

9227

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Elektrik - Elektronik Bölümü

BİLGİSAYAR DESTEKLİ PID KONTROL

Yüksek Lisans Tezi

A. Fevzi BABA

Danışman
Doç.Dr. Burhanettin CAN

T.C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

İstanbul - 1989

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
SEMBOLLER	iv
 BÖLÜM 1. GİRİŞ	 1
 BÖLÜM 2. KONTROL SİSTEMLERİNİN TANITIMI	 2
2.1. Giriş	2
2.2. Kontrol Sistemlerinin Tanıtımı	2
2.3. Kontrol Sisteminin Çeşitleri	3
2.4. Bir Kontrol Sisteminden İstenen Özellikler ..	4
2.5. Adaptif Kontrol	5
2.5.1. Dzyararlı Adaptif Sistemler (STC)	5
2.5.2. Kazanç Programlama	6
2.5.3. Model Referans Adaptif Sistemler (MRAS) ...	7
 BÖLÜM 3. SIMULASYON	 9
3.1. Giriş	9
3.2. Analog Simülasyon	9
3.2.1. Giriş	9
3.2.2. Analoji Prensipleri	10
3.2.3. Analog Bilgisayarların Temel Elemanları ...	10
3.2.3.1. Toplama Devresi	11
3.2.3.2. Sabit Katsayı Çarpma	12
3.2.3.3. İntegratör	13
3.3. Diferansiyel Denklemin Analog Simülatör ile Temsili	15
3.3.1. I. Metot	16
3.3.2. II. Metot	21
3.4. Sayısal Simülasyon	24
3.5. Hibrit Simülasyon	26
3.5.1. Veri Tutucular	26
3.5.2. Hibrit Sistemde Zaman Gecikmesi Hatası	27
 BÖLÜM 4. İKİNCİ DERECEDEKİ SİSTEMLERİN GEÇİCİ REJİM CEVABI	31
4.1. Giriş	31
4.2. İkinci Dereceden Sistemin Geçici Rejim Cevabı:	31
4.2.1. İkinci Dereceden Sistemin Birim Basamak Cevabı	33
4.2.2. İkinci Dereceden Sistemin İmpuls Cevabı ...	35
4.2.3. İkinci Dereceden Sistemin Rampa Cevabı	36
4.3. İkinci Dereceden Sistemler İçin Zaman Domeni Kriterleri	37

4.3.1. Aşım Aşım Zamanı; A, t_a	38
4.3.2. Gecikme Zamanı; t_d	39
4.3.3. Yükselme Zamanı; t_r	39
4.3.4. Yerleşme Zamanı; t_s	40
BÖLÜM 5. PID KONTROL	41
5.1. Giriş	41
5.2. P (Oransal) Kontrolör	41
5.3. PI (Oransal) integral Kontrolör	42
5.4. PD (Oransal-Türevsel) Kontrolör	44
5.5. PID (Oransal-integral-Türevsel) Kontrolör ...	46
5.6. KP, KI, KD Katsayılarının Sistem Üzerindeki Etkisi	47
5.6.1. P (KP) Etkisi	47
5.6.2. D (KD) Etkisi	49
5.6.3. I (KI) Etkisi	51
5.7. PID Kontrol Parametrelerinin Hesaplanması	53
5.7.1. P Katsayısının Hesabı	53
5.7.2. I Katsayısının Hesabı	54
5.7.3. D Katsayısının Hesabı	55
5.8. Adaptasyon Algoritması	56
5.9. Adaptasyon Aşamasında P.I.D Katsayılarının Değiştirilmesinde İzlenecek Yol	57
BÖLÜM 6. PID KONTROL UYGULAMASI	59
6.1. Giriş	59
6.2. Hibrit Sistemde PID Kontrol Uygulaması	59
6.2.1. Kontrol Edilen Sistem	60
6.2.2. Ara Birim Elemanları	61
6.2.2.1. DAC	61
6.2.2.2. ADC	61
6.3. PID Kontrol Sisteminde Kontrol Edilen Sistem Davranışının İncelenmesi	62
6.4. PID Kontrol Programı	64
6.4.1. 2000 Alt Programı	64
6.4.2. 6000 Alt Programı	65
6.4.3. 12000 Alt Programı	66
6.5. Sayısal Simülasyon Yapılmış Sistemlerde PID Kontrol Uygulaması, Hibrit Simülasyon	66
BÖLÜM 7. UYGULAMA SONUÇLARI	67
7.1. Giriş	67
7.2. İkinci Dereceden Birim Geri Beslemeli Sistem Davranışının İncelenmesi	68
7.3. PID Katsayılarının Sistem Üzerindeki Etkileri	73

7.4. PID Kontrol Altındaki Sistem Davranışlarının İncelenmesi	74
7.4.1. Sayısal Simülasyonu Yapılmış Sistemlerde PID Kontrol Uygulaması	74
7.4.2. Analog Simülasyonu Yapılmış Sistemlerde PID Kontrol Uygulaması	82
7.5. Enerjiler	97
EKLER	98
Ek.1. Akış Şeması	98
Ek.2. Sayısal Simülasyon için PID Kontrol Programı	106
Ek.3. Hibrit Sistem için PID Kontrol Programı	110
Ek.4. Zeigler - Nichols ve Takahashi Yöntemleri	118
Ek.5. Analog Simülatörün Baskılı Devresi	120
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	122

ÖZET

Bu çalışmada, PID (Proportional-Integral-Derivate) kontrolörün yapısı incelenmiş, hibrit ve sayısal sistemlerde tasarlanması amaçlanmıştır.

Birinci bölümde, otomatik kontrolün gelişimi ve tezin amacı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, kontrol sistemlerinin yapısı ve çeşitleri üzerinde durularak kontrol sistemlerinden istenen özellikler açıklanmıştır. Ayrıca adaptif kontrol hakkında bilgi verilerek bu alanda yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, kontrol sistemimizde kullandığımız sayısal ve analog simülatörler hakkında bilgi verilerek, kontrol edilecek ikinci dereceden sistemin analog ve sayısal bilgisayarlarla simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hibrit sistemlerin yapısı hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, davranış kontrol edilecek ikinci dereceden sistemlerin geçici rejim cevabı üzerinde durularak sistemin birim basamak girişine karşın zaman domen kriterleri anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, P, PI, PD ve PID kontrolörler sürekli ve ayrık sistemde incelenmiştir. PID kontrolörün adaptasyon algoritması hakkında bilgi verilerek P, I ve D katsayılarının sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca PID kontrol parametrelerinin hesabı açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, gerçekleştirilen PID kontrol programının analog ve sayısal simülasyonu yapılan sistemlere uygulanışı açıklanmıştır.

Yedinci bölümde, PID kontrol altındaki sayısal ve analog simülatörde bozucu etkiler yapılarak, PID kontrolün çalışması incelenmiştir.

SUMMARY

In this study, PID (Proportional-Integral-Derivate) is investigated, in hybrid and digital systems. It is proposed to design in the hybrid and digital systems.

In the first part, purpose of the study is explained.

In the second part, structure, types and required specifications of the control systems is explained, information is given about adaptive control and some examples also is given about the studies which is done in this field.

In the third part, technical information is given about digital and analog simulators, simulation of second order system which is being controlled is realized by analog and digital computer.

In the fourth part, according to unit step function time domain specifications is explained.

In the fifth part P, PI, PD and PID controllers is investigated in continuous and discrete time. PID controller adaptation algorithm is given, effects of P, i and D coefficients in the system is analyzed. PID controller parameter calculation is explained.

In the sixth part, analog and digital simulation application of the PID controller which is realized is explained.

In the seventh part, given distortion effects, applications of analog and digital simulation of the system which is under control of PID control programme is explained.



TESEKKUR

Maddi ve manevi destekini esirge-
miyerek beni yönlendiren Sayın Hocam
Doç.Dr.Burhanettin CAN'a teşekkür eder,
şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tezimin yazımı sırasında
yardımlarını gördüğüm araştırma görev-
lisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

A.Fevzi BABA

SEMBOLLER

$C(s)$	: Sistem cevabı (Laplace transformunda)
$R(s)$	: Sisteme uygulanan giriş ,referans (Laplace transformunda)
$e(s)$	: Hata [$C(s)-R(s)$] (Laplace transformunda)
α	: Sabit katsayı çarpanı
m,a,k	: Diferansiyel denklem katsayıları
E	: Simülatörün offset değeri
ω_n	: Doğal frekans
τ	: Zaman gecikmesi
$D(s)$	: Sayısal bilgisayar da yapılan işlemlerin Laplace transformu
ξ	: sönüm katsayısı
A	: Maksimum aşım miktarı
t_a	: Aşım zamanı
t_d	: Gecikme zamanı
t_r	: Yükselme zamanı
t_s	: Yerleşme zamanı
KP	: Oransal kontrolör katsayısı
KI	: Integral kontrolör katsayısı
KD	: Türevsel kontrolör katsayısı
k	: Örneklemme adımı
T	: Örneklemme zamanı
Δ	: Karakteristik denklem
R	: Direnç
C	: Kondansatör

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Otomatik kontrol alanında ilk çalışmalar 1950 yılında James Watt'ın buhar makineleri için geliştirdiği hız regülatörleri ile başlar. Ancak otomatik kontrol alanında bilimsel çalışmalar 1940'lı yıllardan itibaren başlamıştır. Özellikle İkinci Dünya Savaşı'nın silah performanslarını ve üretim hızlarını zorlaması bu alanda yapılan çalışmalara hız kazandırmış, uçak, radar, tank ve diğer silahların kontrolünde önemli ölçüde kullanılmasına yol açmıştır.

Gerek uygulamanın gerek teorinin gelişiminde bir diğer kilometre taşı tranzistörün bulunması ve ilk bilgisayarların ortaya çıkmasıdır. Bilginin işlenmesi elektronik devreler ile gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Nükleer güç santralleri, rafineriler gibi insan faktöründen dolayı oluşan hataların kesinlikle önlenmesi gereken karmaşık sistemlerde merkezi kontrol birimlerinin kurulması otomatik kontrol alanında yeni kavramların doğmasına neden olmuştur. Bu kavramların genelliği teknolojik olmayan sistemlere de uygulanabileceği görülmüş ve genel anlamda sistem dinamiği ve sibernetik bilim dallarının doğmasına neden olmuştur.

1950-60 dönemi teori ve uygulamanın çok yakın bir etkileşim içinde geliştiği bir dönem olarak görülmektedir. Klasik olarak nitelendirilen kontrol yöntemleri bu dönemin ürünüdür.

Son yıllarda elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki olagan üstü gelişmeler modern kontrolün endüstride uygulanmasını yaygınlaştırmıştır.

Bu çalışma endüstride yaygın olarak kullanılan PID (Proportional-Integral-Derivate) kontrol ele alınmıştır. PID kontrol algoritmasında, sürekli kontrol sistemleri ayrık biçimde ifade edilmiştir.

PID kontrol programı sayısal bilgisayarlarda, kontrol edilen sistem analog ve sayısal bilgisayarlarda ayrı ayrı simüle edilerek, kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen kontrol programının çalışmasını inceleyebilmek için kontrol edilecek sisteme bozucu etkiler itilerek sistem davranışı değiştirilmiştir. Kontrol programı gerekli PID katsayılarını hesap ederek sistem çıkışını istenen değere getirebilmiştir.

BÖLÜM 2

KONTROL SİSTEMLERİNİN TANITILMASI

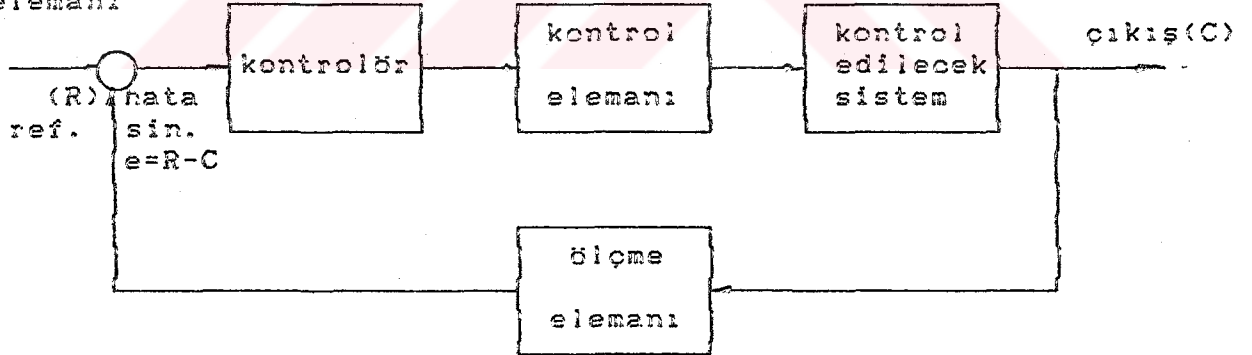
2.1 GİRİŞ

Kontrol edilecek sistemler belirli bir ürünün imali ve geliştirilmesi için dizayn edilen işlemler grubudur. Kontrol edilecek sistemlerde bir veya daha fazla kontrol edilmesi istenen değişkenler olabilir. Bu değişkenlerin belirli sınırlar arasında sabit tutulması istenir. Sistemdeki bozan etkenlerden dolayı sistem çıkışında meydana gelen bozulmalar kontrol sistemleri yardımıyla istenen sınırlar arasına sokulur. Bu bölümde, çeşitli kontrol sistemlerinin yapısı ve adaptif kontrol hakkında genel bilgi verilecektir.

2.2 KONTROL SİSTEMLERİNİN TANITIMI

Kontrol sistemleri, geribesleme, karşılaştırma elemanı, kontrol elemanı, ölçme elemanı ve kontrol edilecek sistem olmak üzere beş ana kısımdan oluşur Şekil 2.1.

karşılaştırma
elemanı:



Şekil 2.1 Kontrol sisteminin temel blok diyagramı

Ölçme elemanı sistemdeki kontrol edilen değişkeni sensörler veya dönüştürücüler yardımıyla elektriksel büyüklüğe çevirerek karşılaştırma elemanına uygular. Geribesleme ile çevrim kapatılır. Böylece kapalı çevrim oluşur.

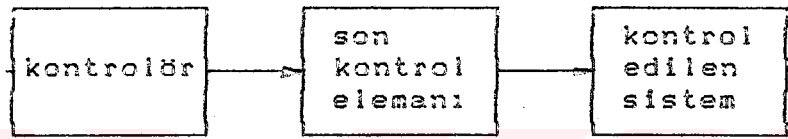
Karşılaştırma elemanı kontrol edilen sistem çıkışından alınan örnek (C) ile referans değeri (R) arasındaki farkı bulur. Bu fark bize (e) hata değerini verir.

Kontrol sisteminin diğer bir elemanı kontrolör olup, kontrol sisteminin beyni olarak düşünülebilir. Kontrol edilen değişkenin istenen değeri dışına çıkmamasını sağlamak için ayarlanan değerde gerekli değişikliği hesaplar.

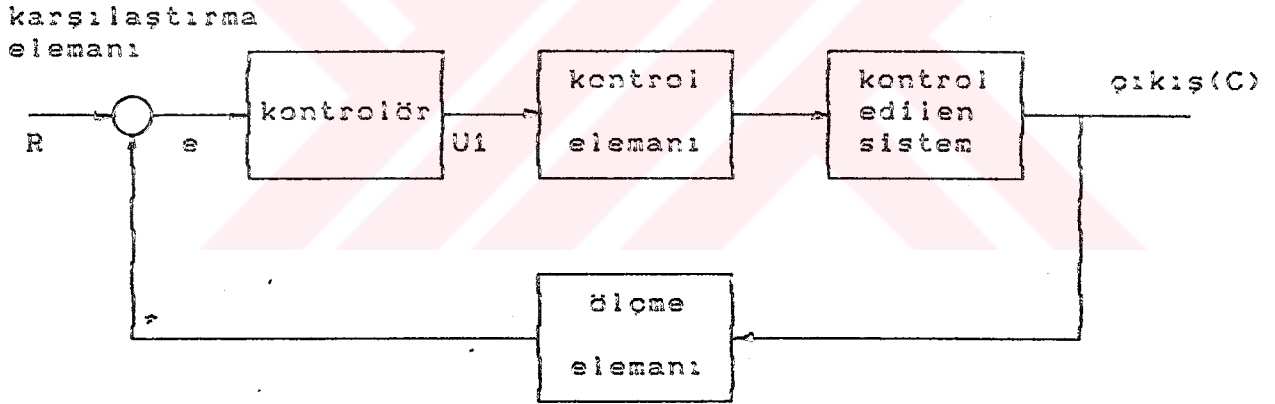
Kontrol elemanı kontrol çevrimindeki son blok olup, kontrolör çıkışındaki (Genellikle elektriksel) işareti ayarlanan değişkendeki bir değişikliğe çevirir.

2.3 KONTROL SİSTEMİNİN ÇEŞİTLERİ

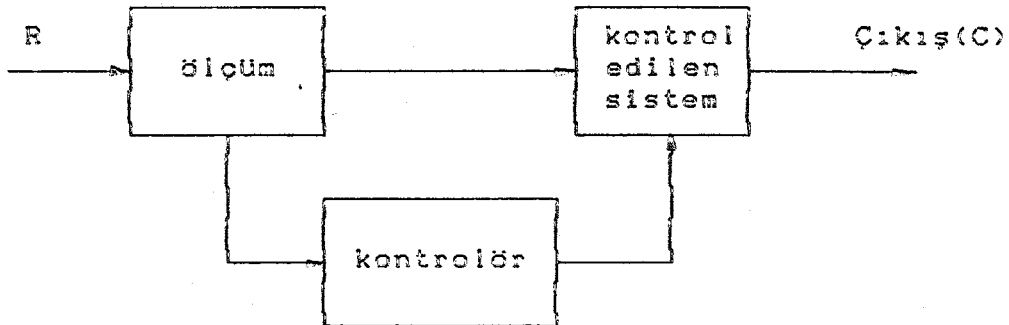
Kontrol sistemleri açık çevrim ve kapalı çevrim kontrol sistemleri olarak ikiye ayrılır[1]. Kapalı çevrim kontrol sistemide kendi arasında ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak iki sınıfa ayrılır. Şekil 2.2 de bahsedilen kontrol sistemlerinin blok diyagramları gösterilmiştir[1].



a- Açık çevrim kontrolü



b- Kapalı çevrim kontrolü



c- İleri beslemeli kontrolör

Şekil 2.2 Kontrol sistem çeşitlerinin blok diyagramları

Kontrol edilen sistemde bozucu etkenlerin olmaması durumunda açık çevrimli kontrol istenen başarıyı sağlar. Açık çevrimli kontrol genellikle zaman esaslı olup belirli zaman aralıklarında belirli işlemler yapar. Bu kontrol tipinde ölçme ve karşılaştırma işlemi olmadığı için, hassasiyet sistemin başlangıçtaki kalibrasyonuna bağlıdır. Trafik sinyalizasyonunu açık çevrime örnek olarak verebiliriz.

Kapalı çevrimli çalışmada sistem çıkışı ölçülür. Ölçülen değer referans ile karşılaştırılmak üzere geribeslenir. Böylece fark bulunur, yani hata meydana çıkar. Hata- yı ortadan kaldırmak için kontrol hareketi sağlanır. Diğer bir değişle kapalı çevrimli çalışmada kontrol büyüklüğü kontrol hareketi üzerinde etkilidir.

Şekil 2.2.b de görüldüğü gibi kontrol büyüklüğü bir ölçme elemanı tarafından ölçülmekte ve geri beslenmektedir. Geri besleme ile çevrim kapatılmaktadır.

Daha önce bahsettiğimiz geribeslemeli kapalı çevrim kontrol ile ileri beslemeli kontrol arasında en büyük fark; ilkinde kontrol edilen değişkenin ölçümü yapılır.(Şekil 2.2.b) Diğerinde bozan etken veya ayarlanan değişken(hata çıkışı) ölçülür, ve belirli bir tahmin ile kontrolörde gerekli değişiklikler yapılır. Bu yüzden ileri beslemeli kapalı çevrim kontrol, kontrol edilen sistem yükü ve bozan etkenleri hakkında yeterli bilginin var olduğu durumlarda kullanılır[1]. (Şekil 2.2.c)

Kapalı çevrimli sistemin en büyük avantajı kontrol büyüklüğünün ölçülüp, referans değeri ile karşılaştırılmasıdır. Bu şekilde hata bulunur ve küçültülebilir. Kontrol edilen sistemdeki bozucu etkenlere rağmen kontrol büyüklüğü, sistem çıkışını istenen degere yani referans değerine getirebilir. Böylece basit elemanlar kullanarak hassasiyeti yüksek bir kontrol sistemi oluşturabilir.

2.4 BİR KONTROL SİSTEMİNDEN İSTENEN ÖZELLİKLER

Bir kontrol sisteminde sistemin kararlı çalışması, sistemin hızlı cevap vermesi ve hassas olması istenir. Bunları açıklamadan önce kontrol sisteminin sürekli ve geçici rejim çalışmasını açıklayalım.

Sabit bir referans altında çalışan kontrol sistemlerinde kontrol edilen büyüklüğün referans değerine eşit veya kabullenilen toleranslar içinde olması istenir. Bozucu etkenlerden veya referans değerinin değişmesinden dolayı sistem çıkışı değişip istenen toleranslar dışına çıkabilir. Bu durumda sistem çıkışı tekrar referans değerine getirilmeli ve düzenli olarak bu değeri korumalıdır. Kontrol sisteminin referans değerine ulaşınca ya ka-

dar olan çalışmaya " Geçici Rejim Çalışma", ulaştıktan sonraki çalışmada " Sürekli Rejim Çalışma" denir.

Kontrol sisteminde sistem çıkışı bozucu etkenlerden veya referans değişimlerinden dolayı sürekli rejim değerinden saparsa, kararlı bir geçiş rejimi ile tekrar sürekli rejim değerine mümkün olan en kısa zamanda erişmesi gerekir. Sürekli rejim çalışmada, sistem çıkışı referans değerine eşit ise yani hata sıfır ise hassasiyeti çok yüksek demektir. Genelde sıfır hata maliyeti arttırdığından maliyet ile hassasiyet arasında optimum bir nokta tespit edilerek çıkışın belli toleranslar arasında kalması kabullenebilir.

Kontrol sistemlerinin çok kararlı, hassas ve hızlı çalışması istenirse de genelde çok kararlı sistemler yavaş ol- maya, buna karşılık çok hızlı ve çok hassas sistemlerde kararlı çalışmaya mahkumdur[2].

2.5 ADAPTİF KONTROL

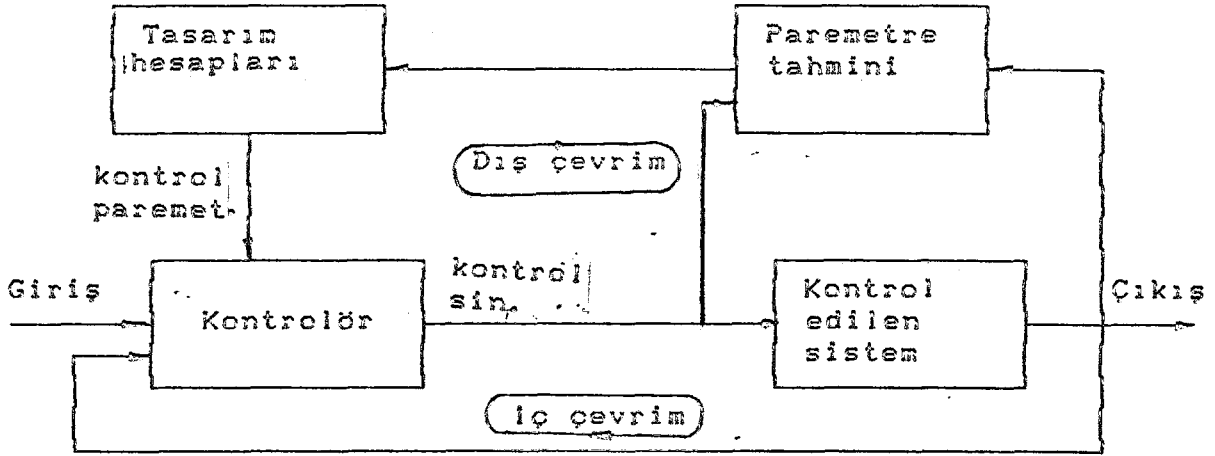
Bozucu etkenlerden dolayı çıkışı değişen bir kontrol sisteminin devamlı olarak kendini gözlediği ve bu gözlemler doğrultusunda kontrol sisteminin kendisini devamlı ve otomatik olarak tasarladığı kontrol türüne adaptif kontrol denir[4].

Özellikle İkinci Dünya Savaşından sonra otomatik kontrol alanındaki gelişmeler optimum kontrol teorisinin gelişmesine yol açmış bu da adaptif sistemlerin önemini ve anlaşılmasını büyük ölçüde arttırmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalara örnekler aşağıda verilecektir.

2.5.1 Dzyararlı Adaptif Sistemler (STC).

Dzyararlı adaptif sistemler (Self Tuning Control) model kurma ve dizayn etmede tahmin esasına dayanan bir adaptif kontrol çeşididir. Parametre kestirimi ile kontrol edilecek sistem belirlenerek optimum kontrol parametreleri hesap edilir.

Bu kontrol sisteminin blok diyagramı şekil 2.3'de gösterilmiştir.

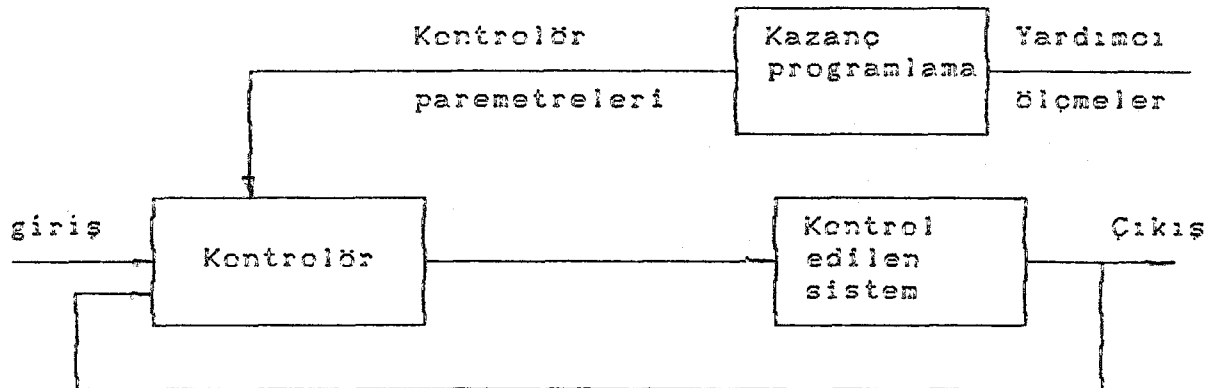


Şekil 2.3 Üzayararlı Adaptif Kontrol (STC)

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi sistem iç ve dış olmak üzere iki çevrimden oluşmuştur. İç çevrim; kontrol edilecek sistem ve parametreleri ayarlanabilen lineer kontrolörden oluşmuştur. Dış çevrim parametre tahmini ve tasarım hesapları bloğundan oluşmuş olup kontrol parametreleri bu çevrim tarafından hesaplanır. Üzayararlı adaptif kontrol parametre tahmini ve dizayn bakımından çok esnek olduğu için hemen hemen bütün kontrol sistemlerinin tasarımında yer almıştır[3,4].

2.5.2 Kazanç Programlama

Bazı durumlarda kontrol edilecek sistemdeki değişikliklerle ilgili yardımcı değişkenler bulmak mümkündür. Kazanç programlamada kontrol parametrelerini önceden yapılacak bir programa göre değiştirerek adaptasyon sağlanır. Orijinal sistem yapısında kontrol edilecek sistemin kazançı değiştirildiği için bu yaklaşıma kazanç programlama (Gain Scheduling) denir. Şekil 2.4'de blok diyagramı gösterilmiştir.



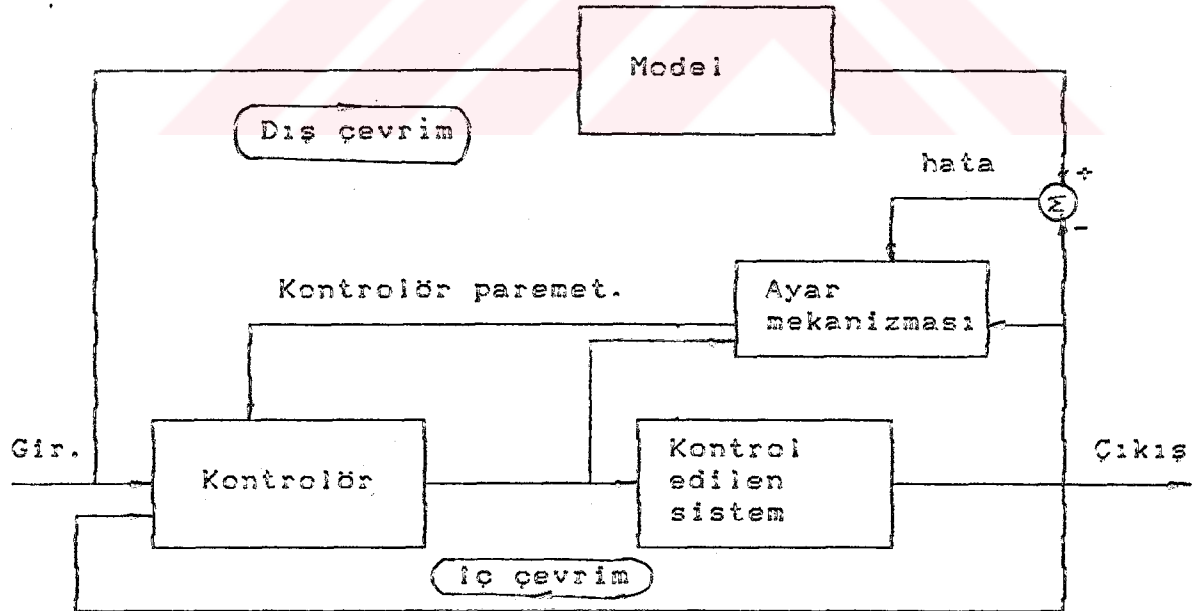
Şekil 2.4 Kazanç programlamalı adaptif kontrol

Bu sistemin avantajı kontrol edilecek sistemdeki değişikliklere karşın çok çabuk cevap vermesidir. Bu özelliğinden dolayı uçuş kontrol tekniklerinde çok kullanılan bir yaklaşımdır.

Dezavantaj olarakta, görüldüğü gibi kontrol parametrelerinin hesap edildiği adaptasyon çevrimi açık çevrim özelliği göstermektedir. Dolayısıyla açık çevrimin bütün sakıncalarını taşır. Ayrıca kontrol parametrelerinin çok değişik şartlar için tanımlanmış olması gerektiğinden tasarım anında çok fazla zaman alır[4].

2.5.3 Model Referans Adaptif Sistemler (MRAS)

Parametre ayarlamasında bir diğer yol olan model referans adaptif kontrolün blok şeması şekil 2.5'de gösterilmiştir. Bu model servo sistemler için geliştirilmiştir. Sistemden istenen özellikler referans model anlamında verilir. Referans model kontrol sisteminin bir parçasıdır. Bu model ile kontrol edilen sistem akışının idealde nasıl olacağı belirtilir.



Şekil 2.5 Model referans adaptif kontrol[4].

Şekilde görüldüğü gibi sistem iç ve dış olmak üzere iki çevrimden oluşmuştur. iç çevrimde kontrolör ve kontrol edilecek sistem bulunur. Model çıkışı ile kontrol edilecek sistem çıkışı karşılaştırılarak hata sinyali bulunur. Hata sinyali küçük olacak şekilde dış çevrim tarafından kontrol parametreleri hesaplanır. Bu sistemde en önemli problem hatayı sıfıra getirecek olan kararlı bir sistemin elde edilebileceği ayarlama düzenini belirlemektir.

BÖLÜM 3

SİMULASYON

3.1 GİRİŞ

Dinamik sistemlerin çeşitli davranışları analog veya sayısal simülasyonla incelenebilir. Sistemin karşı karşıya kalacağı gerçek şartlara uygun olarak sistem girdi ko-mutlarının modellenmesi gerekir.

Bilgisayarla simülasyonun yararlarını aşağıdaki gibi sayabiliriz[5].

- 1- Sistemin işleyişi her türlü şartlar altında rahatlıkla gözlenebilir.
- 2- Ön inceleme amaçları için simülasyonla sistemin performans sonuçları elde edilerek yorumlanabilir.
- 3- Sistem ile ilgili özellikleri veren sonuçlar, anında incelenebilir.
- 4- Simulatör yardımıyla test altındaki sistemin denenmesi kısa zamanda yapılır.
- 5- Simulatör Üzerindeki araştırmalar gerçek sisteme nazaran daha ucuz maliyette olur.
- 6- Bilgisayarla yapılan simülasyon ile sistemi analiz etme ve gerçekleştirme daha emniyetlidir.

Bu bölümde kontrol sistemimizde kullandığımız sayısal ve analog simulatörlerin tasarımı hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca kontrol edeceğimiz ikinci dereceden sistemin analog ve sayısal bilgisayarlarla simülasyonu gerçekleştirilecektir.

3.2 ANALOG SİMULASYON

3.2.1 Giriş

Analog hesap makinelerinin en büyük özelliği, fiziksel büyüklükleri elektriksel büyüklüklerle temsil etmesidir. Analog bilgisayarlarda kullanılan analog büyüklükler, genellikle akım gerilim gibi elektiki büyüklüklerdir.

Sayısal bilgisayarlarda işlemler merkezi işlem Ünitesi (CPU) tarafından birbiri ardı sıra yapılmaktadır. Halbuki tam bir analog bilgisayarda işlemler, aynı anda çalışan hesap elemanları gurubu tarafından yapılır.

Analog bilgisayarlar, genellikle adi diferansiyel denklemlerin çözümü için kullanılır. Bunun için bu tip bilgisayarlarla problem çözülebilmesi için; problemin, adi diferansiyel denklemler şeklinde ifade edilmesi gerekir. Bu yüzden analog bilgisayarlar dinamik sistemlerin araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır[6].

3.2.2 Analoji Prensipli

Fiziksel olayların oluşunda payı bulunan etkenler grubuna "Fiziksel sistem" adı verilmektedir. Fiziki kanunlar yardımıyla böyle bir sistem içerisinde meydana gelen olayların matematik denklemini çıkarmak mümkün oluyorsa, elde edilen denkleme "Sistemin matematik modeli" adı verilir[6].

Eğer fiziki sistem aynı matematik modele sahip ise bu iki sistem benzerdir "analogtur". Matematik modelleri aynı olan sistemlerden birisini incelemek kafidir. Elektrik büyüklükler diğer büyüklüklere göre çok daha basit değiştirilebilmekte ve daha iyi ölçülebilmektedir. Bu yüzden fiziksel olayların incelenmesinde olayın elektrik simülasyonu analog bilgisayarlar yardımıyla kolayca gerçekleştirilebilir.

Özetleyecek olursak, analog hesap önceden hazırlanmış elemanlar yardımıyla incelenecek fiziki sisteme ait analog bir sistem kurmak ve orjinal sistemi incelemek yerine bu analog sistemi incelemekten ibarettir. Diğer bir deyişle analog hesap, analog bilgisayarlarla gerçekleştirilmiş bir sistemin denenmesi demektir[6].

3.2.3 Analog Bilgisayarların Temel Elemanları

Analog bilgisayarların oluşturulmasında lineer ve lineer olmayan hesap elemanları kullanılır. Bu hesap elemanları genellikle operasyonel amplifikatörler ile gerçekleştirilir.

Lineer hesap elemanları, üç grupta toplanabilir. Bunlar;

- 1- Toplama ve çıkarma
- 2- Bir sabit ile çarpma veya bölme
- 3- Integral alma

devreleridir.

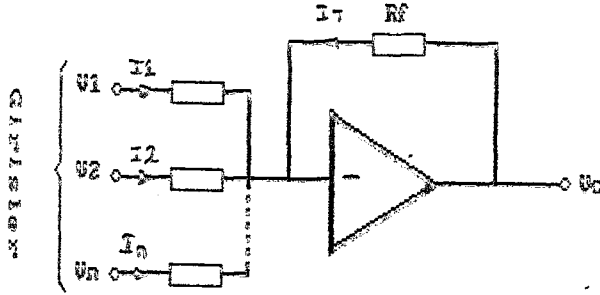
Lineer olmayan hesap elemanları ise

- 1- Çarpıcı
- 2- Bölücü
- 3- Fonksiyon verici
- 4- Karşılaştırıcı
- 5- Kordinat dönüştürücülerdir.

Gerçekleştirdiğimiz devrede lineer hesap elemanları kullanıldığından burada yalnızca lineer hesap elemanları incelenecektir.

3.2.3.1 Toplama Devresi

Toplama devresi, işlemsel amplifikatörün şekil 3.1 deki gibi kullanılması ile elde edilir.



