac{M_p}{\xi * ts} = \frac{4.32}{0.707 * 1} = 2.4441$$

$$e_{ss} = \frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{2 * 0.6901}{6.1103} = 0,5$$

$$\text{kontrol kutupları } s_{1,2} = \xi * \omega_n \pm j * \omega_n * \sqrt{(1 - \xi^2)} = -1.7280 \pm 1.7285j$$

$$\text{ayrık zaman kontrol kutupları } Z_{1,2} = e^{s*T} = 0.9439 + 0.0531j$$

$$|z_1| = 0.9454 \quad \beta = 0.0562 \text{ rad}$$

$$G_p(z_1) = -1.2580 - 1.7097j$$

$$|G_p(z_1)| = 2.1226 \quad \psi = -0.9364 \text{ rad}$$

$$kv = \frac{1}{ess} = \frac{wn}{2 * \xi} = 1.9755$$

$$kv = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1) * \left( K_p + K_i \frac{z}{z-1} + K_d \frac{z-1}{z} \right) * \frac{0,1399}{z-0,9048} \text{ ise}$$

$$1.9755 = \frac{1}{0,0325} * K_i * \frac{0,1399}{1-0,9048} \text{ ise } K_i = 0,0437 \text{ olarak elde edilir.}$$

Şekil 5.1 deki formüller kullanılarak;

$$K_p = \frac{-\cos(\psi)}{|G_p(z_1)|} - * \frac{2Ki|z_1| * (|z_1| - \cos(\beta))}{|z_1|^2 - 2|z_1|\cos(\beta) + 1} + \frac{-|z_1|\sin(\psi) + \cos(\beta)\sin(\psi)}{|G_p(z_1)|\sin(\beta)} = 0.0966$$

$K_p=0.0966$  olarak elde edilir.

$$K_d = \frac{|z_1|}{\sin(\beta)} * \left( \frac{K_i * \sin(\beta)}{|z_1| - 2 * \cos(\beta) + \frac{1}{|z_1|}} + \frac{\sin(\psi)}{|G_p(z_1)|} \right) = 0,01547$$

$K_d=0,01547$  olarak elde edilir.

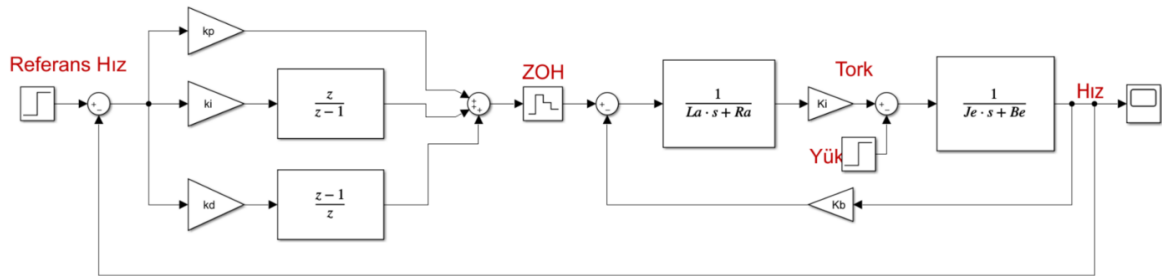
Sonuçlar MATLAB üzerinden doğrulanmıştır.

$$G_{pid} = K_p + K_i \frac{z}{z-1} + K_d \frac{z-1}{z} \text{ idi.}$$

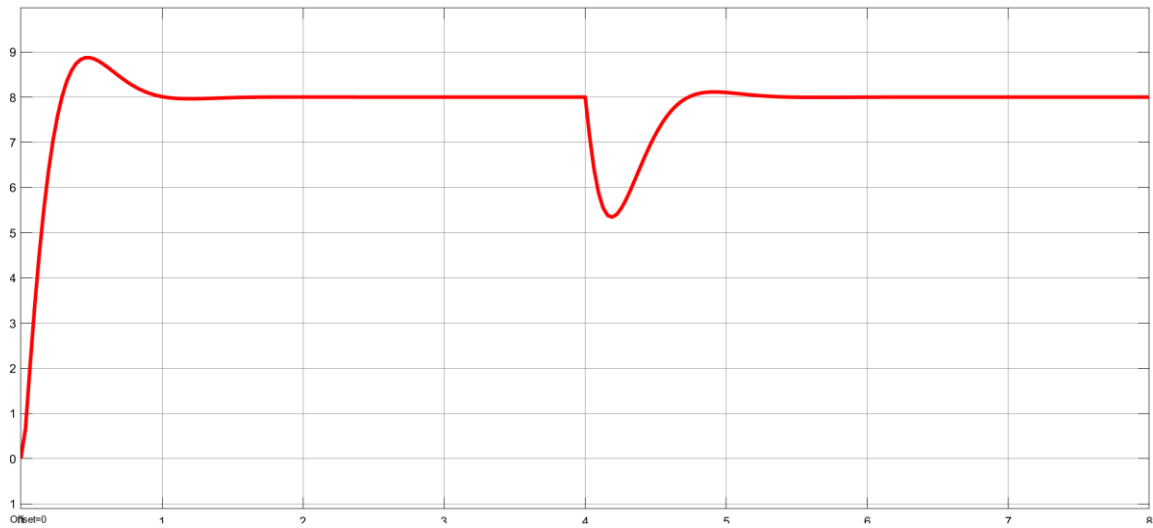
$$G_{pid} = 0.0966 + 0,0437 * \frac{z}{z-1} + 0,01547 * \frac{z-1}{z} \text{ olarak elde edilir.}$$