Şekil 3.1 Toplama devresi

V_o çıkış voltajı, V_1 ve V_2 giriş voltajlarının toplamının ters işaret değerine eşittir. Krichhof kanunlarından yararlanarak I_T geri besleme yolu akımı, i_1 ve i_2 giriş akımları cinsinden yazılabilir.

$$I_T = I_1 + I_2 \quad (3.1)$$

İşlemsel kuvvetlendiricinin girişinin "görünürde" kısa devre olduğunu gözönüne alırsak Dk.3.1 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I_T = -\frac{V_o}{R_f} = -\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} \quad (3.2)$$

Buradan V_o çıkış gerilimi aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$V_o = - \left[\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n \right] \quad (3.3)$$

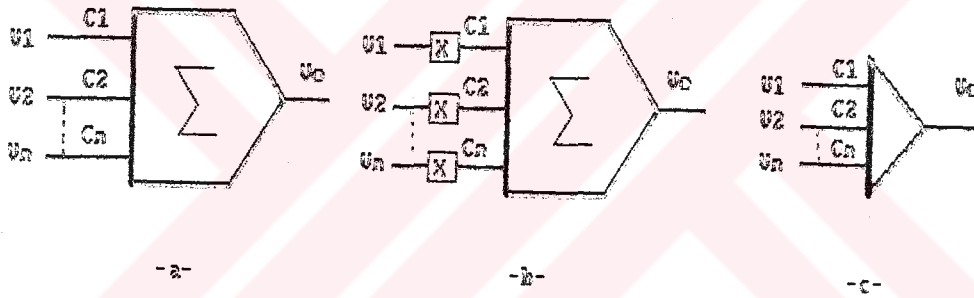
n girişli sistemler için Dk.3.3 genelleştirilirse,

$$V_0 = - \left[C_1 V_1 + C_2 V_2 + \dots + C_n V_n \right] \quad (3.4)$$

olarak elde edilir. Burada C_1 ve C_2 giriş amplifikasyonunu göstermekte olup, aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C_1 = \frac{R}{R_1} \quad C_2 = \frac{R}{R_2} \quad C_n = \frac{R}{R_n}$$

Literatürde toplama devresine ilişkin değişik semboller kullanılmaktadır. Şekil 3.2. Genellikle şekil 3.2.c deki sembol kullanılmaktadır.



Şekil 3.2 Toplama devresi sembolleri

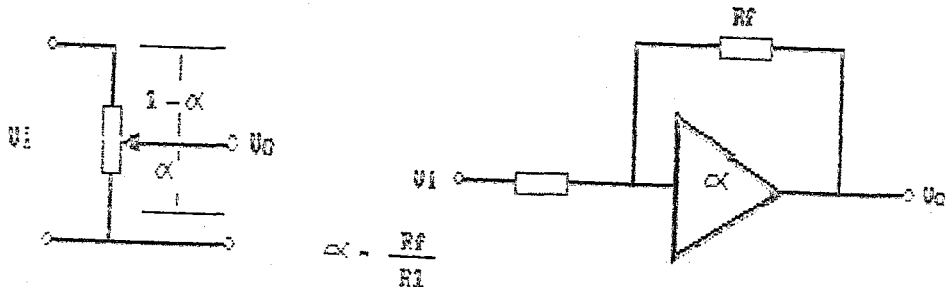
3.2.3.2 Sabit-Katsayı Çarpanı

Sabit katsayı çarpanı, denklemlerde ortaya çıkan katsayıları temin etmek için kullanılır. Sabit katsayı çarpanının tanımı

$$V_o = \alpha V_i \quad (3.5)$$

olarak verilebilir. Burada V_i giriş, V_o çıkış, α sabit katsayı çarpanını göstermektedir.

Sabit katsayı çarpanı potansiyometre veya işlemsel kuvvetlendiriciler ile gerçekleştirilebilir. Şekil 3.3



Şekil 3.3 Sabit katsayı çarpanının elektronik eşdeğeri

$$i_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad i_2 = \frac{V_2}{R_2} \quad i_c = -C \frac{d}{dt} v_o \quad (3.7)$$

bağıntıları kullanarak, Dk.3.6 aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = -C \frac{d}{dt} V_0 \quad (3.8)$$

Dk.3.8 den V_0 çıkış gerilimi

$$V_0 = - \int_0^t \left[\frac{V_1}{R_1 \cdot C} + \frac{V_2}{R_2 \cdot C} \right] dt + E \quad (3.9)$$

olarak bulunur. Burada, E başlangıç şartlarına göre tesbit edilecek integrasyon sabitini göstermektedir. Dk.3.9 da da görüldüğü gibi V_0 çıkış gerilimi V_1 ve V_2 gerilimlerinin cebirsel toplamının integrali olarak elde edilir.

$$C_1 = \frac{1}{[R_1 \cdot C]} \quad C_2 = \frac{1}{[R_2 \cdot C]}$$

tanımları Dk.3.9 da yerine konduğunda;

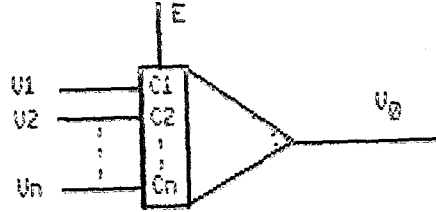
$$V_0 = - \int_0^t [C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2] dt + E \quad (3.10)$$

olarak elde edilir.

n girişli integratörler için Dk.3.10 benzer şekilde yazılabilir.

$$V_0 = - \int_0^t [C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2 + \dots + C_n \cdot V_n] dt + E \quad (3.11)$$

Integratorün sembolü şekil 3.6 da görülmektedir.



Şekil 3.6 İntegratör sembolü

1

3.3 DİFERANSİYEL DENKLEMİN ANALOG SİMULATÖR İLE TEMSİLİ

İkinci dereceden lineer diferansiyel denklemi analog simülatörle gerçekleştirmek üzere ele alalım.

$$m \frac{d^2}{dt^2} x(t) + a \frac{d}{dt} x(t) + k \cdot x = r(t) \quad (3.12)$$

Burada m , a , k ; diferansiyel denklem sabitlerini, $r(t)$ sisteme uygulanan referans girişini, $x(t)$; sistem çıkışını göstermektedir.

$$\frac{dx(t)}{dt} = \dot{x}$$

sembolü kullanılırsa Dk.3.12 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m \ddot{x} + a \dot{x} + k \cdot x = r(t) \quad (3.13)$$

Dk.3.13'den $\ddot{x}$ aşağıdaki şekilde elde edilebilir;

$$\ddot{x} = - \left[\frac{1}{m} (a \dot{x}) + \frac{1}{m} (k \cdot x) + \frac{1}{m} (-r(t)) \right] \quad (3.14)$$

Birinci değişik metodlarla Dk.2.14'deki diferansiyel denklemin analog simülasyonunu gerçekleştirelim.

3.3.1 1. metod

Bu metotda Dk.3.14'de (ax) , (kx) , $[-r(t)]$ giris büyüklükleri olarak seçilmiştir. Simulasyonunu yapacağımız Dk. 3.14 deki diferansiyel denklemin integrali alınır, $\dot{x}$ elde edilir[8].

$$\dot{x} = \int \ddot{x} dt = \int \left[\frac{-a}{m} x - \frac{k}{m} x + \frac{1}{m} r(t) \right] dt \quad (3.15)$$

x' bulmak için Dk.3.15 in bir kez daha integrali alınır düzenlenirse;

$$x = \int \dot{x} dt = \int \left[\int \left[\frac{1}{m} (a \cdot x) + \frac{1}{m} (k \cdot x) + \frac{1}{m} (-r(t)) \right] dt \right] dt \quad (3.16)$$

elde edilir.

Dk.3.16 haline dönüşen ikinci dereceden diferansiyel denklemin simülörünü aşağıdaki sırayı takip ederek oluşturalım.

1.ADIM: $\ddot{x}$ 'nin analog simülörle bulunması

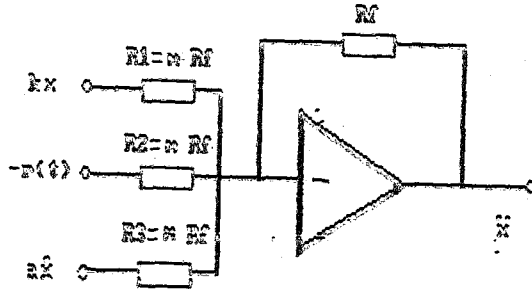
Dk.3.14 deki $\ddot{x}$ 'nin analog simulasyonunu elde edebilmek için analog toplama devresini göz önüne almalıyız gerekir. Bunun içinde Dk.3.14'ü Dk.3.3 ile karşılaştırmamız yeterli olacaktır. Bu karşılaştırma sonucunda aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$\frac{R_1}{1} = \frac{1}{m} \quad \frac{R_2}{2} = \frac{1}{m} \quad \frac{R_3}{3} = \frac{1}{m} \quad (3.17)$$

Dk.3.17 de R_f direncinin değeri seçilirse R_1 , R_2 , R_3 dirençleri değeri kolayca bulunur.

$$R_1 = R_2 = R_3 = m \cdot R_f \quad (3.18)$$

Dk.3.18'deki devre elemanları kullanılarak toplama devresi şekil 3.7 deki gibi gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.7 Toplama devresi

Şekil 3.7'deki devreden $\hat{x}$ 'nin elde edilebilmesi için (kx) ve (ax) girişlerinin bilinmesi gerekir. Bunları elde edebilmek içinde Dk.3.15 ve Dk.3.16 denklemlerini gözönüne almanız gerekir.

2.ADIM: ax 'nın analog simülasyonunu bulalım.

Dk.3.15 in her iki tarafını a ile çarpıldığında ax ifadesi bulunur.

$$a \cdot \hat{x} = a \cdot \int \ddot{x} dt \quad (3.19)$$

Dk.3.19'un sağ tarafı integral alma işlemi olup, integral sabiti a 'ya eşittir. Dk.3.19, Dk.3.9 ile karşılaştırıldığında, integratörün elemanları arasında aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

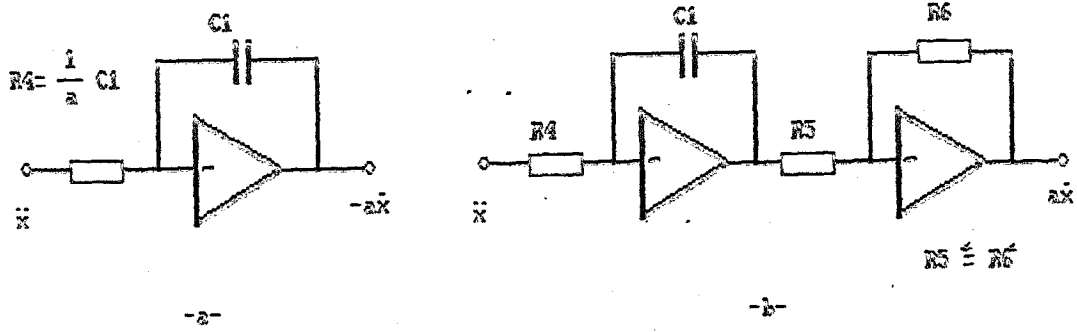
$$\frac{1}{\begin{bmatrix} R & C \\ 4 & 1 \end{bmatrix}} = a \quad (3.20)$$

Dk.3.20 de C_1 'in değeri seçilirse R_4 kolayca bulunur.

$$R_4 = \frac{1}{a \cdot C_1} \quad (3.21)$$

Bulunan eleman değerleri ile Dk.3.19, şekil 3.8a daki gibi gerçekleştirilebilir. Ancak integratörün çıkışı (-) olduğundan, integratörün çıkışı $-ax$ büyüklüğü elde edilir.

Gysa bize $a\ddot{x}$ gereklidir. Öyleyse $-a\ddot{x}$ 'in işaretini değiştirecek bir inverter kullanmamız gerekir. Şekil 3.8b



Şekil 3.8 Birinci integratör devresi

3.ADIM: kx 'in analog simülasyonla bulunması

Dk.3.19 un integrali alınıp her iki taraf k/a ile çarpıldığında kx elde edilir.

$$a \cdot \ddot{x} = \int a \cdot \dot{\ddot{x}} dt$$

$$\frac{k}{a} \cdot a \cdot \ddot{x} = \frac{k}{a} \cdot \int a \cdot \dot{\ddot{x}} dt$$

$$k \cdot \ddot{x} = \frac{k}{a} \cdot \int a \cdot \dot{\ddot{x}} dt$$

(3.22)

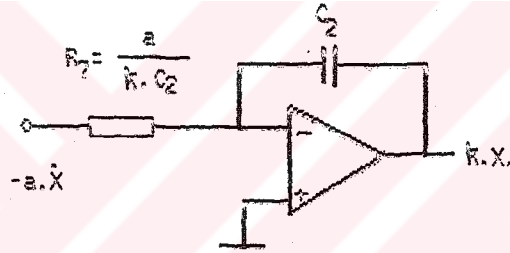
Dk.3.22 nin sağ tarafı k/a integral sabitli bir integratör devresidir. Dk.3.22 ile Dk.3.9 ile karşılaştırıldığında aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\frac{1}{\begin{bmatrix} R & C \\ 7 & 2 \end{bmatrix}} = \frac{R}{a} \quad (3.23)$$

Dk.3.23 de C2 nin degeri secilirse R7 bulunabilir.

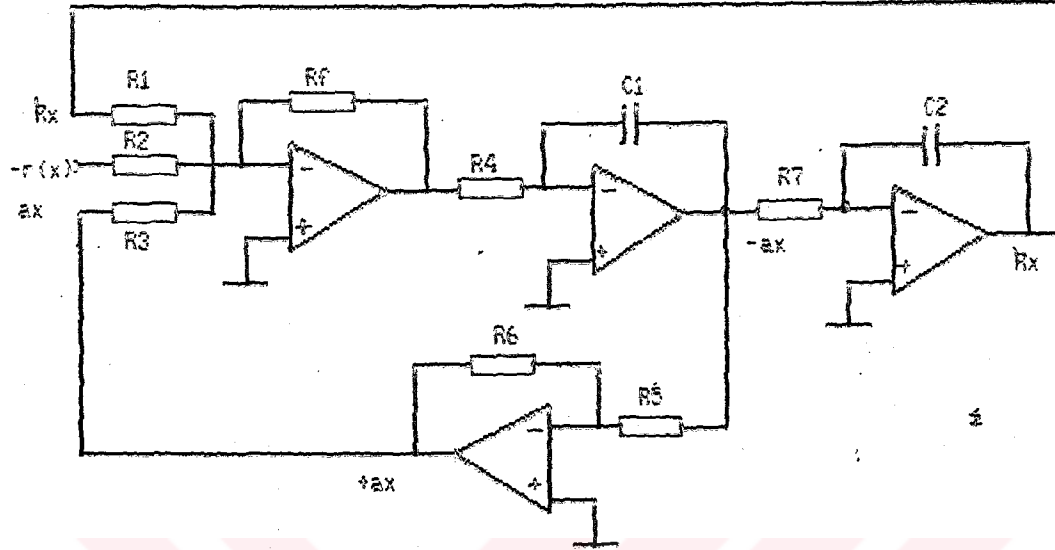
$$R_7 = \frac{a}{k \cdot C_2} \quad (3.24)$$

Bulunan eleman degerlerine göre Dk.3.22 sekil 3.9 daki gibi gerceklestirilebilir.



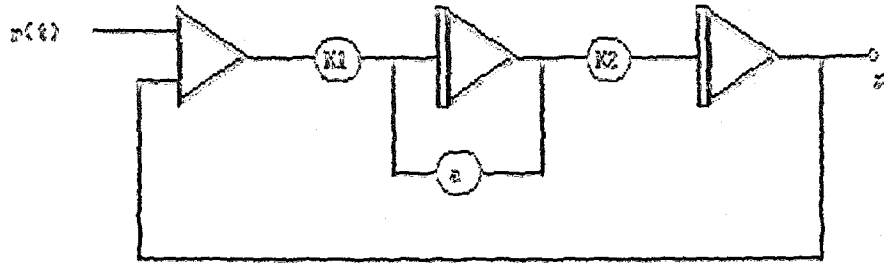
Şekil 3.9 integratör devresi

Yukarıdaki adımlarda açıkladığımız toplama ve integratör devrelerini ardarda bağlarsak Dk.3.14 deki Diferansiyel denklemin analog simülatörü sekil 3.10 daki gibi çizilebilir.



Şekil 3.10 İkinci dereceden sistemin analog simülatörü [8].

İkinci dereceden sistemin analog elemanlar cinsinden gösterilişi şekil 3.11 de verilmiştir [8].



Şekil 3.11 İkinci dereceden sistemin analog blok diyagramı.

3.3.2 ii. metod

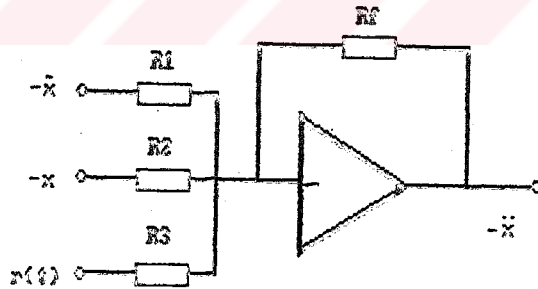
Bu metotta giriş büyüklüklerini $-\dot{x}$, $-x$, $x(t)$ alarak, Dk.3.14 nin analog simülasyonunu gerçekleştirelim. Dk. 3.14 ile Dk.3.3 karşılaştırılırsa aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$\frac{R_1}{R_f} = \frac{a}{m} \quad \frac{R_2}{R_f} = \frac{k}{m} \quad \frac{R_3}{R_f} = \frac{1}{m} \quad (3.25)$$

Dk.3.25 de R_f direncinin değeri seçilirse, toplama devresi için R_1 , R_2 , R_3 giriş dirençlerinin değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$R_1 = m \cdot \frac{R_f}{a} \quad R_2 = m \cdot \frac{R_f}{k} \quad R_3 = m \cdot R_f \quad (3.26)$$

Dk.3.26 de değerleri bulunan devre elemanlarını kullanarak toplama devresi şekil 3.12 deki gibi gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.12 Toplama devresi

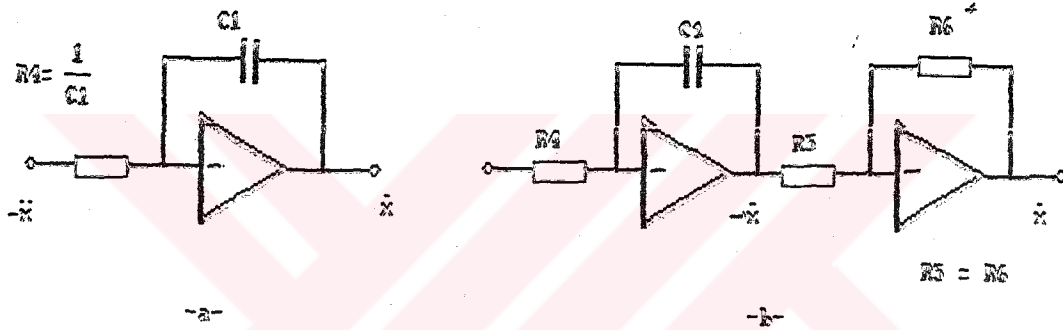
Şekil 3.12 için gerekli $-\dot{x}$ girişini bulabilmek için Dk. 3.15 ile Dk.3.9 karşılaştırıldığında aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\frac{1}{\begin{bmatrix} R & C \\ 4 & 1 \end{bmatrix}} = 1 \quad (3.27)$$

Dk.3.27 de görüldüğü gibi kullanılacak integratörün zaman sabiti 1 dir. C1 seçildiğinde birinci integral devresinin giriş direnci R4;

$$R_4 = \frac{1}{C_1} \quad (3.28)$$

şeklinde bulunur. Bulunan değerlere göre integratörün devresi şekil 3.13a daki gibi çizilebilir. Şekil 3.13a daki integratör çıkışından $\dot{x}$ elde edilmektedir. Ancak bize giriş için $-\dot{x}$ lazım olduğundan $\dot{x}$ çıkışını bir inverttere uygulamamız gerekir. Şekil 3.13b.



Şekil 3.13 Birinci integral devresi

Şekil 3.12'de görülen , toplama devresi için gerekli $-\dot{x}$ girişini bulabilmek için Dk.3.16 den faydalanarak, $\dot{x}$ 'nın bir kez integralini almamız gerekmektedir.

$$x = \int \dot{x} dt \quad (3.29)$$

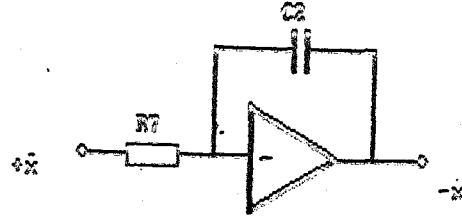
Dk.3.29 ile Dk.3.3 karşılaştırıldığında ikinci integratörün de zaman sabitinin 1 olduğu görülmür.

$$\frac{1}{\begin{bmatrix} R & C \\ 7 & 2 \end{bmatrix}} = 1 \quad (3.30)$$

Dk.3.30 dan R5 direncinin değeri aşağıdaki gibi bulunur.

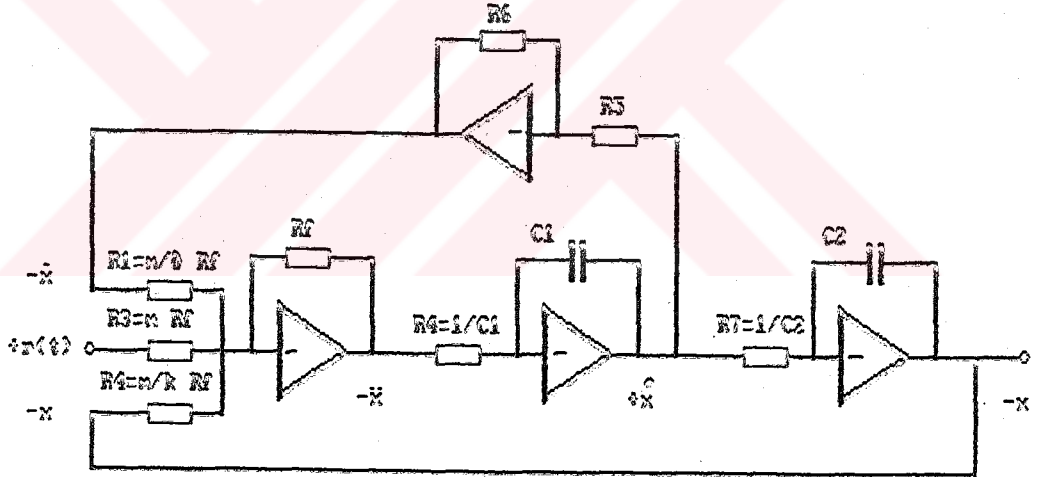
$$R_7 = \frac{1}{C_2} \quad (3.31)$$

Bulunan degerlere göre integral devresi şekil 3.14 deki gibi çizilebilir.



Şekil 3.14 İkinci integral devresi

Yukarıda açıkladığımız integratör ve toplama devrelerini birleştirirsek ikinci dereceden bir sistemin simülatörünü şekil 3.15 deki gibi çizebiliriz.



Şekil 3.15 İkinci dereceden sistemin analog simülatörü[8].

3.4 SAYISAL SIMULASYON

Sayısal bilgisayarlar son derece karmaşık hesapların yapılabilmesi için geliştirilmişlerdir. Sayısal bilgisayarlar da sistem dinamiği , zamana bağımlı lineer diferansiyel denklemler tarafından karakterize edilirler. Bütün bu matematiksel denklemler bazı sayısal yöntemler kullanılarak çözülebilirler. Simüle edilen sistem girişte yazılım aracılığı ile, birim basamak, rampa v.b uygun bir giriş sinyali uygulanırsa sistem cevabı elde edilebilir.

Sayısal simülasyonda; diferansiyel denklemlerin çözümlerinde değişik yöntemler kullanılır. Çalışmalarımızda fark yaklaşım metodu kullanılmıştır[9]

Fark yaklaşımlar metodu sayısal simülasyonda en çok kullanılan metodlardan biridir. Bu metodu bir örnek vererek açıklayalım. Sayısal simülasyonu yapılacak sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi olsun;

$$F(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s(s+a)} \quad (3.32)$$

Burada; $R(s)$ ve $C(s)$, sırasıyla sistem giriş ve çıkışının Laplace transformunu, K ve a birer sabiteyi göstermektedir.

Sistemin diferansiyel denklemini bulmak için Dk.2.22'nin her tarafını $s(s+a) \cdot R(s)$ ile çarparsak,

$$K \cdot R(s) = s(s+a) \cdot C(s) \quad (3.33)$$

elde edilir. Dk.3.33'ün ters Laplace Transformu alınırsa sistemin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{d^2 c(t)}{dt^2} + a \frac{dc(t)}{dt} = r(t)K \quad (3.34)$$

Dk 3.34'u T ;hesaplama zaman aralıkları, k ; örnekleme sayısını, göstermek üzere Dk 3.35 'deki gibi yazabiliriz.

$$\frac{d^2 c(t)}{dt^2} \Big|_{t=kT} + a \frac{dc(t)}{dt} \Big|_{t=kT} = r(kT)K \quad (3.35)$$

$c(t)$, zaman fonksiyonunun ilk iki türevini fark yaklaşımlar metodunu kullanarak aşağıdaki şekilde yapabiliriz.

$$c(kT) = \frac{dc(t)}{dt} \bigg|_{t=kT} \approx \frac{c(kT) - c(kT-T)}{T} \quad (3.36)$$

benzer şekilde ikinci türevi de yazalım.

$$c(kT) = \frac{d^2c(t)}{dt^2} \bigg|_{t=kT} = \frac{c(kT) - c(kT-T)}{T}$$

$$c(kT) = \frac{c(kT) - 2c(kT-T) + c(kT-2T)}{T^2} \quad (3.37)$$

Dk.3.36 ve Dk.3.37'yi Dk.3.35'de yerine koyarsak,

$$\frac{c(kT) - 2c(kT-T) + c(kT-2T)}{T^2} + a \frac{c(kT) - c(kT-T)}{T} = r(kT)K \quad (3.38)$$

elde ederiz.

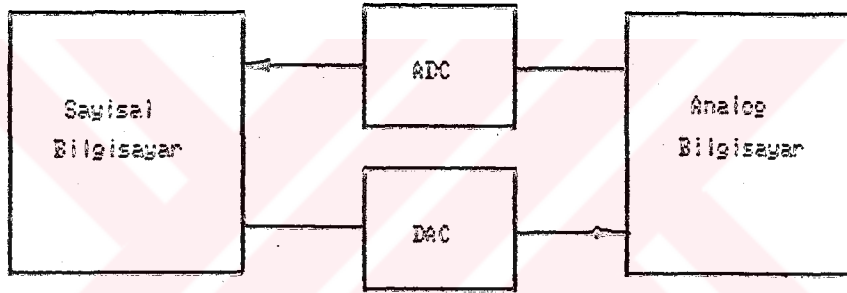
Dk.3.38'den $c(kT)$ çekilirse Dk.3.32'nin sayısal bilgisayarındaki simülasyonunu ,

$$c(kT) = \frac{T^2 rK}{1+aT} (kT) + \frac{2+aT}{1+aT} c(kT-T) - \frac{1}{1+aT} c(kT-2T) + E \quad (3.39)$$

elde edebiliriz. Burada E sistem çıkışına ithal edilen offset değeridir.

3.5 HİBRİT SIMULASYON

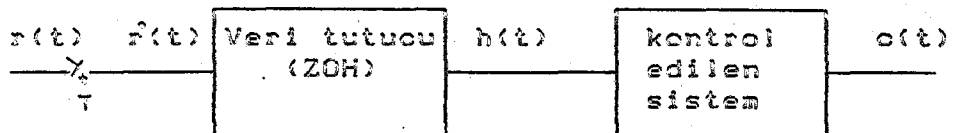
Analog ve sayısal bilgisayarların bir arada kullanılması ile hibrit bilgisayarlar elde edilir. Bölüm 2'de anlattığımız analog ve sayısal bilgisayarların tüm özelliklerini tasır. Analog bilgisayarların güvenilirliği ve doğruluğu, sayısal bilgisayarların hızı hibrit çalışmada birleşmiştir. Hibrit bilgisayarlarda kullanılan analog ve sayısal bilgisayarlar arasındaki uyumun sağlanması gerekir. Bunun için hibrit sistemde analog-sayısal çevirici (ADC), sayısal-analog çevirici (DAC) gibi arabirim (interface) devreleri kullanılır. Şekil 3.16'da hibrit sistemde analog ve sayısal bilgisayarlar arasındaki veri aktarımı görülmektedir[10].



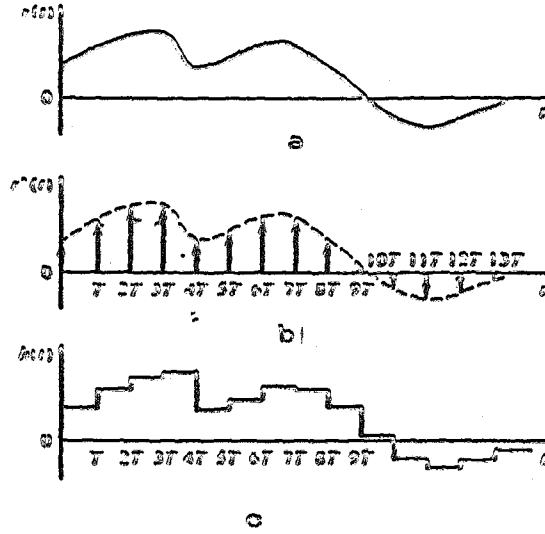
Şekil 3.16 Hybrit sistemin blok diagramı

3.5.1 Veri Tutucular

Veri tutucular, analog sinyali sayısal sinyale dönüştürmede kullanılan ara birim elemanlarıdır. Şekil 3.17'de sayısal kontrol sisteminin blok diagramı, şekil 3.18'de de sayısal sistemdeki sinyal değişimleri görülmektedir[11].



Şekil 3.17 Sayısal kontrol sisteminin blok diagramı



Sekil 3.18 a-Örnekleyici girişindeki analog sinyal
 b-Örnekleyici çıkışındaki analog sinyal
 c-sıfırinci dereceden tutucu çıkışındaki sinyal.

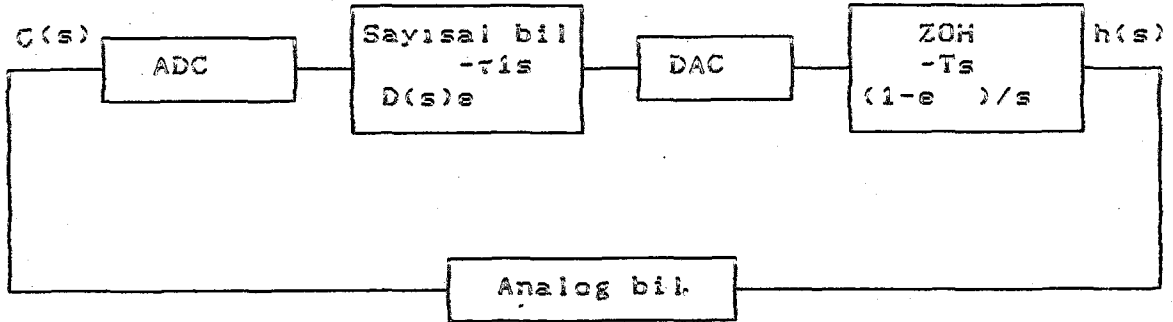
Sayısal sistem girişine uygulanan analog sinyalden örnekleyici tarafından T zaman aralıklarında impuls şeklinde örnekler alınır. Sekil 3.18.b'de görülen bu örneklerin, sekil 3.18.c'deki sayısal sinyale dönüşebilmesi için kT anında örneklenen impuls genişliğinin $t=(k+1)$ anındaki, bir sonraki örnekleme zamanına kadar sabit tutulması gerekir. Bunu sağlayabilmek için sıfırinci dereceden veri tutucular (Zero Order Hold) kullanılır. Transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir[11].

$$G(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \quad (3.40)$$

Böylece örnekleme zamanları arasında kontrol edilen sistem girişinin işaretli kalmaması sağlanır.

3.5.2 Hibrit Sistemde Zaman Gecikmesi Hatası

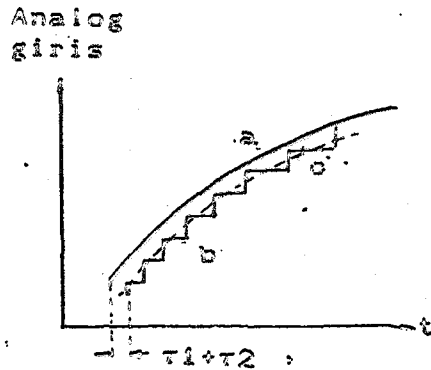
Sekil 3.19'da hibrit sistemin blok diagramı görülmektedir. Burada τ_1 analog sayısal çeviricideki zaman gecikmesini, τ_2 sayısal bilgisayardaki zaman gecikmesini, T sıfırinci dereceden tutucudaki örnekleme periyodunu göstermektedir.



Sekil 3.19 Hibrit sistemin blok diagramı[10].

Sayısal bilgisayarlar da işlemler belli zaman aralığı içinde gerçekleşir. Bu zaman aralığına hesaplama zamanı denir. Hesaplama zamanı sayısal bilgisayarlarda yapılan işlemlerin karmaşıklığına ve programın akışına bağlıdır. Analog bilgisayarlarda işlem süreleri sabittir. Sayısal bilgisayar için hibrit sistem içindeki analog değişkenler sayısal koda dönüştürülür. Bunlar tekrar analog koda dönüştürülerek analog bilgisayara uygulanır. Bu yüzden analog bilgisayar girişi merdiven şeklinde bir fonksiyondur.

Sekil 3.20'de asıl fonksiyon ile analog bilgisayar girişindeki sinyal görülmektedir. Şekilde, a; analog girişte temsil edilen sinyali, b; merdiven şeklinde sıfırınca dereceden tutucu çıkışı; aynı zamanda analog bilgisayar girişini, c; sıfırınca dereceden tutucu çıkışının ortalama değerini göstermektedir.



Sekil 3.20 Analog giriş ve zaman gecikmesi arasındaki ilişki

Sekil 3.20'de görüldüğü gibi temsil edilen sinyal (a) ile analog girişteki sinyal arasında τ zaman gecikmesi mev-

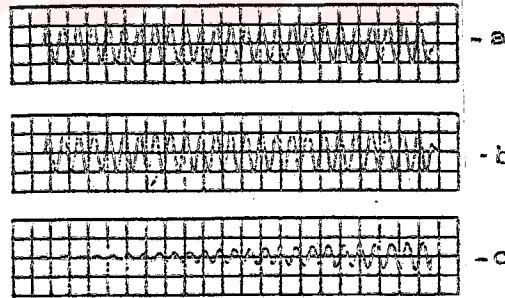
cuttur. Laplace transformunda bu gecikme e^{-Ts} biçiminde ifade edilir. $D(s)$; sayısal bilgisayarda yapılan işlemlerin Laplace transformu olmak üzere, şekil 3.19'daki analog giriş $h(s)$ ile, analog çıkış $c(s)$ arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir[10].

$$h(s) = c(s) \cdot D(s) e^{-(\tau_1 + \tau_2)s} \frac{1 - e^{-Ts}}{s} (1 + e^{-Ts} + e^{-2Ts} + \dots) \quad (3.41)$$

Şekil 3.20'de görüldüğü gibi hibrit çalışmada toplam zaman gecikmesi aşağıdaki gibi yazılabilir[10].

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \frac{T}{2} \quad (3.42)$$

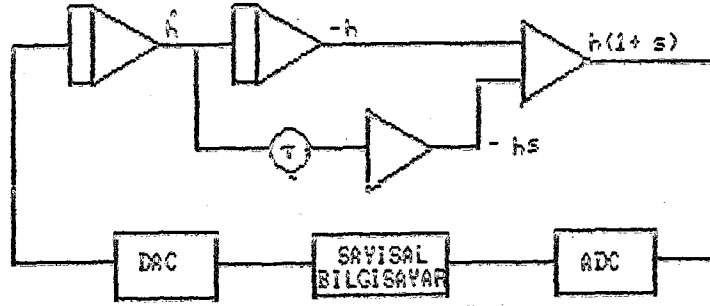
Hibrit sistemde zaman gecikmesinin sistem üzerindeki etkisi şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Zaman gecikmesinin etkisi[10]

Şekil 3.21'de a; sayısal çözüm yöntemleri ile bulunan analog sistem çıkışını, b; hibrit sistemdeki analog sistem çıkışını, c; a ve b'nin farkı olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi zaman gecikmesi çözüm hatalarının zamanla artmasına neden olmaktadır.

Zaman gecikmesinden dolayı oluşan hatayı ortadan kaldırmak için, şekil 3.22'de görüldüğü gibi analog giriş $h(s)$ ile toplanır.



Şekil 3.22 Hibrit sistemde zaman gecikmesi hatasının kaldırılması[10].

BÖLÜM 4

İKİNCİ DERECEDEDEN SİSTEMLERİN GEÇİCİ REJİM CEVABI

4.1 GİRİŞ

Otomatik kontrol sistemlerinin geçici rejim ve sürekli rejim olmak üzere iki davranışı vardır. Geçici rejim sistemin belli bir başlangıç durumundan nihai duruma kadar olan davranışdır. Sürekli rejim ise zaman sonsuza uzanırken koruduğu davranış şeklidir. Otomatik kontrol sistemlerinin geçici rejim ve sürekli rejim cevapları incelenmekle uygun davranışa sahip olup olmadıkları ve daha iyi davranış elde edebilmek için neler yapabileceği araştırılabilir[2].

Kontrol sistemlerinin incelenebilmesi için sisteme birim basamak, rampa, impuls, sinüs gibi çeşitli fonksiyonlar uygulanır. Sistemin bu fonksiyonlara karşı gösterdiği davranış şekillerinin karşılaştırılması yapılır.

Bu bölümde, kontrol edeceğimiz ikinci dereceden sistemin "Titreşim elemanı" davranışı incelenecektir.

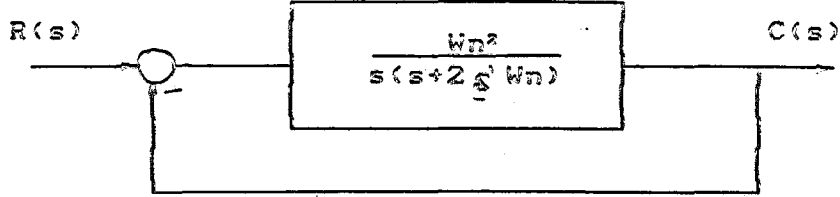
4.2 İKİNCİ DERECEDEDEN SİSTEMİN GEÇİCİ REJİM CEVABI

İkinci dereceden birim geri beslemeli bir sistemin transfer fonksiyonu $T(s)$, aşağıdaki gibi yazılabilir[12].

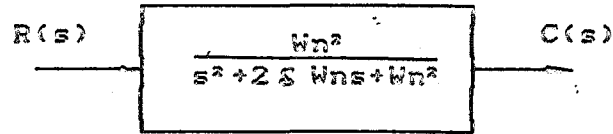
$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\left[\frac{W}{n} \right]^2}{\left[s^2 + 2 \zeta \frac{W}{n} s + \left[\frac{W}{n} \right]^2 \right]} \quad (4.1)$$

Burada; $R(s)$, $C(s)$, sırasıyla, giriş ve çıkışın Laplace transformunu, ζ sönüm katsayısını Wn , sistem çıkışının yaptığı salınımın frekansını göstermektedir. Wn , doğal frekans olarak da adlandırılır.

Şekil 4.1 de ikinci dereceden sistemin blok diagramı, şekil 4.2 de indirgenmiş blok diagramı görülmektedir.



Sekil 4.1.a ikinci dereceden sistemin blok diagramı



Sekil 4.1.b ikinci dereceden sistemin indirgenmiş blok diagramı.

Sistemin çıkışı Dk. 4.1 den kolayca yazılabilir.

$$C(s) = \frac{\left[\frac{W}{n} \right]^2}{s^2 + 2 \cdot \frac{W}{n} \cdot s + \frac{W^2}{n^2}} \cdot R(s) \quad (4.2)$$

$C(s)$ nin davranışı: girişe uygulanan $R(s)$ fonksiyonuna göre değişecektir. Girişe birim basamak impuls, rampa fonksiyonları uygulanabilir. Tablo 4.1

Tablo 4.1 Çeşitli giriş fonksiyonlarının sisteme uygulanışı:

Giriş fonk.	Giriş şek.	$r(t)$	$R(s)$
Birim bas.		$r(t) = R$	$R(s) = R/s$
Rampa		$r(t) = R \cdot t$	$R(s) = R \cdot 1/s^2$
Parabolik.		$r(t) = R \cdot t^2$	$R(s) = R \cdot 1/s^3$

Aşağıdaki bölümlerde sistemin bu fonksiyonlara karşı gösterdiği davranışlar ele alınıp incelenecektir.

4.2.1. İkinci Dereceden Sistemin Birim Basamak Cevabı

Dk 4.2 de görüldüğü gibi ikinci dereceden bir sistemin ζ ve ω_n olmak üzere iki parametresi vardır. Dk.4.2'nin paydası karakteristik denklem (4) olarak adlandırılır.

$$\Delta = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 \quad (4.3)$$

Sistemin geçici rejimindeki davranışı Dk.4.4'ün köklerinden incelenebilir.

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1} \quad (4.4)$$

Sönüm katsayısı ζ 'nin alacağı değerlere göre karakteristik kökleri, kompleks eşlenik veya gerçel olabilir. Şekil 4.3'de ζ 'nin alacağı çeşitli değerlerine karşılık sistem çıkışları gösterilmiştir. Dk.4.4'ü göz önüne alarak ζ 'nin değişiminin sistem davranışı üzerindeki etkisini inceleyelim.

1°) $0 < \zeta < 1$ ise $s_{1,2}$ kökleri kompleks eşlenik olup, s düzleminin sol tarafındadır. Sistem cevabı geçici rejimde şekil 4.3 a'da görüldüğü gibi salınım yapar. Bu hale "az sönümlü hal" denir.

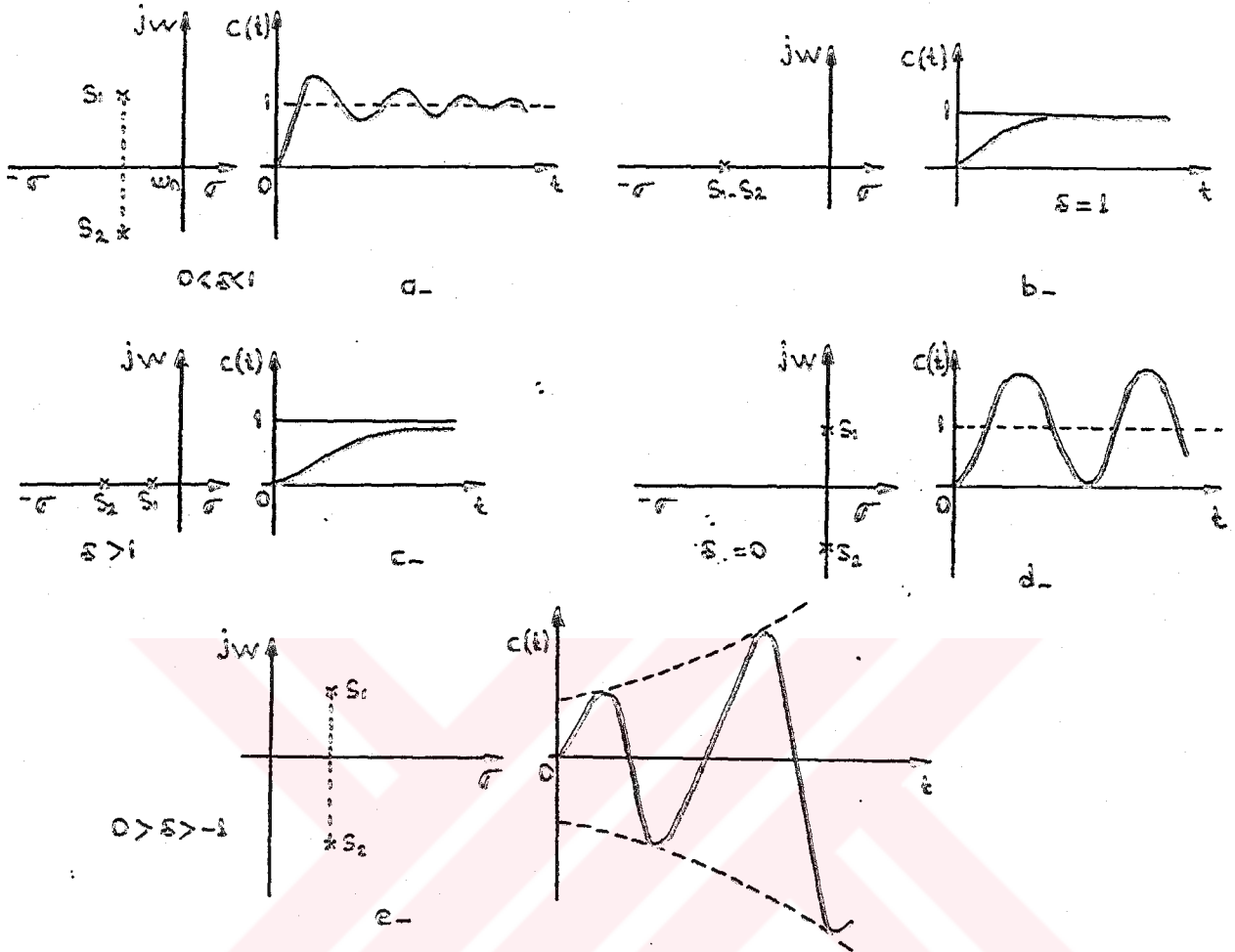
2°) $\zeta = 1$ ise $s_{1,2}$ kökleri gerçel ve eşittir. Bu hale "kritik sönümlü hal" denir. Salınım yoktur. Şekil 4.3 b.

3°) $\zeta > 1$ ise, $s_{1,2}$ kökleri negatif gerçeldir. Bu hale "fazla sönümlü hal" denir. Salınım yoktur. Sistem cevabı yavaştır. Şekil 4.3 c.

4°) $\zeta = 0$ ise, $s_{1,2}$ kökleri sanal eşleniktir ve sanal eksen üzerindedir. Hiç sönüm olmadığından sistem cevabı sabit genlikte serbest olarak salınım yapar. Osilatördeki gibi Şekil 4.3 d.

5°) $\zeta < 0$ ise, $s_{1,2}$ kökleri reel kısmı pozitif olan kompleks eşlenik iki kökü vardır. Kökler kompleks düzlemin sağ tarafındadır. Sistem cevabı sönümsüz, zamanla artan bir salınım yapar. Şekil 4.3 e.

Sonuç olarak; kararlılık açısından sistem köklerinin reel kısımlarının s düzleminin sol yarısında bulunmalıdır. Bunun için ζ sönüm katsayısının pozitif olması gerekir. Kökler s düzleminin sol yarısında kaldığı sürece reel kısımları sıfır başlangıç noktasından uzaklaştıkça, ζ büyüdükçe sönüm çabuklaşır. Diğer taraftan sanal kısım büyüdükçe, salınım frekansı artar[12].



Şekil 4.3 Birim basamak girişine karşın, δ 'değişik değerlerinde ikinci dereceden sistemin çıkış fonksiyonları.

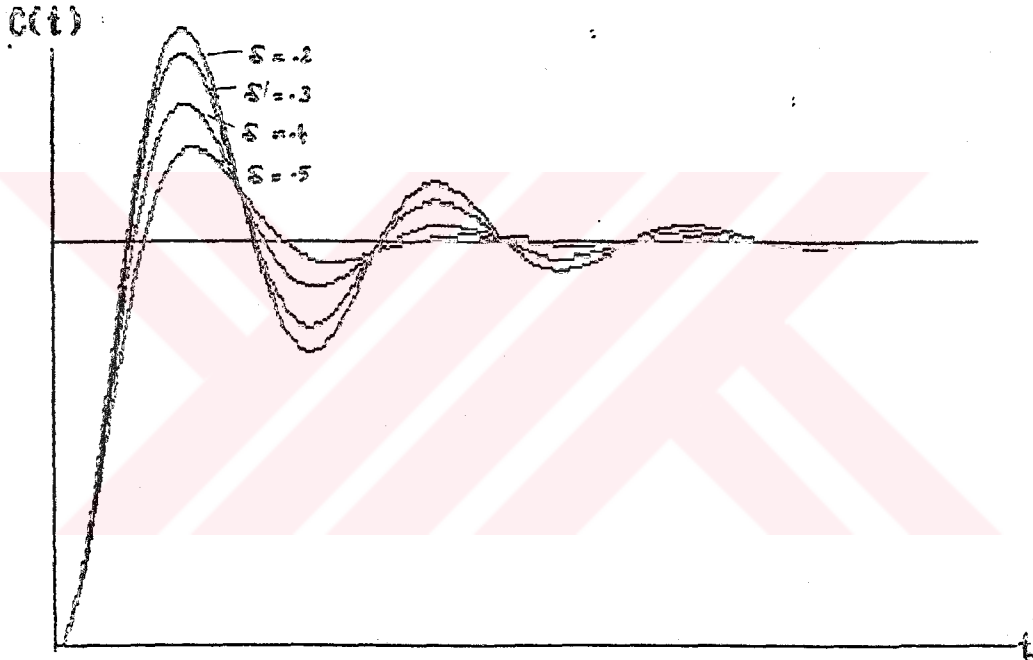
Dk.4.2'de değişik δ değerleri için davranışını incelemek üzere bu denklemin zaman domenindeki çözümünü elde etmek yararlı olacaktır. Bunun için Dk.4.2 de belirtilen sistemin girişine $R(s)=1/s$ birim basamak fonksiyonu uygulanalım. Tablo 4.1. Böylece;

$$C(s) = \frac{\frac{2}{W}}{s^2 + 2\delta \frac{W}{n} s + \frac{2}{n}} \cdot \frac{1}{s} \quad (4.5)$$

elde edilir. Çıkışın zaman domenindeki ifadesini bulmak için Dk.4.5'in ters laplace dönüşümü alınırsa, aşağıdaki ifade bulunur[11].

$$C(t) = 1 + \frac{1}{\sqrt{1 - \delta^2}} \cdot e^{\left[\frac{\delta \cdot W}{n} \cdot t \right]} \cdot \sin \left[\frac{W}{n} \cdot \sqrt{1 - \delta^2} \cdot t \right] \cdot \tan^{(-1)} \left[\frac{\sqrt{1 - \delta^2}}{-\delta} \right] \quad (4.6)$$

Dk.4.6'dan yararlanarak, çeşitli sönüm katsayıları için sistemin birim basamak fonksiyonu cevabı, şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Sekil 4.4 ikinci dereceden sistemin birim basamak cevabı.

Dk.4.6'da W_n doğal frekansı doğrudan doğruya sistemin cevap hızını tayin eder. Şekil 4.4'de $-\delta$ büyüdükçe sistem cevabının yavaşladığı, fakat salınımın giderek ortadan kalktığı görülmektedir[3].

4.2.2 İkinci Dereceden Sistemin İmpuls Cevabı

Birim impuls cevabını elde etmek için Dk.4.2 de $R(s)=1$ yazılırsa,

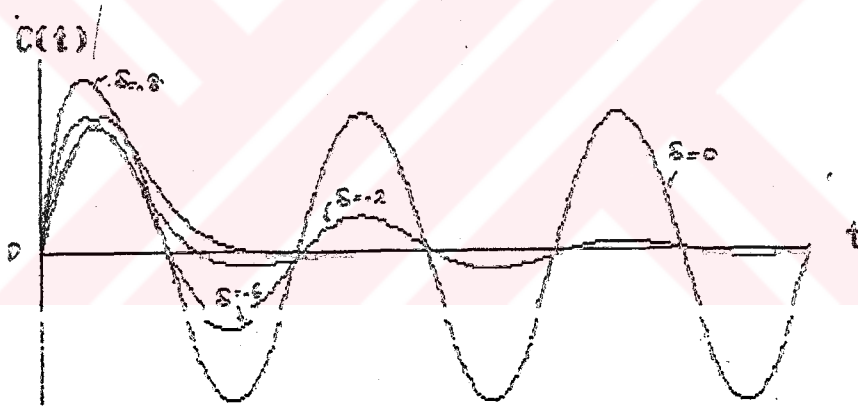
$$C(s) = \frac{\left[\frac{W}{n} \right]^2}{s^2 + 2 \cdot \frac{\delta \cdot W}{n} \cdot s + \frac{W^2}{n^2}} \quad (4.7)$$

elde edilir.

Dk 4.7'nin ters laplace dönüşümü alınarak $C(t)$ aşağıdaki gibi bulunur[2].

$$C(t) = \frac{W}{\sqrt{(1-\delta)^2}} \cdot e^{-\delta W \cdot t} \cdot \sin \left[\frac{W}{n} \sqrt{1-\delta^2} \cdot t \right] \quad (4.8)$$

$0 < \delta < 1$ arasındaki çeşitli değerlerde sistemin impuls fonksiyonuna karşı gösterdiği cevap, şekil 4.5 de' verilmiştir.



Şekil 4.5 ikinci derecede sistem impuls cevabı

4.2.3 İkinci Dereceden Sistemin Rampa Cevabı.

İkinci dereceden sistemin rampa cevabını elde etmek üzere Dk.4.2 de $R(s)=1/s^2$ yazalım. Tablo 4.1.

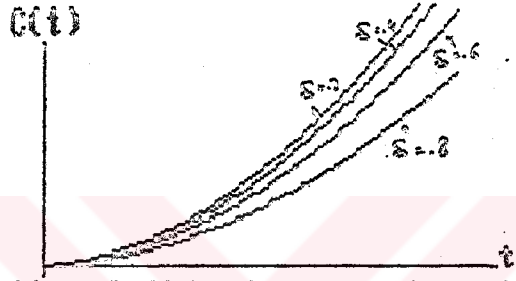
$$C(s) = \frac{\left[\frac{W}{n} \right]^2}{s^2 + 2 \cdot \delta \cdot \frac{W}{n} \cdot s + \frac{W^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{s^2} \quad (4.9)$$

Dk.4.9'un ters laplace dönüşümü alınırsa,

$$C(t) = t - \frac{(2 \cdot \delta)}{W_n} + \frac{1}{\left[W_n \sqrt{1 - \delta^2} \right]} \sin \left[W_n \sqrt{1 - \delta^2} \cdot t \right] + 2 \cdot \tan^{-1} \frac{\sqrt{2}}{\delta} \quad (4.10)$$

bulunur[]

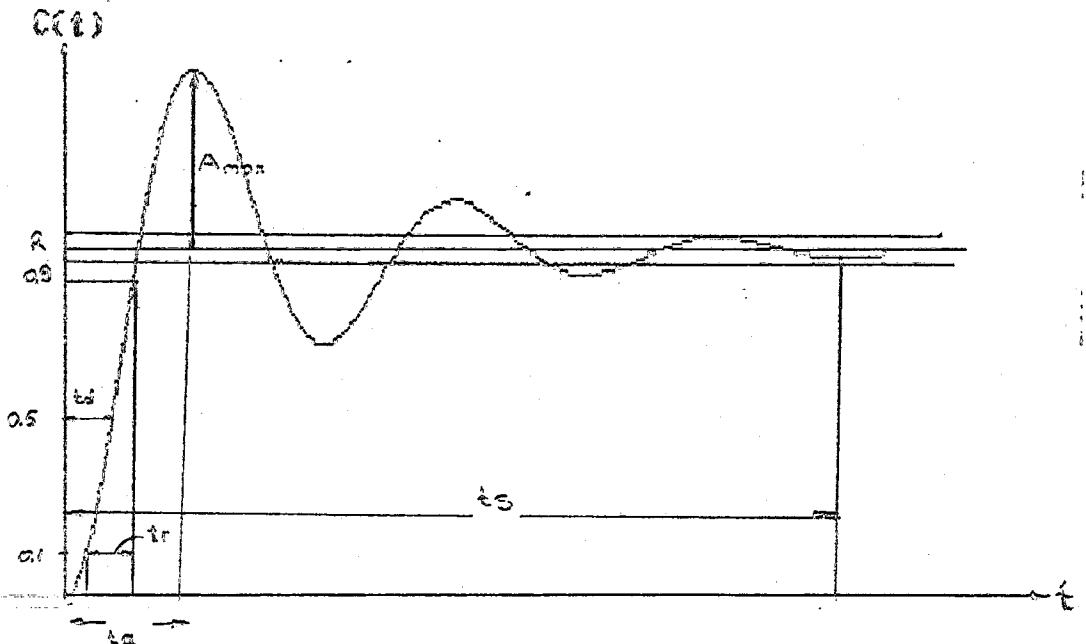
ikinci dereceden sistemin rampa girişine karşı gösterdiği cevap, şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 ikinci dereceden sistemin rampa cevabı

4.3 İKİNCİ DERECEDEKİ SİSTEMLER İÇİN ZAMAN DOMENİ KRİTERLERİ

ikinci dereceden sistemler için tanımlanmış olan birçok zaman domeni kriterleri vardır. Bu kriterler ikinci dereceden sistemin birim basamak cevabı üzerinden tanımlanmış büyüklükler olup; aşım, aşım zamanı, gecikme zamanı, yükselme zamanı, yerleşme zamanı gibi kriterlerdir. Şekil 4.7.



Şekil 4.7 ikinci dereceden sistemler için tanımlanmış zaman domeni kriterleri.

Bu büyüklüklerin sistemin sönüm katsayısı ve doğal frekansı ile ilişkileri aşağıdaki bölümlerde incelenmektedir.

4.3.1 Aşım aşım zamanı: A, t_n

Sekil 4.7'de görüldüğü gibi sistem çıkış salınımlarının tepes ve çökme yaptığı anlardaki referans seviyesinden uzaklaştığı miktarların herbirine aşım, ilgili zamanada aşım zamanı denir. aşım zamanları Dk.4.6'dan faydalanarak aşağıdaki şekilde bulunabilir[11].

$$W \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot t_n = n \cdot \pi \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.11)$$

$$t_n = \frac{(n \cdot \pi)}{W \cdot \sqrt{1 - \xi^2}} \quad (4.12)$$

Sekil 4.7'de görülen üst ve alt aşım değerleri, Dk.4.12 ifadesi Dk.4.6'da yerine konarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$C(t) = 1 + \frac{e^{\frac{(-n \cdot \pi \cdot \xi)}{\sqrt{1 - \xi^2}}}}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin \left[n \cdot \pi - \tan^{-1} \frac{(-1) \cdot \sqrt{1 - \xi^2}}{-\xi} \right] \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4.13)$$

$$C(t) = 1 + (-1)^{n-1} e^{\frac{-(n \cdot \pi \cdot \xi)}{\sqrt{1 - \xi^2}}} \quad (4.14)$$

Dk.4.12 ve Dk.4.14, $n=1$ değeri için çözülürse, maksimum aşım zamanı ve maksimum aşım bulunabilir.

Maksimum aşım A , $n=1$ konumun da $C(t)$ max çıkışının referans değerden farkı alınarak ifade edilir.

$$A = C(t) - R \quad (4.15)$$

Burada R , referans değerini göstermektedir. Dk.4.14, Dk.4.15 de yerine konduğunda aşım;

$$\frac{-(\pi \cdot \delta)}{\sqrt{\left[\frac{2}{1-\delta} \right]}} \quad (4.16)$$

olarak bulunur. Maksimum aşım zamanı da Dk.4.12'den $n=1$ alınarak aşağıdaki şekilde bulunur.

$$t_a = \frac{\pi}{\left[\frac{W}{n} \cdot \sqrt{\left[\frac{2}{1-\delta} \right]} \right]} \quad (4.17)$$

4.3.2 Gecikme Zamanı; t_d

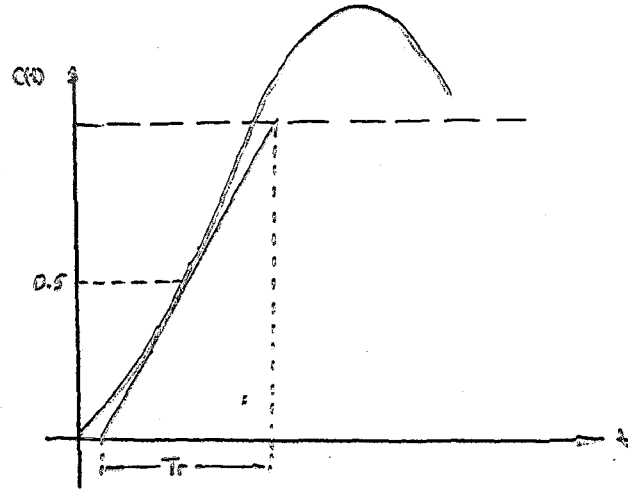
Gecikme zamanı; çıkış işaretinin 0.5 değerine eriştiği zaman olarak tanımlanır. Şekil 4.5. Gecikme zamanı, W_n ve cinsinden

$$t_d = \frac{(1 + 0.7 \cdot \delta)}{W_n} \quad (4.18)$$

olarak ifade edilir[11].

4.3.3 Yükselme Zamanı; t_r

Yükselme zamanı; bir kontrol sistemine basamak şeklinde sinyal uygulandığı takdirde, elde edilen ortalama cevap eğrisine $t=t_d$ noktasından çizilen tegetin, cevabın sıfır ile bir değerleri arasında kalan parçasında zaman eksenini üzerindeki izdüşümüne tekabül eden zaman aralığı olarak tanımlanır. Şekil 4.8 [11].



Şekil 4.8 Yükselme zamanı. .

Diger bir ifade ile, yükselme zamanı, cevap egrisinin %10'u ile %90'ı arasındaki zaman aralığı olarak adlandırılır.

4.3.4 Yerleşme Zamanı; t_s

Yerleşme zamanı; çıkış işaretinin yerleşik duruma eriştiği kabul edilen zamandır. Şekil 4.5. Yerleşme zamanı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [12].

$$t_s = \frac{3}{\delta \cdot W_n} \quad (4.19)$$

BÖLÜM 5

PID KONTROL

5.1 GİRİŞ

Bu bölümde, ikinci bölümde açıklanan kontrol sistemlerinde kullanılan kontrolör bloğu ele alınacaktır. Çalışmamızda kullandığımız PID (proportional-integral-derivative) kontrolör incelenecektir. Ancak bu arada P, PI, PD kontrolör yöntemleri PID kontrolörün daha iyi anlaşılabilmesi için ele alınıp incelenecektir.

5.2 P (ORANSAL) KONTROLÖR

Sürekli sistemde oransal kontrolör aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$U(t) = K_P \cdot e(t) \quad (5.1)$$

Burada $U(t)$ kontrolör çıkışını, K_P oransal kazancı, $e(t)$ hatayı göstermektedir. Oransal kontrolörün blok diagramı şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1 Oransal kontrolör

Oransal kontrolörün transfer fonksiyonu

$$\frac{U(s)}{e(s)} = G_p(s) = K_P \quad (5.2)$$

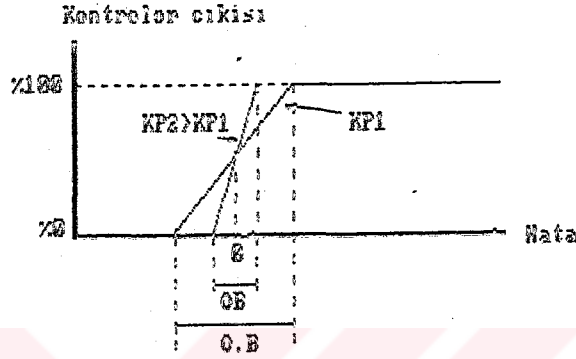
olarak yazılabilir. Sayısal simülasyon için Dk.5.2 ayrık biçimde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U(k) = K_P \cdot e(k) \quad (5.3)$$

$$\frac{U(k)}{e(k)} = K_P \quad (5.4)$$

Dk.5.4 de görüldüğü gibi oransal kontrolör bir kazanç elemanı olarak görev yapar.

Oransal kontrolörde hata ile kontrolör çıkışı arasında ki ilişki şekil 5.2 de çeşitli kazanç değerleri için gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Oransal kontrolör çıkışının hata ile değişimi [1].

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi belirli bir hata değerinde kontrolör çıkışı %100'e ulaşarak doyuma girer. Hatanın daha da büyümesi kontrolör çıkışını etkilemez. Aynı durum kontrolör çıkışının %0'a düştüğü zamanda da görülür. Kontrolör çıkışının %0 ile %100 arasında değişmesi sonucunu doğuran hata bölgesine "oransal bölge" adı verilir. Oransal kazanç arttıkça oransal bölge azalır. Oransal kazancın büyük olması durumunda sistem davranışı kararsız olabilir.

Oransal kontrolörün en büyük dezavantajı kazancın sıfır olduğu anda kontrolör çıkışının pratikte sıfır olmasıdır. Buna öteleme hatası denir [1].

5.3 ORANSAL INTEGRAL (PI) KONTROLÖR.

Oransal kontrolörde öteleme hatasını önlemek için kontrolöre integral kontrol elemanı ilave edilir. Böylece kontrolör çıkışı hatanın sadece o andaki değerine bağlı olmayıp, geçmiş hata değerlerine de bağlı olur. Integral kontrol aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$U(t) = K_i \int_0^t e(t) \cdot dt \quad (5.5)$$

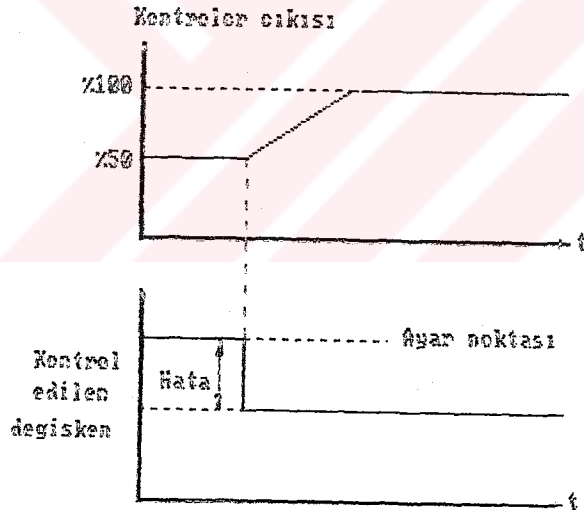
Burada K_I integral kontrolör kazancıdır. T_I integral zamanı olmak üzere, integral kontrolör kazancı;

$$K_I = \frac{K_P}{T_I} \quad (5.6)$$

olarak yazılır. integral kontrolörün transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılır.

$$G_I(s) = \frac{K_I}{s} \quad (5.7)$$

integral kontrolörün açık çevrim koşulları altında çıkışı şekil 5.3 de verilmiştir.



Şekil 5.3 integral kontrolör çıkışı[1].

PI kontrolör, oransal ve integral kontrollerin her ikisinde bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Dk.5.1 ile Dk.5.5 den faydalanarak PI kontrolörün cevabı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$U(t) = K_P \cdot e(t) + K_I \int_0^t e(t) \cdot dt \quad (5.8)$$

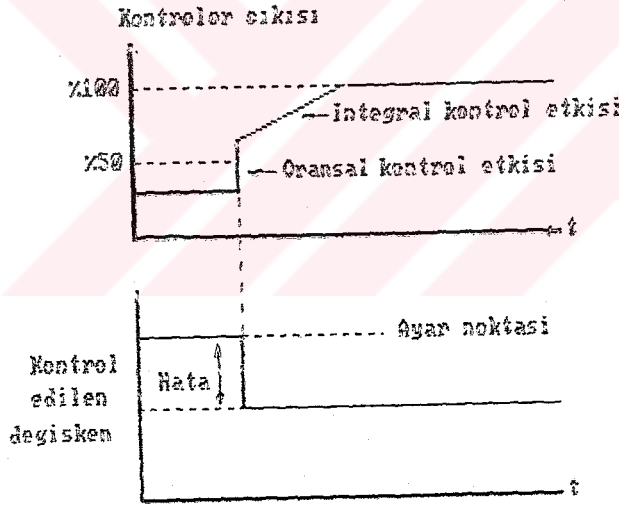
Dk 5.7 yi euler metodu kullanarak ayrıklaştırılırsa PI kontrolörü ayırık sistemde temsil eden ifade aşağıdaki gibi yazılabilir[3].

$$U(k) = K_P \cdot e(k) + K_I \cdot T \sum_{i=0}^k e(i) \quad (5.9)$$

Burada T, ayırık sistemde örnekleme zamanıdır.

Hatanın çok büyük olması halinde oransal kontrolörün doyuma girip kontrol etmediğini belirtmiştik. Bu durumda integral kontrolör şekil 5.2'deki oransal bölgeyi gerektigi kadar sola kaydırarak kontrolörün doyuma girmesini önler.

Sekil 5.4'de PI kontrolörün açık çevrim altında çıkışı görülmektedir[1].



Şekil 5.4 PI kontrolör çıkışı

5.4 PD (ORANSAL-TÜREVSEL) KONTROLÖR

Hatanın çok hızlı değiştiği durumlarda oransal kontrollerlere hatanın değişimine oranlı bir terim ilave etmek gerekir. Bu da türevsel kontrolör ile gerçekleşir. PD kontrol sürekli sistemde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$U(t) = K_P \cdot e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5.10)$$

Burada KD türevsel kontrolörün kazancıdır. Türevsel kontrolörün transfer fonksiyonu;

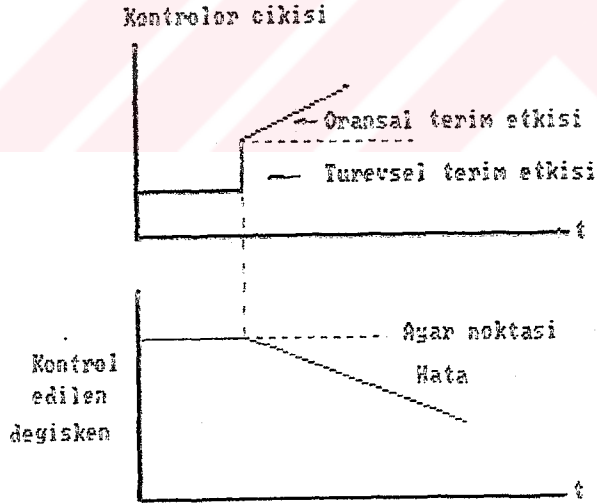
$$G(s)=K_P + K_D s \quad (5.11)$$

şeklinde yazılabilir.

Dk 5.10 da türevsel terim yaklaşık fark elemanları cinsinden ifade edilirse, PD kontrolörün ayrık zamandaki ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$U(k)=K_P.e(k) + \frac{K_D}{T} \{e(k)-e(k-1)\} \quad (5.12)$$

Şekil 5.5 de PD kontrolörün açık çevrim koşulları altında çıkışı görülmektedir.



Şekil 5.5 PD kontrolör çıkışı

5.5 PID (ORANSAL-INTEGRAL-TÜREVSEL) KONTROLÖR

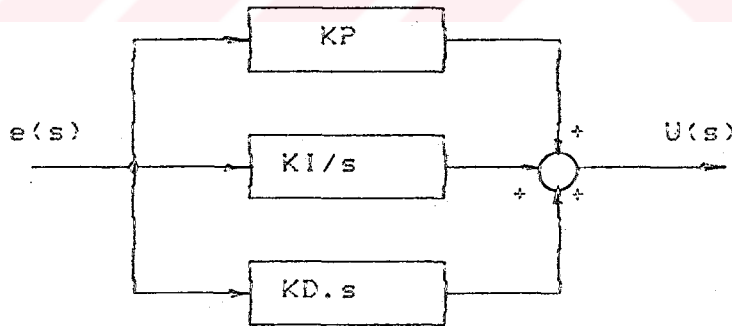
PID (oransal-integral-türevsel) olarak adlandırılan bu kontrol ayrı ayrı üç kontrol elemanı içerdiğinden bunların tüm özelliklerini kapsar. Sürekli sistemde, PID kontrolüyle ilişkili denklemleri aşağıdaki gibi yazabiliriz;

$$U(t) = K_P \cdot e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5.13)$$

Kontrolörün transfer fonksiyonu ise;

$$G_{pid}(s) = \frac{U(s)}{e(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (5.14)$$

şeklinde yazılabilir. Şekil 5.6 da PID kontrolörün blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5.6 PID kontrolör

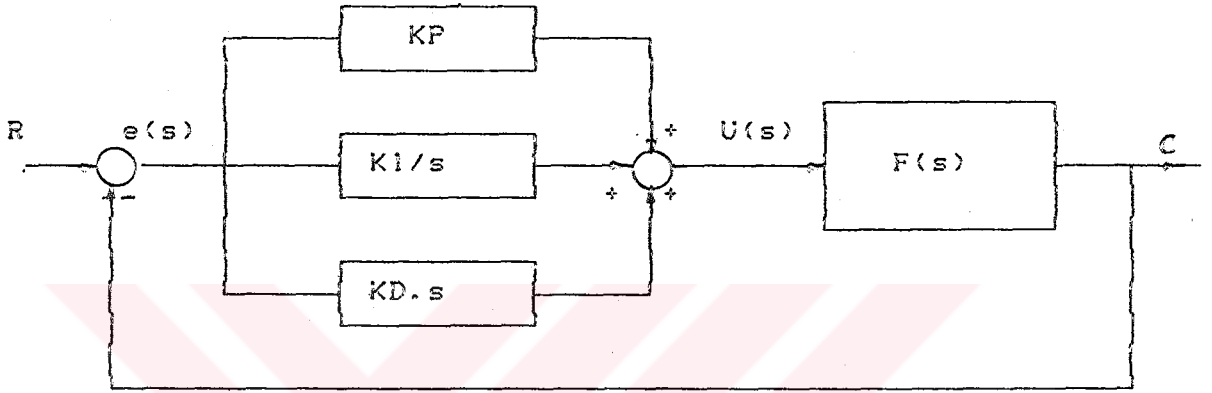
Dk 5.9 ve Dk 5.12 den faydalanarak PID kontrolörün ayrık sistemdeki ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$U(k) = K_P \cdot e(k) + K_I \cdot T \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{K_D}{T} (e(k) - e(k-1)) \quad (5.15)$$

$$U(t)=U(k) , kT < t < (k+1)T$$

Dk 5.15 de verilen PID kontrol ifadesinden P, PI, PD ve PID olmak üzere 4 çeşit kontrolör gerçekleştirilebilir. Örneğin $K_P=1$, $K_I=0$, $K_D=0$ alınırsa Dk 5.9 daki PI kontrol eşitliğini bulabiliriz.

Şekil 5.6 da PID kontrolör ile gerçekleştirilen kontrol sistemi görülmektedir.