## 6. BÖLÜM PID KONTROLÖRLÜ BLOK DİYAGRAMLARI

### 6.1 Bozucu Girişli Klasik PID Kontrol Blok Diyagramı



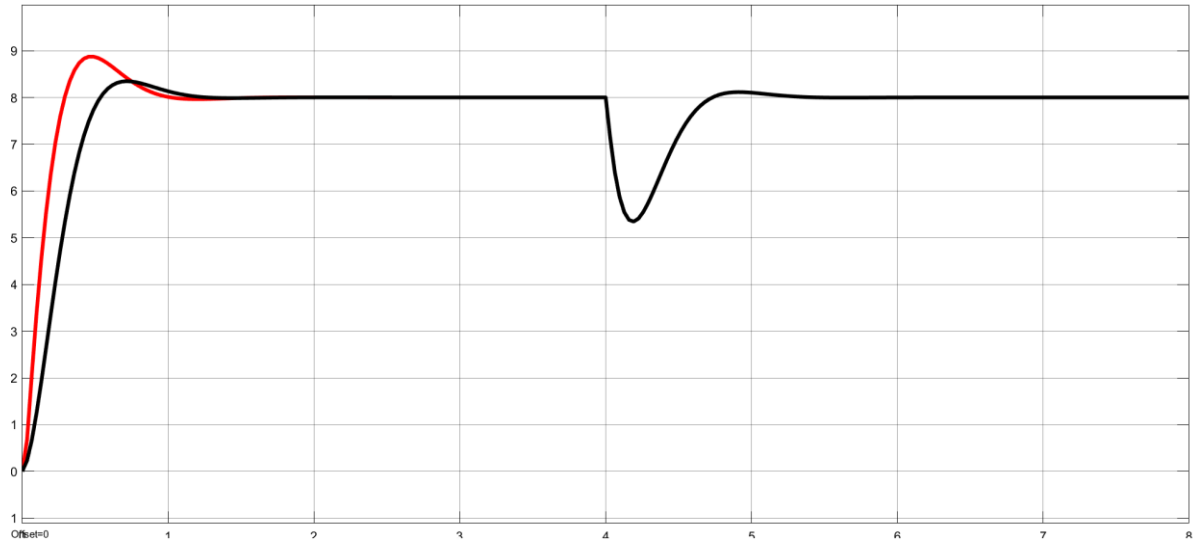
Şekil 6.1.1 Klasik PID Kontrol sisteminin blok diyagramı



Şekil 6.1.2 Klasik Kontrol sisteminin bozucuya karşı davranışı



Aşağıda siyah çizgiyle modifiye PID kontrolün bozucuya karşı cevabı



Şekil 6.2.2 Modifiye PID Kontrol sisteminin blok diyagramı

## KAYNAKLAR

- [1] OTOMATİK KONTROL DERS NOTLARI, Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü , Prof.Dr. Ayhan ÖZDEMİR, 2019
  
- [2] DİJİTAL KONTROL DERS NOTLARI, Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü , Prof.Dr. Ayhan ÖZDEMİR, 2019
  
- [3] Erdal, Hasan. (2021). DC MOTOR PARAMETRELERİNİN BİLGİSAYAR TABANLI BELİRLENMESİ, SİMULASYONU ve PARAMETRE İYİLEŞTİRMESİ COMPUTER BASED DC MOTOR PARAMETER IDENTIFICATION, SIMULATION and PARAMETER ESTIMATION.

## ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Can SAĞIR, 23.06.1998 de İstanbul’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2016 yılında Mecidiyeköy Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. Eğitimi süresince Eresense Elektronik’te ilk stajını tamamladı. Halen Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü 4. Sınıf öğrencisidir.