Şekil 5.6 PID kontrol sistemi

5.6 KP, KI, KD KATSAYILARININ SİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

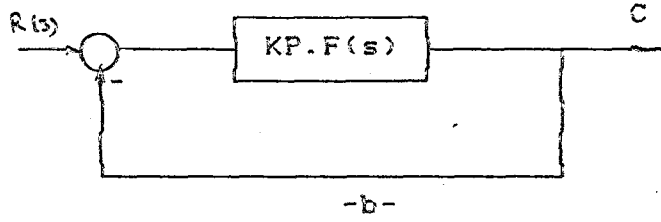
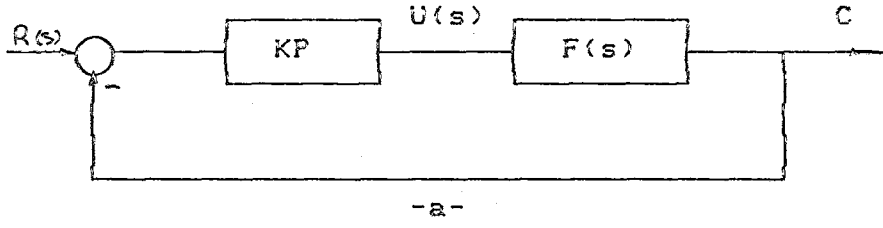
PID kontrolde temel sorun, kontrol işlemleri sürecinde KP (P), KI (i) ve KD (D) nin neye göre değiştirileceğinin belirlenmesi olacaktır. Bunun içinde P, I ve D'nin değişiminin sistem üzerindeki etkilerini incelemekte yarar vardır.

5.6.1 P (KP) Etkisi

Dk 5.14'deki PID kontrolörün transfer fonksiyonunda $I=0$, $D=0$ alınırsa P kontrolün transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$G_p(s)=K_P$$

Bu durumda şekil 5.6, şekil 5.7 deki gibi olur. Şekil 5.7 den KP'nin sistem kazancını arttırdığı açıkça görülebilir.



Şekil 5.7 a- $K_i=K_D=0$ için PID kontrol sistemi
b- Basitleştirilmiş blok diagram

Şekil 5.7.a'da $F(s)$ 'nin transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$F(s) = \frac{K}{s(s+a)} \quad (5.17)$$

Buna göre şekil 5.7.b'deki birim geri beslemeli sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi bulabiliriz.

$$T(s) = \frac{F(s).KP}{1+F(s).KP}$$
$$T(s) = \frac{K.KP}{s^2 + a.s + K.KP} \quad (5.18)$$

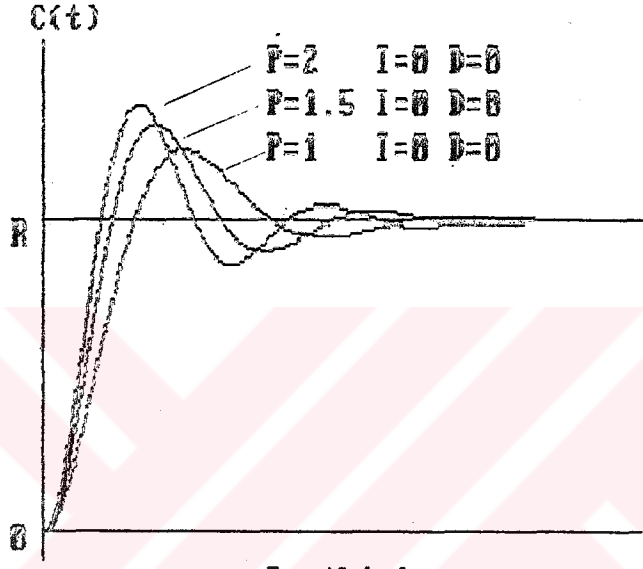
Dk.5.18, Dk.3.1'ile mukayese edildiğinde aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz;

$$\omega_n^2 = K.KP \quad (5.19)$$

$$2 \omega_n \delta = a \quad (5.20)$$

Dk.5.19'dan görüldüğü gibi KP katsayısının artması ω_n doğal frekansın artmasına buna karşılık, Dk.5.20 den görüldüğü gibi ζ sönüm katsayısının azalmasına neden olur. Dk.3.16 ve Dk.3.17 göz önüne alındığında KP katsayısının artması aşımı arttıracak, aşım zamanını azaltacaktır.

Şekil 5.8'de P (KP) değerlerinin sistem çıkışı üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



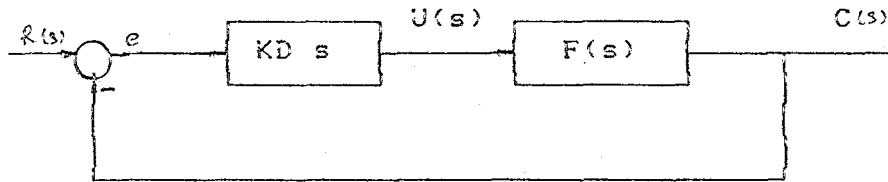
Şekil 5.8 Oransal kontrolörün sistem üzerindeki etkisi.

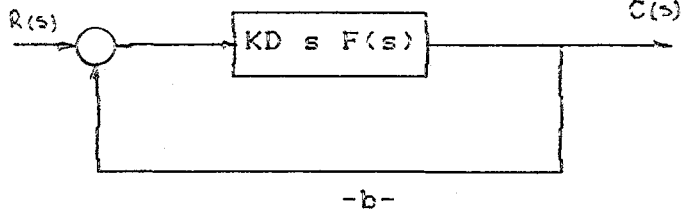
5.6.2 D (KD) Etkisi

Türevsel kontrolün transfer fonksiyonunu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$G_d(s) = K_D s \quad (5.21)$$

Türevsel kontrol altındaki sistemin blok diagramı şekil 5.8'de verilmiştir.





Şekil 5.9 a- Türevsel kontrolörün blok diagramı
b- Basitleştirilmiş blok diagram

Şekil 5.9.b'deki birim geri beslemeli sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T(s) = \frac{F(s) \cdot KD s}{1 + F(s) \cdot KD s}$$
$$T(s) = \frac{K \cdot KD s}{s^2 + s(a + K \cdot KD)} \quad (5.22)$$

Dk.5.17 ile Dk 5.22 mukayese edildiğinde sönüm katsayısı ile ilgili olan s'nin katsayılarının değiştiği görülmektedir. Buna göre türevsel kontrol altındaki sistemde s'nin katsayısı

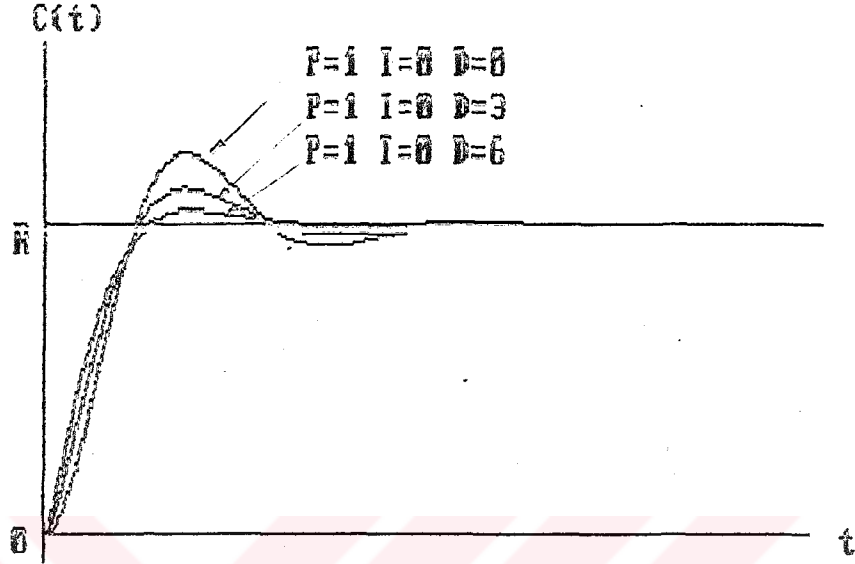
$$2Wn' \delta' = (a + K \cdot KP) \quad (5.23)$$

olarak bulunur.

Dk 5.23 den türevsel kontrol altındaki sistemin sönüm katsayısı δ' aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\delta' = \frac{a + K + KP}{Wn'} \quad (5.24)$$

Dk.5.24 de sistemde KP etkisi arttırıldığında sönüm katsayısının da arttığı görülmektedir. Sönüm katsayısındaki bu artış sistemi daha karlı hale sokar ve aşımı azaltır. Şekil 5.10'da çeşitli türevsel kazanç değerlerinde sistem çıkışları verilmiştir.



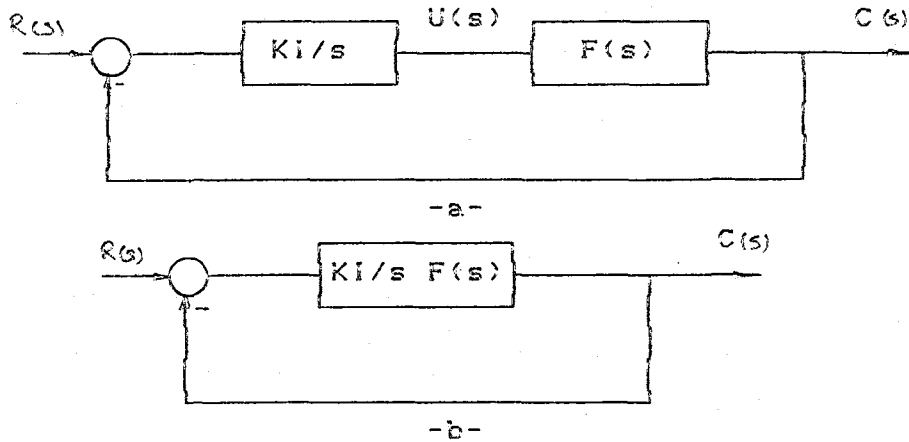
Şekil 5.10 Türevsel kontrolün sistem üzerindeki etkisi

5.6.3 İ (KI) Etkisi

Integral kontrolün transfer fonksiyonunu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$G_I(s) = \frac{K_I}{s} \quad (5.25)$$

Integral kontrol altındaki sistemin blok diagramı şekil 5.11'de verilmiştir.



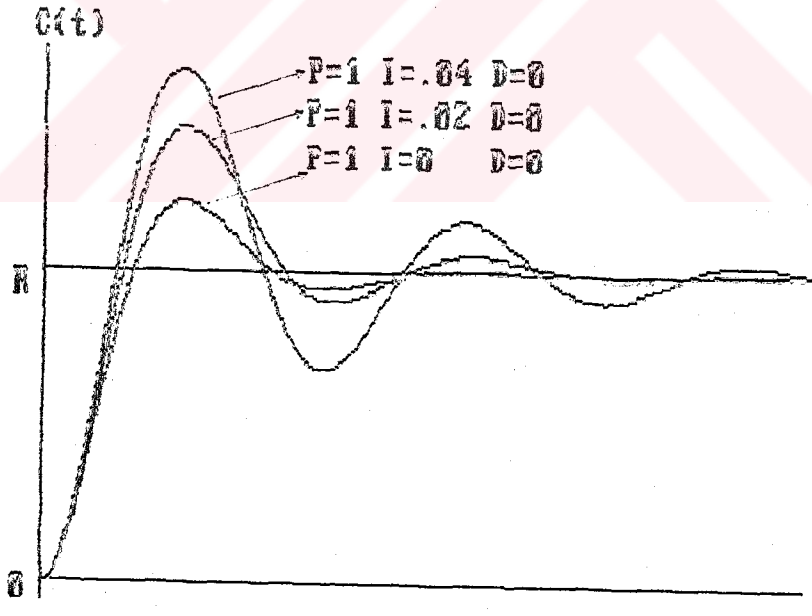
Şekil 5.11 a- Integral kontrolörün blok diagramı
b - Basitleştirilmiş blok diagram

Şekil 5.11.b'deki birim geri beslemeli sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T(s) = \frac{F(s).K_I/s}{1+F(s).K_I/s}$$

$$T(s) = \frac{K.K_I/s}{s^2 + as + K.K_I} \quad (5.26)$$

Dk.5.26'dan görüldüğü gibi integral kontrol uygulanan sistemin derecesi bir derece yükselmektedir. Ayrıca integral kontrol sistemi kararsız çalışma durumuna getirebilmektedir[2]. K_I katsayısının artması integral etkisini arttıracğından küçölerek, aşım artacaktır. Şekil 5.12 de çeşitli K_I değerlerinde sistem çıkışları deneysel olarak bulunmuştur.



Şekil 5.12 Integral kontrolün sistem çıkışı üzerindeki etkisi.

5.7 PID KONTROL PAREMETRELERİNİN HESAPLANMASI

PID katsayılarının hesaplanmasında değişik yöntemler kullanılmaktadır. Aşağıda kullandığımız yöntem tanıtılmakta diğer bir yöntem ise Ek.4'de verilmektedir.

5.7.1 P Katsayısının Hesabı

Daha önce ifade edildiği gibi P katsayısı sistemin aşım ve aşım zamanı üzerinde etkili olmaktadır. Başlangıç itibari ile P'ye bir P_o değeri verildikten sonra algoritma içerisinde aşım ve aşım zamanını değiştirebilmek için P'nin değerleri P_o 'dan itibaren ΔP kadar arttırılır.

$$P = P_o + \Delta P \quad (5.27)$$

Bu aşamada sorun aşım ve aşım zamanının optimum bir şekilde değiştirilebilmesi için ΔP 'nin algoritma içerisinde nasıl değiştirileceğidir. Bu değiştirmede farklı yöntemler uygulanabilir. Kullanılan bir yaklaşım şekli ΔP 'yi seçilen bir ΔP_o değeri etrafında aşağıdaki gibi değiştirmektedir[3].

$$P = \frac{TA - T_{Ai}}{T_{Ai} - T_{Aop}} \Delta P_o \quad (5.28)$$

Burada T_{Ai} , TA , T_{Aop} sırasıyla; bozulmamış sistemin aşım zamanı (istenen aşım zamanı), bozulmuş sistemin aşım zamanı (düzeltilmek istenen aşım zamanı), $P = P_o + \Delta P$ alındığında sistemin aşım zamanını göstermektedir.

Dk.5.27, Dk.5.28 aracılığı ile bulunan P katsayısı aşım zamanını istenen değere doğru değişime zorlayacaktır. Ancak bu arada P aşım etki ederek onu da değiştirecektir. I ve D katsayılarının etkisi olmadığından P katsayısı ile genellikle aşım zamanı kontrol edilir. Bu durumda P'nin aşım üzerinde olan etkisi I veya D katsayıları aracılığı ile değiştirilir. I ve D katsayılarının hesaplanmasında P'nin aşım üzerindeki etkisi hızlı sonuç alınması için gözönüne alınmalıdır. P'nin etkisi ile aşımın alabileceği muhtemel değer aşağıdaki gibi hesaplanabilir[3].

$$A_{bek} = (A_o - A_i) \frac{\Delta P}{\Delta P_o} + A \quad (5.29)$$

Bu durumda istenen aşımda olan sapmada ;

Bu durumda istenen aşımda olan sapmada :

$$Abek = A_i - Abek \quad (5.30)$$

olarak yazılabilir.

I ve D katsayılarının hesaplanmasında ΔP değişimleri sonucu aşımın ne kadar değiştiğini sistem denklemlerinin çözümüne başvurmadan önce Dk.5.29 aracılığı ile yapılacak bir öngörü sonucunda daha hızlı bir kontrol imkanı elde edilmiş olur.

5.7.2 I Katsayısının Hesabı

I katsayısı sistemde aşımı arttıracak yönde etkisi olup, aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I = I_0 + \Delta I \quad (5.31)$$

Burada I_0 başlangıç değerini (genellikle sıfır değerindedir), ΔI her seferinde I'daki değişimi göstermektedir.

ΔI 'nin yazılım içerisinde otomatik olarak değiştirilmesi ile istenen kontrol gerçekleştirilebilir[3].

$$\Delta I = \frac{A_i - A}{A_{oi} - A_i} \cdot P \cdot \Delta I_0 \quad (5.32)$$

Burada ΔI_0 , I'daki değişimlerin hangi referans değer etrafında değiştirilebileceğine ilişkin seçilmiş bir başlangıç değerini göstermekte olup,

$$\Delta I_0 = \frac{\pi}{TA_i} \cdot 0.01 \quad (5.33)$$

olarak hesaplanabilmektedir[3]. A_{oi} , $P=1$, $D=0$, $i = I_0$ iken hesaplanan aşımı göstermektedir.

I katsayısından önce P katsayısında bir değişiklik yapılmış ise P'nin aşım üzerindeki etkisini gözönüne almak daha hızlı bir yaklaşım için gerekmektedir. Bu durumda ΔI , Abek'den yararlanarak hesaplanabilir.

$$\Delta I = \frac{A_i - Abek}{A_{oi} - A_i} \cdot P \cdot \Delta I_0 \quad (5.34)$$

5.7.3 D Katsayısının Hesabı

D katsayısı sistemde aşımı azaltacak yönde etkisi olup, aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$D = D_0 + \Delta D \quad (5.35)$$

Burada D_0 başlangıç değerini (genellikle sıfır değerindedir), ΔD her seferinde D 'deki değişimi göstermektedir.

D 'nin yazılım içerisinde otomatik olarak değiştirilmesi ile istenen kontrol gerçekleştirilebilir[3].

$$\Delta D = \frac{A_i - A}{A_{oi} - A_i} P \cdot \Delta D_0 \quad (5.36)$$

Burada ΔD_0 , D 'daki değişimlerin hangi referans değer etrafında değiştirilebileceğine ilişkin seçilmiş bir başlangıç değerini göstermekte olup,

$$\Delta D_0 = \frac{T_a}{\pi} 0.01 \quad (5.37)$$

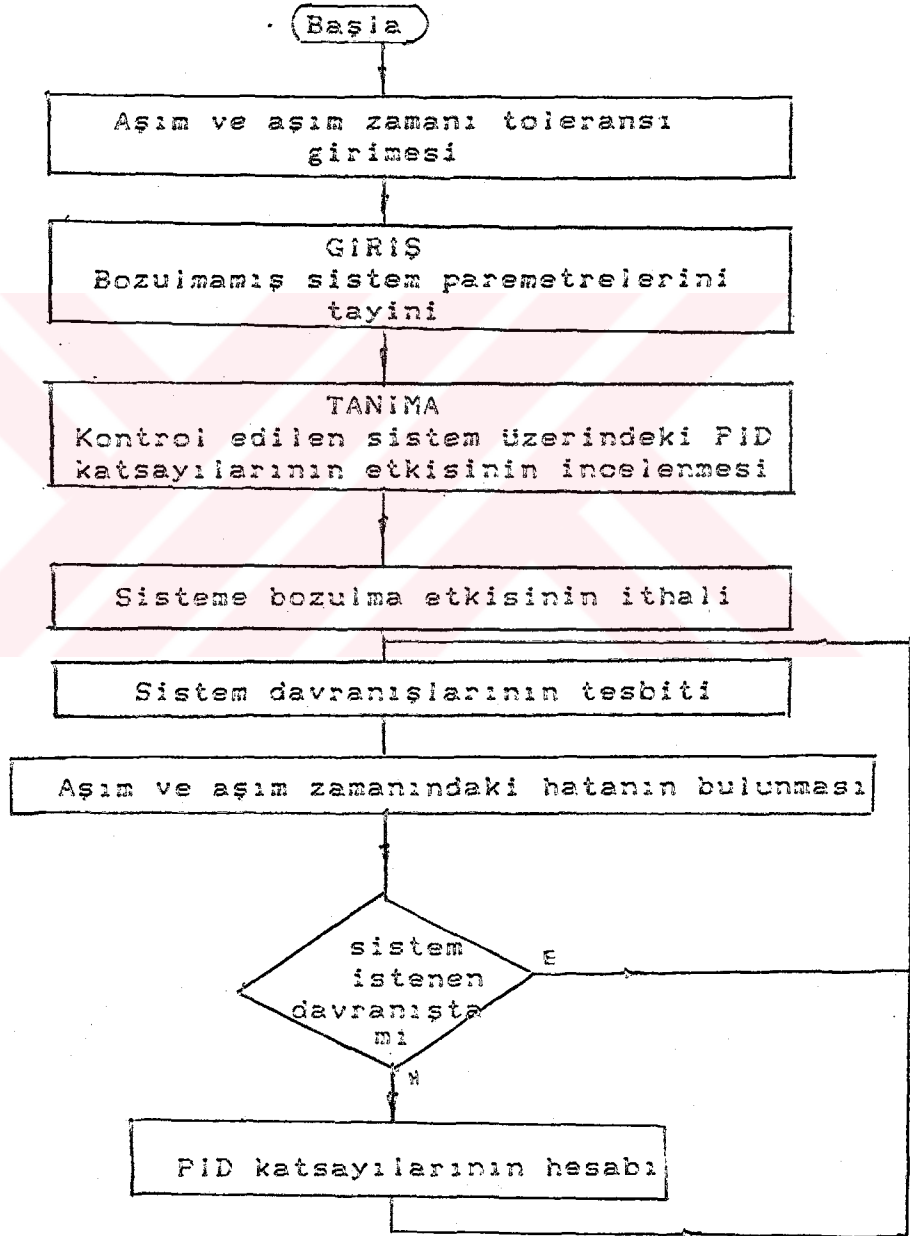
olarak hesaplanabilmektedir[3]. A_{oi} , $P=1$, $l=0$, $D=\Delta D_0$ iken hesaplanan aşımı göstermektedir.

D katsayısından önce P katsayısında bir değişiklik yapılmış ise P 'nin aşım üzerindeki etkisini gözönüne almak daha hızlı bir yaklaşım için gerekmektedir. Bu durumda ΔD , A_{bek} 'den yararlanarak hesaplanabilir.

$$\Delta D = \frac{A_i - A_{bek}}{A_{oi} - A_i} P \cdot \Delta D_0 \quad (5.38)$$

5.8 ADAPTASYON ALGORİTASI

Adaptasyon algoritması; kontrol edilen sistemi devamlı gözaltında tutarak, çeşitli etkenlerden dolayı sistem çıkışında meydana gelen hataları düzelten kontrol programı olarak tanımlanabilir. Şekil 5.12'de PID kontrol algoritmasının temel blok diagramı görülmektedir.



Şekil 5.12 PID kontrol algoritmasının akış diagramı

Sistem çıkışında kabul edilen aşım ve aşım toleransları belirtilir. Giriş blogunda, sistem kontrolör etkisi altından çıkartılarak, sisteme referans giriş (birim basamak) uygulanır. İstenen aşım ve aşım zamanı bulunur.

Tanıma blogunda ,P,I,D katsayıları ayrı ayrı belli oranlarda arttırılarak bu katsayılarının sistem üzerindeki etkisi incelenir.

Kontrol edilen sisteme bozulma etkisi ithal edilerek, sistem çıkışı bozulur. İstenen aşım ve aşım zamanı değerleri ile bozulan sistemden ölçülen aşım ve aşım zamanı değerlerinin farkı alınarak sistem çıkışında meydana gelen hata hesaplanır.

PID katsayılarının hesabı blogunda; sistem çıkışındaki hatayı kabul edilen aşım ve aşım zamanı toleransları içine sokacak P,I,D katsayıları bulunur. Bu katsayılara göre kontrol edilen sisteme, kontrol sinyali uygulanır. Ek 1'de kontrol algoritmasının ayrıntılı akış diagramı verilmiştir.

5.9 ADAPTASYON AŞAMASINDA P.I.D KATSAYILARININ DEĞİSTİRİLMESİNDE İZLENECEK YOL

Tablo 5.1'de kontrol edilecek sistemde aşım ve aşım zamanında meydana gelebilecek değişiklikleri gidermek için adaptasyon algoritmasında yapılacak değişiklikler verilmiştir.

TABLO 5.1 Değiştirme işlemleri[3].

	Δe	Δt	Δt
ta	İstenen durum	Integrali azalt.(I $\downarrow$) veya Turevi arttır.(D $\uparrow$)	Integrali arttır.(I $\uparrow$) veya Turevi azalt.(D $\downarrow$)
ta	Kazancı Arttır.(P $\uparrow$) ta istenen değere getirildiğinde beklenen aşım değerini hesaplayarak, birinci satırda uygun sutfuna geç.		
ta	Kazancı azalt(P $\downarrow$). ta istenen değere getirildiğinde beklenen aşım değerini hesaplayarak , birinci satırda uygun sutfuna geç.		

A=, aşım istenen degerde
A, aşım istenen degerden fazla
A, aşım istenen degerden az
ta=, aşım zamanı istenen degerde
ta, aşım zamanı istenen degerden fazla
ta, aşım zamanı degerden degerden az

I ve D katsayıları sadece aşım Uzerinde etkilidir. Bunun yanında P katsayısının hem aşım hemde aşım zamanı Uzerinde etkisi vardır. Kontrol algoritması ilk önce aşım zamanını, P katsayısının ayarlanması ile istenen duruma getirilecektir. Örneğin sistem A , ta konumunda ise öncelikle P katsayısı azaltılacaktır. Kazancın azaltılmasına karşılık aşım da bir değişiklik olacaktır. Kazancın aşım da meydana getirdiği değişiklik (Abek) hesaplanarak istenen aşım değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucuna göre tablo 5.1'de birinci satırda, uygun sütundaki işlemler yapılarak gereken i veya D katsayılarında ki değişimler yapılır.

BÖLÜM 6

PİD KONTROL UYGULAMASI

6.1 GİRİŞ

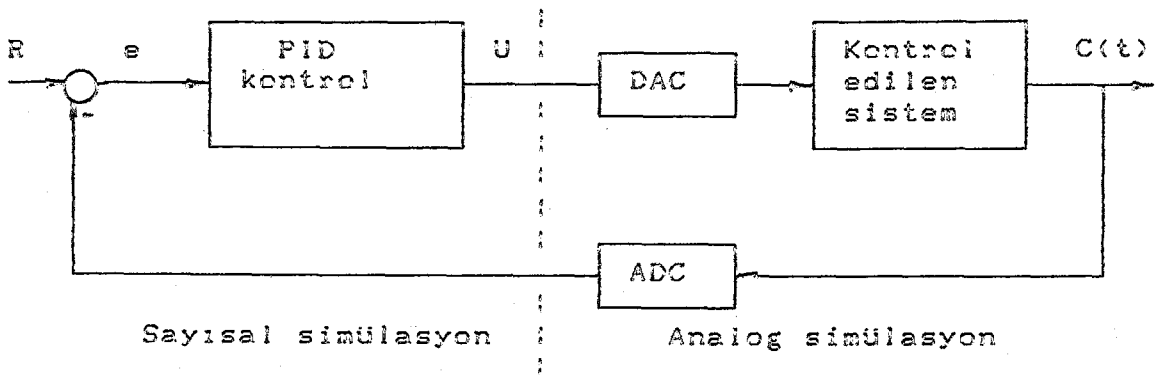
Bu bölümde, gerçekleştirilen PİD kontrol programı hakkında bilgi verilecek, kontrol programının analog ve sayısal simülasyonu yapılmış sistemlere uygulanışı anlatılacaktır.

6.2 HİBRİT SİSTEMDE PİD KONTROL UYGULAMASI

PİD kontrol sistemimizde kontrol edilecek sistem olarak transfer fonksiyonu aşağıda verilen ikinci dereceden sistem ele alınmıştır.

$$F(s) = \frac{K}{s(s+a)} = \frac{.010}{s(s+.09)} \quad (6.1)$$

Şekil 6.1'de hibrit simülasyonla gerçekleştirilmiş PİD kontrol sisteminin blok diagramı görülmektedir.



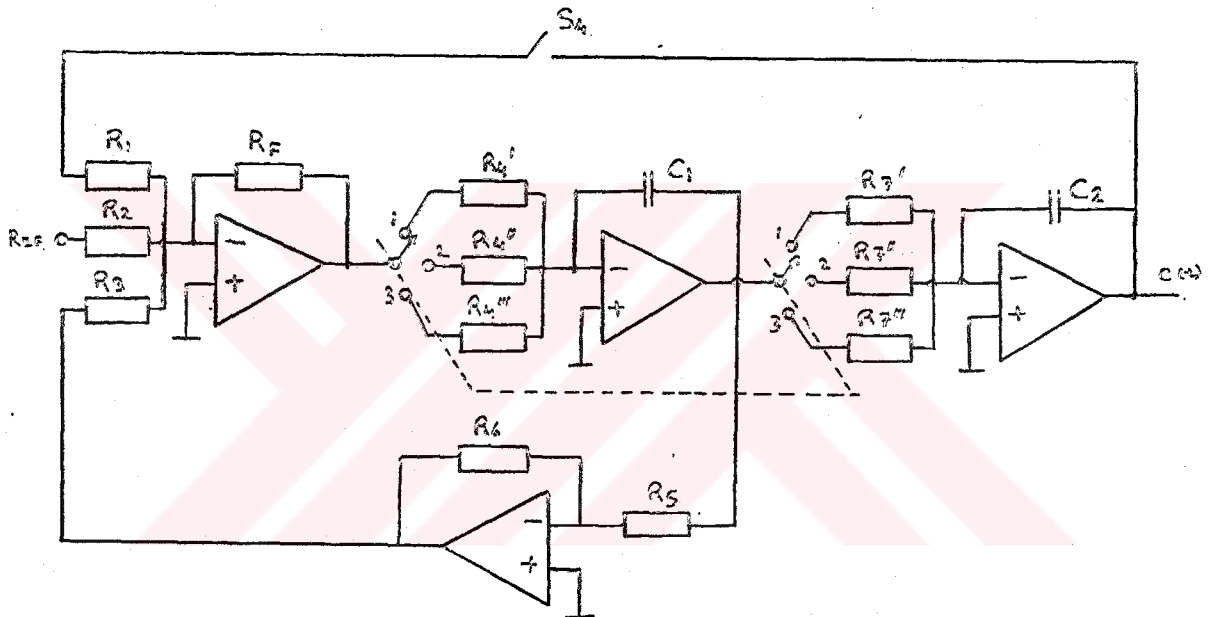
Şekil 6.1 Hibrit simülasyonla gerçekleştirilmiş PİD kontrol sistemi.

Kontrolör sayısal simülasyon ile, kontrol edilen sistem analog simülasyon ile gerçekleştirilmiştir.

Kontrol sistemine geçmeden önce sistemi meydana getiren birimler hakkında bilgi verelim.

6.2.1 Kontrol Edilen Sistem

Kontrol programının çalışmasını inceleyebilmek için Dk.6.1'de transfer fonksiyonu verilen sistem çıkışında bozulmalar meydana getirebilecek şekilde analog simülatör gerçekleştirilmiştir. K kazancı sabit kalmak şartı ile, a parametresi .09, .07, .05 değerleri için gerekli devre elemanlarının hesabı yapılmıştır. Şekil 6.2'de gerçekleştirilen analog simülatör devresi görülmektedir.



Şekil 6.2 Analog simülatör.

Analog simülatör, bölüm 3.3.1'de anlatılan birinci metod ile gerçekleştirilmiştir. C1, C2 kondansatörleri 1 μ F, Rf, R5, R6 dirençleri 1 M Ω seçilmiştir. Dk.3.17 ve Dk.3.18 ifadelerinden R1, R2, R3, direnç değerleri 1 M Ω olarak hesaplanmıştır.

Dk.3.21 ve Dk.3.24'de görüldüğü gibi R4 direnci sadece a parametresi üzerinde, R7 direnci ise a parametresi ve K kazancı üzerinde etkilidir. R4 ve R7 dirençlerinin hesaplamalarının da değişik a değerleri için $K=.010$ eşitliğini sağlayacak R7 direnç değerleri hesaplanmıştır. Uygulamada direnç toleranslarından dolayı K değerinde % .1'lik sapmalar olmuştur. Sapmalardan dolayı oluşan K değerlerine göre DK.3.21 yardımıyla a değerleri bulunmuştur. Üç değişik parametre için hesaplanan direnç değerleri ve elde edilen K a değerleri tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Analog simülatörde uç değişik parametre için hesaplanan direnç değerleri.

Paremetre	a	K	R4 (M Ω)	R7 (M Ω)
1	.0895	.0106	R4''=11.15	R7''=8.44
2	.0697	.0109	R4'''=14.3	R7'''=6.39
3	.0506	.0107	R4''''=18.75	R7''''=4.72

Paremetre değişimi, paralel çalışan S1 ve S2 anahtarları yardımıyla sağlanmaktadır. Simülatörün açık çevrimli veya birim geri beslemeli sistem olarak çalıştırılması S4 anahtarı yardımıyla sağlanmaktadır.

6.2.2 Ara Birim Elemanları

Hibrit sistemimizde ara birim (interface) devreleri olarak IBM 12 bit ADDA kart kullanılmıştır. DAC ve ADC'nin özellikleri aşağıda verilmiştir.

6.2.2.1 DAC

- 12 bit 16 kanal
- Çıkış voltajı 0-9 V
- Çevirme zamanı; 30 μ s

DAC'ı Basic program dilinde seçen program aşağıda verilmiştir[15].

```
10 ETD=INT(ET/(18/4095))
20 H=INT(ETD/256)
30 L=ETD-H*256
40 OUT PORT +7,H
50 OUT PORT +6,L
```

Programda ET' sayısal girişi göstermektedir.

6.2.2.2 ADC

- 12 bit, 1 kanal.
- Çıkış voltajı; 0-9 V
- Sıfırlama zamanı; 500 ns

ADC'yi Basic program dilinde seçen program aşağıda verilmiştir[16].

```
10 PORT=632
20 CHANNEL=13
30 OUT PORT +3,0
40 OUT PORT +0,CHANNEL
50 FOR I=1 TO 7 : A=INP(PORT+4) : NEXT I
60 FOR I=1 TO 7 : A=INP(PORT+5) : NEXT I
70 B=INP(PORT+2)
80 C=INP(PORT+1)
90 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
100 D2=D*.0021878
```

Programda D2 elde ettiğimiz analog voltaj değeridir.

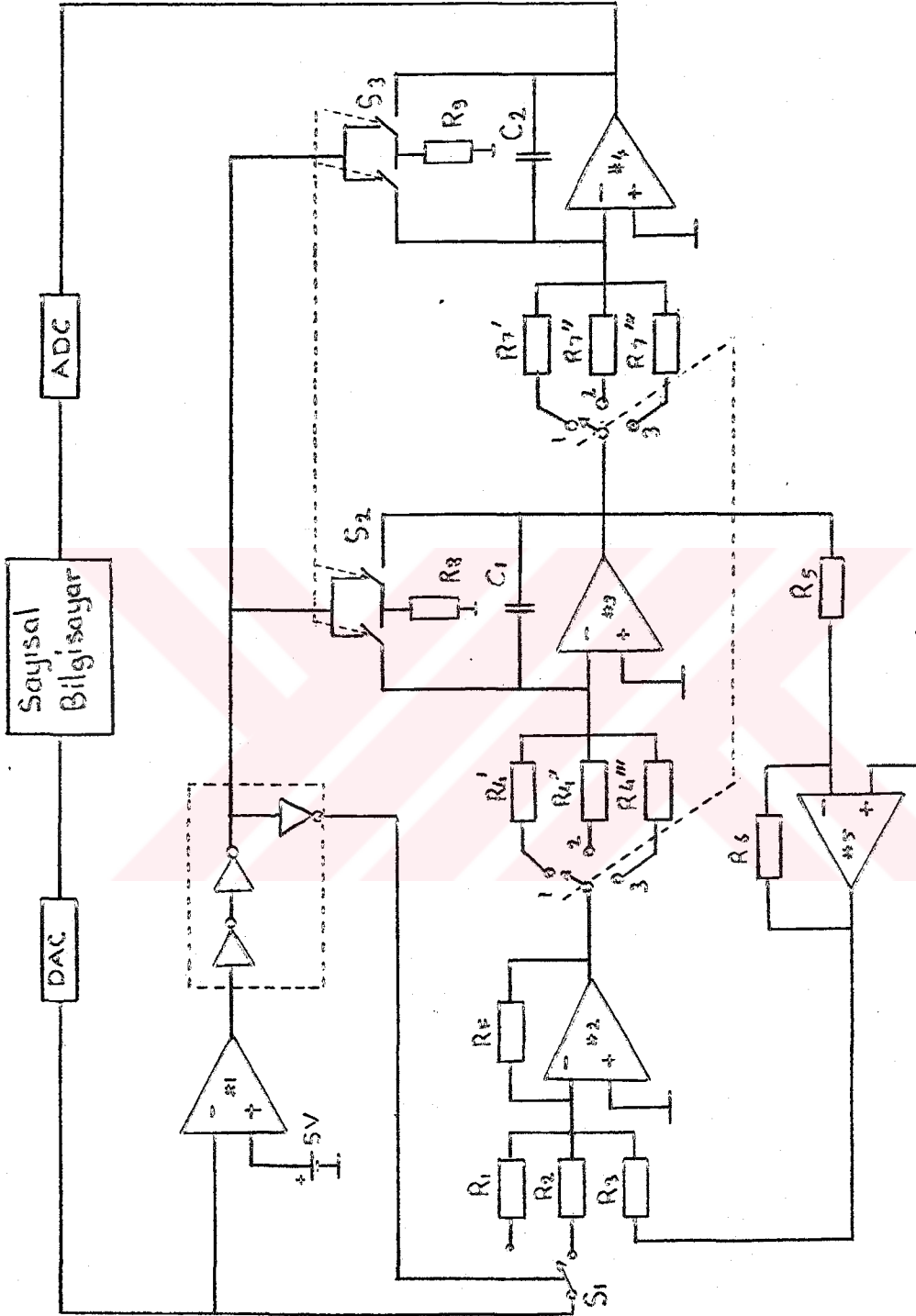
6.3 PID KONTROL SİSTEMİNDE KONTROL EDİLEN SİSTEM DAVRANISININ İNCELENMESİ

Hibrit çalışmada analog simülatör tekrar tekrar çalıştırılırken simülatörün başlangıç şartlarının otomatik olarak tekrar çalıştırma öncesinde sıfırlanması gerekir. Sıfırlama işlemi integratör kondansatörleri üzerindeki şarj geriliminin deşarj edilmesi ile sağlanır. Bunu gerçekleştiren mekanizma sisteme ithal edildiğinde hibrit sistemimiz şekil 6.3'deki gibi olur.

Sıfırlama mekanizması; komparatör, inverter ve yarı iletken anahtarlardan oluşmuştur. Sistemden istenen çıkış (maksimum aşım) elde edildiğinde yazılım tarafından DAC aracılığı ile komparatör girişine 6 V'luk bir gerilim uygulanır. Bu gerilim komparatörün 5 V'luk referans geriliminden büyük olduğu için komparatör iletime geçerek çıkışı lojik 1 seviyesine ulaşır. Lojik 1 seviyesi 12 V olduğundan iki inverter kullanarak çıkış 5 V seviyesine düşürülür. S1 ile S2, S3 ters yönlü çalıştıkları için bir uçuncu inverterden geçen işaret S1'e, önceki işaret de S2 ve S3'e uygulanır. Böylece S2, S3 kapanarak kondansatör gerilimleri R8 ve R9 dirençleri üzerinden deşarj olurken, S1 açılarak hibrit sisteme uygulanan 1 V'luk referans gerilim kesilir.

Sistem yeniden çalıştırılmak istendiğinde referans gerilimi yazılım ve DAC aracılığı ile komparatöre uygulanır. Komparatör kesime geçip S1'i kapatır, S2 ve S3'u açar. Bu durumda analog simülatör çalışmaya hazırdır.

Simülatördeki yarı iletken anahtarlar için 4066 entegresi, invertörler için 7404 entegresi, integratör, toplayıcı, komparatör için de LT 1007 OP-AMP'i kullanılmıştır.



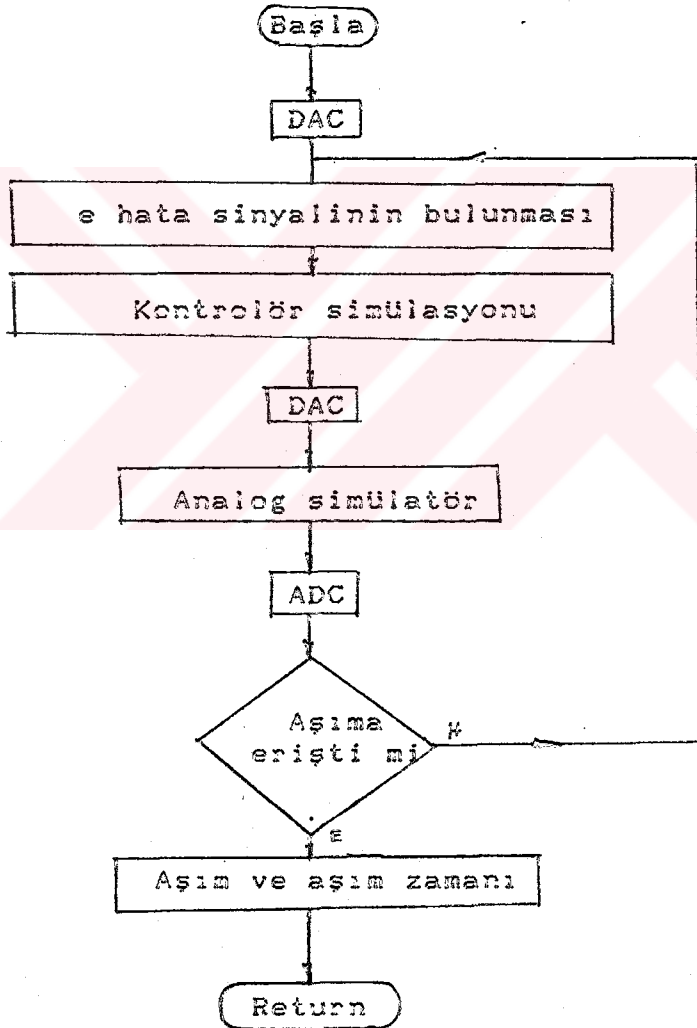
Sekil 6.3 Hibrit sistem

6.4 PID KONTROL PROGRAMI

Ek.3'de verilen hibrit sistem PID kontrol programında bulunan 2000, 6000, 12000 alt programlarının çalışmalarını inceliyelim.

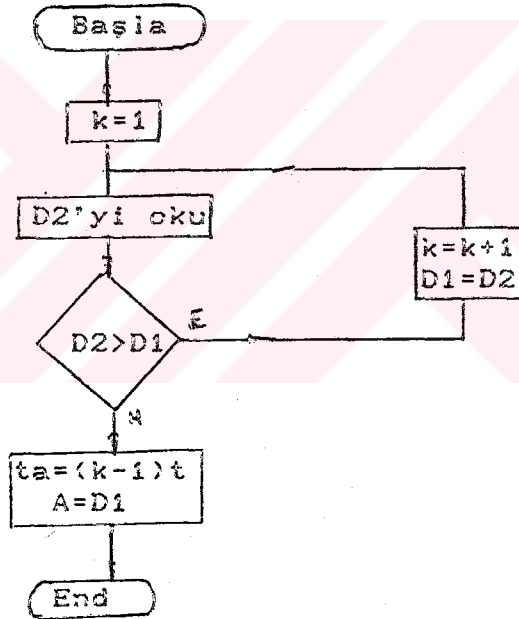
6.4.1.2000 Alt Programı

Analog ve sayısal simülasyonu yapılmış sistemlerin PID kontrol programlarında kullanılır. 2000 alt programında, bölüm 5'de anlatılan PID kontrolün sayısal simülasyonu mevcuttur. 2000 alt programının akış diagramı şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.4 2000 alt programının akış diagramı

Bozulan sistem davranışını düzeltecek PID katsayıları 2000 alt programı içindeki sisteme uygulanarak, sistemin aşım ve aşım zamanı elde edilir. e hata sinyali kontrol edilecek sisteme uygulanan referans değerden sistem çıkışının farkı alınarak bulunur. Hesaplanan PID katsayıları ve elde edilen hata değeri kontrol yazılımında yerine konur. PID kontrol yazılım çıkışı DAC aracılığı ile analog degere çevrilerek, kontrol edilen sisteme kontrolör sinyali olarak uygulanır. Bu andan itibaren sistem çıkışı gözlenerek maksimum aşım ve aşım zamanı bulunur. Maksimum aşım ve aşım zamanı, o andaki bu kriterlere ait değerler ile bir önceki değerlerin karşılaştırılması ile elde edilir. D1 bir önceki değer, D2 o andaki değer, k örnekleme sayısı olmak üzere şekil 6.5'da maksimum aşım ve aşım zamanını bulan programın akış diagramı verilmiştir.



Şekil 6.5 Aşım ve aşım zamanının bulunması

6.4.2 6000 Alt Programı

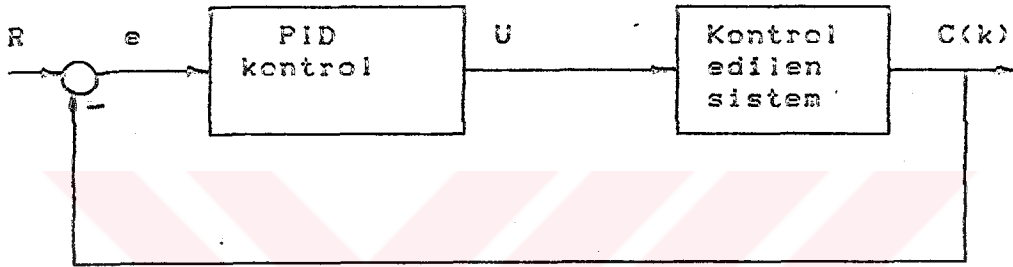
6000 alt programı analog bilgisayarlarda bulunan integratörlerin başlangıç durumlarını sıfır yapmak için kullanılır. 2000 alt programından önce devreye girer. Bölüm 6.4 de anlatılan deşarj mekanizmasını çalıştırabilmek için gerekli 6 V'luk gerilimi yazılım tarafından DAC aracılığı ile komparatöre uygular. 6000 alt programı bölüm 6.3.2.1'de verilen DAC programından oluşmuştur.

6.4.3 12000 Alt Programı

6000 alt programından hemen sonra işleme girer. Sistem girişini belli bir süre sıfırda tutarak, analog bilgisayarın kararlılığını sağlar. Bölüm 6.3.2.2'de verilen DAC programından oluşmuştur

6.5 SAYISAL SIMULASYONU YAPILMIŞ SİSTEMLERDE PID KONTROL UYGULAMASI

Sayısal simülasyonu yapılmış sistemlerde PID kontrol uygulaması için gerekli blok diagram aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.5 Sayısal simülasyon PID kontrol blok diagramı

Şekil 6.5' deki kontrol edilecek sistem bölüm 3.4.1'de anlatılan fark yaklaşımı metodu ile simüle edilmiştir. a parametresi ve K kazancı tablo 6.1'de verilen değerlerde değiştirilerek sistemde bozucu etkiler oluşturulmuştur.

Sayısal simülasyon için gerekli PID kontrol programı ek 2'de, akış diagramı ek 1'de verilmiştir.

BÖLÜM 7

UYGULAMA SONUÇLARI

7.1 GİRİŞ

Bu çalışmada ikinci dereceden bir sistemin PID kontrol algoritması ile kontrolü, simülasyon yöntemleri ile incelenmiştir. İnceleme, sayısal ve hibrit simülasyon olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır.

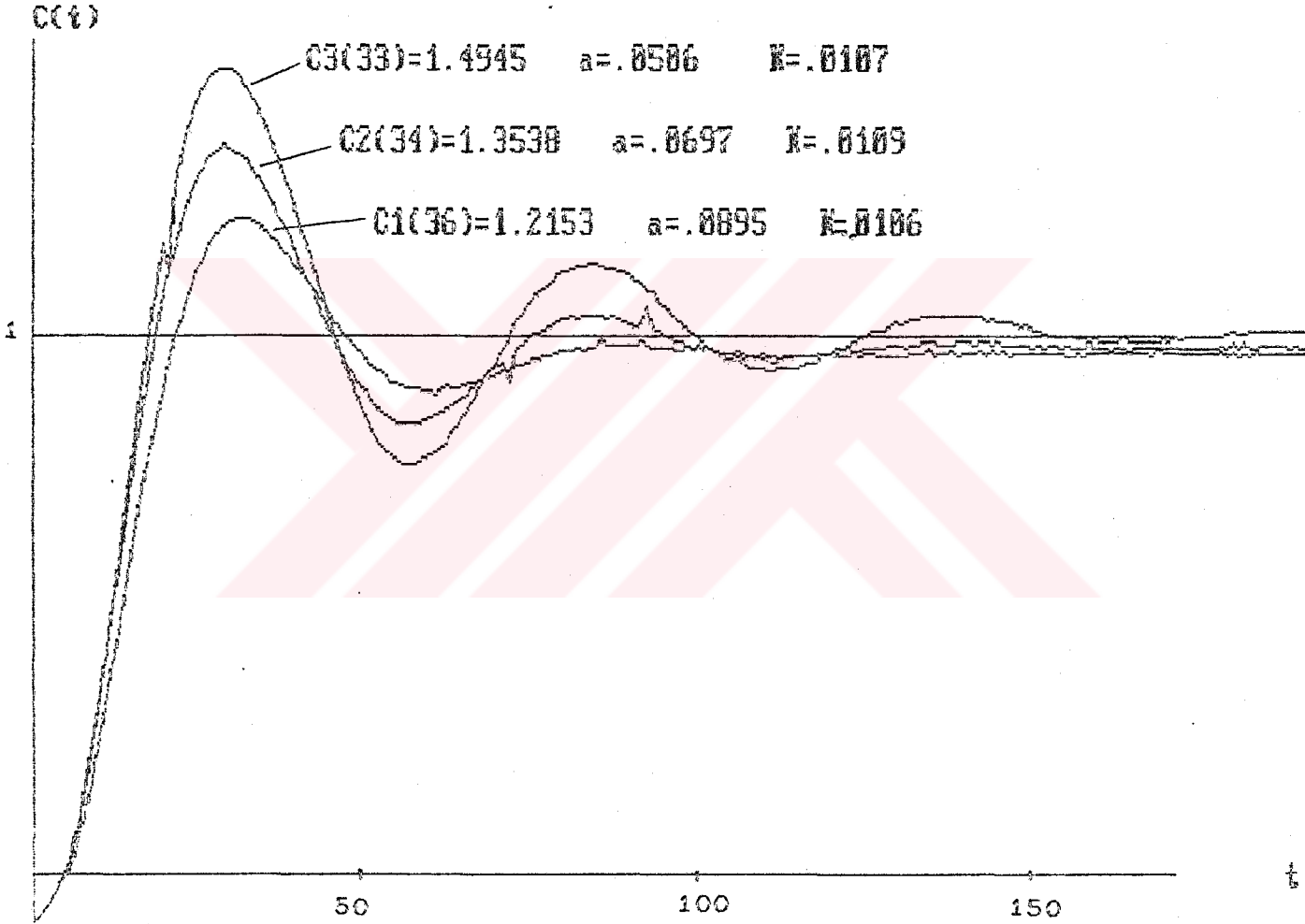
Sayısal simülasyonda fark denklemleri yöntemi kullanılmıştır. Hibrit simülasyonda PID algoritması sayısal yöntemle, ikinci dereceden sistem analog simülasyonla temsil edilmiştir.

Analog simülasyonda, ikinci dereceden sistemin başlangıç koşulları yazılımın kontrolünde sıfırlanmakta, bozucu etkiler ise sisteme el ile ithal edilmektedir.

Bu aşamada bilgisayar çıktılarında görülen sembollerin tanımlanması yararlı olacaktır. Programda, sisteme uygulanan birim basamak referans değeri, aşım toleransı, aşım zamanı toleransı ve örnekleme adım zamanı girilir. Program çıktısında max.aşım ile; sistemden istenen maksimum aşım değerini, max. aşım zamanı ile; maksimum aşım değerine ulaşmaya kadar alınan örnekleme sayısı gösterilmiştir. Parametreyi değiştirilmesinden sonra sistemde bozulma etkisi program tarafından otomatik olarak yapılır. PID kontrol parametreleri $P, i, D=1, 0, 0$ alınarak yani sistem kontrolör etkisi altından çıkartılarak, bozulma etkisi altındaki sistemde oluşan yeni aşım değeri; CDP ve örnekleme sayısı; TDP bulunmuştur. L; kontrol programında iterasyon sayısını simgelemektedir. Bozulan aşım ve örnekleme sayısı verilen toleranslar içine yerleştirildiğinde program çıktısı, adaptasyon sonu ibaresi vererek, adaptasyonu sağlayan P, i, D katsayıları ve tolerans içindeki yeni aşım ve örnekleme sayısı değerlerini verir. Adaptasyon sonunda, bozulan, istenen ve adaptasyon sonu sistem çıkışlarının çizimi yaptırılmıştır.

7.2 İKİNCİ DERECEDEDEN BİRİM GERİBESLEMELİ SİSTEM DAVRANI- ŞININ İNCELENMESİ

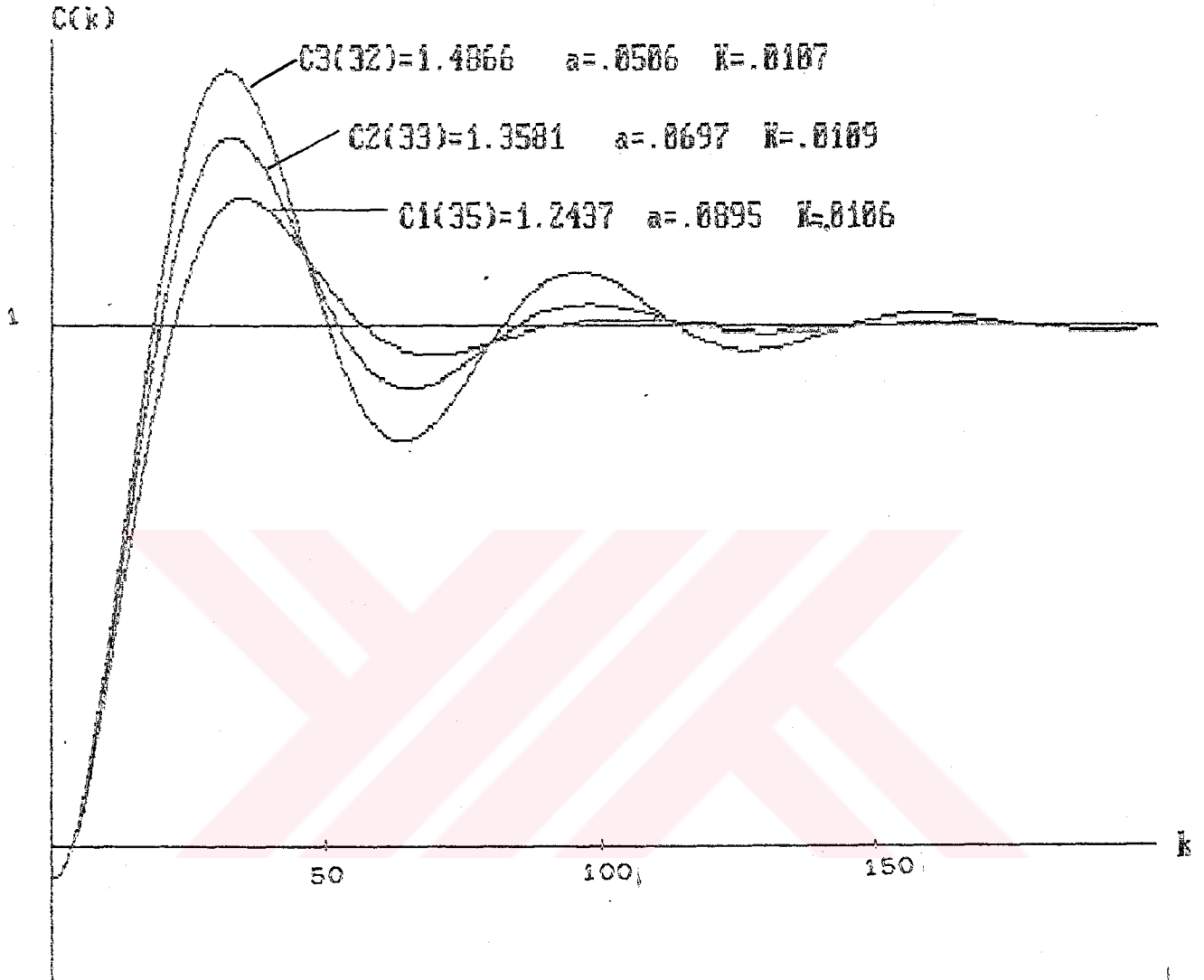
Çalışmamızda önce ikinci dereceden birim geribeslemeli sistem hem sayısal hem de analog simülasyonla incelenmiştir. Şekil 7.1'de, Dk.6.1'deki sistemin normal ve bozucu etkiler altındaki çıkışı görülmektedir.



Şekil 7.1 Analog simülörün normal ve bozucu etkiler altındaki çıkışları.

C1=Normal çıkış
C2=Birinci bozulma
C3=İkinci bozulma

Şekil 7.2'de ise aynı sistemin sayısal simülasyonla gerçekleştirilmiş çıkışları verilmiştir. Sistemde a parametresinin değeri düşürülerek bozucu etkiler arttırıldığında aşımın büyüdüğü, aşım zamanının küçüldüğü bunun yanısıra yerleşme zama-



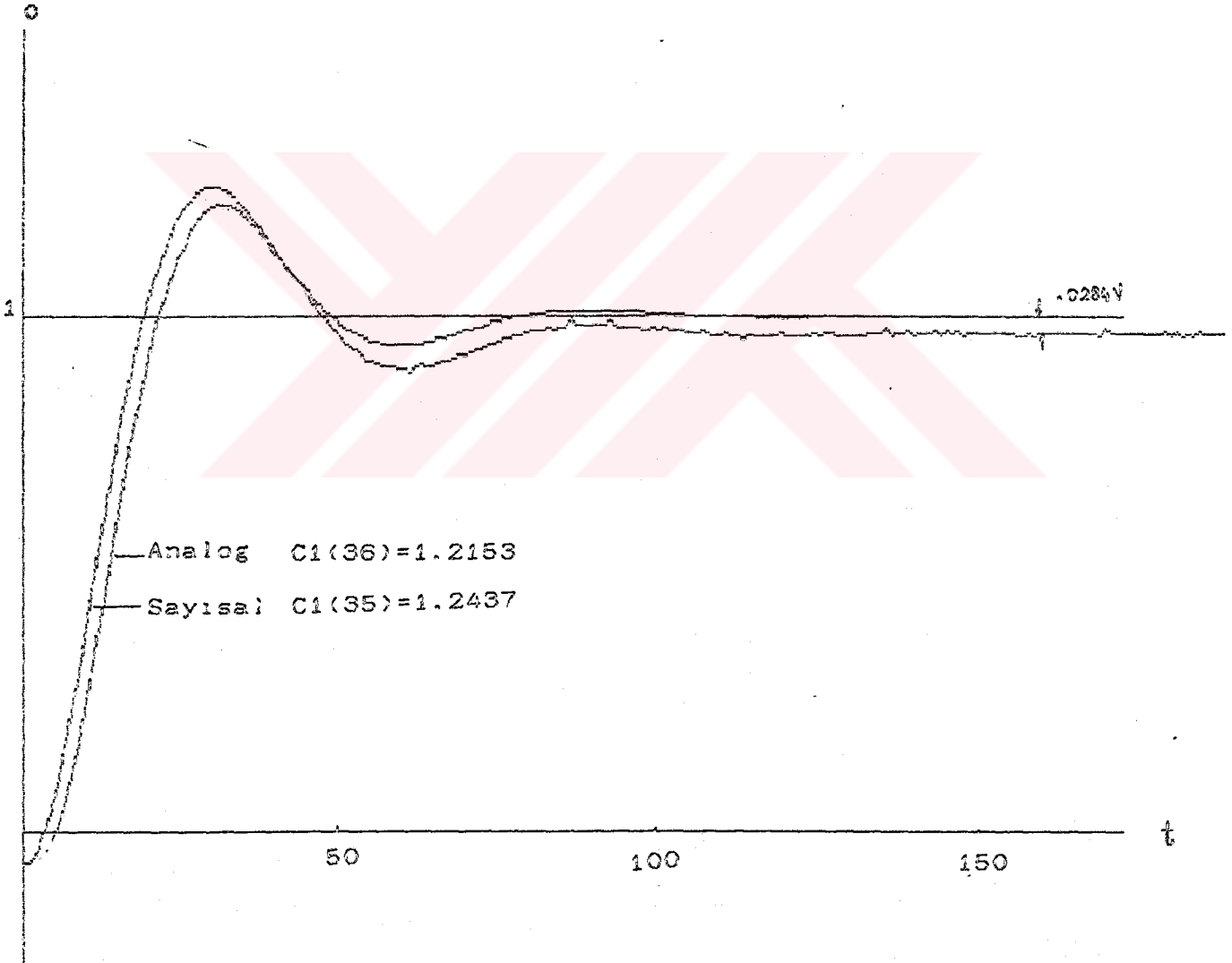
Sekil 7.2 Sayısal simülatörün normal ve bozucu etkiler altındaki çıkışları.

$C1$ =Normal çıkış
 $C2$ =Birinci bozulma
 $C3$ =İkinci bozulma

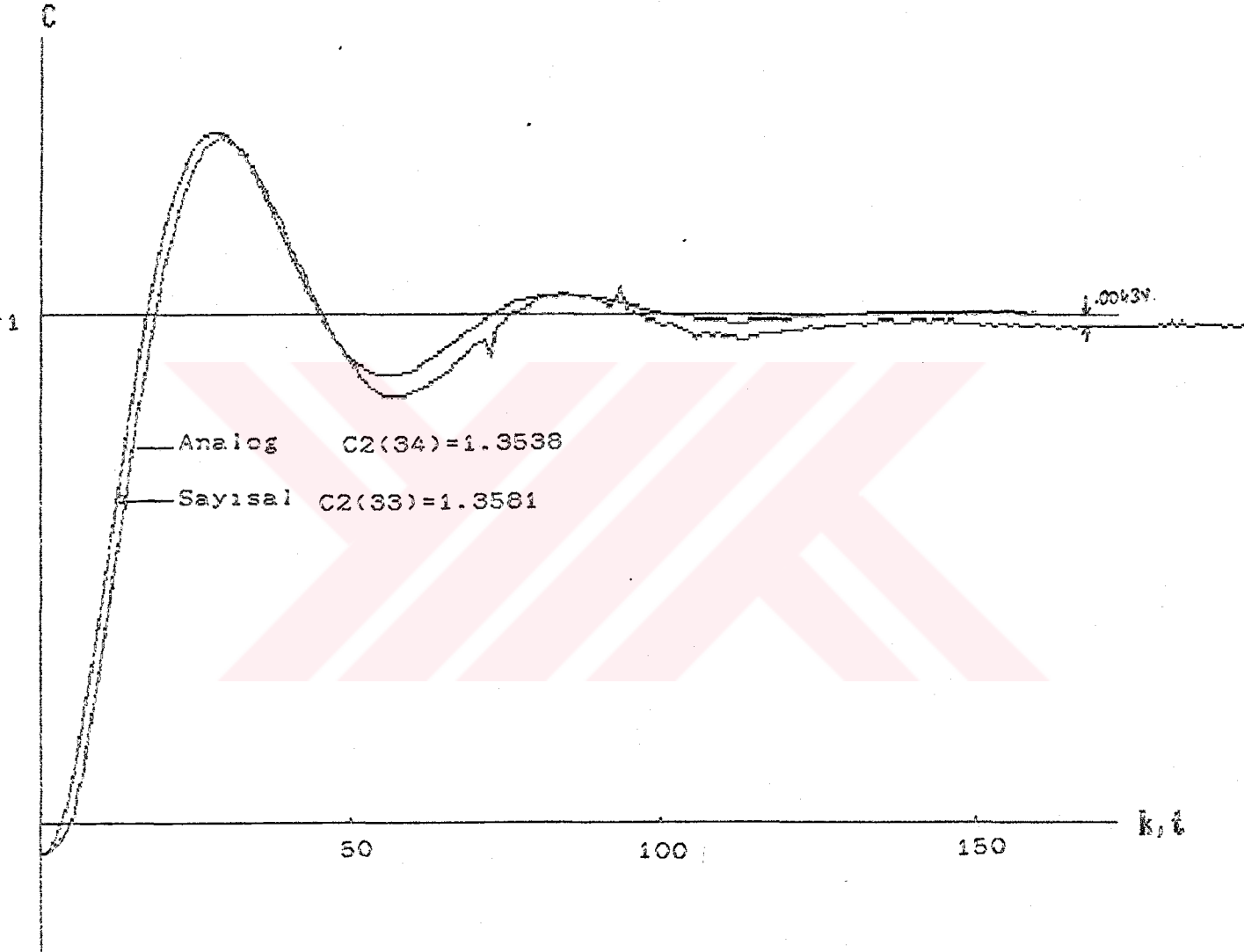
nının büyüdüğü görülmektedir. Bu durum bölüm 3'deki teorik incelemelerin öngörülleri ile uyusmaktadır.

Normal ve bozucu etkiler altındaki uç ayrı parametreye ait analog ve sayısal simülatör çıkışları sırasıyla şekil 7.3, şekil 7.4 ve şekil 7.5'de üst üste çizdirilmiştir.

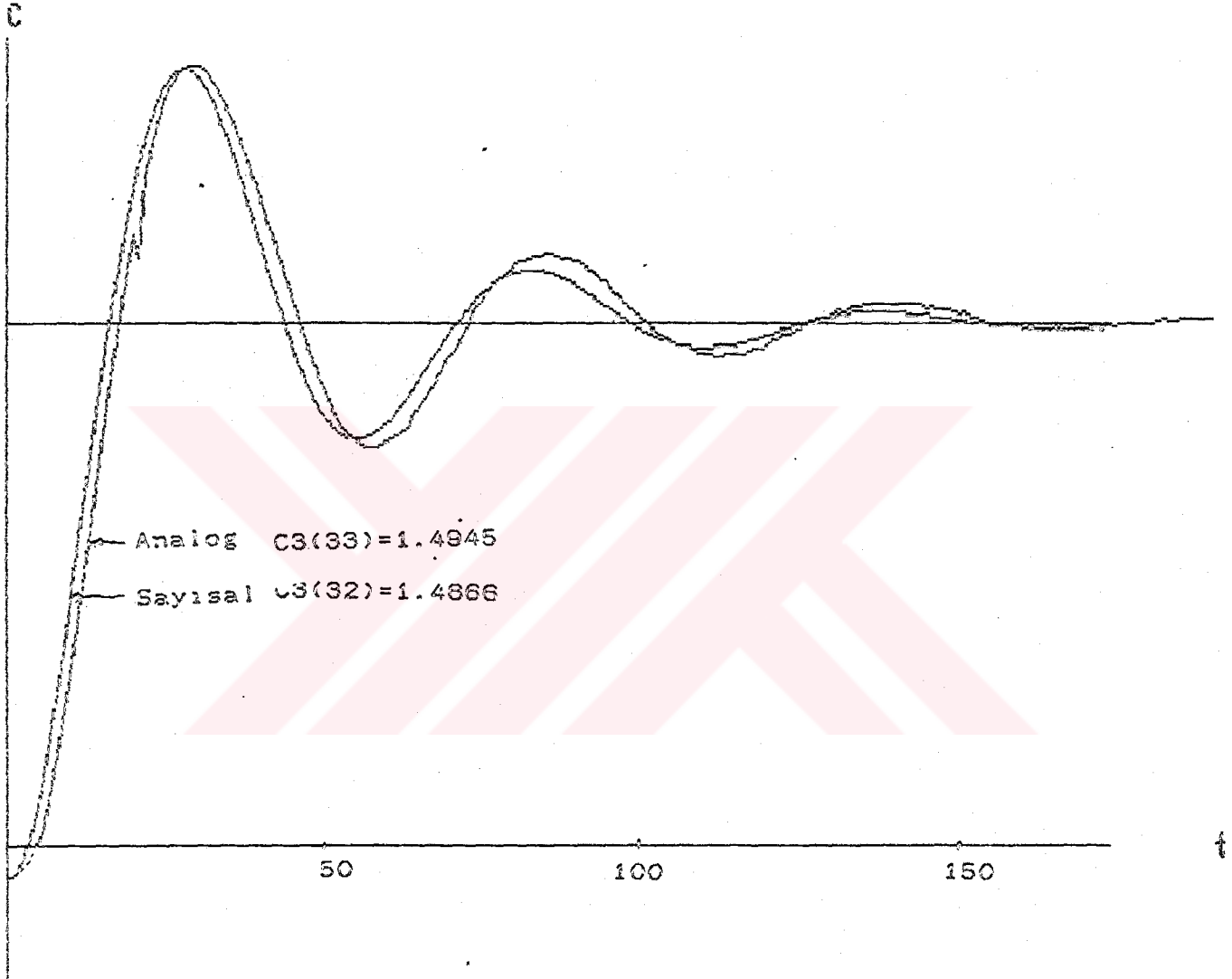
Görüldüğü gibi her iki simülatör çıkışları arasında bazı farklılıklar olmaktadır. Bu farklılıkların olmasında analog simülatörde kullanılan elemanların tolerans farklılıkları ve işlemci kuvvetlendiricilerin offset değişimleri etkili olmaktadır. Ayrıca sayısal yöntemin sonuçlara itihai ettiği bir hata da var olmaktadır.



Şekil 7.3 Analog ve sayısal simülatörün normal çıkış eğrileri,



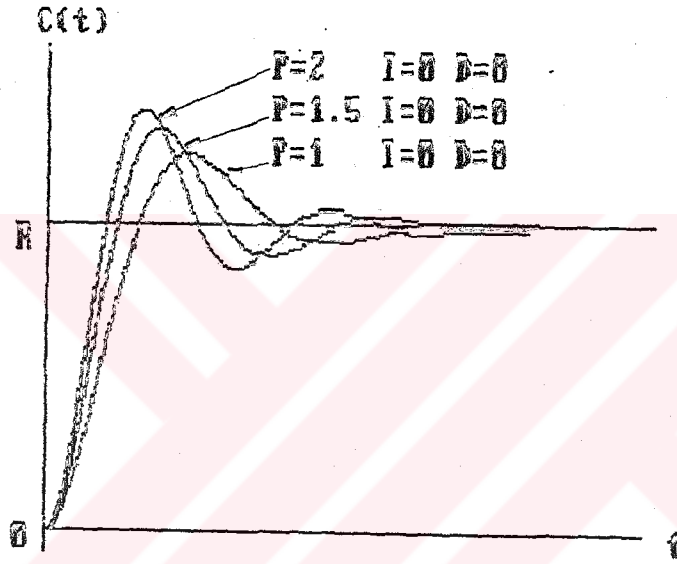
Şekil 7.4 Analog ve sayısal simülatörün birinci bozulmaya ait çıkış eğrileri.



Şekil 7.5 Analog ve sayısal simülatörün ikinci bozulmaya ait çıkış eğrileri.

7.3 PID KATSAYILARININ SİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Bu aşamada, sadece sayısal yöntem kullanılarak PID katsayılarının sistem davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 7.6'da $I=0$, $D=0$ alınarak P katsayısına 1, 1.5, 2 değerleri verilmiştir. Sistemde P katsayısının artması ile aşımın arttığı, aşım zamanının azaldığı görülmektedir. Bu inceleme sonucunda, P kazanç katsayısının aşım ve aşım zamanı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

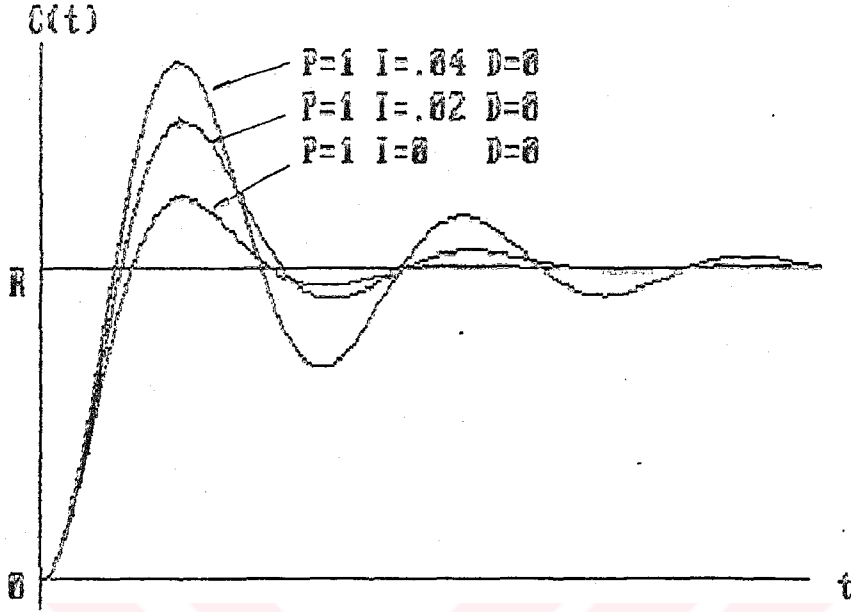


Şekil 7.6 P etkisi

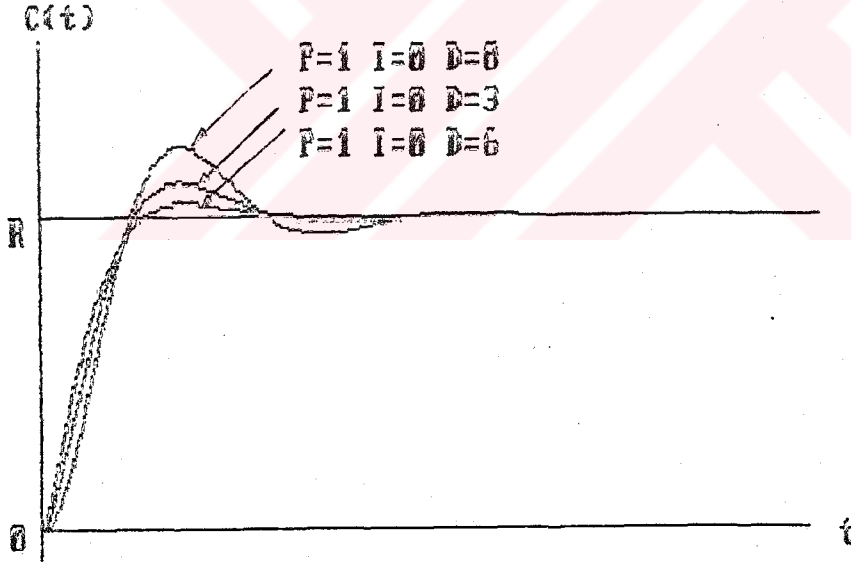
I integral katsayısının sistem üzerindeki etkisini inceleyebilmek için; $P=1$, $D=0$ alınmış, I katsayısı 0, .02, .04 değerlerine getirilerek sisteme uygulanmıştır. Şekil 7.7'de görüldüğü gibi integral etkisinin artması ile sistemin aşım zamanının sabit kaldığı, buna karşın aşımın arttığı, yerleşme zamanının ise büyüdüğü gözlenmiştir.

D türevsel katsayısının sistem üzerindeki etkisini inceleyebilmek için; $P=1$, $I=0$ alınmış, D katsayısı 0, 3, 6 değerlerine getirilerek sisteme uygulanmıştır. Şekil 7.8'de görüldüğü gibi türevsel etkinin artması ile sistemin aşım zamanının sabit kaldığı, buna karşın aşımın arttığı yerleşme zamanının küçüldüğü gözlenmiştir.

P, I, D katsayılarının sistem üzerine etkisine ilişkin sonuçlar, bölüm 5.6'daki teorik inceleme öngörülleri ile nitel olarak uyumaktadır.



Şekil 7.7 I etkisi



Şekil 7.8 D etkisi

7.4 PID KONTROL ALTINDAKİ SİSTEM DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

7.4.1 Sayısal simülasyonu yapılmış sistemlerde PID kontrol uygulaması

Sayısal simülasyonu yapılmış sistemlerde PID kontrol uygulamasını gerçekleştirebilmek için şekil 6.6'da blok diagramı verilen düzenek kurulmuştur. Ek.2'de sayısal simulas-

yon için hazırlanan PID kontrol programının çalışmasını incelemek amacıyla Dk.6.1'deki sistemde K kazancı sabit tutulmuş, a parametresi .069, .0506 değerlerinde değiştirilerek sistemde bozucu etkiler yapılmıştır. Sistemimizden istenen durum için $a=.0895$ verilmiştir. Kontrol programı çeşitli aşım toleransları için denenmiş uygun sonuçlar alınmıştır.

Birinci uygulamamızda, sisteme uygulanan birim basamak referans giriş; 1 V, aşım toleransı; % 2, aşım örnekleme sayısı toleransı; 0, örnekleme zamanı; 1 alınmıştır. Uygulamada sistemden istenen maksimum aşım; 1.24378, maksimum aşım örnekleme sayısı; 35 olarak bulunmuştur. Birinci bozulmanın ($a=.069$) ithalinden sonra maksimum aşım; 1.3581 ve maksimum örnekleme sayısı; 33 olarak elde edilmiştir. Uygun PID kontrol parametreleri hesaplanmış sistem çıkışı verilen tolerans değerleri içine yerleştirilmiştir. Şekil 7.9'da bu uygulamaya ait bozulan, istenen ve adaptasyon sonuna ait çıkışlar çizdirilmiştir.

Birinci bozulma etkisi giderildikten sonra, sisteme daha büyük degerde ikinci bozulma ($a=.0506$) etkisi ithal edilmiştir. % 2 aşım toleransı degerinde kontrol programı gerekli PID katsayılarını hesaplayarak sistem çıkışını istenen degere getirilmiştir. Şekil 7.10'da sitem çıkışları çizdirilmiştir.

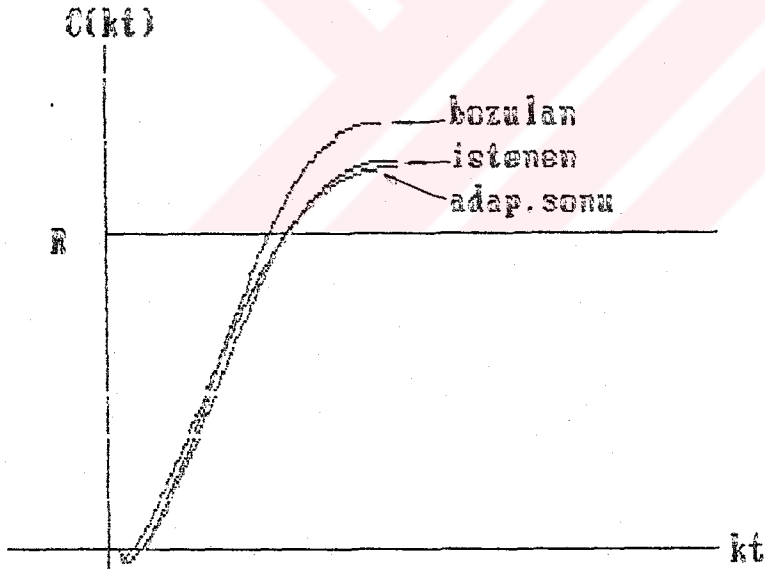
Kontrol programımız, aşım toleransının % 2'nin altında verildiği veya sistemde bozulma etkisinin çok fazla olduğu durumlarda sistemi kontrol edememektedir. Nitekim üçüncü uygulamamızda programın diğer girdileri sabit kalmak şartı ile aşım toleransı %1.9 verilmiştir. Bu durumda sisteme birinci bozulmanın ithalinde kontrol programı şekil 7.11'de görüldüğü gibi uygun sonuç vermiştir. İkinci bozulmanın ithalinde ise kontrol programı kontrol işlemini yapmayıp, sistem kontrolden çıkmıştır. Tablo 7.1.

Sisteme büyük bozulmalar ithal edildiğinde, sistemin istenen toleranslarda kontrol edilebilmesi için bozucu etkinin kademeli olarak ithal edilmesi öngörülmüştür. Dördüncü uygulamamız buna örnek olarak verilmiştir. Sisteme birinci bozulma ithal edildiğinde kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.12. İkinci bozulmanın ithalinde, birinci bozulmanın adaptasyon sonu kontrol parametreleri, ikinci bozulmanın adaptasyon başlangıç parametreleri olarak alınarak, sistem çıkışı istenen degere getirilmiştir. Şekil 7.13.

Yapılan deneyler sonucunda bozucu etkinin kademeli ithal edilmesi durumunda aşım toleransı % .33'e kadar indirilebilmektedir. Böylelikle kontrol işleminde duyarlılık daha da arttırılmış olmaktadır.

REFERANS=7 1
ASIM TOLERANSI=? .02
ASIM ZAMANI TOLERANSI=? 0
ORNEKLEME ZAMANI? 1

MAX.ASIM= 1.243780 MAX.ASIM ZAMANI= 35
A= .0895255 K= .0106649
PARAMETREYI DEGISTIR #####
A= .069735 K= .0109992
P.I.D= 1 0 0 CDP= 1.358117 TDP= 33
L= 1 P.I.D= .9 0 1.778524 CDP= 1.231858 TDP= 34
ADAPTASYON SONU #####
** P= .8499999 ** I= 0 ** D= 1.778524
CDP= 1.219393 TDP= 35



Sekil 7.8 $a=.0895255$ degerinden $a=.069735$ degerine
getirildiginde adaptasyon sonucu

AAAAAAAAAAAA PARAMETREYI DEGISTIR AAAAAAAAAA

A= .0506585 K= .0107732

P.I.D= 1 0 0

CDP= 1.486624 TDP= 32

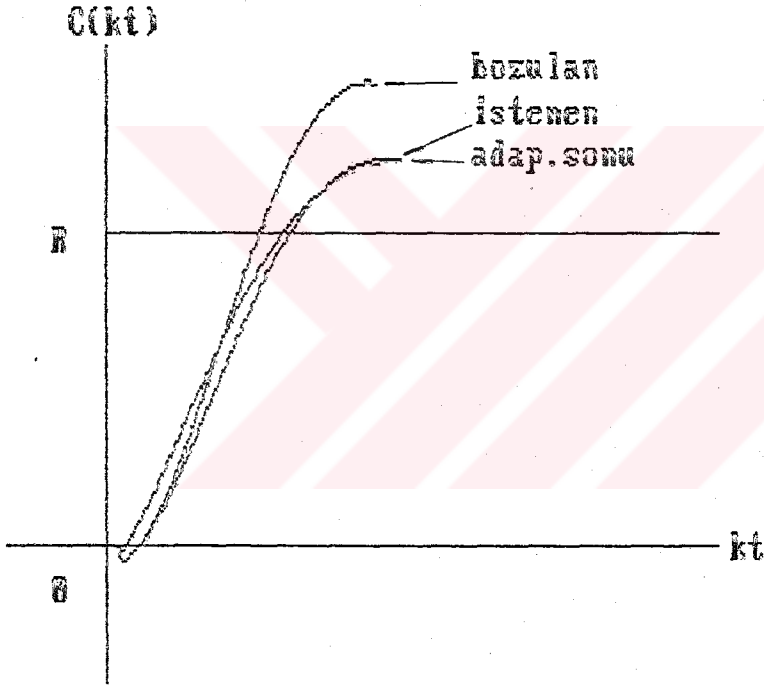
L= 1 P.I.D= .8499999 0

3.696356 CDP= 1.225263 TDP= 33

AAAAAAAAAAAA ADAPTASYON SONU AAAAAAAAAA

** P= .75 ** I= 0 ** D= 3.006467

CDP= 1.229672 TDP= 35



Şekil 7.10 $a=.0895255$ değerinden $a=.0506585$ değerine getirildiğinde adaptasyon sonucu

REFERANS=7 1
ASIM TOLERANSI=? .019
ASIM ZAMANI TOLERANSI=? 0
ORNEKLEME ZAMANI? 1

MAX.ASIM= 1.243788 MAX.ASIM ZAMANI= 35

A= .0895255 K= .0106649

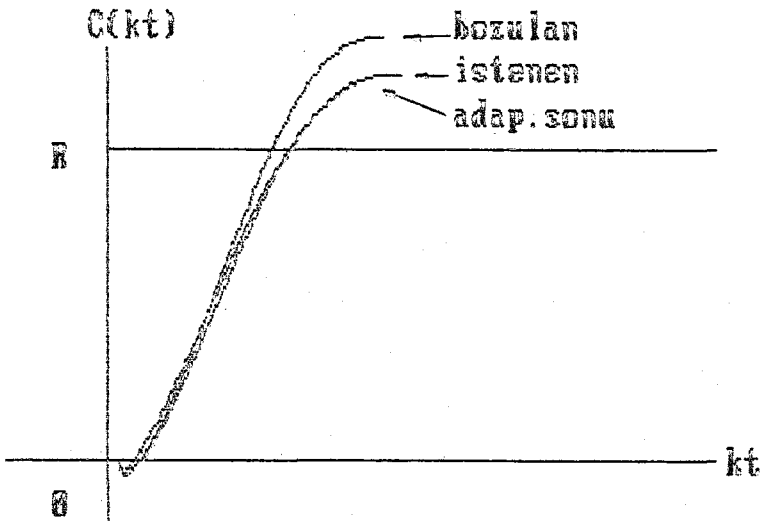
PARAMETREYI DEGISTIR

A= .069735 K= .0109992

P.I.D= 1	0	0	CDP= 1.358117	TDP= 33
L= 1	P.I.D= .9	0	1.778524	CDP= 1.231858 TDP= 34
L= 2	P.I.D= .8499999	0	1.778524	CDP= 1.219393 TDP= 35

ADAPTASYON SONU

** P= .8499999 ** I= 0 ** D= 1.339598
CDP= 1. TDP= 35



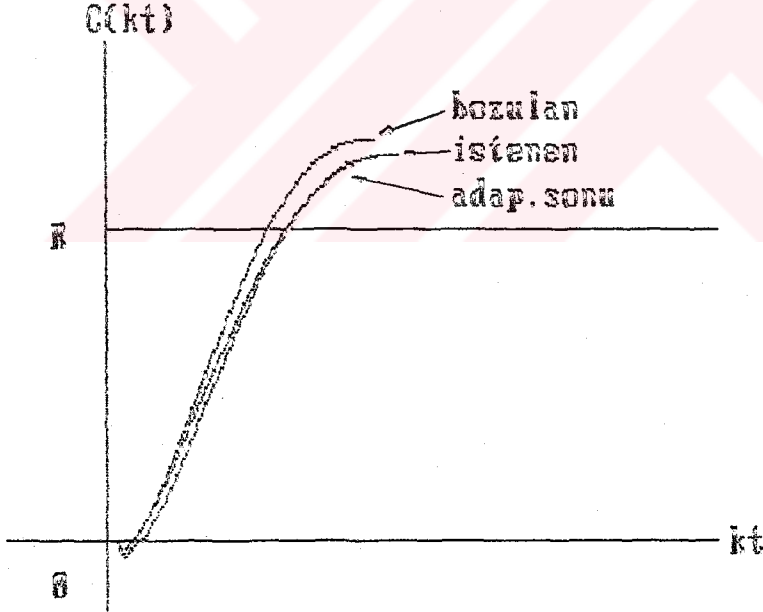
Şekil 7.11 $a=.0895255$ değerinden $a=.069735$ değerine getirildiğinde adaptasyon sonucu

Tablo 7.1 $a = .0895255$ degerinden $a = .050685$ degerine getirildiginde program cikisi

A= .0506585 K= .0107732				
	PID katsay.		Asim	As.za
	P.I.D= 1	0	0	CDP= 1.486624 TDP= 32
L= 1	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 2	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 3	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 4	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 5	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 6	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 7	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 8	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 9	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 10	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 11	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 12	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 13	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 14	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
L= 15	P.I.D= .8499999	0	0	CDP= 1.45331 TDP= 35
SISTEM KONTROLDEN CIKTI.....				

REFERANS=? 1
ASIM TOLERANSI=? .0033
ASIM ZAMANI TOLERANSI=? 0
ORNEKLENE ZAMANI? 1

MAX.ASIM= 1.243788 MAX.ASIM ZAMANI= 35
A= .0895255 K= .0106649
PARAMETREYI REGISTIR #####
A= .069735 K= .0109992
P.I.D= 1 0 1.114082 CDP= 1.289725 TDP= 32
ADAPTASYON SONU #####
** P= .8499999 ** I= 0 ** D= 1.374603
CDP= 1.239772 TDP= 35



Sekil 7.12 a=.0895255 degerinden a=.069735 degerine
getirildiginde adaptasyon sonucu

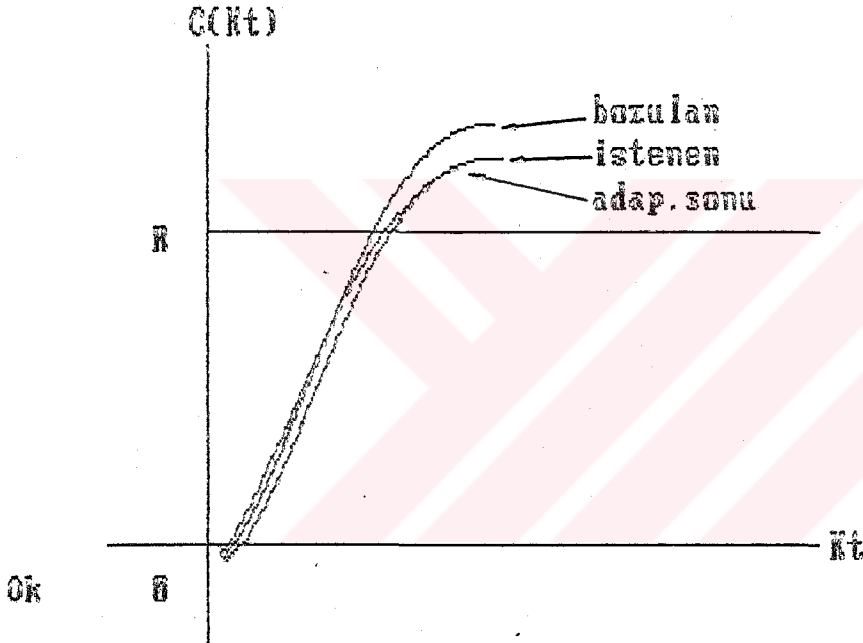
AAAAAAAAAAAA PARAMETREYI DEGISTIR AAAAAAAAAA

A= .0506585 K= .0107732

P.I.D= .8499999	0	1.374603	CDP= 1.349232	TDP= 34
L= 1 P.I.D= .0	0	2.982612	CDP= 1.244831	TDP= 34
L= 2 P.I.D= .75	0	2.832698	CDP= 1.238042	TDP= 35

ADAPTASYON SONU

** P= .75 ** I= 0 ** D= 2.737534
CDP= 1.242739 TDP= 35



Şekil 7.13 a=.0895255 degerinden a=.0506585 degerine getirildiginde adaptasyon sonucu

7.4.2 Analog Simülasyonu Yapılmış Sistemlerde PID Kontrol Uygulaması:

Analog simülasyonu yapılmış sistemde PID kontrol uygulamasını gerçekleştirmek üzere şekil 6.3'de görülen devre kurulmuştur. Ek.3 'de hibrit sistem için gerçekleştirilmiş PID kontrol programı, Ek.1'de ise akış diyagramı verilmiştir.

Uygulamamızda sisteme uygulanan birim basamak referans giriş; 1 V, aşım toleransı; % 2, aşım zamanı tolerans; % 3 örnekleme zamanı; 1 sn. olarak alınmıştır.

Birinci uygulamamızda, sistemde kabul edebileceğimiz maksimum aşım; 1,230768, maksimum aşım zamanı; 37 sn. olarak bulunmuştur. Analog simülatörde a parametresini değiştirerek ($a=0.069375$) sisteme bozulma ithal edildiğinde aşım; 1,36044, aşım zamanı; 36 sn. bulunmuştur. Tablo 7.2'de görüldüğü gibi kontrol programı iki iterasyonda sistem çıkışını istenen değere getirmek için gerekli PID katsayılarını P, I, D=1, 0, 2.009 olarak bulmuştur. Aşım ve aşım zamanı kabul edilen toleranslar içine getirildikten sonra sistem, adaptasyon sonu PID kontrol parametrelerinin etkisi altında bırakılmıştır. Şekil 7.14'de bozulma ithal edilmiş sistem çıkışı ile adaptasyon sonunda kontrol edilmiş sistem çıkışı görülmektedir. Bozulmuş sistemde yerleşme zamanı 150 sn. iken, kontrol altındaki sistemde 115 sn. olduğu tesbit edilmiştir. Bu uygulamada sistem, adaptasyon sonundaki kontrol parametrelerinin etkisi altında kaldığından yol boyunca oluşacak bozucu etkilere karşı program yeni kontrol parametrelerini hesap edemeyecektir.

ikinci uygulamamızda, sistemden istenen maksimum aşım; 1.22857 V, aşım zamanı; 38 sn. olarak bulunmuştur. Bozulma ithalinden sonra aşım; 1.35384 V'a çıkmış, aşım zamanı; 36 sn.'ye düşmüştür. Adaptasyon sonunda kontrol parametreleri P, I, D = 0.943, 0, 2.158 olarak hesaplanmış ve sistem istenen duruma getirilmiştir, Tablo 7.3. Bu aşamadan sonra sistem çıkışı devamlı gözlenmiştir. P katsayısı adaptasyon sonu değerinde sabit kalmak şartı ile sistemin yerleşme zamanını küçültebilmek için, aşım üzerinde direk etkisi olan I ve D parametreleri ayarlanmıştır. Nitekim önceki uygulamada 115 sn. olan yerleşme zamanı bu uygulamada 90 sn.'ye düşürülebilmektedir.

Tablo 7.3'de görüldüğü gibi aşım, referans değerinin üstünde ise, aşımı düşürebilmek için kontrolörün D etkisi arttırılmakta veya I etkisi azaltılmaktadır. Aşım referans değerinin altında ise kontrolörün D etkisi azaltılmakta veya I etkisi arttırılmaktadır.

Sisteme ait kontrol altındaki ve kontrolsüz sistem çıkışları Şekil 7.15 de verilmiştir.

Tablo 7.4'de verilen üçüncü uygulamamızda kontrol sistemimize ithal edilen birinci bozulma etkisi 80 sn.'de gi-

derilerek çıkış, referans değerine düşürülebilmektedir. Sistem çıkışı yerleşik duruma geçtikten sonra ikinci bir bozulma ithal edilmiştir. Bu durumda program, kontrol parametrelerinde gerekli ayarlamaları yaparak, sistem çıkışını 105 sn' de tekrar referans değerine getirilebilmektedir, Şekil 7.16.

Dördüncü uygulamamızda, sistem daha önceki referans giriş ve tolerans değerlerinde çalıştırılmıştır. Sisteme ithal edilen birinci bozulma etkisi 85 sn.'de istenen toleranslar içine yerleştirilmiştir. 95. sn'de sistemde yapılan ikinci bozulma etkisi ile sistem çıkışı .73626 V'a düşürülmüştür. Tablo 7.5. 1 ve D katsayılarında yapılan ayarlamalar ile ikinci bozulma etkisi 145. sn'de referans değere getirilebilmektedir, Şekil 7.17.

Özet olarak hibrit ve sayısal simülasyon için tasarlanan PID kontrol programı istenen sonuçları vermiştir. Sayısal simülasyonda simüle edilen sistem dinamiği daha hassas temsil edildiğinden kontrol programımız % .3 aşım toleransı, % 0 aşım zamanı toleransı altında duyarlı olarak çalıştırılabilmektedir.

Hibrit simülasyonda ise, analog simülatördeki devre elemanlarının toleransları ve kullanılan OP-AMP'ların offset hatalarından dolayı sayısal simülasyonda olduğu gibi hassas neticeler alınamamıştır. Sistem minimum % 2'lik aşım toleransı, % 3'lük aşım zamanı toleransı altında çalıştırılabilmektedir. Ayrıca kontrol ettiğimiz sistemin kazancı $K=0.010$ gibi küçük bir değerde olduğu için sistem cevabı çok geç alınmıştır.

Tablo 7.2 Adaptasyon sonu sabit PID katsayıları altında
program çıkışı:

Referans=? 1

Asim toleransi=? .02

Asim zamani toleransi=? .03

Ornekleme zamani? 1

MAX.ASIM = 1.230768

MAX.ASIM ZAMAN1= 37

** Oranpa= 29.99999

** Oranpta= .1318681

** ap= 1.1

** Orani = 18.11921

** Orand = 4.105437E-02

PAREMETREYI DEGISTIR

P.I.D= 1.000 0.000 0.000 ASIM=1.36044 ASIM ZA.=36

L= 1 P.I.D= 1.000 0.000 3.158 ASIM=1.18901 ASIM ZA.=35

L= 2 P.I.D= 0.933 0.000 2.009 ASIM=1.23077 ASIM ZA.=39

ADAPTASYON SONU

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.24615 AS.ZAMANI= 36

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.24176

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.23736

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.22637

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.20879

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.19121

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.16703

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.14505

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.12088

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.09231

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.07033

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.04176

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.01758

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.99121

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.97363

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.96044

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.94945

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.92967

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.91648

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.90989

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.90549

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.89890

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.90330

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.90330

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.90989

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.91209

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.92088

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.93187

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.93407

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.94286

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.95824

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.96044

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.97143

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.98022

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.98461

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=0.99121

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.00000

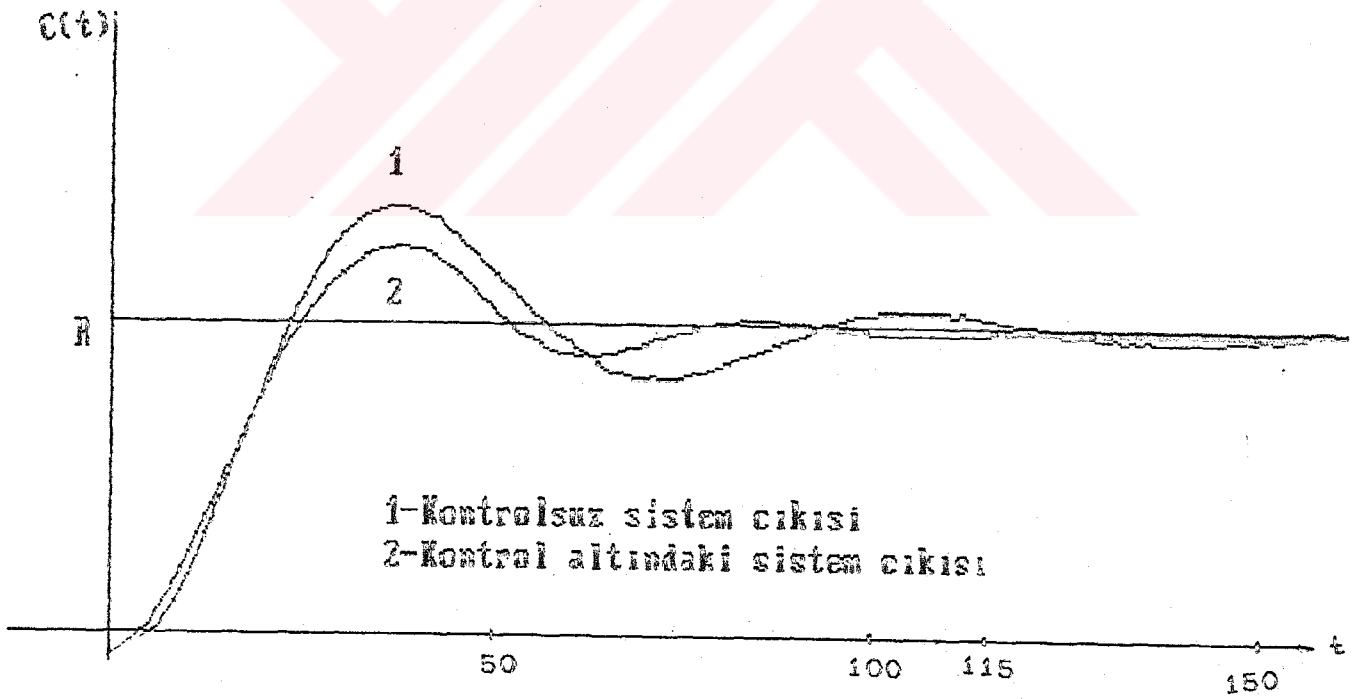
P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.00439

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.009 ASIM=1.00659

P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01099
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01319
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01978
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01758
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01978
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01978
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01538
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01319
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.01319
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.00879
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.00659
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.00220
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.00000
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99780
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98242
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98461
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98022
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98242
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.97802
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.97802
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.97802
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.97802
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98022
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98242
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98461
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98242
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98242
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98242
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98461
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99560
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=1.00000
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99560
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121

P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.99560
P= 1.000	I= 0.000	D= 2.009	ASIM=0.98901

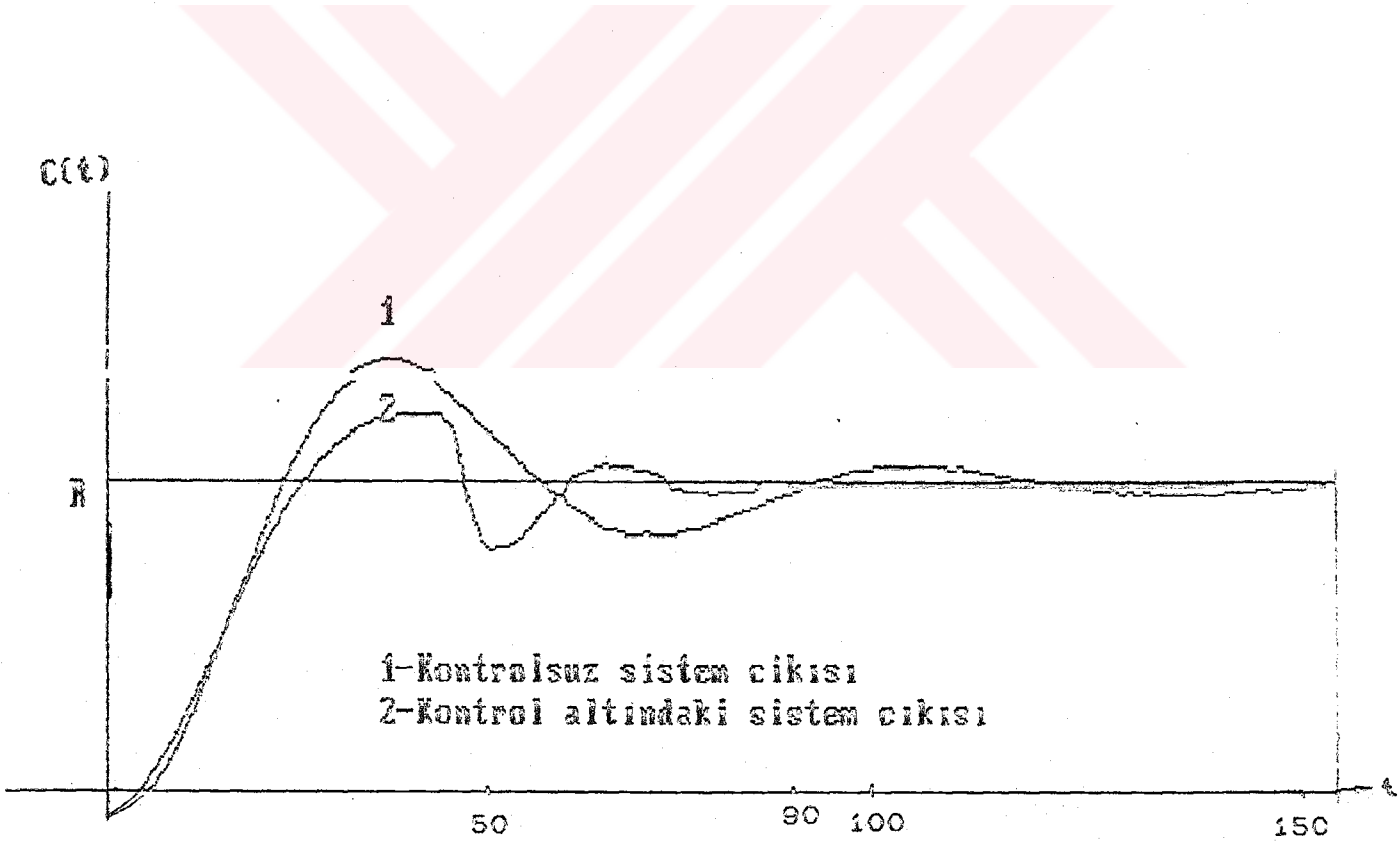
v



Şekil 7.14 Adaptasyon sonu sabit PID katsayıları altında sistem çıkışı

L= 35	P.I.D= 0.943	0.055	0.000	ASIM=0.96923
L= 36	P.I.D= 0.943	0.056	0.000	ASIM=0.96703
L= 37	P.I.D= 0.943	0.058	0.000	ASIM=0.96923
L= 38	P.I.D= 0.943	0.059	0.000	ASIM=0.97143
L= 39	P.I.D= 0.943	0.061	0.000	ASIM=0.97363
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98461	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98461	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98461	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99780	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99560	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99780	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99780	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99341	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98461	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99341	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99341	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99341	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99560	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99341	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98461	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99341	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121	
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99560	

P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.99121
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 0.943	I= 0.062	D= 0.000	ASIM=0.98681



Şekil 7.15 Adaptasyon sonu değişken PID katsayıları altında sistem çıkışı.

Tablo 7.4 Adaptasyon sonu bozulmuş sisteme ait bilgisayar çıkışı:

```
Referans=? 1
Asim toleransi=? .02
Asim zamani toleransi=? .03
Ornekleme zamani? 1
```

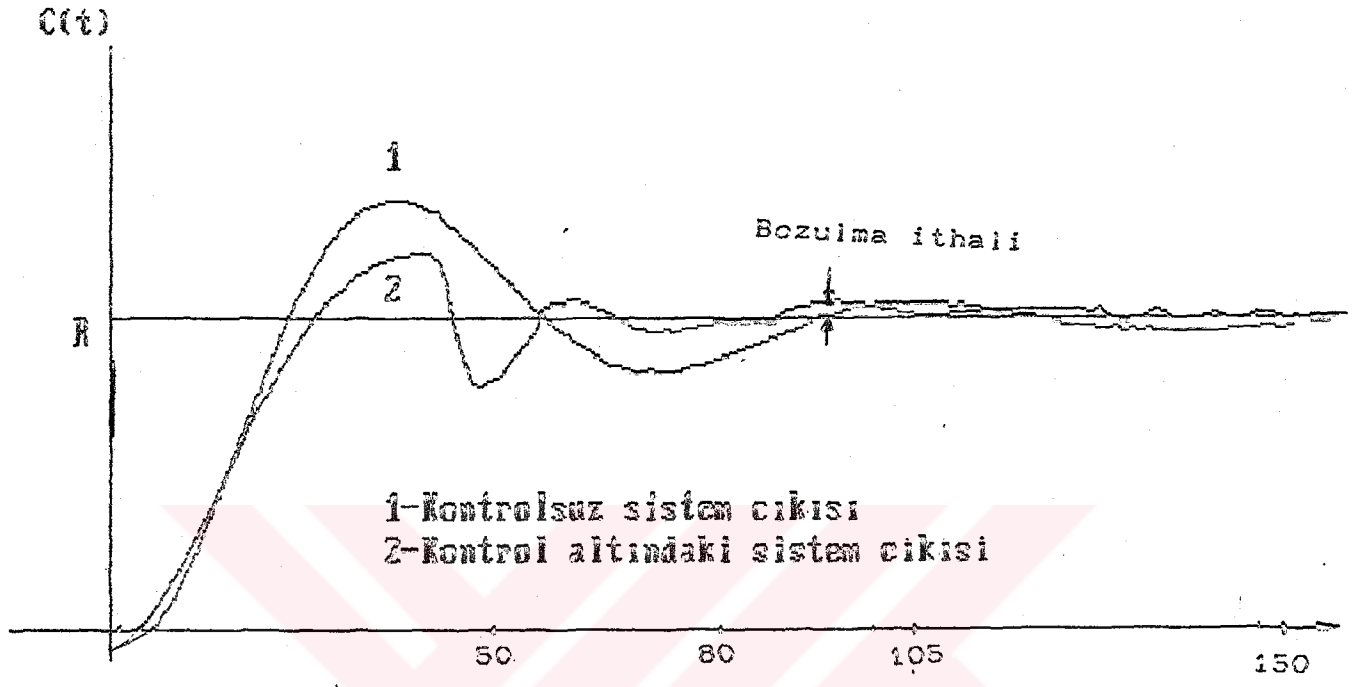
```

MAX.ASIM = 1.232966 MAX.ASIM ZAMANI= 38
** Oranpa= 20 ** Oranpta= .2417576 ** ap= 1.1
** Orani = 15.95044
** Orand = .0436081
##### PAREMETREYI DEGISTIR #####
P.I.D= 1.000 0.000 0.000 ASIM=1.36483 ASIM ZA.=36
##### ADAPTASYON SONU #####
P= 0.900 I= 0.000 D= 2.223 ASIM=1.21319 AS.ZAMANI= 38
L= 1 P.I.D= 0.900 0.000 2.223 ASIM=1.20659
L= 2 P.I.D= 0.900 0.000 6.486 ASIM=1.18461
L= 3 P.I.D= 0.900 0.000 6.693 ASIM=1.10989
L= 4 P.I.D= 0.900 0.000 5.824 ASIM=0.97143
L= 5 P.I.D= 0.900 0.000 5.235 ASIM=0.87472
L= 6 P.I.D= 0.900 0.000 2.649 ASIM=0.80000
L= 7 P.I.D= 0.900 0.000 0.000 ASIM=0.78461
L= 8 P.I.D= 0.900 0.012 0.000 ASIM=0.79560
L= 9 P.I.D= 0.900 0.024 0.000 ASIM=0.81099
L= 10 P.I.D= 0.900 0.034 0.000 ASIM=0.83297
L= 11 P.I.D= 0.900 0.044 0.000 ASIM=0.86593
L= 12 P.I.D= 0.900 0.051 0.000 ASIM=0.89890
L= 13 P.I.D= 0.900 0.057 0.000 ASIM=0.92527
L= 14 P.I.D= 0.900 0.061 0.000 ASIM=0.95824
P= 0.900 I= 0.064 D= 0.000 ASIM=0.98022
P= 0.900 I= 0.064 D= 0.000 ASIM=1.01758
L= 15 P.I.D= 0.900 0.064 0.000 ASIM=1.03516
L= 16 P.I.D= 0.900 0.062 0.000 ASIM=1.05055
L= 17 P.I.D= 0.900 0.059 0.000 ASIM=1.05275
L= 18 P.I.D= 0.900 0.056 0.000 ASIM=1.05714
L= 19 P.I.D= 0.900 0.053 0.000 ASIM=1.05714
L= 20 P.I.D= 0.900 0.049 0.000 ASIM=1.05494
L= 21 P.I.D= 0.900 0.046 0.000 ASIM=1.03956
L= 22 P.I.D= 0.900 0.044 0.000 ASIM=1.03077
L= 23 P.I.D= 0.900 0.042 0.000 ASIM=1.02198
P= 0.900 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=1.00000
P= 0.900 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=0.99341
P= 0.900 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=0.98242
L= 26 P.I.D= 0.900 0.041 0.000 ASIM=0.97143
L= 27 P.I.D= 0.900 0.043 0.000 ASIM=0.96703
L= 28 P.I.D= 0.900 0.045 0.000 ASIM=0.96483
L= 29 P.I.D= 0.900 0.047 0.000 ASIM=0.96483
L= 30 P.I.D= 0.900 0.048 0.000 ASIM=0.96703
L= 31 P.I.D= 0.900 0.050 0.000 ASIM=0.96483
L= 32 P.I.D= 0.900 0.052 0.000 ASIM=0.96923
L= 33 P.I.D= 0.900 0.054 0.000 ASIM=0.97363
L= 34 P.I.D= 0.900 0.056 0.000 ASIM=0.97582
P= 0.900 I= 0.057 D= 0.000 ASIM=0.98022
P= 0.900 I= 0.057 D= 0.000 ASIM=0.98242
P= 0.900 I= 0.057 D= 0.000 ASIM=0.99341

```

	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=0.99341
	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=0.99341
	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=0.99341
	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=0.99341
	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=0.99560
	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=0.99121
	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=1.00000
	P= 0.900	I= 0.057	D= 0.000	ASIM=1.01758
L= 45	P.I.D= 0.900	0.057	0.000	ASIM=1.02637
L= 46	P.I.D= 0.900	0.055	0.000	ASIM=1.03516
L= 47	P.I.D= 0.900	0.053	0.000	ASIM=1.03956
L= 48	P.I.D= 0.900	0.051	0.000	ASIM=1.04615
L= 49	P.I.D= 0.900	0.049	0.000	ASIM=1.05275
L= 50	P.I.D= 0.900	0.046	0.000	ASIM=1.05275
L= 51	P.I.D= 0.900	0.043	0.000	ASIM=1.05934
L= 52	P.I.D= 0.900	0.039	0.000	ASIM=1.05275
L= 53	P.I.D= 0.900	0.036	0.000	ASIM=1.05275
L= 54	P.I.D= 0.900	0.033	0.000	ASIM=1.04835
L= 55	P.I.D= 0.900	0.031	0.000	ASIM=1.04395
L= 56	P.I.D= 0.900	0.028	0.000	ASIM=1.04176
L= 57	P.I.D= 0.900	0.026	0.000	ASIM=1.03297
L= 58	P.I.D= 0.900	0.024	0.000	ASIM=1.02637
L= 59	P.I.D= 0.900	0.022	0.000	ASIM=1.02417
L= 60	P.I.D= 0.900	0.021	0.000	ASIM=1.02417
	P= 0.900	I= 0.020	D= 0.000	ASIM=1.01319
	P= 0.900	I= 0.020	D= 0.000	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.020	D= 0.000	ASIM=1.00659
	P= 0.900	I= 0.020	D= 0.000	ASIM=1.00879
	P= 0.900	I= 0.020	D= 0.000	ASIM=1.01319
	P= 0.900	I= 0.020	D= 0.000	ASIM=1.01978
	P= 0.900	I= 0.020	D= 0.000	ASIM=1.01758
L= 67	P.I.D= 0.900	0.020	0.000	ASIM=1.02198
L= 68	P.I.D= 0.900	0.018	0.000	ASIM=1.02198
L= 69	P.I.D= 0.900	0.017	0.000	ASIM=1.02857
L= 70	P.I.D= 0.900	0.016	0.000	ASIM=1.02857
L= 71	P.I.D= 0.900	0.014	0.000	ASIM=1.03077
L= 72	P.I.D= 0.900	0.012	0.000	ASIM=1.02857
L= 73	P.I.D= 0.900	0.011	0.000	ASIM=1.03077
L= 74	P.I.D= 0.900	0.009	0.000	ASIM=1.02857
L= 75	P.I.D= 0.900	0.007	0.000	ASIM=1.03077
L= 76	P.I.D= 0.900	0.006	0.000	ASIM=1.03077
L= 77	P.I.D= 0.900	0.004	0.000	ASIM=1.03077
L= 78	P.I.D= 0.900	0.002	0.000	ASIM=1.02637
L= 79	P.I.D= 0.900	0.001	0.000	ASIM=1.03077
L= 80	P.I.D= 0.900	0.000	0.000	ASIM=1.02857
L= 81	P.I.D= 0.900	0.000	0.590	ASIM=1.02637
L= 82	P.I.D= 0.900	0.000	1.134	ASIM=1.02417
L= 83	P.I.D= 0.900	0.000	1.633	ASIM=1.03736
	P= 0.900	I= 0.000	D= 2.404	ASIM=1.01758
	P= 0.900	I= 0.000	D= 2.404	ASIM=1.00879
	P= 0.900	I= 0.000	D= 2.404	ASIM=0.99780
	P= 0.900	I= 0.000	D= 2.404	ASIM=0.99121
	P= 0.900	I= 0.000	D= 2.404	ASIM=0.99780
	P= 0.900	I= 0.000	D= 2.404	ASIM=1.00659
	P= 0.900	I= 0.000	D= 2.404	ASIM=1.01758
L= 89	P.I.D= 0.900	0.000	2.404	ASIM=1.02417
L= 90	P.I.D= 0.900	0.000	2.903	ASIM=1.02857
L= 91	P.I.D= 0.900	0.000	3.493	ASIM=1.02417

	P= 0.900	I= 0.000	D= 3.991	ASIM=1.01538
	P= 0.900	I= 0.000	D= 3.991	ASIM=1.00659
	P= 0.900	I= 0.000	D= 3.991	ASIM=0.99121
	P= 0.900	I= 0.000	D= 3.991	ASIM=0.99121
	P= 0.900	I= 0.000	D= 3.991	ASIM=1.00000
	P= 0.900	I= 0.000	D= 3.991	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 3.991	ASIM=1.01758
L= 97	P.I.D= 0.900	0.000	3.991	ASIM=1.02198
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01538
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00439
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00000
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=0.99560
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00220
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01758
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01538
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00000
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=0.99780
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00220
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01319
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00879
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00000
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=0.99780
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=0.99780
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00439
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00879
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00879
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01978
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00439
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00220
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00220
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00439
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00220
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00000
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00879
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00879
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00439
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00220
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00439
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00659
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01319
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.01099
	P= 0.900	I= 0.000	D= 4.445	ASIM=1.00879



Şekil 7.16 Adaptasyon sonunda bozulmuş sistem çıkışı

Tablo 7.5 Adaptasyon sonu bozulmuş sisteme ait bilgisayar
çıkışı

Referans=? 1

Asim toleransi=? .02

Asim zamani toleransi=? .03

Ornekleme zamani? 1

MAX.ASIM = 1.237361

MAX.ASIM ZAMANI= 37

** Oranpa= 9.999998

** Oranpta= .219779

** ap= 1.1

** Orani = 20.70744

** Orand = 4.478669E-02

PAREMETREYI DEGISTIR

P.I.D= 1.000 0.000 0.000 ASIM=1.37363 ASIM ZA.=37

L= 1 P.I.D= 1.000 0.000 3.043 ASIM=1.20000 ASIM ZA.=38

ADAPTASYON SONU

P= 1.000 I= 0.000 D= 2.208 ASIM=1.24176 AS. ZAMANI= 36

L= 1 P.I.D= 1.000 0.000 2.208 ASIM=1.23956

L= 2 P.I.D= 1.000 0.000 4.912 ASIM=1.21319

L= 3 P.I.D= 1.000 0.000 6.287 ASIM=1.13187

L= 4 P.I.D= 1.000 0.000 6.000 ASIM=0.97143

L= 5 P.I.D= 1.000 0.000 5.362 ASIM=0.87253

L= 6 P.I.D= 1.000 0.000 2.516 ASIM=0.79560

L= 7 P.I.D= 1.000 0.000 0.000 ASIM=0.78242

L= 8 P.I.D= 1.000 0.011 0.000 ASIM=0.79560

L= 9 P.I.D= 1.000 0.020 0.000 ASIM=0.81538

L= 10 P.I.D= 1.000 0.029 0.000 ASIM=0.84835

L= 11 P.I.D= 1.000 0.037 0.000 ASIM=0.87912

L= 12 P.I.D= 1.000 0.042 0.000 ASIM=0.91209

L= 13 P.I.D= 1.000 0.047 0.000 ASIM=0.94725

L= 14 P.I.D= 1.000 0.049 0.000 ASIM=0.97363

L= 15 P.I.D= 1.000 0.051 0.000 ASIM=1.02857

L= 16 P.I.D= 1.000 0.049 0.000 ASIM=1.04615

L= 17 P.I.D= 1.000 0.047 0.000 ASIM=1.05275

L= 18 P.I.D= 1.000 0.044 0.000 ASIM=1.06154

L= 19 P.I.D= 1.000 0.041 0.000 ASIM=1.06593

L= 20 P.I.D= 1.000 0.038 0.000 ASIM=1.06374

L= 21 P.I.D= 1.000 0.035 0.000 ASIM=1.03714

L= 22 P.I.D= 1.000 0.032 0.000 ASIM=1.05055

L= 23 P.I.D= 1.000 0.030 0.000 ASIM=1.03516

L= 24 P.I.D= 1.000 0.028 0.000 ASIM=1.02417

P= 1.000 I= 0.027 D= 0.000 ASIM=1.00220

P= 1.000 I= 0.027 D= 0.000 ASIM=0.98242

L= 27 P.I.D= 1.000 0.027 0.000 ASIM=0.97582

L= 28 P.I.D= 1.000 0.028 0.000 ASIM=0.97143

L= 29 P.I.D= 1.000 0.030 0.000 ASIM=0.96483

L= 30 P.I.D= 1.000 0.031 0.000 ASIM=0.96044

L= 31 P.I.D= 1.000 0.033 0.000 ASIM=0.96044

L= 32 P.I.D= 1.000 0.035 0.000 ASIM=0.96264

L= 33 P.I.D= 1.000 0.037 0.000 ASIM=0.96923

L= 34 P.I.D= 1.000 0.038 0.000 ASIM=0.96923

L= 35 P.I.D= 1.000 0.040 0.000 ASIM=0.97363

P= 1.000 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=0.98022

P= 1.000 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=0.98901

P= 1.000 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=0.99560

P= 1.000 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=0.99341

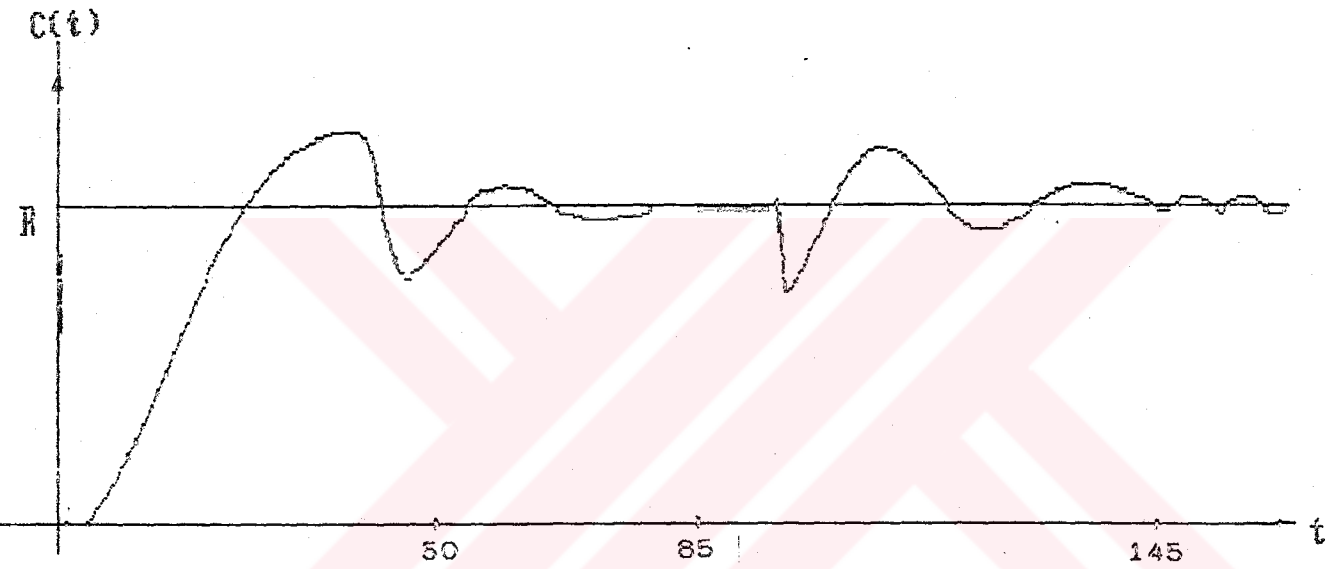
P= 1.000 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=1.00220

P= 1.000 I= 0.041 D= 0.000 ASIM=1.00439

P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=1.00220
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.99780
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.99560
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.99341
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.041	D= 0.000	ASIM=0.99121
L= 52	P.I.D= 1.000	0.041	0.000 ASIM=1.02198
L= 53	P.I.D= 1.000	0.040	0.000 ASIM=0.73626
L= 54	P.I.D= 1.000	0.053	0.000 ASIM=0.75824
L= 55	P.I.D= 1.000	0.065	0.000 ASIM=0.80220
L= 56	P.I.D= 1.000	0.074	0.000 ASIM=0.86154
L= 57	P.I.D= 1.000	0.081	0.000 ASIM=0.90330
L= 58	P.I.D= 1.000	0.085	0.000 ASIM=0.96044
L= 59	P.I.D= 1.000	0.087	0.000 ASIM=1.02637
L= 60	P.I.D= 1.000	0.086	0.000 ASIM=1.07912
L= 61	P.I.D= 1.000	0.082	0.000 ASIM=1.11868
L= 62	P.I.D= 1.000	0.077	0.000 ASIM=1.15165
L= 63	P.I.D= 1.000	0.069	0.000 ASIM=1.17802
L= 64	P.I.D= 1.000	0.061	0.000 ASIM=1.18901
L= 65	P.I.D= 1.000	0.051	0.000 ASIM=1.18901
L= 66	P.I.D= 1.000	0.042	0.000 ASIM=1.18242
L= 67	P.I.D= 1.000	0.034	0.000 ASIM=1.16923
L= 68	P.I.D= 1.000	0.025	0.000 ASIM=1.14505
L= 69	P.I.D= 1.000	0.018	0.000 ASIM=1.12088
L= 70	P.I.D= 1.000	0.013	0.000 ASIM=1.09231
L= 71	P.I.D= 1.000	0.008	0.000 ASIM=1.06374
L= 72	P.I.D= 1.000	0.005	0.000 ASIM=1.03077
P= 1.000	I= 0.004	D= 0.000	ASIM=0.98242
L= 74	P.I.D= 1.000	0.004	0.000 ASIM=0.96044
L= 75	P.I.D= 1.000	0.005	0.000 ASIM=0.94286
L= 76	P.I.D= 1.000	0.008	0.000 ASIM=0.93187
L= 77	P.I.D= 1.000	0.011	0.000 ASIM=0.92527
L= 78	P.I.D= 1.000	0.015	0.000 ASIM=0.93187
L= 79	P.I.D= 1.000	0.018	0.000 ASIM=0.93407
L= 80	P.I.D= 1.000	0.022	0.000 ASIM=0.94945
L= 81	P.I.D= 1.000	0.024	0.000 ASIM=0.95604
L= 82	P.I.D= 1.000	0.026	0.000 ASIM=0.97363
P= 1.000	I= 0.027	D= 0.000	ASIM=1.00879
L= 84	P.I.D= 1.000	0.027	0.000 ASIM=1.02417
L= 85	P.I.D= 1.000	0.026	0.000 ASIM=1.03956
L= 86	P.I.D= 1.000	0.024	0.000 ASIM=1.05275
L= 87	P.I.D= 1.000	0.022	0.000 ASIM=1.06154
L= 88	P.I.D= 1.000	0.019	0.000 ASIM=1.07253
L= 89	P.I.D= 1.000	0.015	0.000 ASIM=1.07472
L= 90	P.I.D= 1.000	0.012	0.000 ASIM=1.07472
L= 91	P.I.D= 1.000	0.008	0.000 ASIM=1.07033
L= 92	P.I.D= 1.000	0.005	0.000 ASIM=1.06813
L= 93	P.I.D= 1.000	0.001	0.000 ASIM=1.05714
L= 94	P.I.D= 1.000	0.000	0.000 ASIM=1.05055
L= 95	P.I.D= 1.000	0.000	1.129 ASIM=1.03516
L= 96	P.I.D= 1.000	0.000	1.914 ASIM=1.03077
L= 97	P.I.D= 1.000	0.000	2.601 ASIM=1.02417

P=	1.000	I=	0.000	D=	3.141	ASIM=0.99121
F=	1.000	I=	0.000	D=	3.141	ASIM=0.98022
F=	1.000	I=	0.000	D=	3.141	ASIM=0.98022
F=	1.000	I=	0.000	D=	3.141	ASIM=0.98461
P=	1.000	I=	0.000	D=	3.141	ASIM=1.00439
F=	1.000	I=	0.000	D=	3.141	ASIM=1.01758
L= 101	P.I.D=	1.000	0.000	3.141		ASIM=1.02637
L= 102	P.I.D=	1.000	0.000	3.729		ASIM=1.03077
L= 103	P.I.D=	1.000	0.000	4.416		ASIM=1.02857
L= 104	P.I.D=	1.000	0.000	5.054		ASIM=1.02198
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.545	ASIM=1.00220
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.545	ASIM=0.98242
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.545	ASIM=0.98242
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.545	ASIM=0.99121
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.545	ASIM=1.01319
L= 108	P.I.D=	1.000	0.000	5.545		ASIM=1.02637
L= 109	P.I.D=	1.000	0.000	6.134		ASIM=1.03077
L= 110	P.I.D=	1.000	0.000	6.821		ASIM=1.02637
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.816	ASIM=1.00000
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.816	ASIM=0.98242
L= 112	P.I.D=	1.000	0.000	4.816		ASIM=0.97582
L= 113	P.I.D=	1.000	0.000	4.276		ASIM=0.97582
F=	1.000	I=	0.000	D=	3.737	ASIM=0.99360
F=	1.000	I=	0.000	D=	3.737	ASIM=1.01978
L= 116	P.I.D=	1.000	0.000	3.737		ASIM=1.02857
L= 117	P.I.D=	1.000	0.000	4.375		ASIM=1.03516
L= 118	P.I.D=	1.000	0.000	5.160		ASIM=1.03077
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.847	ASIM=1.01758
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.847	ASIM=0.99121
L= 120	P.I.D=	1.000	0.000	5.847		ASIM=0.97802
L= 121	P.I.D=	1.000	0.000	5.356		ASIM=0.97582
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.816	ASIM=0.98901
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.816	ASIM=1.01978
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.816	ASIM=1.01978
L= 124	P.I.D=	1.000	0.000	4.816		ASIM=1.02857
L= 125	P.I.D=	1.000	0.000	5.454		ASIM=1.02637
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.043	ASIM=1.00659
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.043	ASIM=0.98901
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.043	ASIM=0.98461
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.043	ASIM=0.98901
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.043	ASIM=1.00000
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.043	ASIM=1.01978
L= 130	P.I.D=	1.000	0.000	6.043		ASIM=1.02417
L= 131	P.I.D=	1.000	0.000	6.583		ASIM=1.02198
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.598	ASIM=1.00000
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.598	ASIM=0.98901
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.598	ASIM=0.98242
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.598	ASIM=0.99121
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.598	ASIM=1.00439
F=	1.000	I=	0.000	D=	4.598	ASIM=1.01978
L= 136	P.I.D=	1.000	0.000	4.598		ASIM=1.02198
L= 137	P.I.D=	1.000	0.000	5.088		ASIM=1.02857
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.726	ASIM=1.01538
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.726	ASIM=1.00000
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.726	ASIM=0.99121
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.726	ASIM=0.98901
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.726	ASIM=1.00439
F=	1.000	I=	0.000	D=	5.726	ASIM=1.01758
L= 143	P.I.D=	1.000	0.000	5.726		ASIM=1.02198
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.217	ASIM=1.01538
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.217	ASIM=1.00659
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.217	ASIM=0.98901
F=	1.000	I=	0.000	D=	6.217	ASIM=0.98681

P= 1.000	I= 0.000	D= 6.217	ASIM=0.98461
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.217	ASIM=1.01319
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.217	ASIM=1.01978
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=1.01099
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=0.99560
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=0.98901
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=1.00220
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=1.01758
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=1.01978
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=1.01319
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=0.99121
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=0.98242
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=0.98681
P= 1.000	I= 0.000	D= 6.757	ASIM=1.00000



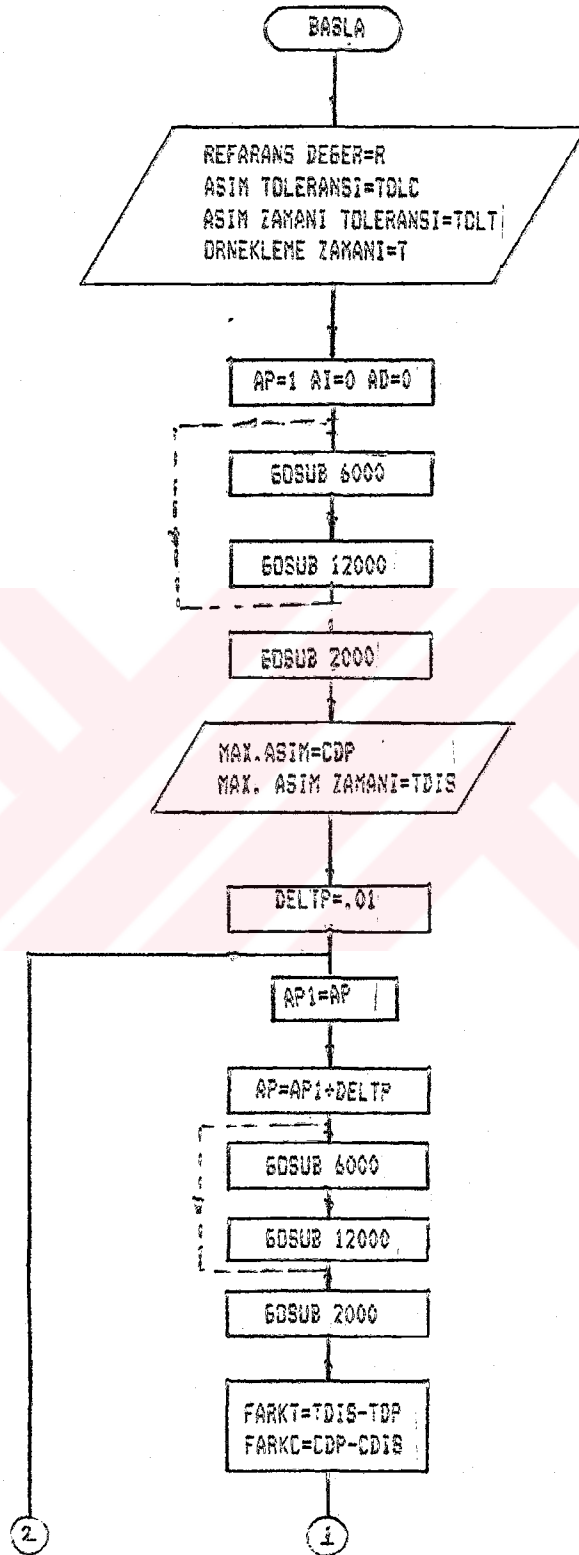
Şekil 7.17 Adaptasyon sonunda bozulmuş sistem çıkışı

7.5 ÖNERİLER

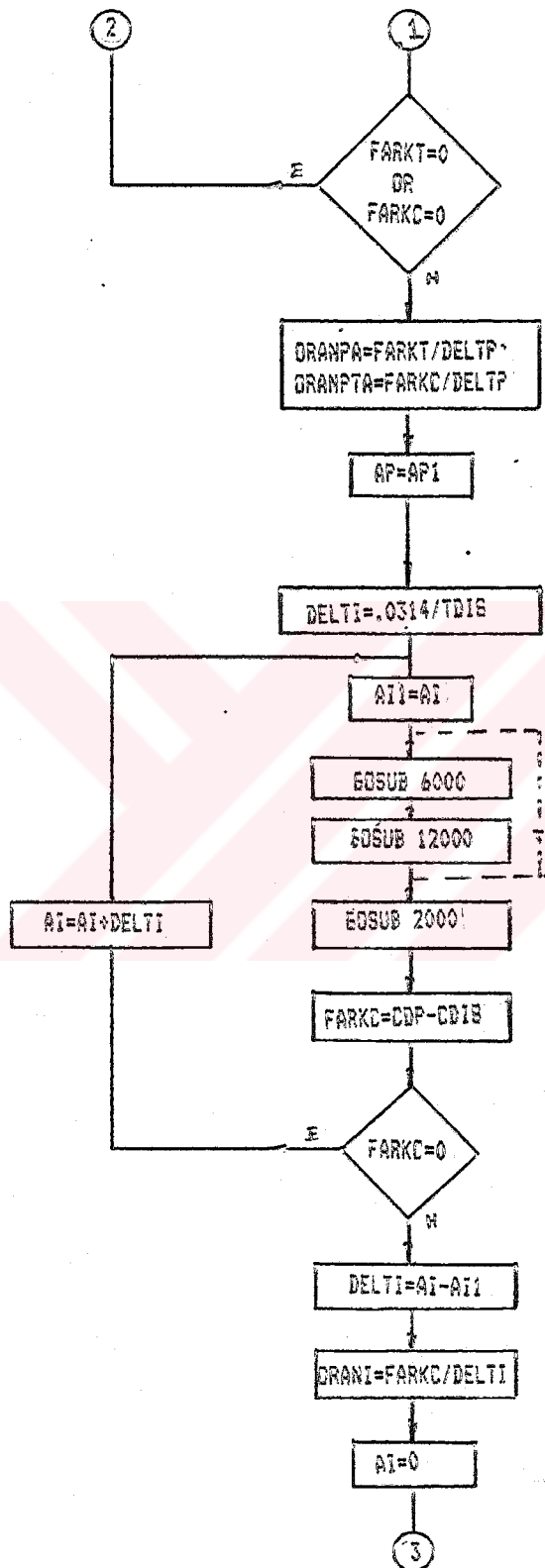
Bu çalışmanın uzantısında;

- 1- Mevcut analog sistemde bozucu etkilerin bilgisayar aracılığı ile otomatik olarak değiştirilmesi sağlanabilir.
- 2- PID algoritması daha farklı yöntemlerle desteklenerek iyileştirilmesi sağlanabilir.
- 3- Geliştirilen PID kontrol algoritması fiziki sistemlere uygulanabilir.
- 4- P, I, D katsayılarının değişik yöntemlerle hesaplanması yapılarak yöntemler karşılaştırılabilir.
- 5- Sistemde bilgisayar yerine mikro işlemci kullanılabilir.

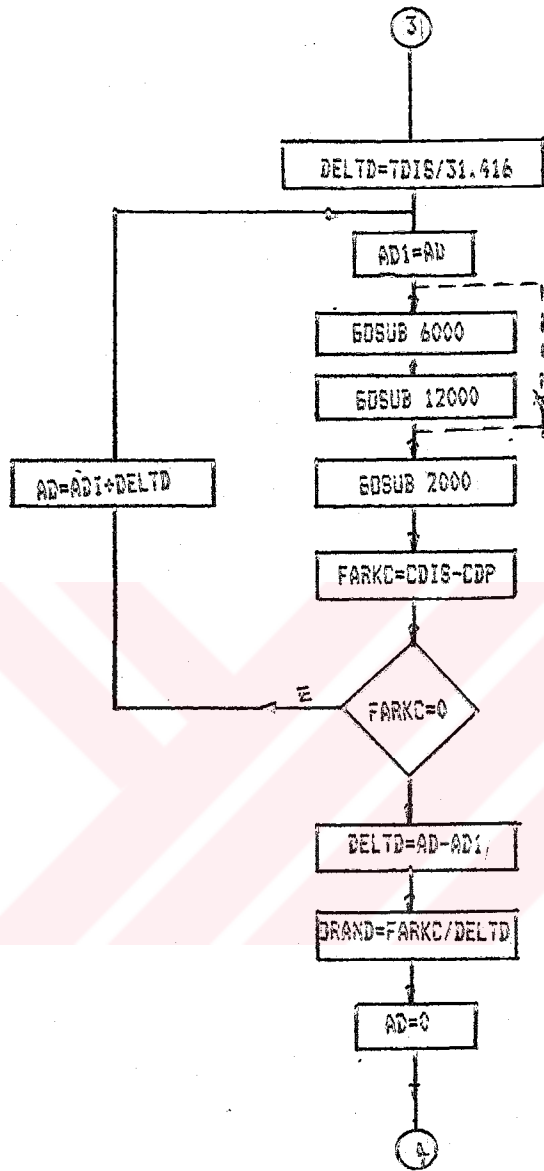
EK 1
AKIŞ DIAGRAMI



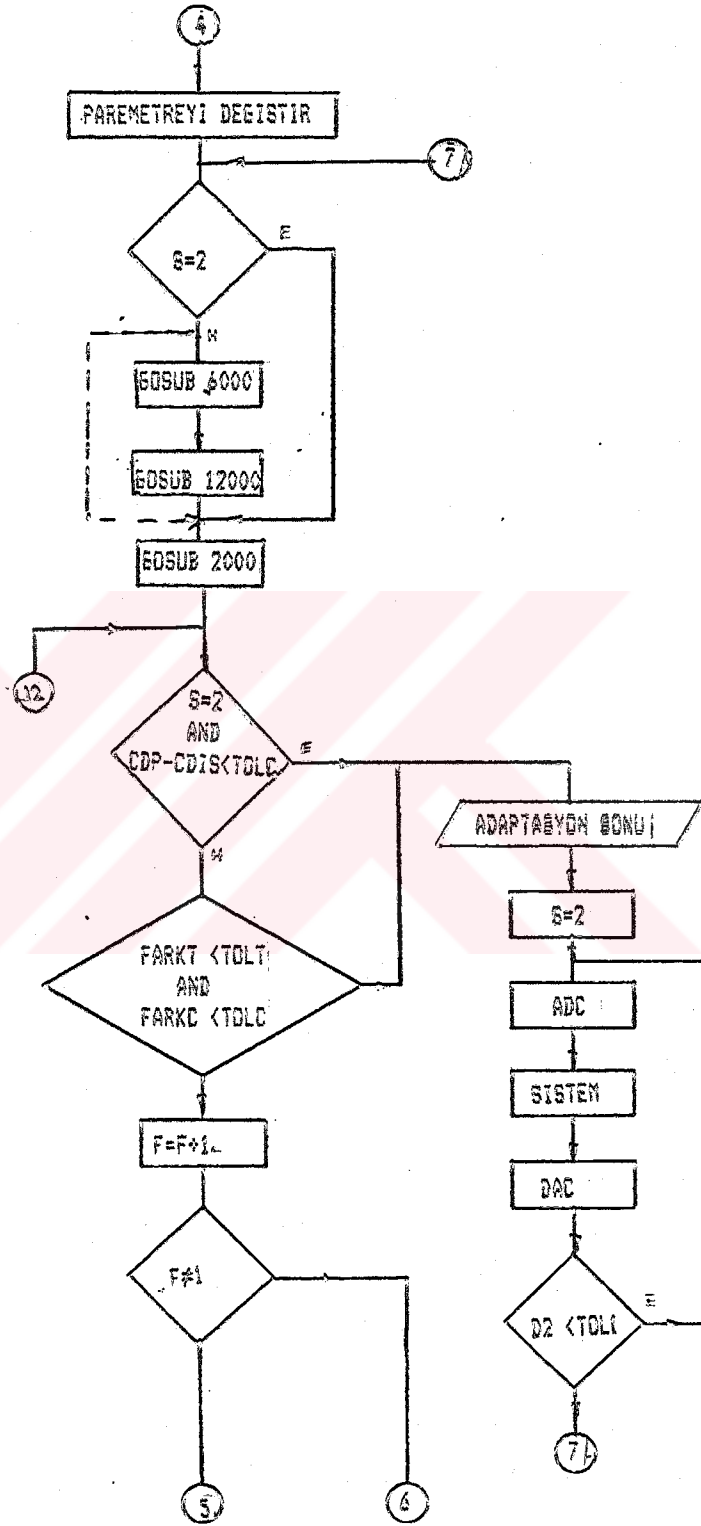
Şekil E.1 Sayısal ve hibrit simülasyonda PID kontrolü akış şeması



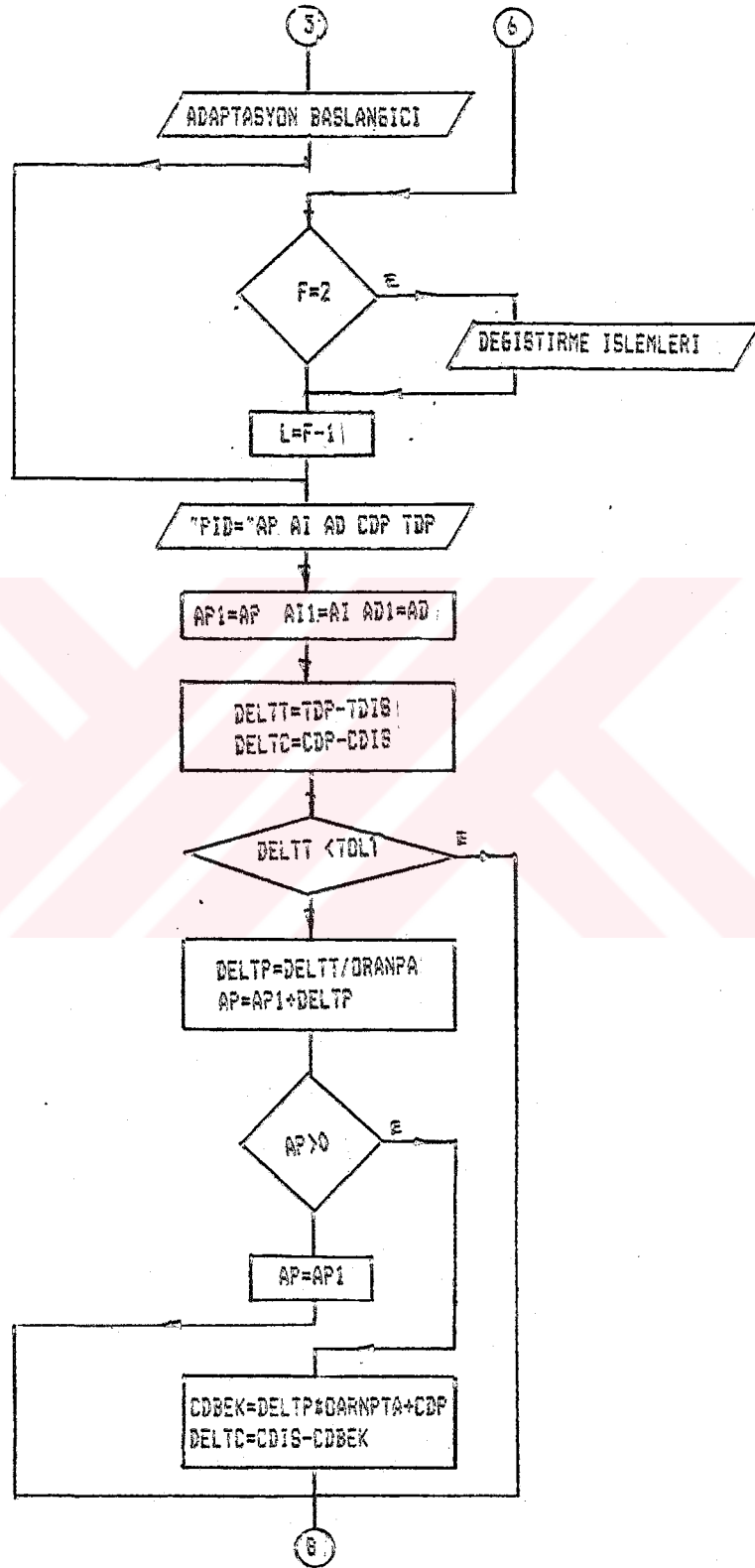
Sekil E.1 Devam



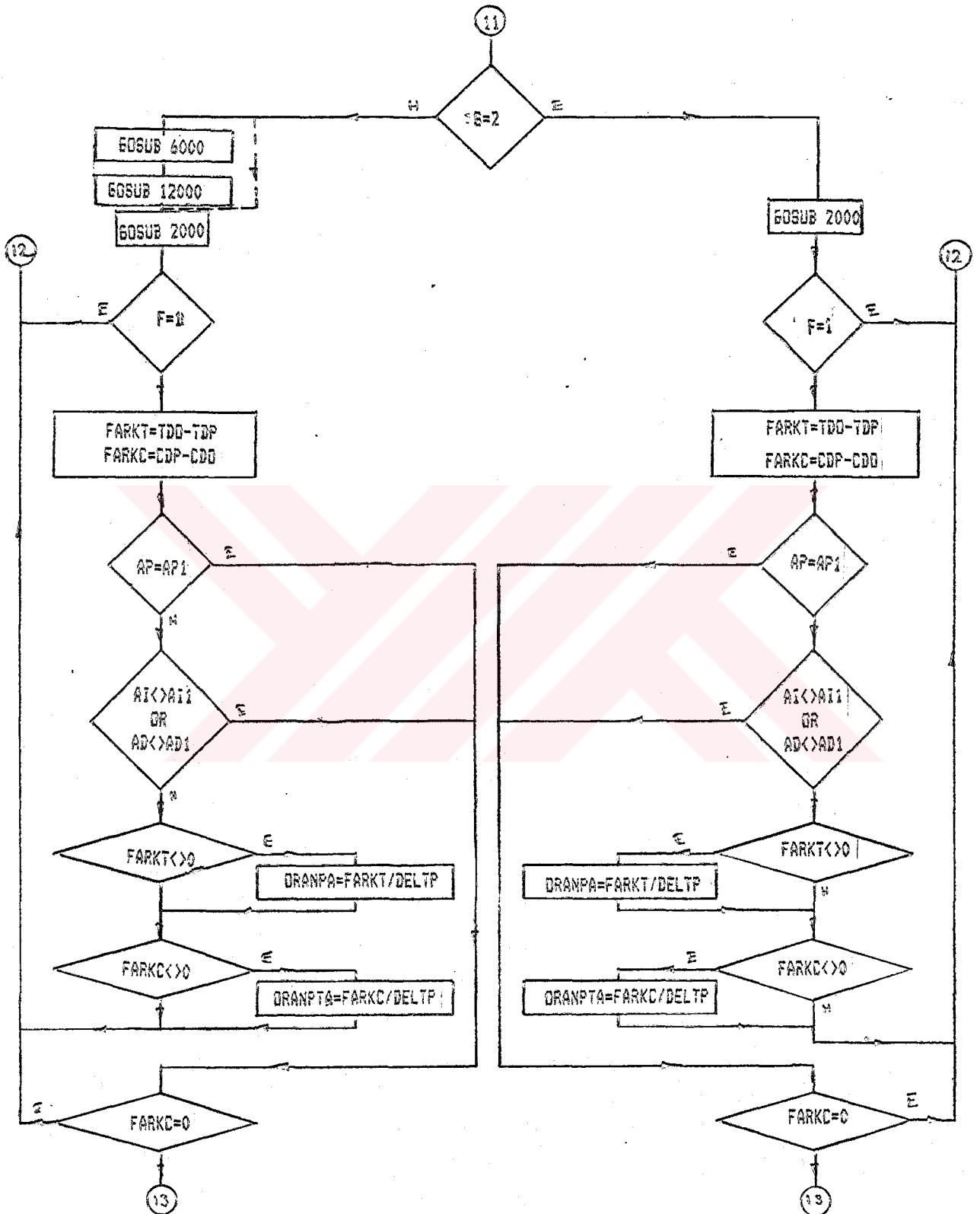
Şekil E.1 Devam



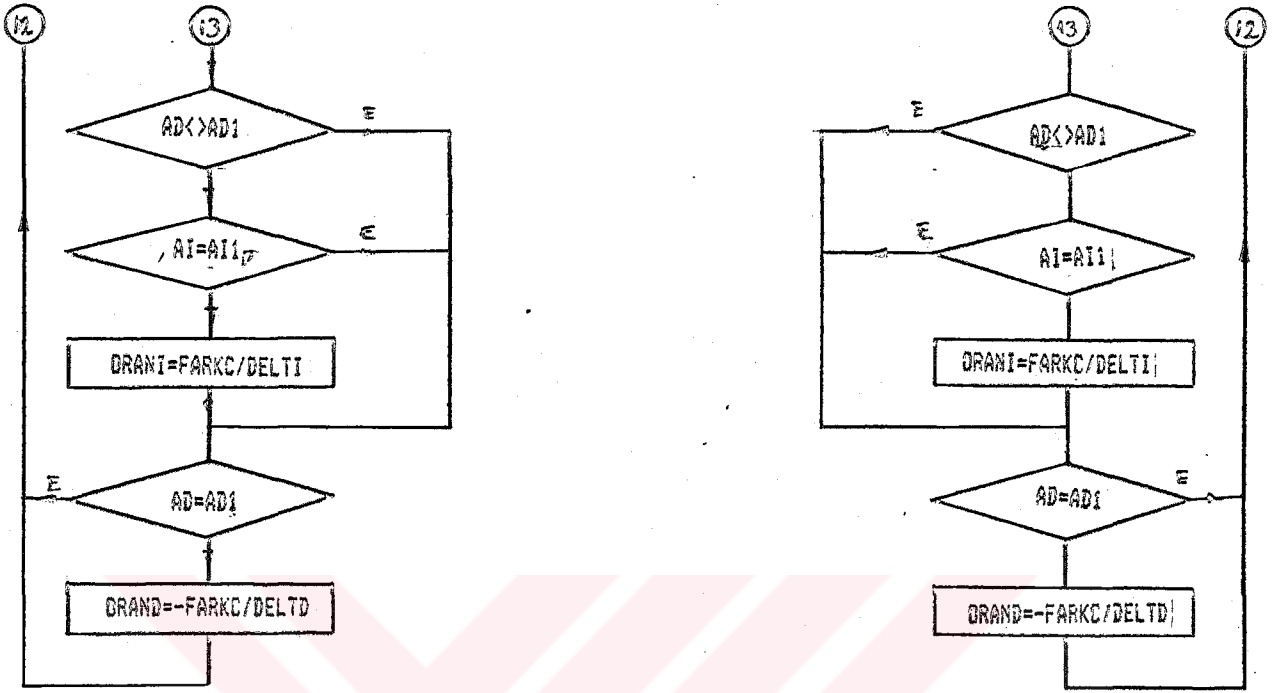
Şekil E.1 Devam



Şekil E.1 Devam



Sekil E.1 Devam



Noktalı çizgi içindeki bloklar sayısal simülasyon da işleme girmiyor

EK 2

SAYISAL SIMULASYON İÇİN KONTROL PROGRAMI

```

1 REM ADAPTIF KONTROL
10 INPUT "REFERANS=";R
11 INPUT "ASIM TOLERANSI=";TOLC
12 INPUT "ASIM ZAMANI TOLERANSI=";TOLT
13 INPUT "ORNEKLEME ZAMANI";T
20 CLS:AP=1:AI=0:AD=0
22 DIM C(200),M(200),IST(250),BOZ2(250),BOZ(250),SON(250)
23 CLS:Y=1
25 IS=1:GOSUB 2000
27 CDIS=CDP:TDIS=TDP
31 PRINT "MAX.ASIM=";CDIS,"MAX.ASIM ZAMANI=";TDIS
41 PRINT "A="A,"K="K
43 REM -----
50 DELTP=.1
60 AP1=AP
70 AP=AP1+DELTP
80 GOSUB 2000
90 FARKT=TDIS-TDP
100 FARKC=CDP-CDIS
110 IF FARKT=0 OR FARKC=0 THEN 60
120 DELTP=AP-AP1
125 ORANPA=FARKT/DELTP
128 ORANPTA=FARKC/DELTP
130 'PRINT "** ORANPA="ORANPA,"** ORANPTA="ORANPTA,"** AP="AP
135 REM -----
140 AP=1
150 DELTI=.031416/TDIS
160 AI1=AI
165 AI=AI1+DELTI
170 GOSUB 2000
175 FARKC=CDP-CDIS
180 IF FARKC=0 THEN 160
190 DELTI=AI-AI1
200 ORANI=FARKC/DELTI
220 'PRINT "** orani="ORANI
225 REM -----
245 AI=0
250 DELTD=TDIS/31.416
260 AD1=AD
261 AD=AD1+DELTD
270 GOSUB 2000
280 FARKC=CDP-CDP
290 IF FARKC=0 THEN 260
295 DELTD=AD-AD1
312 ORAND=FARKC/DELTD:BO=1
315 '***orand="ORAND"
1000 AP=1:AI=0:AD=0:F=0:Y=Y+1

```

```
1000 AP=1:AI=0:AD=0:F=0:Y=Y+1
1010 GOSUB 2000
1020 IF ABS(TDP-TDIS)<=TOLT*TDIS AND ABS(CDP-CDIS)<=TOLC*CDIS
    GOTO 1690
1040 F=F+1
1050 IF F<>1 GOTO 1080
1060 PRINT "##### PARAMETREY1 DEGISTIR #####":
    PRINT "A=";A,"K=";K
1070 GOTO 1110
1090 L=F-1
1100 PRINT " L=";L;
1110 PRINT " P.I.D="AP,AI,AD,"CDF="CDF;"TDP="TDF
1120 AP1=AP:AI1=AI:AD1=AD
1130 DELTT=TDP-TDIS
1140 DELTC=CDIS -CDF
1150 IF ABS(DELTT)<=TOLT*TDIS GOTO 1230
1160 DELTP=DELTT/ORANPA
1170 AP=AP1+DELTP
1180 IF AP>0 GOTO 1210
1190 AP=AP1
1200 GOTO 1230
1210 CDBEK=DELTP*ORANPTA+CDF
1220 DELTC=CDIS-CDBEK
1230 IF ABS(DELTG)<=TOLC *CDIS GOTO 1500
1240 IF DELTC<0 GOTO 1380
1250 REM turevi azalt veya integrali arttir
1260 IF AD1=0 GOTO 1315
1265 REM D ye girdim
1270 DELTD=DELTG/ORAND
1280 DELTD=AP*DELTD
1290 AD=AD1-DELTD
1300 IF AD<0 THEN AD=0
1310 GOTO 1500
1315 REM I ya girdim
1320 DELTI=DELTG/ORANI
1330 DELTI=AP*DELTI
1340 AI=AI1+DELTI
1350 IF AI<0 THEN AI=0
1360 GOTO 1500
1380 REM integrali azalt veya turevi arttir
1390 IF AI1=0 GOTO 1445
1395 REM I ya girdim
1400 DELTI=DELTG/ORANI
1410 DELTI=AP*DELTI
1420 AI=AI1+DELTI
1430 IF AI<0 THEN AI=0
1440 GOTO 1500
1445 REM D ye girdim
1450 DELTD=DELTG/ORAND
1460 DELTD=AP*DELTD
1470 AD=AD1-DELTD
1480 IF AD<0 THEN AD=0
1500 PRINT
```

```
1510 CDO=CDP
1520 TDO=TDP
1530 GOSUB 2000
1540 IF F=1 GOTO 1020
1550 FARKT=TDO-TDP
1560 FARKC=CDP-CDO
1570 IF AP=AP1 GOTO 1620
1580 IF AI<>AI1 OR AD<>AD1 GOTO 1620
1590 IF FARKT<>0 THEN ORANPA=FARKT/DELTP
1600 IF FARKC<>0 THEN ORANPTA=FARKC/DELTP
1610 GOTO 1020
1620 IF FARKC=0 GOTO 1020
1630 IF AD<>AD1 GOTO 1660
1640 IF AI=AI1 GOTO 1660
1650 ORANI=FARKC/DELTI
1660 IF AD=AD1 GOTO 1020
1670 ORAND=-FARKC/DELTD
1680 GOTO 1020
1690 IF F<>0 THEN PRINT "##### ADAPTASYON SONU ####"
      "#####":BO=3
1700 F=0
1710 PRINT "*** P="AP,"** I="AI,"** D="AD:PRINT"CDP="CDP,
      "TDP="TDP:PRINT:PRINT:F=0
1711 FOR I=1 TO 100:NEXT I
1800 LINE(100,130)-(100,350):LINE(50,300)-(400,300):
      LOCATE 10,9:PRINT" C(Kt)":LOCATE 15,9:PRINT"R":
      LOCATE 23,9:PRINT"O":LOCATE 22,46:PRINT"Kt"
1805 LINE(100,(300-(R*100)))-(400,(300-(R*100)))
1810 FOR I=1 TO 50:IF I>10 AND IST(I)=0 GOTO 1812 ELSE
      LINE(((I*4)+100), 300-IST (I)*100)-(((I-1)*4+100),300-IST
      (I-1)*100):NEXT I
1812 FOR I=1 TO 5000:NEXT:IF Y=2 THEN FOR I=1 TO 50:
      IF I>10 AND BOZ(I)=0 GOTO 1814 ELSE LINE (((I*4)+100),
      300-BOZ(I)*100)-(((I-1)*4+100),300- BOZ(I-1)*100):NEXT I
1814 IF Y=3 THEN FOR I=1 TO 50:IF I>20 AND BOZ2(I)=0 GOTO 1816
      ELSE LINE (((I*4)+100),300-BOZ2(I)*100)-(((I-1)*4+100),
      300-BOZ2(I-1)*100):NEXT I
1816 FOR I=1 TO 50:IF I>10 AND SON(I)=0 GOTO 1900 ELSE
      LINE(((I*4)+100), 300-SON(I)*100)-(((I-1)*4+100),
      300-SON(I-1)*100):NEXT I
1900 FOR I=1 TO 8000:NEXT:IF Y=3 THEN END ELSE CLS:GOTO 1000
```

```

2000 REM-----
2001 IF Y=1 THEN K=.0106649:A=.0895255:C(0)=-.06:C(1)=-.06
2002 IF Y=2 THEN K=.0109992:A=.069735:C(0)=-.06:C(1)=-.06
2003 IF Y=3 THEN K=.0107732:A=.0506585:C(0)=-.06:C(1)=-.06
2010 DEF FNC(I)=(T^2/(1+A*T))*K*M(I)+((2+A*T)/(1+A*T))*C(I-1)-
      (1/(1+A*T))*C(I-2)
2020 UO=0:EI=0
2040 FOR I=2 TO 200
2050 U=R-C(I-1)
2060 EP=AP*U
2070 EI=EI+AI*T*U
2080 ED=AD*(U-UO)/T
2090 UO=U
2100 M(I)=EP+EI+ED
2110 C(I)=FNC(I)
2111 IF IS=1 AND Y=1 THEN IST(I)=C(I)
2113 IF BO=1 AND Y=2 THEN BOZ(I)=C(I)
2115 SON(I)=C(I)
2117 IF BO=3 AND Y=3 THEN BOZ2(I)=C(I)
2120 IF C(I)>C(I-1) THEN NEXT I
2130 CDP=C(I-1):KP=I-1
2140 TDP=KP*T
2160 IS=0:BO=0:RETURN

```

EK 3

HİBRİT SIMULASYON İÇİN KONTROL PROGRAMI

```
1  REM adaptif kontrol  fevzi baba
2  INPUT "Referans=";R
5  INPUT "Asim toleransi=";TOLC
10 INPUT "Asim zamani toleransi=";TOLT
12 INPUT "Ornekleme zamani";T
13 DIM C(200),M(200),AP(95),AI(95),AD(95),GS(550),CM(550),
    CMN(550),GSN(550)
14 X=4:S=1:XX=0:Q=1:SAV=0:FB=0:CEV=0
23 AP=1:AI=0:AD=0
26 GOSUB 6000
27 GOSUB 12000
30 GOSUB 2000
34 GOSUB 6000
35 CDIS=CDP:TDIS=TDP
36 PRINT
37 PRINT "MAX.ASIM  ="CDIS,"MAX.ASIM ZAMANI="TDIS
45 REM -----
50 DELTP=.1
60 AP1=AP
70 AP=AP1+DELTP
78 GOSUB 6000
79 GOSUB 12000
80 GOSUB 2000
82 GOSUB 6000
88 LIST
90 FARKT=TDIS-TDP
100 FARKC=    CDP-CDIS
110 IF FARKT=0 OR FARKC=0 THEN 60
120 DELTP=AP-AP1
125 ORANPA=FARKT/DELTP
128 ORANPTA=FARKC/DELTP
130 PRINT "** Oranpa="ORANPA,"** Oranpta="ORANPTA,"** ap="AP
131 'PRINT
135 REM -----
140 AP=1
150 DELTI=.031416/TDIS
160 AI1=AI
165 AI=AI1+DELTI
168 GOSUB 6000
170 GOSUB 12000
171 GOSUB 2000
172 GOSUB 6000
175 FARKC=CDP-CDIS
180 IF FARKC=0 THEN 160
190 DELTI=AI-AI1
200 ORANI=FARKC/DELTI
220 PRINT "** Orani ="ORANI
221 'PRINT
225 REM -----
```

```

245 AI=0
250 DELTD=TDIS/31.416
260 AD1=AD
261 AD=AD1+DELTD
268 GOSUB 6000
270 GOSUB 12000
271 GOSUB 2000
272 GOSUB 6000
280 FARKC=CDIS-CDF
290 IF FARKC=0 THEN 260
295 DELTD=AD-AD1
300 ORAND=FARKC/DELTD
310 PRINT "*** Orand ="ORAND
311 NPA=ORANPA:PTA=ORANPTA:NI=ORANI:ND=ORAND
312 AP=1:AI=0:AD=0
313 'GOSUB 6000:GOSUB 12000:OPEN "O",#1,"136.DAT":GOSUB 22000:
    CLOSE #1:GOTO 8000
315 '-----
317 BEEP:PRINT "%%%%%%%% PAREMETREYI DEGISTIR %%%%%%%%%"
320 FOR I=1 TO 9999 :NEXT I
323 'GOSUB 6000:GOSUB 12000:GOSUB 22000
350 ORANPA=NPA:ORANPTA=PTA:ORANI=NI:ORAND =ND
399 '-----
500 'IF S=1 THEN F=0
1000 F=0: IF S=2 GOTO 1011
1005 GOSUB 6000
1010 GOSUB 12000
1011 GOSUB 2000
1012 IF S=2 AND ABS(CDF-CDIS)<=TOLC*CDIS GOTO 1690 ELSE GOTO 1040
1013 GOSUB 6000
1020 IF ABS(TDF-TDIS)<=TOLT*TDIS AND ABS(CDF-CDIS)<=TOLC*CDIS GOTO 1690
1030 AP(1)=0:AP(2)=1:AI(1)=1:AI(2)=2:AD(1)=1:AD(2)=2:AP(3)=3:
    AD(3)=3:AI(3)=3
1035 IF AP(X)=AP(X-1) AND AP(X)=AP(X-2) AND AI(X)=AI(X-1) AND
    AI(X)=AI(X-2) AND AD(X)=AD(X-1) AND AD(X)=AD(X-2) THEN PRINT "
    SISTEM KONTROLDEN CIKTI.. ":END
1040 F=F+1
1050 IF F<>1 GOTO 1080
1060 'PRINT "++++++ADAPTASYON BASLANGICI++++++"
1070 GOTO 1110
1080 'IF F=2 THEN PRINT "===== DEGISTIRME ISLEMLERI"
1090 L=F-1
1100 PRINT "L="L;
1110 IF S=1 THEN PRINT " P.I.D=";:PRINT USING"###.###";AP;
    :PRINT " ";:PRINT USING"###.###";AI;:PRINT " ";:PRINT USING"
    ###.###";AD;:PRINT " ";:PRINT USING"ASIM=###.###";CDF;:PRINT
    " ";:PRIN
1115 IF S=2 THEN FB=FB+1:PRINT "L="FB;:PRINT " P.I.D=";:PRINT
    USING"###.###";AP;:PRINT " ";:PRINT USING"###.###";AI;:PRINT "
    ";:PRINT USING"###.###";AD;:PRINT " ";:PRINT USING"ASIM=###.##
    ###";CDF
1116 X=X+1:AP(X)=AP:AI(X)=AI:AD(X)=AD:GS(W+FB)=CDF

```

```
1120 AP1=AP:AI1=AI:AD1=AD
1130 DELTT=TDP-TDIS
1140 DELTC=CDIS-CDP
1150 IF ABS(DELT)/TDIS<=TOLT GOTO 1230
1160 DELTP=DELTT/ORANPA
1170 AP=AP1+DELTP
1180 IF AP>0 GOTO 1210
1190 AP=AP1
1200 GOTO 1230
1210 CDBEK=DELTP*ORANPTA+CDP
1220 DELTC=CDIS-CDBEK
1230 IF ABS(DELTC)/CDIS<=TOLC GOTO 1500
1240 IF DELTC<0 THEN XX=0:GOTO 1380
1250 'PRINT "++++turevi azalt veya integrali arttir++++"
1260 IF AD1=0 THEN XX=XX+1: GOTO 1315
1261 'PRINT XX
1265 'PRINT "++++D ye girdim++++"
1270 DELTD=DELTC/ORAND
1280 DELTD=AP *DELTD
1290 AD=AD1-DELTD
1300 IF AD<0 THEN AD=0
1310 GOTO 1500
1315 'PRINT "++++I ya girdim++++"
1320 DELTI=DELTC/ORANI
1330 DELTI=AP*DELTI
1340 AI=AI1+DELTI
1350 IF AI<0 THEN AI=0
1360 GOTO 1500
1380 'PRINT "++++integrali azalt veya turevi arttir++++"
1385 'IF S=2 THEN AI=0:AI1=0
1390 IF AI1=0 GOTO 1445
1395 'PRINT "++++I ya girdim++++"
1400 DELTI=DELTC/ORANI
1410 DELTI=AP*DELTI
1420 AI=AI1+DELTI
1430 IF AI<0 THEN AI=0
1440 GOTO 1500
1445 'PRINT "++++D ye girdim++++"
1450 DELTD=DELTC/ORAND
1460 DELTD=AP*DELTD
1470 AD=AD1-DELTD
1480 IF AD<0 THEN AD=0
1490 REM-----
1500 'PRINT
1510 CDO=CDP
1520 TDO=TDP
1522 IF S=2 THEN GOSUB 9000:GOTO 350
1525 GOSUB 6000
1530 GOSUB 12000
1531 GOSUB 2000
```

```
1532 GOSUB 4000
1540 IF F=1 GOTO 1020
1550 FARKT=TDO-TDF
1560 FARKC=CDP-CDO
1570 IF AP=AP1 GOTO 1620
1580 IF AI<>AI1 OR AD<>AD1 GOTO 1620
1590 IF FARKT<>0 THEN ORANPA=FARKT/DELTP
1600 IF FARKC<>0 THEN ORANPTA=FARKC/DELTP
1610 GOTO 1020
1620 IF FARKC=0 GOTO 1020
1630 IF AD<>AD1 GOTO 1660
1640 IF AI=AI1 GOTO 1660
1650 ORANI=FARKC/DELTI
1660 IF AD=AD1 GOTO 1020
1670 ORAND=-FARKC/DELTD
1680 GOTO 1020
1690 IF F<>0 THEN PRINT"##### ADAPTASYON SONU #####
#####"
1700 F=0
1705 IF S=2 THEN BEEP:PRINT " " "":PRINT USING"F=##.###";AP;
:PRINT " " "":PRINT USING"I=##.###";AI;:PRINT " " "":PRINT US
ING"D=##.###";AD;:PRINT " " "":PRINT USING"ASIM=#.#####";CDF;
Q=Q+1:GOTO 1712
1710 BEEP:PRINT USING"F=##.###";AP;:PRINT " " "":PRINT USING
"I=##.###";AI;:PRINT " " "":PRINT USING"D=##.###";AD;:PRINT "
":PRINT USING"ASIM=#.#####";CDF;:PRINT " " "":PRINT USING"A
S.ZAMANI=##
1712 IF S=1 THEN GS(TDP)=CDF
1713 S=2:X=4
1714 GOSUB 9000
1717 IF Q=90 GOTO 8000 ELSE GOTO 350
1718 'IF S=2 AND (D2-R)<TCLC THEN GS((W+FB)+1)=D1:GOTO 1705 ELSE 350
2000 REM-----
2010 K=1:EI=0:EO=0
2011 PORT=632:CHANNEL=13
2012 OUT PORT +3,0
2013 OUT PORT +0,CHANNEL
2014 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
2015 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
2016 B=INP(PORT+2)
2017 C=INP(PORT+1)
2018 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
2019 D1=D*.0021978
2020 E=D1-R
2025 'PRINT E
2030 EP=AP*E
2040 EI=EI+AI*T*E
2050 ED=AD*(E-EO)/T
2055 EO=E
2060 ET=EP+EI+ED
2063 '?'
2065 ET=ET+9
```

```
2070 ETD=INT(ET/(18/4095))
2080 H=INT(ETD/256)
2090 L=ETD-H*256
2100 OUT PORT+7,H
2110 OUT PORT+6,L
2115 IF H<=7 THEN OUT PORT +7,H:OUT PORT +6,L
2116 '-----SISTEM-----
2120 PORT=632:CHANNEL=13
2130 OUT PORT +3,0
2140 OUT PORT +0,CHANNEL
2150 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
2160 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
2170 B=INP(PORT+2)
2180 C=INP(PORT+1)
2190 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
2200 D2=D*.0021978:GS(K-1)=D2
2202 IF S=2 THEN CDP=D2:D1=D2:TDP=TDIS:FOR I=1 TO 2550:NEXT I :RETURN
2205 IF K=1 GOTO 2215
2210 IF D1>D2 AND D1>.75 THEN CDP=D1:TDP=(K-1)*T: W=K-1:RETURN
2215 K=K+1
2220 D1=D2
2225 FOR I=1 TO 2550 :NEXT
2230 GOTO 2020
6000 REM ----- Desarij alt programi -----
6003 PORT=632
6010 ET=6
6020 ET=ET+9
6030 ETD=INT(ET/(18/4095))
6040 H=INT(ETD/256)
6045 L=ETD-H*256
6050 OUT PORT +7,H
6060 OUT PORT +6,L
6070 FOR I=1 TO 3000 :NEXT I
6080 'OUT PORT +7,7
6090 'OUT PORT +6,255
7003 PORT=632
7010 ET=0
7020 ET=ET+9
7030 ETD=INT(ET/(18/4095))
7040 H=INT(ETD/256)
7045 L=ETD-H*256
7050 OUT PORT +7,H
7060 OUT PORT +6,L
7070 FOR I=1 TO 25 :NEXT I
7100 RETURN
7999 END
```

```

8000 SCREEN 2,0,0:CLS: LINE (100,0)-(100,300):LINE (50,200)
-(700,200):LOCATE 1,10:PRINT"V":LOCATE 8,10:PRINT"R":LOCATE
16,10:PRINT"O":LOCATE 15,80:PRINT"t"
8005 LINE (100,(200-(R*100)))-(700,(200-(R*100))):T=1
8010 IF GS(T)=0 AND T>80 GOTO 8013 ELSE LINE(((T*4)+100),200-
GS(T)*100)-(((T-1)*4+100),200-GS(T-1)*100):T=T+1:GOTO 8010
8013 OPEN "I",#1,"136.DAT"
8014 IF EOF(1) THEN 8020
8015 INPUT #1,D1,K:CM(K)=D1:IF CM(K)<0 THEN WN=K:CMN(WN)=CM(K):
LINE (((WN*4)+100),200+ABS(CMN(WN))*100)-(((WN-1)*4+100),200+
ABS(CMN(WN))*100) ELSE LINE(((K*4)+100),200-CM(K)*100)-(((K-1)
*4+100),200-C
8020 CLOSE #1
9000 REM-----SISTEM GOZALTINDA-----
9005 BC=3:IA=0:CEV=CEV+1
9010 PORT=632:CHANNEL=13
9020 OUT PORT +3,0
9030 OUT PORT +0,CHANNEL
9040 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
9050 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
9060 B=INP(PORT+2)
9070 C=INP(PORT+1)
9080 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
9100 D1=D*.0021978:D2=D1
9150 E=D1-R
9155 IF IA=23 THEN FB=FB+1:GS(W+FB)=D2:RETURN
9180 EP=AP*E
9190 EI=EI+AI*T*E
9200 ED=AD*(E-E0)/T
9210 E0=E
9220 ET=EP+EI+ED
9225 ET=E
9230 ET=ET+9
9240 ETD=INT(ET/(18/4095))
9250 H=INT(ETD/256)
9260 L=ETD-H*256
9280 OUT PORT+7,H
9290 OUT PORT+6,L
9300 IF H<=7 THEN OUT PORT +7,H:OUT PORT +6,L
9310 '-----SISTEM-----
9320 PORT=632:CHANNEL=13
9330 OUT PORT +3,0
9340 OUT PORT +0,CHANNEL
9350 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
9360 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
9370 B=INP(PORT+2)
9380 C=INP(PORT+1)
9390 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
9400 D2=D*.0021978
9410 IF ABS(D2-R)<=TDLC*CDIS THEN D1=D2:IA=IA+1:GOTO 9130
ELSE CDIS=1:CDP=D2:TDP=TDIS:RETURN

```

```
12000 REM-----
12010 R=0:K=1:EI=0:E0=0
12011 PORT=632:CHANNEL=13
12012 OUT PORT +3,0
12013 OUT PORT +0,CHANNEL
12014 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
12015 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
12016 B=INP(PORT+2)
12017 C=INP(PORT+1)
12018 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
12019 D=D*.0021978
12020 ET=D1-R
12065 ET=ET+9
12070 ETD=INT(ET/(18/4095))
12080 H=INT(ETD/256)
12090 L=ETD-H*256
12100 OUT PORT+7,H
12110 OUT PORT+6,L
12115 IF H<=7 THEN OUT PORT +7,H:OUT PORT +6,L
12116 '-----SISTEM-----
12120 PORT=632:CHANNEL=13
12130 OUT PORT +3,0
12140 OUT PORT +0,CHANNEL
12150 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
12160 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
12170 B=INP(PORT+2)
12180 C=INP(PORT+1)
12190 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
12200 D2=D*.0021978 :D1=D2
12202 'PRINT "AD CIKISI="D2,
12230 K=K+1:IF K<> 250 GOTO 12020 ELSE R=1:RETURN
15000 'PRINT "**** SISTEM KONTROLDEN CIKTI****":END
22000 REM-----
22010 K=1:EI=0:E0=0
22011 PORT=632:CHANNEL=13
22012 OUT PORT +3,0
22013 OUT PORT +0,CHANNEL
22014 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
22015 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
22016 B=INP(PORT+2)
22017 C=INP(PORT+1)
22018 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
22019 D1=D*.0021978
22020 K=K+1
22021 IF K=150 THEN RETURN
22022 E=D1-R
22025 'PRINT E
22030 EP=AP*E
22040 EI=EI+AI*T*E
22050 ED=AD*(E-E0)/T
```

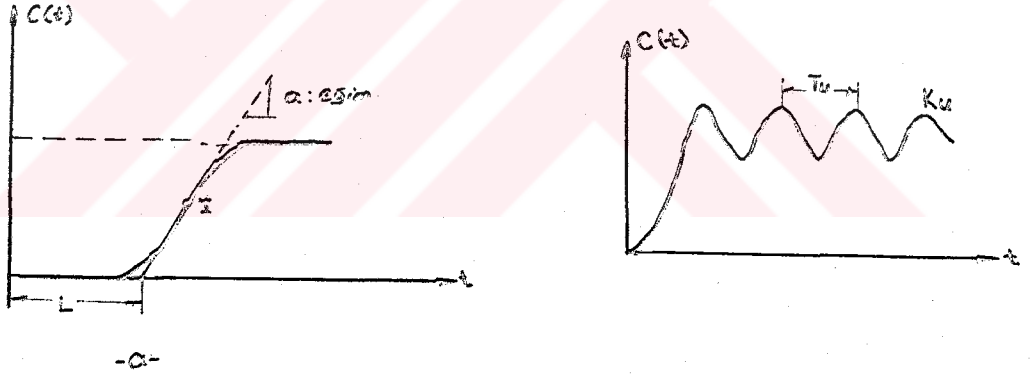
```
22055 E0=E
22060 ET=EP+EI+ED
22063 '?'
22065 ET=ET+9
22070 ETD=INT(ET/(18/4095))
22080 H=INT(ETD/256)
22090 L=ETD-H*256
22100 OUT PORT+7,H
22110 OUT PORT+6,L
22115 IF H<=7 THEN OUT PORT +7,H:OUT PORT +6,L
22116 '-----SISTEM-----'
22120 PORT=632:CHANNEL=13
22130 OUT PORT +3,0
22140 OUT PORT +0,CHANNEL
22150 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+4):NEXT I
22160 FOR I=1 TO 7:A=INP(PORT+5):NEXT I
22170 B=INP(PORT+2)
22180 C=INP(PORT+1)
22190 D=(B-16*(INT(B/16)))*256+C
22205 D2=D*.0021978
22220 D1=D2:CM(K)=D1:PRINT #1,D1,K
22225 FOR I=1 TO 1410:NEXT I
22230 GOTO 22020
```

Ek.4

ZEIGLER-NICHOLS VE TAKAHASHI YÖNTEMLERİ

PID kontrol sisteminde PID katsayılarının hesaplanmasında Zeigler-Nichols ve Takahashi yöntemleri de kullanılabilir. Sürekli kontrol için kullanılan Zeigler-Nichols yöntemleri, 1942' de yayınlanmış olmalarına rağmen güncelliğini korumaktadır. Nitekim bilgisayarla kontrolle de uygulanmış ve Takahashi tarafından benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Yöntem iki aşamadan oluşmaktadır; ilk aşamada sistemin uygulama özelliğine göre açık yada kapalı çevrim durumunda birim basamak cevabından bazı karakteristik değerler bulunur (Tanımlama). İkinci aşamada ise kontrol parametreleri, bu karakteristik değerler cinsinden deneyimle gerçekleştirilmiş katsayılar yardımıyla belirlenir [14,15]. Basamak cevabından karakteristik değerlerin nasıl bulunacağı şekil E 4.1'de gösterilmiştir. Sürekli kontrol için Zeigler-Nichols katsayıları tablo E 4.1'de verilmiştir.



Şekil E 4.1 a- Açık çevrim birim basamak cevabı
b- Kapalı çevrim birim basamak değeri

l = Enbüyük eğim noktası
 L = Gecikme
 a = En büyük eğim
 T_u = Kararlılık sınırında periyod değeri
 K_u = Oransal kontrol katsayısının kararlılık sınırındaki değeri göstermektedir.

Bilgisayarla kontrol halinde, örnekleme periyodu yeni bir parametre olarak belirlenmektedir. Sistemin karakteristik değerleri yine şekil E 4.1'de gösterildiği gibi belirlenmekte ancak kontrol algoritması ve katsayıları değişik biçimde ifade edilmektedir. Takahashi katsayıları tablo E 4.2'de verilmiştir.

Tablo E 4.1 Zeigler-Nichols katsayıları;

Kont.	Kontrol fonk.	Açık çevrim cevabı a,L	Kapalı çevrim
P	$U=K_P.e$	$K_P=1/aL$	$K_P=0.5K_u$
PI	$U=K_P(e+\frac{1}{T_i} \int e \, dt)$	$K_P=0.9/aL$ $T_i=3.3L$	$K_P=0.45K_u$ $T_i=0.83T_u$
PID	$U=K_P(e+\frac{1}{T_i} \int e \, dt+T_d \frac{de}{dt})$	$K_P=1.2/aL$ $T_i=2.L$ $T_d=0.5L$	$K_P=0.6K_u$ $T_i=0.5T_u$ $T_d=0.125T_u$

Tablo E 4.2 Takahaski katsayıları;

Kon	Ayrık kontrol ifadesi	Açık çev. bas. cev a, i, T	Kapalı çev. bas. cev. K_u, T_u, T
P	$U(k)=K_P e(k)$	$K_P=\frac{1}{a(L+T)}$	$K_P=.5K_u$
PI	$U(k)-U(k-1)=K_P(e(k)-e(k-1))+K_I e(k)$	$K_P=\frac{.9}{a(L+.5T)-.5K_I}$ $K_I=\frac{.27T}{a(L+.5T)^2}$	$K_P=.45K_u-.5K_I$ $K_I=.54K_u \frac{T}{T_u}$
PID	$U(k)-U(k-1)=K_P(e(k)-e(k-1))+K_I e(k)+K_D(e(k)-2e(k-1)+e(k-2))$	$K_P=\frac{1.2}{a(L+T)^2}-.5K_I$ $K_I=\frac{.6T}{a(L+.5T)^2}$ $K_D=\frac{.5}{aT}$	$K_P=.6K_u-.5K_I$ $K_I=\frac{1.2K_u T_u}{T}$ $K_D=\frac{3K_u T_u}{40T}$

T:örnekleme periyodu

KAYNAKLAR

1. KAYNAK, Ökyay., CERİD Ömer., "Mikroişlemcilerle Denetim." İstanbul, Bogaziçi Vakfı (1985)
2. DİNİBUTUN, Talha . " Otomatik Kontrol Sistemleri.", İstanbul, İ.T.U. yayını.
3. TUNALI, Fusun., "Bilgisayarlar ile Adaptif Kontrol", Doktora Tezi, İstanbul, İ.T.U. (1983)
4. Kari, J.Aström and Björn Wittenmark., "Computer Controlled systems Theory and Desing", Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall (1984)
5. Dorf, Richard., "Modern Control System", California, (1980)
6. Borat, Oguz., PALAVAN. S., "Analog Computer", İstanbul. İ.T.U. (1970)
7. D.H. Peterson ., "Basic Analog Computation", Macmillan New York (1967)
8. Smith, W.George and Wood, C.Roger., " Principles of Analog Computation " McGraw-Hill, New York (1959)
9. Cadzow, J.A. and Martens, H.R., "Discrete Time and Computer Control System"
10. Moleod, John., "Simulation", McGraw- Hill, New York (1968)
11. Benjamin, C.Kuo., "Digital Control Systems", Illinois, SRL Publishing, (1977)
12. Sarıoğlu, M.Kemal., "Otomatik kontrol (2)", İstanbul, İ.T.U. (1985)
13. Ulgür, M.Münür., "Otomatik Kontrol Sistemlerinde Davranış Kriterleri", İ.T.U. (1968)
14. Franklin, F. Gene and Povell, J.David., "Feedback Control of Dynamic System"
15. Kuzuçu, Ahmet., "Otomatik Kontrol ve Endüstrideki Uygulaması"
16. IBM 12 Bit A/D-D/A Card User Manual

ÖZGEÇMİŞ

A.Fevzi BABA ,1965 yılında Aydın'da doğdu.Lise öğrenimini İzmir Atatürk Endüstri Meslek Lisesi'nde (1979,1982) yaptı.1982 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik-Elektronik Bölümüne kaydını yaptırdı.Haziran 1986 yılında Elektronik Anabilim Dalı'ndan mezun oldu.Eylül 1986'da Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik -Elektronik Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı.Yüksek lisans öğrenimi sürerken,ocak 1987'de araştırma görevlisi olarak aynı fakültenin Bilgisayar Anabilim dalında göreve başladı.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi